



Серия «Наука и технический прогресс»

А.И.Мелуа

# Старт космической технологии



НАУКА



АКАДЕМИЯ НАУК СССР

---

Серия «Наука и технический прогресс»

---

*Основана в 1983 году*

**А. И. Мелуа**

# **СТАРТ КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ**

Ответственный редактор

**В. П. БУЛАТОВ**



МОСКВА «НАУКА»

1990

ББК 30.6

М 47

УДК 629.782

Рецензенты:

В. М. ОРЕЛ, А. И. ПОТАПОВ

Редактор В. В. ЯЩЕНКО

М  $\frac{2103000000-053}{054(02)-90}$ -76-89НП

ISBN 5-02-005924-2

© Издательство «Наука», 1990

## Введение

История науки и техники знает немало примеров, когда казавшееся бесполезным для практики изобретение через некоторое время давало человечеству новые, ранее невиданные возможности. Выдающиеся ученые предостерегают: не спешите объявлять бесполезными те достижения, на понимание которых пока не хватает у нас интеллектуального потенциала — время покажет их значение.

И все же как только появляется какое-то новшество, большинство из нас стремится примерить его к насущным потребностям текущего времени. В этом проявляется не только формализм подхода излишне прагматических экономистов (требующих экономической целесообразности во всем окружающем), но и понятное стремление людей улучшить хоть как-то свою жизнь.

Все это относится и к космической технологии. Наиболее дальновидные ученые уже в первые годы космических полетов предсказывали большие возможности новой области деятельности людей, появившейся благодаря космической технике. Это подтверждалось и стимулировалось успешными технологическими экспериментами, проводящимися на борту космических аппаратов (КА). Назывались и называются самые различные области фундаментальной науки, где космическая технология обязательно сделает революционные открытия. Однако есть и такие ученые и специалисты, которые ждут от космонавтики прямо сейчас конкретных результатов. Да и не только ученые ждут, ждет все человечество, вынужденное ежедневно сталкиваться с нехваткой продовольствия, энергии, других остро необходимых ресурсов и продуктов, задает справедливые вопросы: рационально ли вкладывать в космонавтику миллиарды рублей, долларов, франков, иен, если она приносит продукции «все-го лишь» на десятки миллионов? Когда космонавтика станет хозрасчетной, начнет ли она окупать затраты на разработку, создание и запуск КА?

Кто прав? Где ответы на эти вопросы?

Правы и те, кто говорит о перспективе развития фундаментальных исследований с помощью космических аппаратов, правы и те, кто ждет от космонавтики помощи в решении сегодняшних народнохозяйственных задач.

Наше время очень динамично. То, что сегодня кажется нам фантастически интересным, через несколько лет станет обыденным, понятным, доступным. Мало кто уже задумывается над тем, как мы быстро передаем телеграммы на расстояния в десятки тысяч километров, связываемся по телефону с другими континентами, ежедневно осматриваем свою планету «со стороны». А ведь эти и многие другие задачи решены благодаря КА. Трудно посчитать и сравнить затраты на их создание, оценить их эффективность (по крайней мере, автору неизвестна ни одна работа, которая предлагала бы достаточно убедительную методику для таких расчетов), но то, что выгода есть,— это очевидно!

Космонавтика — это не только связь, метеорология, астрономия, но и технология, т. е. получение материалов и производство изделий, монтажные и другие промышленные работы. Иногда под космической технологией подразумевают всю совокупность возможностей и работ, проводимых с помощью КА. Такое толкование представляется автору слишком уж расширительным. Ведь КА не создают сами по себе новой среды нашей деятельности, они призваны всего лишь перенести нас и наше оборудование в космос — в нем при определенных условиях мы сможем наладить деятельность, во многом похожую на нашу земную жизнь. Но, измеряя уровень воды в реке Неве, мы же не относим эту работу к «земной» технологии. Поэтому наиболее правильным, видимо, будет понимание под космической технологией таких процессов и операций, которые характерны для земной промышленности, но проводятся в условиях космоса. Этим руководствовался автор, формируя представленный на рис. 1 классификатор задач космической технологии. Рассмотрению вопросов, входящих в синтезированное таким образом понятие космической технологии, и посвящена настоящая книга. Правда, в ней есть и некоторая дополнительная информация, на первый взгляд не входящая в упомянутый классификатор. Например, создание новых материалов на Земле при конструировании ракетно-космической техники,— автор считал возможным сказать и об этом, так как использовать в народном



Р и с. 1. Классификатор задач, решаемых космической технологией

хозяйстве полезно не только полученные в космосе материалы, но и созданные на Земле по космическим программам.

Уже из этого классификатора видно, какую огромную тематическую область охватывает космическая технология. Даже при скромной ее 30-летней истории (если считать от начала пилотируемых полетов в космосе) накоплен огромный материал; для того чтобы его привести в книгу, потребовалось бы многотомное издание. Поэтому автор в соответствии с классификатором выбрал только наиболее интересные, информативные «вехи» истории космической технологии и о них рассказал в этой книге.

Главный конструктор НПО «Энергия», член-корреспондент АН СССР Ю. Семенов говорит, что при рассмотрении практической пользы космонавтики чаще все-

го вспоминают о спутниках связи, погоды, т. е. только о непосредственном применении космической техники. Между тем отработка аппаратуры и методов работы, предварительные исследования и наземные испытания, материаловедческие вопросы дают не меньше неожиданных на первый взгляд ответвлений, позволяющих с успехом применять передовые космические технологии в народном хозяйстве.

На станции «Мир-2» с сентября 1989 г. работает новый экипаж космонавтов. Космическая вахта А. Викторенко и А. Сереброва продлится полгода. За это время они выполнят множество различных экспериментов и работ, совершат выходы в открытый космос (в том числе и «ночные», когда станция не освещена Солнцем), испытают новый скафандр «Орлан-2». На станции предусмотрен шлюзовой отсек, оснащенный средствами и инструментами для работы в космосе, там же размещена установка для автономного перемещения за пределами станции.

И вот 1 февраля 1990 г. во время очередного выхода в открытый космос А. Викторенко и А. Серебров впервые в нашей стране успешно испытали индивидуальную установку для перемещения за пределами станции\*.

Работа в космосе продолжается.

Информационный банк Научного совета по космическим исследованиям для народного хозяйства АН СССР в Ленинграде, при котором работает секция космической технологии, послужил основой для написания этой книги. Руководителю этой секции, д. т. н. В. Булатову и всем членам совета, оказавшим помощь и поддержку при написании книги, автор приносит свою благодарность.

---

\* Известия. 1990. 2 февр.



## **1. Организация работ по программам космической технологии**

Получение новых материалов, эксперименты в области космической технологии — одно из направлений программы исследования и освоения космического пространства в мирных целях. СССР выступает за международное сотрудничество при ее реализации. Ярким примером такого миролюбивого подхода являются международные космические полеты, осуществляемые на советских космических кораблях и орбитальных станциях.

К сложившейся системе организаций, осуществляющих работы по программам космической технологии, подключаются все новые и новые организации. Некоторые из них уже преследуют коммерческие цели, в то время как всего лишь пять — восемь лет назад ставились исключительно научные задачи. Так, на коммерческих условиях подписан в ноябре 1988 г. договор между СССР и Австрией, а в июне 1989 г. — между СССР и Великобританией о проведении совместного пилотируемого космического полета и выполнении работ в условиях микрогравитации. Между Лицензинторгом СССР и ФРГ накануне визита в Москву в 1988 г. премьер-министра Баварии Штрауса было достигнуто соглашение о запуске приборов ФРГ на борту советского ИСЗ «Фотон»; в 1989—1992 гг. такие же приборы будут участвовать в трех экспериментах на «Фотоне» в условиях невесомости.

В 1985 г. в СССР создан Главкосмос СССР — Главное управление по созданию и использованию космической техники для народного хозяйства и научных исследований. Начальник Главкосмоса СССР А. Дунаев рассказывает, что новый главк будет тесно взаимодействовать со всеми заинтересованными министерствами и ведомствами страны. Он будет рассматривать их предложения по исследованию и освоению космического пространства, разрабатывать перспективные планы, комплексные программы создания средств космической техники и организовывать соответствующие работы. Будет обеспечиваться подготовка и осуществление запусков

космических аппаратов, получение и распространение космической информации для практического использования. Главкосмос СССР будет обеспечивать также проведение космических работ и по международным программам.

Из-за аварии транспортного космического корабля «Челленджер» к началу 1988 г. во всем мире образовалась очередь на запуск космических аппаратов — более 140 объектов. Поэтому Главкосмос СССР предложил в 1987 г. запуск иностранных космических аппаратов на коммерческих условиях советскими ракетами-носителями «Протон», «Союз», «Космос», «Восток», «Молния» и «Циклон» по ценам, меньшим на 25—50 % текущих цен на мировом рынке. Снижение цены запуска объяснялось тем, что советская коммерческая космонавтика делает только первые шаги и привлечение иностранных заказчиков послужит стимулом к развитию ранее не практиковавшейся коммерческой стороны нашей программы. Наибольшая из цен, названных А. Дунаевым, — 30 млн долл. за выведение ракетой-носителем двух иностранных ИСЗ. Были предложены и другие услуги советской космонавтики: аренда ИСЗ связи «Горизонт» и отдельных каналов или групп каналов на этом ИСЗ, фотосъемка национальных территорий, предоставление возможностей советских КА для технологических экспериментов, изготовление в невесомости полупроводников, лекарств и других материалов.

Извлекать из космической технологии деньги потребовалось не только в связи с общей тенденцией к «хозрасчетности» программ, но и из-за роста затрат на космонавтику. Надежда на то, что с годами космонавтика станет дешевле, является иллюзией — это сегодня понимают уже все. Космическая техника развивается не только «революционно», но и «эволюционно», все усложняя системы КА.

Различные хозрасчетные организации в области космонавтики созданы и создаются за рубежом. Еще не было случаев, чтобы хотя бы одна из них заявила о своем банкротстве. Среди появившихся в последние годы таких организаций — французская коммерческая фирма «Навспейс», созданная для передачи в экономику достижений космонавтики (у нее две главных цели: во-первых, переносить космические технологии в международном масштабе во многие сферы человеческой деятельности; во-вторых, пропагандировать возможности космиче-

ской технологии среди ее потенциальных заказчиков). Обширная сеть таких организаций существует в США, она объединяет банки, деловые круги, фирмы-производители космической техники и страховые компании. К середине 1988 г. через свои 9 центров НАСА внедрило около 30 тыс. достижений в области космонавтики в экономику США, а запросов было во много раз больше. За определенную плату подразделения НАСА предоставляют всем желающим доступ к банкам данных, хранящим информацию о достижениях в аэрокосмической отрасли. Академик В. Авдучевский справедливо замечает, что в наши дни в космос летать выгодно, затраты на его исследования окупаются. И более того, приносят прибыль. Имеет смысл говорить не «исследование», а «использование» космоса. В дальнейшем, естественно, тенденция извлечения чисто практической пользы из космических полетов только усилится. К 2000 г. в мире годовой объем производства в космосе достигнет 18 млрд долл.

Космические программы становятся важнейшими государственными работами. В начале 1989 г. председатель ГКНТ СССР Б. Толстых рассказал об общегосударственной научно-технической программе «Марс». Она предусматривает разработку детальной инженерной модели этой планеты и изучение технических возможностей для полета людей на Марс. Специалисты считают, что при объединении усилий наиболее развитых стран в 2015—2017 гг. возможен полет на Марс. При реализации этой программы будут созданы принципиально новые материалы и устройства, которые найдут применение в некосмических отраслях.

Уже сейчас Мосгорисполкомом и НПО «Композит» начата реализация программы сотрудничества по использованию достижений аэрокосмической отрасли. Впервые стало возможным преодоление преград ведомственных секретов и передача самым различным организациям таких разработок.

За последние годы изменились задачи, решаемые космической технологией. Сегодня требуется «возить» новые материалы, новые знания, производить наукоемкие товары. Каждый космический технологический процесс сопровождается неизвестными явлениями. Поэтому нужно не только углубленно изучать на КА «космические» разделы гидромеханики, теории кристаллизации, физики поверхностных явлений, теории тепло- и массо-

переноса, теории устойчивости, но и постепенно создавать новую науку — физику невесомости. Она расширит наши представления в материаловедении, металлургии и других практических областях, позволит модернизировать земные технологические процессы. Поэтому в структуре участвующих в программе космической технологии организаций появляются новые организации, ведущие фундаментальные и координационные работы. К числу таких организаций относится недавно созданный Научный совет АН СССР по проблемам космического материаловедения. Его возглавил академик Ю. Осипьян, а базовой организацией для его работы стал Институт космических исследований АН СССР.

Доктор технических наук, летчик-космонавт СССР К. Феоктистов считает, что есть шесть направлений развития космической техники и космических исследований. *Первое:* создание орбитальной научной станции, оснащенной аппаратурой для изучения Земли. Вывод ее на солнечно-синхронную орбиту позволил бы получать космические снимки при одних и тех же условиях освещенности поверхности Земли. *Второе:* создание «цехов» и «заводов» по получению сверхчистых веществ, материалов, ценных биологических и медицинских препаратов. Они должны стать рентабельными, экономичными, высокопроизводительными. *Третье:* вывод в космос астрофизической обсерватории. Уже сейчас реально создание на орбите двух синхронно действующих радиотелескопов, разрешающая способность которых многократно превышала бы возможности всех наземных установок подобного рода, вместе взятых. Если один из таких радиотелескопов вывести на орбиту вокруг Солнца, астрофизика получит новый импульс развития. *Четвертое:* необходимо создать семейство орбитальных механических, а позже и автоматических роботов, управляемых с Земли, — телеоператоров. Приводить их в движение можно с помощью радиосвязи через ретрансляторы. В безвоздушной космической среде они будут собирать орбитальные станции и платформы, зеркала телескопов или энергоустановок. Вмонтированные в них телекамеры позволят человеку контролировать качество проводимых ими работ, устранять неполадки. *Пятое:* создание солнечных электростанций. Необходимо исследовать целесообразность получения электроэнергии в космосе. Если эта идея оправдается, то необходимо браться за техническое воплощение таких солнечных космических элект-

тростанций. *Шестое:* создание многоцветных солнечных буксиров с электрореактивными двигателями. Они будут перебрасывать конструкции, платформы и другие грузы с низких на высокие рабочие орбиты.

В начале 1988 г. президентом США была утверждена директива «Политика в космосе и коммерческая инициатива в космосе на начало следующего века». Она развита и конкретизирована в «Стратегическом плане освоения космоса в США на начало XXI в.», составленном сотрудниками Космического центра им. Джонсона. Инициативы США в этом плане представлены следующими четырьмя основными группами.

1. *В области пилотируемых КА.* Предложены две программы: Национальной космической транспортной системы и Орбитального обитаемого комплекса. На их основе могут быть развернуты в будущем другие программы. Создаваемый космический корабль аварийного спасения экипажа должен обеспечить возвращение на Землю экипажа орбитального комплекса в аварийных ситуациях. К первоочередным задачам можно отнести обеспечение полетов кораблей серии «Спейс шаттл» и разработку орбитального обитаемого комплекса, а также совершенствование Национальной космической транспортной системы с учетом модифицированного варианта многоцветного транспортного космического корабля (МТКК) «Спейс шаттл». Предполагается изучить возможности запасного варианта или замены МТКК «Спейс шаттл», разработать МТКК «Спейс шаттл» второго поколения для замены устаревшего корабля первого поколения к 2000 г. Новый космический корабль NASP (называемый также X-30 и «Восточный экспресс») должен служить основой технических достижений в увеличении степени доступности космоса для людей.

2. *В области исследований.* В настоящее время ведутся исследования в Космическом центре им. Джонсона и Лаборатории реактивных двигателей, направленные на составление программы непилотируемых полетов на Марс с возвращением образцов. Большое внимание уделяется изучению вопросов, связанных со сборкой и обслуживанием космических объектов на орбите, с полетными операциями, передачей образцов с Марса на Землю, а также конструированием, испытанием и технической разработкой космических летательных аппаратов и систем обслуживания.

На Луне и Марсе предполагается создать научно-

исследовательские базы, технологическая основа которых в значительной мере совпадет. Процесс создания базы на Луне рассматривается как элемент подготовки к полету на Марс, т. е. при отборе критериев основных элементов программы будут учитываться требования как лунной, так и марсианской программ.

3. *В области создания орбитальных КА.* В настоящее время разрабатываются два класса орбитальных космических летательных аппаратов для выведения полезных нагрузок и ИСЗ на разные орбиты, что значительно повысит эффективность работы МТКК «Спейс шаттл» и орбитального пилотируемого комплекса. Центр космических полетов им. Маршалла руководит разработкой непилотируемого орбитального маневренного космического летательного аппарата. Планируется также создание орбитального транспортного космического корабля многоразового использования с высокими летными характеристиками, который будет выводить аппараты на геосинхронную орбиту и, возможно, обеспечивать межпланетную транспортировку. Может рассматриваться и трансформация непилотируемых космических аппаратов в пилотируемые.

4. *В области создания ракет-носителей.* Планируются две новые системы: «Спейс шаттл-С» (грузовой) и усовершенствованная система ВВС США.

Названы следующие пять задач, которые должны быть решены для сохранения ведущей роли США в освоении космоса: 1) обеспечение безопасности, надежности и эффективности Национальной космической транспортной системы; создание орбитальных станций на низкой околоземной орбите для постоянного обитания человека в космосе; 2) создание орбитального обитаемого комплекса — первого элемента системы, необходимой для постоянной жизни и работы человека в космосе; комплекс будет и лабораторией, и транспортным узлом, и базой для исследования космоса; 3) разработка более сложных технических систем, в которых космические летательные аппараты, созданные по одной программе, станут частью другой программы; 4) обеспечение высокой квалификации персонала и качества систем обеспечения; 5) расширение связей с партнерами, рассмотрение сотрудничества как фундаментального принципа космической программы США.

## 2. Из истории космических технологических исследований

Конец XIX — начало XX в. ознаменовались выдающимися работами в области аэронавтики и космонавтики, авторами которых были К. Циолковский, Р. Годдард, Г. Оберт, В. фон Браун, а позднее — Ф. Цандер, Ю. Кондратюк и другие ученые и специалисты. В их работах высказаны идеи по созданию орбитальных заводов, применению в космосе зеркал, решению других задач космоплавания и использования космоса. В 1920 г. К. Циолковский в повести «Вне Земли» писал: «Под влиянием твердых тел — сеток, каркасов и сосудов — жидкости принимают чрезвычайно интересные и разнообразные формы. Так, можно получить из воды или масла формы двояковыпуклого и двояковогнутого стекол, которые могут заменить чечевицы оптических инструментов». В 1883 г. К. Циолковский написал работу «Свободное пространство» (опубликована в 1954 г.), в которой он предвидел использование невесомости. Этой же теме были посвящены его последующие работы: «Исследование мировых пространств реактивными приборами», «Цели звездоплавания» и др.

В работе «Свободное пространство» К. Циолковский наметил ряд исследований в области динамики, гидромеханики, жизнедеятельности человека в космосе, а в повести «Грезы о Земле и небе» подробно описал состояние человека и предметов, попавших в невесомость.

Впервые идею космического самолета предложил наш соотечественник Ф. Цандер в своей статье «Описание межпланетного корабля системы Ф. Цандера» (1924). Модель такого аппарата демонстрировалась на международной выставке, которая проходила в Москве в 1927 г.

«Мечтателем» называли К. Циолковского. Действительно, нереальность его предложений и разработок была слишком очевидной: не то что ракетоплавание, а и авиация в те годы еще не стала «на ноги». Но советское правительство К. Циолковского поддержало: выделило ему средства на продолжение исследований, помогло с организацией инструментальной базы. Академик Н. Боголюбов считает, что правомочно поставить вопрос о выгоде, извлекаемой обществом из всех вложений в функциональную науку. Конечно, конкретные прогнозы о возможном практическом выходе того или

иного направления фундаментальных исследований чаще всего делать непросто. Но история науки наглядно свидетельствует, что всякий успех теории обязательно приводит к новым практическим достижениям.

А в это время интенсивно развивающаяся промышленность уже готовила заказы будущей, еще не осознаваемой орбитальной технологии. В 1948 г. У. Шокли, Дж. Бардином и У. Браттейном изобретен транзистор, но широкого применения в практике это изобретение не нашло, так как были неизвестны методы очищения полупроводникового материала от примесей. Эту задачу для земных условий решил в 1953 г. В. Пфанн, предложив использовать зонную плавку для получения полупроводниковых материалов. Но настоящие открытия в области производства полупроводниковых материалов стали возможными через 20 лет, с первыми космическими технологическими экспериментами.

Общественная и литературная деятельность известного писателя-фантаста А. Кларка как нельзя лучше отражает динамику и неожиданные скачки прогресса этих лет. В 1945 г. молодой инженер А. Кларк опубликовал статью, в которой научно обосновал и точно рассчитал появление ИСЗ и их использование в качестве ретрансляторов, но на эту статью никто не обратил внимания; только через 18 лет, когда Институт Франклина присудил ему золотую медаль за разработку идеи космической связи, мир узнал о прозорливости писателя. Приводимые в его книгах таблицы научных открытий — это смелый научный прогноз будущего. Этим, видимо, привлекательны не только его книги, но и фильмы по этим книгам (еще в конце 60-х годов за рубежом поставлен фильм «Космическая одиссея 2001 года» по самому знаменитому его роману). Вспоминая о своих книгах, опубликованных в начале пятидесятых годов, А. Кларк сказал: «Я писал книгу „Исследование космоса“, и мне стало интересно, привлекла другая сторона медали. Можно ли искусственно остановить прогресс человечества? Убежден, что нельзя: человек все равно найдет способ осуществить задуманное». А. Кларк часто повторяет фразу: «Единственный путь установить границы возможного — миновать их и углубиться в невозможное». Осознавая, что по крайней мере четверть ученых в современном мире так или иначе связаны с военной промышленностью, А. Кларк говорит: «Космическая технология сегодня необходима во многих отраслях зна-



ния, без нее уже немыслим дальнейший путь развития человечества. Однако, по-моему, безумны те, кто пытается строить проекты развязывания войны и перенесения национальной вражды за пределы атмосферы. Я думаю, если что и можно вынести в космос, так это некоторые предприятия тяжелой промышленности. Это облегчит производство и очистит загрязненный воздух нашей планеты»<sup>1</sup>.

Историю делают люди. В сороковые — начале пятидесятых годов в советскую науку вошли три «К» — Королев, Курчатов, Келдыш, которые возглавили самые трудные, самые важные работы по созданию ракетно-космической техники и ядерного щита нашей Родины. В сентябре 1957 г. за две недели до запуска в СССР первого в мире ИСЗ, отмечалось 100-летие со дня рождения К. Циолковского. Доклад о деятельности К. Циолковского делал С. Королев. Он сообщил, что в ближайшее время будут проведены первые запуски ИСЗ и что советские ученые работают над проблемами посылки ракеты на Луну и полетов человека в космос. Эти слова были восприняты как прогнозы далекого будущего.

30 декабря 1957 г. М. Келдыш и С. Королев в записке в директивные органы писали: «В данный момент имеются все научно-технические возможности вести разработку проблем, связанных с созданием более совершенных, ориентированных искусственных спутников Земли с использованием энергии Солнца для питания аппаратуры, созданием спутника для фотографирования земной поверхности, созданием космической научной станции с большой длительностью существования и постоянной передачей данных о космическом пространстве, а также вести в перспективе работы над проблемой облета Луны и полета человека в межпланетное пространство. Ряд из этих направлений необходимо осуществлять в настоящее время...

Эти работы имеют свои особенности по сравнению с задачами, поставленными в деле разработки баллистических и межконтинентальных ракет, т. е., по существу, создается совершенно новое направление, которое потребует больших научных, конструкторских и организационных работ научно-исследовательских институтов, конструкторских бюро различных ведомств.

---

<sup>1</sup> Лит. газ. 1982. 14 июля.

Учитывая, что указанные работы по дальнейшему освоению космического пространства Советским Союзом должны продолжаться, нами подготавливаются мероприятия по обеспечению этих задач путем привлечения новых мощностей промышленности»<sup>2</sup>.

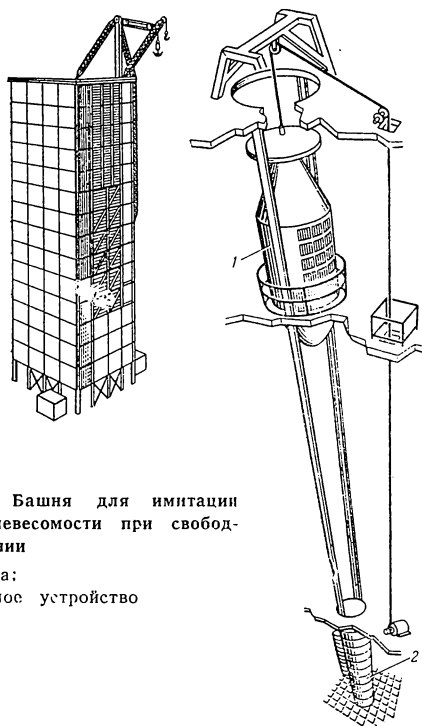
*Исследования на высотных ракетах* по программам космической технологии начались задолго до запуска космических кораблей. Уже после начала пилотируемых космических полетов ученые продолжали использовать ракеты, так как с их помощью на многие вопросы космической технологии можно было ответить быстрее и дешевле (табл. П. 1. Приложения).

Наиболее важные результаты в СССР были получены в 1976—1982 гг. на высотных ракетах «Мир-2», запускаемых на высоту до 500 км с космодрома Капустин Яр. Состояние невесомости на них длилось до 10 мин. Использовались отечественные комплексы СКАТ и СПРИНТ, рассчитанные на проведение одновременно большого числа экспериментов. В них использован принцип работы экзотермических печей. В 1978 г. на аппаратуре СКАТ был проведен эксперимент «Капилляр», впервые использовавший метод Степанова при выращивании в невесомости кристаллов. В зеркально-лучевых печах для плавления образцов использовалась энергия галогенных источников, которые размещались в фокусе эллипсоидных отражателей. В декабре 1982 г. впервые осуществлен эксперимент по плавлению материалов сконцентрированным излучением Солнца; для этого была разработана установка «Камин».

В США эксперименты по космической технологии проводились по программе «Спар» с использованием ракет «Блэк Брант 5с», запускаемых с полигона Уайт Сандс; в Западной Европе — в рамках программы «Текус» с использованием ракет «Скайларк-6, -7, -14» английской фирмы «Бритиш Аэроспейс», запускаемых со шведского полигона в г. Кируне; в Японии использовались ракеты ТТ-500А, запускаемые с полигона Танегасима. В программах «Спар» и «Текус» использовалась различная аппаратура, включающая изотермические и градиентные печи, зеркальные печи и др. В Швеции для этих целей была разработана аппаратура многоразового использования МУРМЕК.

---

<sup>2</sup> Келдыш М. В. Избранные труды. Ракетная техника и космонавтика. М.: Наука, 1988. С. 241.



**Рис. 2.** Башня для имитации условий невесомости при свободном падении

1 — капсула;

2 — приемное устройство

Проведено несколько экспериментов по использованию тросовых систем в космических исследованиях. Так, в августе 1983 г. в США американскими и японскими учеными проведен эксперимент, в котором осуществлено разделение в полете ракеты на две части, соединенные токопроводящим тросом. Диаметр троса около 0,6 мм, длина 400 м. Такая тросовая система может быть использована для проведения кратковременных электродинамических экспериментов.

Исследования в башнях сбрасывания используются благодаря возможности получения на короткое время состояния невесомости в контейнере с аппаратурой. Для этих целей сооружены вертикальные башни, в которых сбрасывают контейнеры с приборным оборудованием. В ФРГ для предварительных экспериментов по программе космической технологии специально построена башня сбрасывания общим диаметром 8,5 м и диаметром трубы 3,5 м для сбрасывания капсул типа «Микроба».

Исследования в самолетах-лабораториях позволяют проводить эксперименты, отрабатывать технологию монтажной деятельности в течение приблизительно 25 с — времени, за которое полет совершается по так называемой параболе Кеплера. В одном полете суммарный эффект невесомости может составить 17 мин. Эти эксперименты проводятся в СССР с 1939 г. Самолеты-лаборатории целесообразно использовать для таких технологических экспериментов, где влияние невесомости может накапливаться.

Исследования на советских ИСЗ «Космос» позволили отработать в автоматическом режиме наиболее важные задачи космической технологии.

Первые монтажные операции начались еще в 1967 г.: 30 октября была осуществлена автоматическая стыковка и расстыковка беспилотных КА — ИСЗ «Космос-186» и «Космос-188». Технологические работы были продолжены на «Космосе-929», запущенном 17 июля 1977 г. и проработавшем в космосе 200 дней, 19 июня 1981 г. был создан комплекс «Салют-6» — «Космос-1267» массой более 40 т; с помощью двигательной установки ИСЗ было проведено несколько десятков маневров комплекса, включая перевод его на более высокую орбиту. При этом экономилось топливо (рабочее тело) двигательной установки орбитальной космической станции (ОКС). «Рабочее тело берегите пуще своего собственного», — напутствовал космонавтов С. Королев, имея в виду большое значение запаса топлива на орбите.

2 марта 1983 г. запущен ИСЗ «Космос-1443». После стыковки со станцией он выполнил более ста динамических операций. Находившиеся на орбите В. Ляхов и А. Александров получили дополнительно 50 м<sup>3</sup> оборудованного для них космического жилья. Масса образованного на орбите комплекса «Союз Т-9» — «Салют-7» — «Космос-1443» составила около 50 т, длина «связки» около 35 м, объем помещений увеличился с приходом ИСЗ вдвое. Корабль-спутник имел кроме химических батарей также и солнечные с размахом крыльев около 16 м. Запас топлива на нем превышал три тонны. «Космос-1443» был оснащен спускаемым аппаратом, который после завершения программы совместного полета совершил мягкую посадку на Землю и доставил контейнер массой около 350 кг с результатами проведенных на орбите экспериментов.

В 1985 г. в космос выведена первая в мире автома-

тическая технологическая лаборатория «Фотон» (ИСЗ «Космос-1645»). Диаметр спутника около двух метров, масса размещенных на нем приборов — почти 400 кг. На его борту установлены технические средства, работавшие по заданной циклограмме в автоматическом режиме. Работали две электронагревательные печи — «Сплав-02» и «Зона». Начиная с этого КА в космосе начала разворачиваться обширная программа экспериментов на автоматических аппаратах в области космического материаловедения и биотехнологии.

27 сентября 1985 г. запущен с помощью ракеты-носителя «Протон» ИСЗ «Космос-1686». По конструкции он аналогичен «Космосу-1267» и «Космосу-1443» и предназначен для отработки оборудования, агрегатов и элементов конструкции технологических аппаратов. Пришвартовавшись к «Салюту-7» — «Союзу Т-14», «Космос-1686» стал межорбитальным буксиром, его мощность позволяла проводить в космосе сложные маневры и испытания. Если у КК «Прогресс» масса чуть больше 7 т и возможность взять с собой немногим более тонны полезного груза (не считая топлива), то «Космос-1686» имел массу вместе с полезной нагрузкой более 20 т, доставил более 4 т сменных блоков, продуктов, оборудования, аппаратуры для научных экспериментов — по размерам он такой же, как и «Салют-7».

ИСЗ «Космос-1700» (ИСЗ «Луч») использовался в 1986 г. для испытания новой радиотехнической системы, позволяющей обеспечить связь экипажа орбитальной космической станции (ОКС) с Центром управления полетом (ЦУП) через спутник-ретранслятор в то время, когда ОКС находится вне зоны радиовидимости с территории СССР.

В 1986 г. запущен ИСЗ «Космос-1744» с теми же целями, что и у «Космоса-1645». На его борту установлена электрофоретическая установка «Каштан».

24 апреля 1987 г. запущен ИСЗ «Космос-1841», а 8 мая 1987 г. его спускаемый аппарат мягко приземлился, доставив результаты технологических экспериментов. В течение двух недель полета была выполнена интересная программа экспериментов. На спутнике работали две электрические печи для получения в невесомости различных полупроводниковых материалов, изучалось влияние магнитных полей на процессы выращивания кристаллов методом бестигельной плавки. На электрофоретической установке «Каштан» проведены экспери-

менты по очистке биологически активных веществ (тимозина и интерферона), применяемых при лечении иммунных, вирусных и других заболеваний; материалы биоэкспериментов переданы во Всесоюзный научно-исследовательский институт технологии кровезаменителей и гормональных препаратов.

В 1987—1988 гг. на ИСЗ «Космос» по программе «Топаз» проведены летно-конструкторские испытания термоэмиссионной ядерной электроэнергетической установки. Выводились две установки мощностью до 10 кВт, первая проработала полгода, вторая — около года. Созданы новые ядерные реакторы-преобразователи, совмещающие в себе источник тепла (термовыделяющий элемент — ТВЭЛ) и термоэмиссионный преобразователь. Такой источник энергии практически не расходует топливо и не имеет в своем составе движущихся частей.

Осенью 1988 г. на ИСЗ «Космос-1900» в ядерной энергетической установке случились неполадки, возникла аварийная ситуация; 1 октября 1988 г. на спутнике в соответствии со штатной программой ликвидации аварии сработала система радиационной безопасности, был выключен реактор, произошло его отделение от ИСЗ и перевод на орбиту длительного существования, на которой должен произойти распад радиоактивных продуктов реактора до безопасного уровня. А оставшаяся часть спутника, которая радиационно безопасна, вошла в плотные слои атмосферы и прекратила свое существование.

26 апреля 1989 г. в СССР осуществлен запуск ИСЗ «Фотон», предназначенного для исследований по космическому материаловедению. Программа его полета рассчитана на 16 сут, в течение которых в условиях микрогравитации получены полупроводниковые материалы с улучшенными свойствами и особо чистые биологически активные препараты. На этом ИСЗ была размещена французская научно-исследовательская аппаратура.

Западногерманская фирма «Кайзер Шредер» заключила с СССР соглашение на сумму 200 тыс. марок за предоставление в 1989—1991 гг. трех спускаемых аппаратов ИСЗ «Фотон». Стандартная плата, установленная советскими специалистами за проведение экспериментов в спускаемых аппаратах «Фотон», составляет 15 тыс. долл. за 1 кг полезной нагрузки (ПН). Фирма «Кайзер Шредер» получила скидку как первый заказчик.

*На советских космических кораблях и орбитальных космических станциях «Салют» выполнена основная про-*

грамма экспериментов в области космической технологии, в том числе проведен большой объем ремонтно-восстановительных и монтажных работ, опробованы новые устройства и оборудование, необходимое для организации промышленного использования космоса.

Первые эксперименты с водой, которые тоже можно отнести к технологическим, выполнил в космосе Ю. Гагарин. В полетном задании Г. Титова было записано: «Попробовать пообедать», «Попробовать поспать». В 1965 г. А. Леонов впервые вышел в открытый космос. А еще через четыре года А. Елисеев и А. Хрунов через открытый космос перешли в другой КК, пилотируемый В. Шаталовым. Шла осторожная, но последовательная и все усложняющаяся разведка космоса. Космонавты учились «ходить» и работать в космосе, готовили себя и приборы к технологическим экспериментам.

Одна из первых трудностей — работа с инструментами. Впервые инструменты появились на КК в 1970 г.: их взяли с собой А. Николаев и В. Севастьянов. Отвертка, ножницы, плоскогубцы, нож — 700 граммов в земном исполнении. Оказалось, пользоваться ими, так удобными на Земле, в космосе очень сложно. И это проявилось уже через год, когда на первой ОКС «Салют» потребовалось вскрыть панель — обычная отвертка эту операцию сделать не позволила, после полутора часов борьбы всего лишь с шестью шурупами панель пришлось просто вырвать. Экипажи жаловались, что откручивание гайки превращалось в космосе в длительную работу. А ведь в открытом космосе движения космонавтов ограничивает еще и скафандр!

Поэтому почти каждая экспедиция вносила свой вклад в совершенствование арсенала инструментов. После выхода в космос космонавты проверяли резьбовые соединения, специальными ключами выворачивали и заворачивали винты на панелях, находившихся длительное время в космосе. В эксперименте «Исток» В. Лебедев завинчивал—отвинчивал несколько десятков винтов на панели величиной с половину шахматной доски, чтобы определить пригодность инструмента, найти вид и материал винтов для будущих сборочных операций в космосе. Порою обстоятельства заставляли изобретать самим конструкцию или способ применения инструмента, как, например, на «Салюте-6», когда В. Ляхову и В. Рюмину пришлось перерезать тросики антенны, чтобы освободить стыковочный узел от зацепившейся за него

антенны. В другой раз Л. Кизиму и В. Соловьеву пришлось вырезать фрагмент солнечной батареи, чтобы выполнить ремонт. В таких случаях от космонавта требуются находчивость и мужество. Г. Титов об этих работах сказал так: «Каждая такая операция требует от каждого ее участника, в космосе, на Земле ли, огромного мужества не только в выполнении, но и в решении. Здесь для меня навсегда образцом останется решимость С. П. Королева, с твердостью, хотя и скрашенной иронией, написавшего в разгар проектантского спора: „Луна твердая. С. Королев“. Так берут на себя ответственность в решающие минуты истории. Ответственность — это не просто бремя, это интереснейшая работа, это борьба, это радость трудовой победы. Космонавтика не только требует такой ответственности — она прививает, воспитывает ее».

Казалось бы, на орбите разгрузка корабля-грузовика не должна представить трудности: ведь невесомость! Напротив, этот процесс отнимал много усилий у космонавтов. И причина не только в уже упоминаемых операциях по отвертыванию гаек, но и в непригодности человеческого организма к передвижению по станции. В. Ляхов вспоминал: «Возьмешь регенератор, плывешь рядом — красота. А чуть сильнее оттолкнулся, и не знаешь, кто кого везет: ты его или он тебя».

Основные трудности приходились на часы и дни ремонтных работ. Особенно много их выпало на программу «Салют-6». Впервые на ОКС выполнялся большой объем ремонтных и восстановительных работ: заменены фильтры и насосы в системе терморегулирования и регенерации воды, отремонтировано энергетическое оборудование станции, установлены обводные трубопроводы в резервной топливной магистрали объединенной двигательной установки, усовершенствованы навигационное оборудование, пульты управления, различные приборы, система телевидения, радиосистема, система жизнеобеспечения, медицинская аппаратура и оборудование, элементы интерьера, бортовая кабельная сеть, телескоп «Елена», выполнен дополнительно монтаж установки, создающей искусственную тяжесть для растений. Несколько экипажей последовательно провели монтаж дополнительных солнечных батарей, что увеличило мощность источников энергии ОКС. Уникальной также была операция по монтажу антенны радиотелескопа КРТ-10 диаметром 10 м.



В сентябре—октябре 1985 г. В. Джанибеков и В. Савиных выполнили эксперименты по космическому материаловедению с помощью аппаратуры «Электротопограф». Его цель — определение непосредственно на борту ОКС состояния конструкционных материалов, подвергающихся комплексному воздействию открытого космического пространства. Образцы различных материалов экспонировались в разгерметизированной шлюзовой камере, а контроль за их состоянием велся с помощью «Электротопографа». Электротопография — это новый метод контроля старения материалов. Зафиксированное распределение электрических зарядов на поверхности материалов дает как бы моментальную электрофотографию, на которой видны мельчайшие дефекты материала. Это важно для контроля состояния космических аппаратов.

В каждом выходе в открытый космос — новый научный эксперимент, новые реальные возможности орбитальной технологии. Находившийся снаружи станции прибор «Медуза» доставил на Землю набор ампул с простейшими органическими соединениями и следами воздействия на них космоса. На наружной поверхности станций укрепляются все новые и новые образцы конструкционных материалов и сплавов, соединений материалов, чтобы определить воздействие на них космоса. С помощью прибора «Ресурс» получены новые данные о поведении в космосе нержавеющей стали, титановых сплавов и других материалов, находящихся под механическим напряжением. Прибор «Память» позволил определить способы термомеханического соединения трубопроводов (использовалась заранее надетая на трубопроводы муфта из титаноникелевого сплава, которая под действием температуры принимала заданную форму и соединяла трубопроводы).

Ремонтные работы продолжились и на «Салюте-7». В одном из топливных трубопроводов произошла разгерметизация. Была разработана технология очистки трубопровода от окислителя, созданы специальные инструменты, позволившие космонавтам устранить неисправность.

5 мая 1986 г. «Союз Т-15» с космонавтами Л. Кизимом и В. Соловьевым отстыковался от ОКС «Салют-6» и 6 мая состыковался с ОКС «Салют-7». Эта операция была проведена впервые в космонавтике — перелет с одной станции на другую. На «Салюте-7» космонавты

в первые дни пребывания выполнили большой объем работ по расконсервации станции, проверке функционирования всех систем и агрегатов, профилактические работы, в частности замену отдельных блоков, выработавших свой ресурс. В конце мая космонавты вышли в открытый космос для отработки методов сборки крупногабаритных конструкций. В качестве типового элемента использовалась шарнирно-решетчатая ферма, доставленная на ОКС в сложенном виде. В одном из иллюминаторов был установлен прибор для экспериментов по передаче телеметрической информации в оптическом диапазоне длин волн. Был проведен демонтаж кассет с образцами биополимеров и конструкционных материалов, а также аппаратуры для сбора метеоритного вещества. Во время очередной работы в открытом космосе космонавты продолжили испытания шарнирно-решетчатой фермы. Она была развернута на длину 12 м, с помощью установленных на ферме приборов проведена оценка динамических характеристик ее конструкции. Затем ферма возвращена в исходное положение и демонтирована. На внешней поверхности станции космонавты установили аппаратуру для изучения влияния факторов космоса на циклически нагружаемые образцы конструкционных материалов. С помощью портативной усовершенствованной электронно-лучевой установки проведены технологические операции по сварке и пайке элементов ферменных конструкций.

Страницей мужества войдет в историю четвертая экспедиция на ОКС «Салют-7». В 1985 г. в одном из сеансов радиосвязи со станцией «Салют-7», функционировавшей в автоматическом беспилотном режиме, в радиосистеме станции обнаружилась неисправность. Вскоре связь прекратилась. Станция перестала откликаться на вызовы ЦУПа, перестала передавать телеметрию на Землю. Выход был только один — отправить на станцию экипаж. Специально подготовили «Союз Т-13»: разработали новую баллистическую схему выведения и сближения корабля с неориентированной в пространстве станцией, корабль оснастили лазерным дальномером, оптическим прибором наведения, прибором ночного видения и др.

6 июня «Союз Т-13» подошел к станции, завис в 250 метрах от нее. Напряженно космонавты В. Джанибеков и В. Савиных всматривались в иллюминаторы. Медленно корабль подошел к станции. В сложных усло-

виях выполнена стыковка. Уже первые измерения показали: станция без энергии, следовательно, ни один прибор, ни одна система работать не будут. С помощью привезенного прибора через клапан выравнивания давления проанализировали атмосферу внутри станции. Стало ясно, что пожара на ней не было, вредных примесей тоже нет.

Станция встретила космонавтов неприветливо. Темнота и холод, на иллюминаторах и оборудовании иней. Без перчаток нельзя ни к чему прикоснуться. Пахнет застоявшимся воздухом, застойные зоны с повышенным содержанием углекислого газа опасны для людей. Из восьми аккумуляторов оказались исправными только два.

Сначала был включен первый генератор для очистки атмосферы: экипаж собрал временную схему вентиляции, с помощью энергоустановки КК включил ее в работу — иначе в атмосфере станции долго нельзя было бы работать. Была отремонтирована и пущена бортовая система энергоснабжения станции. Появилось тепло, хотя пройдет еще много дней, прежде чем температура на станции станет нормальной. На вторые сутки появился свет — до этого работали с фонариками. Начали оттаивать покрытые инеем металлические конструкции внутри станции. На пятые сутки началась подзарядка первой батареи, потом второй. Руками космонавтов станция постепенно приобрела обжитой вид, заработали все ее системы.

На борту «Салюта-7» около 200 уникальных научных приборов, поэтому надо было спасти станцию, и космонавты В. Джанибеков и В. Савиных проявили мужество и высокий профессионализм и спасли ее. Стыковка с ней показала возможность подхода к неуправляемым спутникам для осмотра и проведения ремонтно-профилактических работ, а также для спасения экипажа. Много дней они работали в холоде и при дефиците воды, без горячей пищи, дышали воздухом, обедненным кислородом, работали при свете фонариков, а после того, как станция заработала, космонавты приняли два грузовых КК и произвели монтаж дополнительных блоков на третью солнечную батарею.

Монтаж этих дополнительных батарей был предусмотрен еще при создании станции. Первый этап работ выполнили в ноябре 1983 г. В. Ляхов и А. Александров, второй — в мае 1984 г. Л. Кизим и В. Соловьев. Контей-

неры с дополнительными батареями на этот раз доставил грузовик «Прогресс-24». На следующем транспортном корабле «Космос-1669» пришли два новых усовершенствованных скафандра для работы в космосе. У оснований каждой из солнечных батарей «Салюта-7» заранее были установлены лебедки, крепления для поручней, «ступенек», фиксаторов для космонавтов. Космонавты перенесли в зону проведения работ контейнеры с оборудованием. Используя специальные инструменты, механизмы и фиксирующие устройства, установили и привели в рабочее положение первую дополнительную панель солнечной батареи. Затем по командам из ЦУПа солнечная батарея была развернута на 180°. Космонавты смонтировали вторую панель. На одной из основных панелей они укрепили экспериментальный образец солнечной батареи для исследования влияния на него условий открытого космоса. Возвращаясь, они у выходного люка установили советско-французскую аппаратуру для сбора метеоритного вещества, заменили научное оборудование, кассеты с образцами биополимеров и различных конструкционных материалов.

Каждый эксперимент, каждый прибор были ступенькой на пути развития орбитальной технологии. Только на «Салюте-6» было поставлено более 1600 экспериментов, проведено около 200 плавов, получено 300 образцов новых материалов. Часть из них предсматривала изучение процессов и явлений в невесомости и испытание нового технологического оборудования.

В 1981—1984 гг. на приборах «Пион» и «Пион-М» были проведены эксперименты по: 1) определению полей температуры и скорости конвективных течений в прозрачных жидкостях при различных способах нагрева и геометрии сосуда; 2) исследованию устойчивости газовых включений в жидкости и их термокапиллярного дрейфа; 3) исследованию структуры и динамики конвективных течений, индуцированных термокапиллярным эффектом; 4) исследованию способов управления интенсивностью термокапиллярных конвективных течений в жидкости. На установке «Пион» выполнено несколько циклов экспериментов, в которых изучались процессы тепло- и массопереноса в жидких средах в условиях слабой гравитации. В частности, исследовалась возможность управления термокапиллярными течениями с помощью переменных температурных полей. На ОКС «Салют-7» были проведены эксперименты «Термограф»

и «Конвекция-Ц» для изучения поведения жидкостей в невесомости.

На ОКС «Салют-5» был поставлен эксперимент «Поток» для исследования поведения системы мелких пузырей в невесомости. Эксперимент протекал следующим образом. Газовый пузырь в жидкости, заполняющей сферический сосуд с прозрачными стенками, перед началом работы был разбит на большое количество мелких пузырей. Б. Волинов и В. Жолобов заметили, что за пять суток все мелкие пузырьки постепенно слились между собой и в жидкости образовался один большой пузырь. Это могло произойти только в невесомости: концентрация газа в пузырьке меньше, чем в окружающей жидкости, поэтому поток газа направлен в сторону пузырька.

Во время эксперимента «Сфера» были получены округлые отливки: расплавленный материал под действием поверхностного натяжения успевал приобрести эллипсоидальную форму, затем охлаждался и затвердевал. Использовался сплав Вуда, компонентами которого являются висмут, свинец, олово и кадмий (сплав Вуда имеет низкую температуру плавления — чуть выше  $60^{\circ}\text{C}$ ).

Программой ЭНАС (1975 г.) предусматривалось выполнение экспериментов по определению влияния невесомости на металлургические и кристаллохимические процессы в металлических и полупроводниковых материалах. Использовалась универсальная электрическая печь (производство США), для которой была разработана программа в Институте металлургии им. А. Байкова АН СССР.

Ю. Романенко и Г. Гречко предложили при проведении технологических экспериментов использовать режим гравитационной стабилизации ОКС, при котором ОКС ориентирована осью наибольшего момента инерции (продольной осью) в направлении к центру притяжения планеты. В этом состоянии ОКС может находиться долго без расходования топлива на корректировку ориентации. При этом микроускорения от нецентральности поля гравитации практически сводятся к нулю, что улучшает качество получаемых в технологических экспериментах результатов.

Еще первая длительная экспедиция на «Салюте-6» провела эксперимент «Резонанс», который позволил определить, при каких режимах управления комплексом

конструкция не испытывает предельных нагрузок. Ведь на станции нет абсолютной невесомости. Включение двигателей, движение космонавтов вызывают микроускорения, которые хотя и малы, но могут быть причинами значительных нагрузок на стыковочные агрегаты длинной «связки» космических аппаратов.

Самые разнообразные установки использовались для плавки материалов и сплавов, для выращивания кристаллов: с помощью аппаратуры «Бирюза» и «Анализ» исследовались процессы роста кристаллов из растворов и расплавов; в эксперименте «Форма» исследовалась динамика формообразования при выращивании кристаллов; в эксперименте «Афамия» получались высококачественные полупроводниковые кристаллы; в эксперименте «Касьюн» получали сплав, призванный заменить дорогостоящие легированные стали; в эксперименте «Тампонаж» получали герметизирующие смеси из различных модельных материалов; на установке «Кристаллизатор» осуществлялась направленная кристаллизация антимолибдита галлия; на установках «Магма-Ф» и «Корунд» шла плавка; в эксперименте «Калибровка» получались тепловые характеристики электронагревательной печи; в эксперименте «Ликвация» изучалась возможность получения новых сплавов из металлов, не смешивающихся на Земле.

В эксперименте «Реакция» на «Салюте-5» решалось несколько задач: можно ли в невесомости паять стальные трубы и приемлемо ли качество шва; достаточно ли эффективны для расплавления высокотемпературного припоя взятые на борт химические источники тепла независимо от энергосистемы станции; как жидкий припой растекается по каналу вокруг трубок — равномерно или сгустками. Предстояло соединить в космосе две трубы из нержавеющей стали. Использовался марганцево-никелевый припой (температура плавления  $1100^{\circ}\text{C}$ ). Результаты «Реакции» были интересны и для кристаллографов: оказалось, что компоненты припоя распределились в космосе более равномерно, чем в наземных образцах.

В. Горбатко и Ю. Глазков провели на «Салюте-5» эксперимент на приборе «Диффузия», в ходе которого изучалось перемешивание молекул дибензила и толана после того, как эти органические вещества были расплавлены (эти вещества плавятся при температуре  $52$  и  $62,5^{\circ}\text{C}$ ). Прибор «Диффузия» представлял собой пат-

рон, снаружи обогреваемый электрическим током. Его заправка осуществлялась твердыми веществами, изготовленными в виде двух цилиндров. На борту после подачи энергии цилиндры расплавились, в течение трех суток две жидкости находились в невесомости, происходила взаимная диффузия. После снятия энергии образец затвердевал и был готов к доставке на Землю.

В другом эксперименте под названием «Диффузия» свинец и медь нагревались до температуры плавления свинца. В течение нескольких часов расплав, в котором медь находилась в твердом состоянии, выдерживался при постоянной температуре. По величине кривизны межфазовой поверхности (раковины), образующейся на границе меди и свинца, позднее определялся коэффициент диффузии (проникновения) меди в свинец.

Зеркала космических телескопов под воздействием космической среды со временем утрачивают свои качества. Оптические характеристики небольших зеркал научились восстанавливать в полете. На борту станций проводились эксперименты по отработке методов нанесения покрытий на различные поверхности, используемые в оптической, а также электронной и аэрокосмической промышленности. Для экспериментов по нанесению покрытий в Институте электросварки им. Е. Патона АН УССР была разработана установка «Испаритель». Метод напыления впервые был использован в космосе в 1975 г. для восстановления просветляющих покрытий оптического телескопа на ОКС «Салют-4». Установка «Испаритель» позволяла в невесомости и вакууме в автоматическом режиме методом термического испарения и конденсации веществ наносить тонкопленочные металлические покрытия на образцы из конструкционных материалов. В установке нагрев образцов осуществлялся электронным пучком. Серии экспериментов на «Испарителе» были продолжены В. Рюминым и В. Ляховым в 1979 г., затем А. Поповым и В. Рюминым в 1980 г., В. Коваленком и В. Савиных в 1981 г.

Установка «Лотос» позволила провести на «Салюте-6» эксперименты по изготовлению элементов космических конструкций. Имелись два контейнера, один из которых наполнен жидкой пластмассой — полиуретаном, другой — вспенивающим веществом. В эксперименте эти компоненты смешивались, смесь под давлением поступала в пресс-форму и там затвердевала. Были получены жесткие прочные изделия с закрытыми порами

и гладкой поверхностью. Однако изделия имели дефекты, обусловленные тем, что пресс-форма заполнялась не сразу.

Ракетно-космическая техника совершенствовалась. При создании нового КК «Союз ТМ» изменения коснулись семи систем корабля: парашютной, аварийного спасения, управления движением, радиосвязи, сближения, двигательной установки и стыковочного агрегата. Новая система стыковки «Курс» позволила причаливать кораблю к станции вне зависимости от ее ориентации. Была расширена зона радиосвязи корабля. Компактнее и легче стали многие системы, благодаря этому корабль на 200 кг больше стал брать с собой полезного груза, а при посадке доставлять на 70—90 кг больше груза с орбиты на Землю. С выводением КК «Союза ТМ» стала возможной раздельная радиосвязь с обоими космонавтами при использовании ИСЗ «Луч».

Совершенствовалась и телевизионная связь с ОКС. Когда-то, в начале 60-х годов, коллектив под руководством докт. техн. наук И. Росселевича создал уникальную телевизионную установку для «Луны-3». В конце 1974 г. при подготовке к полету по программе ЭПАС (экспериментальный полет «Аполлон»—«Союз») была испытана цветная телевизионная система передачи изображений из космоса, которая используется и сегодня. А в 1979 г. телевизионное изображение было принято на борту «Салюта-6». В настоящее время осуществляется двусторонняя телевизионная связь с экипажами, что позволяет увеличить объем передаваемой информации, организовать психологическую поддержку космонавтам.

Ежедневно космонавты, находясь на борту станции, осуществляли контроль состояния ее конструкций. Длительная эксплуатация изнашивает не только работающее оборудование, но и саму станцию, казавшуюся вначале вечной. Появляются коррозия на трубах, микротрещины на иллюминаторах... Чтобы правильно оценить причины разрушений, нужно измерять даже состав внешней атмосферы станции — ауры, составляемой покидаемыми ее молекулами и другими мелкими частицами. Космонавты применяли спектрометры для детального изучения ауры. Чтобы устранить повреждения иллюминаторов, они изнутри закрывались тонкими стеклами; при инструментальных наблюдениях эти стекла снимали. Иллюминаторы также снабжались наружными проз-



рачными крышками с электроприводом. На «Салюте-7» два иллюминатора были уже прозрачны для ультрафиолетового света: это расширило исследовательские возможности станции, предохранило ее от возможности развития попавших с Земли болезнетворных бактерий, а космонавтам позволило даже загорать в космосе.

На поверхности ОКС среди других приборов — и микрометеоритный датчик: попадая в его многослойную «начинку», метеорит оставлял след, по диаметру и глубине кратера можно было судить о параметрах метеорита. На случай больших метеоритных потоков космонавтам давали рекомендации по обеспечению безопасности полета: усилить визуальные и фотографические наблюдения, закрыть иллюминаторы защитными шторками, развернуть комплекс продольной осью к потоку, развернуть вдоль него и панели солнечных батарей. Так, при прохождении Земли через хвост кометы Джакобини—Циннера космонавты В. Джанибеков и В. Савиных получили задание при выходе в космос установить снаружи коллектор метеоритной пыли. Он представляет собой четыре блока кассет, похожих как бы на книжечки с листками из тонкой золотой фольги. По команде с бортового блока книжечки-кассеты раскрылись и начали счет метеоритных частиц. После прохождения облака кассеты закрылись, осталась только одна фоновая. Эта аппаратура создана советскими и французскими учеными.

Особенно важны для перспективных программ космической технологии эксперименты по сварке в космосе. 16 октября 1979 г. на корабле «Союз-6» Г. Шонин и В. Кубасов впервые в мировой практике осуществили сварку и резку металла в космосе на установке «Вулкан», созданной в Институте электросварки АН УССР. Она позволяла вести сварку различными способами: электронным лучом, плазмой и дугой с плавящимся электродом, в автоматическом режиме. На сварочной установке «Вулкан» мощностью 1,5 кВт были проведены исследования по свариваемости алюминиевых сплавов электронным лучом со скоростью 28—36 м/ч. Обнаружено, что микрогравитация не оказывает заметного влияния на формирование сварного шва и глубину расплавления металла.

Наиболее перспективным из сварочных процессов считается дуговая сварка в вакууме. В 1968—1974 гг.

созданы и исследованы процессы дуговой сварки и наплавки в вакууме испаряющимся электродом.

С 1972 г. разрабатывается и исследуется дуговой разряд в вакууме с полым катодом. В 1971 г. была разработана установка «Козерог» — автоматическое устройство общей массой около 10 кг с собственной аккумуляторной батареей. С его помощью исследовалась возможность питания дугового разряда в вакууме от аккумуляторной батареи. В 1973—1974 гг. разработаны специальные устройства, оснащенные горелками с полым катодом, собственными приводами, системами газопитания (питание обеспечивалось от бортовой сети постоянного тока напряжением 27 В). Позднее начали проводиться опыты по нанесению металлических и полимерных покрытий на различные материалы (с помощью этого метода А. Губарев и Г. Гречко в 1975 г. отремонтировали зеркало орбитального солнечного телескопа на «Салюте-4»).

В Институте электросварки АН УССР разработан также универсальный ручной инструмент (УРИ), с помощью которого можно проводить пайку, резку, сварку металлов, напыление материалов на различные поверхности. 25 июля 1984 г. во время выхода в открытый космос В. Джанибеков и С. Савицкая успешно опробовали УРИ.

УРИ назван ручным, потому что космонавт сам выбирает нужный режим его работы в зависимости от решаемых задач. Все узлы УРИ находятся в контейнере размером  $400 \times 450 \times 500$  мм, к которому прикреплен планшет с образцами материалов для обработки. Рабочий инструмент — это моноблок с высоковольтным источником электропитания и двумя электронными пушками. Масса УРИ более 30, моноблока — 2,5 кг. Потребляемая мощность 750 Вт. Для УРИ электронный луч выбран потому, что с его помощью легко концентрировать энергию в небольшом «пятне», а при необходимости равномерно распределять его энергию по большой поверхности. Одна из трудных задач при создании УРИ — отвод тепла, в особенности от той его части, которая в руке космонавта. Кроме того, нужно было защитить человека от вторичного рентгеновского излучения, которое возникает здесь при использовании высокого напряжения. Нежелательно было и попадание на скафандр капель расплавленного металла.

О самочувствии и безопасности космонавтов никогда

не забывают. Для этого совершенствуют медицинское оборудование, тренажеры на борту станции, другие средства поддержания работоспособности. Например, на «Салюте-7» появился прибор «Аэлита»: в небольшом чемоданчике поместилась целая клиника. С его помощью можно снимать электрокардиограмму, изучать деятельность сердца, сосудистой системы, головного мозга с использованием бортового вычислительного комплекса.

Гуманной цели служат эксперименты, проводимые в космосе в области биотехнологии. Получение особо чистых препаратов — одна из основных задач. Более 100 лет назад в Петербурге была получена первая пастеровская вакцина против бешенства. Проведенные с тех пор исследования показали, что чем чище исходный препарат, тем более высокие качества у вакцины. На электрофоретической установке «Таврия» в условиях невесомости достигается высокая степень чистоты материала. Эти работы ведутся космонавтами совместно с Ленинградским НИИ вакцин и сывороток, Ленинградским НИИ эпидемиологии и микробиологии, Крымским медицинским институтом, МВТУ им. Н. Баумана, Институтом биорганической химии АН СССР им. М. Шемякина и другими институтами. Чистые белковые препараты нужны биологам, генетикам, химикам, медикам, специалистам сельского хозяйства.

На «Салюте-7» были продолжены биотехнологические эксперименты по получению в космосе особо чистых биологически активных веществ. Исследования велись в двух направлениях. Во-первых, выделение таких веществ непосредственно на орбите с помощью электрофоретической установки «ЭФУ—робот» — она более автоматизирована по сравнению со своей предшественницей «Таврией». Возвращаемые на Землю компоненты очищенного вещества могут служить эталоном чистоты для вакцин, сывороток, а также для приготовления новых лекарств. Во-вторых, получение на орбите синтетического геля из полиамилакридного раствора, который в земных условиях мог бы стать своеобразным «молекулярным ситом». Используя его в земных условиях, можно повысить степень очистки веществ в три раза по сравнению с контрольными «наземными» партиями геля.

На орбите работали с различными биопрепаратами, растениями, насекомыми и другими живыми объектами. На установках «Гравистат», «Светоблок», «Малахит» изучалось развитие высших растений в условиях искус-

ственной гравитации, а в оранжереях «Оазис» и «Вазон» прорастали под наблюдением космонавтов лук, салат, горох, болгарский перец, томат (выращенный из одной клетки этого растения), биомасса клеток женьшеня.

Клетки биомассы женьшеня послал в космос Кировский биохимический завод. В специальном контейнере они пробыли на орбите 10 дней. Когда контейнер был вскрыт на Земле, результаты удивили специалистов: биомасса женьшеня за 10 космических дней достигла такой стадии развития, на которую в земных условиях понадобился бы месяц.

Хлопчатник стал третьей после пшеницы и гороха сельскохозяйственной культурой, проросшей из семян на советских КА. Его семена были доставлены В. Джанибековым на КК «Союз Т-13». После возвращения на Землю в АН Узбекской ССР было продолжено изучение ростков хлопчатника с целью определения адаптационных возможностей этой культуры и влияния на нее невесомости.

*Исследования на орбитальной космической станции «Мир»* продолжили работы, начатые на «Салютах». Ко времени вывода ОКС «Мир» на орбиту советские космонавты проработали в космосе в общей сложности около 5000 дней. Стало ясно, что станцию можно существенно усовершенствовать, приспособить для выполнения научных и промышленных задач, полнее использовать достижения науки и техники. По некоторым направлениям космической технологии космонавтика начала переходить от экспериментов к промышленному производству.

«Мир» — первый представитель третьего поколения ОКС. В. Шаталов считает, что «Мир» имеет черты завтрашнего дня. Очень большую станцию в целом виде с Земли трудно запустить, запуск станции массой в тысячу тонн потребовал бы гигантской ракеты со стартовой массой в сотни тысяч или даже в миллион тонн. Более целесообразно собирать ее на орбите. Можно собрать и орбитальные космодромы, где будут монтироваться межпланетные пилотируемые и автоматические аппараты.

На «Салютах» оборудование часто простаивало. Когда на них появились «экипажи посещения», эффективность загрузки оборудования улучшилась, но проблема оставалась — необходимо было увеличивать количество стыковочных узлов, вводить специализированные модули.

Астрономические и астрофизические наблюдения с ОКС занимают в программе полета достаточно большое место. Наводить телескопы на исследуемый объект нужно с высокой точностью не хуже нескольких угловых минут. На экспозицию одного источника рентгеновского излучения отводится несколько десятков минут. Число таких источников, подлежащих наблюдению, оценивается сотнями. Станция должна быть развернута так, чтобы и панели солнечных батарей были освещены наилучшим образом. На станциях «Салют» разворот и ориентация требовали постоянных затрат топлива. Чем точнее была ориентация, тем больше были эти затраты. Для пополнения запасов топлива использовались грузовые КК «Прогрессы»: 6—8 «грузовиков» в год позволяли станции летать в ориентированном положении всего лишь до 5—10 % от общего времени. Для комплекса «Мир» была разработана система управления движением вокруг центра масс за счет использования принципов силовой гироскопии. В эту систему входят бесплатформенные инерциальные датчики, вычислительный комплекс и силовые гироскопы (гиродинны).

«Мир» имеет четыре отсека и два основных стыковочных узла, к которым могут причаливать пилотируемые корабли, грузовики и модули. Переходный отсек, помимо основного, имеет еще четыре периферийных стыковочных узла, куда манипуляторы могут переводить прибывающие на станцию модули. Рабочий отсек состоит из двух цилиндров различного диаметра, соединенных коническим переходником. Внутри рабочего отсека две зоны: служебная и бытовая. Аппаратура в служебной зоне закрыта панелями, имеющими приспособления для крепления документации и инструмента. Потолок имеет белый цвет, а «пол» — темно-зеленый. В бытовой зоне уже нет научных приборов: они размещаются в модулях. У первой стенки — обеденный стол-шкаф на шесть человек. Здесь размещаются суточный рацион на каждого члена экипажа, устройство для разогрева пищи с часовым механизмом и звуковым сигналом, контейнер с рукавами-мусоропроводами для сбора отходов. У левого борта — холодильник. На «Мире» рядом с агрегатным отсеком — сантехническая кабина. Умывальник представляет собой прозрачную сферу с овальными отверстиями для рук и лица. На станции две индивидуальные каюты.

Пост № 1 на станции оснащен командно-сигнальной

аппаратурой. Имеются возможности установки новой аппаратуры в соответствии с конкретной программой работ экспедиции. На станции установлен вычислительный комплекс, «загрузка» его магнитных блоков памяти может осуществляться по радиолинии.

На ОКС «Мир» много энергоемких установок: «Корунд», электронный напылитель «Янтарь», «Кристаллизатор», «Электрон» и др. Поэтому предусмотрено наращивание мощности солнечных батарей путем увеличения их площади.

Температура на «Мире» по желанию космонавтов может поддерживаться от 18 до 28°C. Есть системы телевизионной двусторонней связи с Землей, библиотека и видеотека, наборы инструментов.

К ОКС «Мир» планируется доставлять специализированные модули, которые будут стыковаться с ней, наращивая таким образом возможности станции. 12 апреля 1987 г. начал функционировать первый из этих модулей — астрофизический модуль «Квант». Внешне он похож на рабочий отсек станции — цилиндр диаметром четыре и длиной шесть метров. Его масса 11 т, из них третья часть — приборы и оборудование. У него два стыковочных узла: одним он прикреплен к станции, другой предназначен для развития комплекса. Внутренний объем модуля 40 кубометров. На нем автономная система жизнеобеспечения, которая при необходимости может снабжать кислородом жилые помещения станции. На центральном посту — аппаратура и органы управления модулем. Основная часть оборудования — в негерметичном отсеке. На «Кванте» это обсерватория «Рентген», включающая телескоп-спектрометр жесткого рентгеновского излучения «Пульсар X-I» для исследования ядер далеких галактик, телескоп «Фосвич» по изучению заряженных частиц в сверхсильных магнитных полях нейтронных звезд, спектрометр «Сирень-2» для исследования межгалактического газа. В этом же отсеке телескоп «Глазар», работающий в ультрафиолетовом спектре, и установка «Светлана» для получения сверхчистых противовирусных препаратов и фракций микроорганизмов, используемых в народном хозяйстве.

Во время стыковки «Кванта» с «Миром» произошла нештатная ситуация, потребовавшая вмешательства космонавтов. На этапе механического стягивания модуля и станции приблизительно за 40 миллиметров до обеспечения электрического, гидравлического, пневматиче-

ского соединений объектов движение прекратилось. Анализ информации позволил предположить, что в стыковочный механизм попало инородное тело. 11 апреля космонавты вышли в космос. По команде с Земли штанга, стягивающая объекты, была отведена. В конусе, куда входит штанга, оказался спрессованный предмет — контейнер с отходами; лишь инструментом типа автомобильной монтировки его с трудом по кускам удалось от туда удалить. Ю. Романенко рассказывает, что, когда космонавты выходили из станции, они были готовы к худшему — к тому, например, что замята одна из конструктивных деталей стыковочного узла. А увидели всего лишь капроновый пакет со средствами личной гигиены. Видимо, когда готовился к отходу от «Мира» очередной «Прогресс», лаз некоторое время находился без контроля и туда потоком воздуха от вентиляторов втянуло этот «посторонний» предмет. Космонавты не заметили этого и задраили люк. «Прогресс» ушел, а помеха осталась на стыковочном узле «Мира».

Значение этой операции не ограничивается лишь устранением помехи. Впервые космонавты управлялись с таким массивным объектом, как двадцатитонный «Квант»; он еще был с двигательным блоком, который потом отстыковали. Руками они отвели эту махину на максимальный угол относительно станции. Специалисты на Земле засыпали их вопросами: какие усилия прилагали, как слушался модуль? Все это пригодится в будущем при сборке крупных орбитальных объектов.

В июне 1987 г. Ю. Романенко и А. Лавейкин вышли в космос, чтобы смонтировать на внешней стороне «Мира» дополнительную солнечную батарею. Ее стержневой элемент — несущая балка — сложен гармошкой, а рабочая часть батареи напоминала книжку-раскладушку. Развертывание батареи потребовало расширения шлюзового пространства, которое было предусмотрено конструкторами. Космонавты состыковали раздвижную ферму батареи с установленным заранее агрегатом, затем прикрепили к ней две секции фотоэлектрических преобразователей. Во время выхода космонавты установили также на поверхности станции кассеты с образцами различных конструкционных и теплозащитных материалов.

Обычно ноги космонавтов крепятся к кораблю специальными якорями, но Ю. Романенко и А. Лавейкин в этот раз работали без якорей, удерживаемые только

фалом. Во время разворачивания несущая ферма как бы выросла из «бочки», в которую она была сложена. При этом Ю. Романенко использовал домкрат. Общая длина третьей батареи 10,5, ширина — более 3 м, масса — 340 кг. Она дает дополнительную мощность в 2,4 кВт. После установки этой батареи общая энергомощность «Мира» составила 10,1 кВт.

В. Титову и М. Манарову при выходе в открытый космос предстояло заменить детектор рентгеновского телескопа ТТМ. Он создан совместно с голландскими и английскими специалистами в сотрудничестве с советскими учеными. Программа исследований на нем уже была выполнена, но специалисты пришли к выводу, что если заменить детектор, то можно продолжить наблюдения. Как не воспользоваться такой возможностью! Тотчас же был изготовлен новый детектор и доставлен на орбиту. Теперь он в руках у наших космонавтов.

Перед выходом космонавты изучили документацию, совместно со специалистами ЦУПа определили порядок действий. Им нужно было пройти по поверхности станции почти 20 м от торца «Мира» до торца «Кванта». Для перехода со станции на модуль установили специальный трап, по которому космонавты прошли к телескопу и в крайне неудобном положении приступили к работе. Неповоротливый скафандр, малоподвижные перчатки сильно затрудняют выполнение таких работ. Ограниченная длина фала не позволяла выбрать рациональный маршрут передвижения, сковывала движения.

Новый детектор представлял собой внешне цилиндр диаметром основания 50 и высотой 20 см, масса его 62 кг. По земным меркам, характеристики более чем скромные. Но в космосе с ним, да еще со связками приспособлений «ходить» по станции в местах, не приспособленных для этого, было трудно.

Конструкция детектора не была рассчитана на то, что ее будут снимать в космосе. Поэтому эту операцию сначала выполнили на Земле, определили рациональные приемы работы, необходимый набор инструментов. Чтобы снять старый детектор, предстояло открыть замок бандажного кольца. «Прогресс» доставил на станцию семь различных инструментов — винтовой съемник наподобие тех, которыми ремонтники на Земле стягивают с вала прочно напрессованный подшипник; миниатюрный наждачный резак, работающий от автономного электродвигателя; специальную дрель и др.



Вся внешняя поверхность модуля окутана многослойной экранно-вакуумной теплоизоляцией. Стоит ее надрезать, как она тут же распушится и не даст работать, поэтому для ее закрепления придумали специальные скрепки. После завершения замены детектора на нарушенное место должна была быть наложена заплатка изоляции.

Космонавты вначале вскрыли двадцатислойное покрытие изоляции, теперь нужно провести тонкий демонтаж электроцепи, откусить хомуты и винтики, вскрыть замок крепления. Но блок оказался намертво прихваченным шестью болтами, да еще и залитыми эпоксидкой. Кусачки скользили, стремились выпасть из непослушных рук космонавтов. Болтики, хорошо удалявшиеся во время стендовых тренировок, не поддавались. С большим трудом, с опозданием по отношению к запланированному времени удалось их сломать. А патефонный замок крепления с первого раза не поддавался: космический холод и излучения как бы сварили металлические его части, поэтому ключ не выдержал нагрузки, сломался. Пришлось переносить решение этой задачи на следующий раз. Подготовившись, космонавты через несколько дней все же вскрыли замок и сменили детектор, подсоединили к новому блоку электрические кабели и восстановили теплоизоляционное покрытие обшивки модуля.

Во время выхода в космос В. Титов и М. Манаров «помыли» иллюминаторы «Кванта» (специальным инструментом — щеткой из мягкой меди), так как они перестали быть прозрачными, появился налет. Они установили также фиксирующее устройство «Якорь» для оказания помощи последующему выходу в космос, смонтировали антенну для любительской радиосвязи.

Во многих экспериментах в космосе, особенно во время выхода космонавтов в открытый космос, встречаются ситуации, когда надо принимать решение, основываясь на своем опыте, знаниях, умении, даже и смелости, что не предусматривается ни одной инструкцией, ни одним приказом. Личность исследователя проявляется в его поступках. В самоотверженном научном и экспериментальном труде космонавтов, порою рискующих своей жизнью, появлялись и появляются новые данные, новые знания, необходимые науке в целом и каждому человеку. Академик Ж. Алферов сказал об этом так: «Науку нельзя узнавать лишь из журналов. По-настоя-

щему она узнается из собственных работ, тогда и журналы читаются иначе. Нам, ученым, надо быть мобильнее, проявлять инициативу, не дожидаясь инструкций и постановлений директивных органов. Постановление может выйти, когда уже станет ясно, что мы в этой области отстали»<sup>3</sup>.

На «Мире» были предложены исследования процессов в невесомости. Использовалась все та же, только усовершенствованная, установка «Пион-М» — своего рода зрительная труба, на одном конце которой источник света, в центре — кювета с изучаемой жидкостью или газом, на другом конце — фотопленка; серия полученных с его помощью снимков характеризовала термoкапиллярную конвенцию.

В экспериментах «Вектор» и «Вихрь» изучалось влияние вибраций и вязкости на конвективные движения в жидкости, влияние размера газовых включений на интенсивность этих движений, поведение несмешивающихся жидкостей и др. В эксперименте «Колосок» изучалось поведение аэрозолей в невесомости: мелкие стеклянные шарики, частички оксида кремния и другие вещества слипаются в невесомости своеобразно — образуются комковатые структуры, линзы, тарелки, деревья и другие причудливые формы.

Новые результаты принесли биотехнологические эксперименты. В. Титов и М. Манаров получили партии интерферона, в которых полностью отсутствуют примеси. В экспериментах с культурами животных и растительных тканей обнаружено, что в невесомости увеличивается их биологическая активность, что позволяет рекомендовать их в качестве элемента питания для восстановления работоспособности космонавтов в длительных полетах. На установке «Светлана» проведена очистка биологически активных веществ электрофоретическим методом. На установке «Ручей» проверялась технология: очистки веществ, при которой струйка раствора идет поперек электрического поля, — это увеличивает производительность и повышает чистоту противовирусного человеческого интерферона; из полученных на орбите препаратов на Земле изготовлены опытные партии антисывороток и диагностических препаратов.

Новые возможности «Мир» продемонстрировал для космического материаловедения (табл. П. 1 Приложе-

<sup>3</sup> Смена. 1986. 23 февр.

ния). «Прогресс» доставил самую крупную технологическую установку — «Корунд». Ее предшественники — «Кристалл», «Сплав», «Магма-Ф». От них «Корунд» отличается не только большими массой и габаритами (ее масса 136 кг), но и большими возможностями. Это опытно-промышленная установка. На первом ее образце А. Березовой и В. Лебедев на «Салюте-7» получили монокристаллы селенида кадмия и антимонида индия — полупроводниковых материалов для электронных приборов. После их испытания на Земле оказалось, что их свойства близки к расчетным. Модернизация «Корунда» рассчитана на то, чтобы установка стала промышленной, позволила отработать базовые технологические процессы. Их намечено испытать шесть для десяти различных материалов. В «Корунд» вмонтирована мини-ЭВМ: можно изменять как профиль теплового поля, так и скорость перемещения ампул с образцами. Температура может меняться от 20 до 1270 °С и поддерживаться с точностью до полуградуса. Опыты длятся от 6 до 150 ч.

В эксперименте «Пальмира» во время совместного советско-сирийского полета выращивались кристаллы из водных растворов, изучался процесс образования большого количества мельчайших кристалликов, т. е. массовой кристаллизации. Схема эксперимента проста. Представьте себе два медицинских шприца, соединенных пластиковой трубкой с зажимом от капельницы. На Земле шприцы заполняются растворами разной концентрации, а в космосе открывался зажим и вещества перемешивались.

Начала работать установка «Кристаллизатор», первые эксперименты на ней провели на ОКС «Мир» в июле 1987 г. Ю. Романенко и А. Лавейкин. «Кристаллизатор» — советско-чехословацкая установка нового поколения. Технологические процессы на ней идут от нескольких часов до нескольких суток. В течение всего процесса поддерживается постоянное соотношение температур и давлений на фронте кристаллизации, контролируются другие параметры. Стабильность температуры в диапазоне до тысячи градусов обеспечивается пятью мощными нагревателями. Одновременно в печи можно обрабатывать девятнадцать различных образцов — от стекол до полупроводников с обеспечением индивидуального режима для каждого из них. Блок печи снабжен микропроцессором, управляющим всей работой.

В эксперименте «Образцы» был установлен на внешней поверхности станции «чемоданчик» со множеством ячеек, в которых находился набор материалов, необходимых для исследований по заказу французских фирм, работающих в области космонавтики. Полгода они будут подвергаться воздействию космоса, затем поступят к специалистам.

К возможностям ОКС «Мир» проявили интерес зарубежные коммерческие фирмы. В 1988 г. американская фирма «Пейлоуд Системз» заключила соглашение с Главкосмосом СССР о проведении экспериментов на орбитальной станции «Мир» на коммерческих основах. Это посредническая фирма, не раскрывающая своих клиентов. Оборудование для их проведения будет доставлено в СССР в опломбированных контейнерах. Космонавты должны будут включать и выключать установки по заданной программе и наблюдать за процессом кристаллизации. Плата за установку этого оборудования составляет 10—15 тыс. долл. за 1 кг.

Для второго советско-французского космического полета эксперименты отбирались во Франции на основе конкурса, в котором участвовало более 100 организаций. После первого тура осталось 40 экспериментов, затем для экспериментальной программы полета «Арагац» было отобрано 15 экспериментов.

Один из экспериментов — «Виминаль» — предусматривал манипуляции с ручкой управления КК: как она поведет себя в космическом полете. Мало кто знает, что этот принцип управления летательным аппаратом («аппарат идет за ручкой») был запатентован пионером французской космонавтики Робером Эсно-Пельтри еще в начале века.

Во время эксперимента «Эркос» определялось содержание тяжелых ионов в околоземном пространстве для того, чтобы проверить расчетные математические модели и оценить работоспособность различных микросхем электронной памяти, — ранее было замечено, что космическое излучение вредно воздействует на электронное оборудование и даже приводит к авариям на спутниках.

Эксперимент «Эра» проводили советский и французский космонавты во время их выхода в открытый космос. В космосе нужно было раскрыть конструкцию из углепластиковых трубок (в сложенном виде она напоминала вязанку хвороста). С первого раза конструкция не раскрылась, пришлось ее встряхнуть. Затем установ-

ленный на ней электропривод по заданной программе начал ее трести. Установленные в различных местах более 20 акселерометров показали реальное поведение конструкции, результаты измерений регистрировались автоматически. После завершения эксперимента космонавты включили термонож, который расплавил кевларовую нить, и пружина оттолкнула конструкцию от станций.

Вместо запланированных 4 ч 20 мин космонавты провели в космосе почти шесть часов — ресурс скафандра был на пределе, надо было торопиться на станцию. Но возникла непредвиденная задержка: никак нельзя было закрыть люк за вошедшим последним Ж. Кретьеном. Если бы так и не удалось его закрыть, пришлось бы возвращаться по другому пути на КК и срочно спускаться на Землю. Но все обошлось, люк закрыли, и через несколько минут космические монтажники уже были на станции.

Эксперимент «Амадеус», как и «Эра», проводился совместно с французской фирмой «Аэроспециаль». Главная его цель — использование нового типа шарнирного соединения «Карпантье» — своеобразного подшипника без шариков. С помощью инфракрасной подсветки, угловых отражателей и двух видеокамер фиксировались все детали процесса работы шарнира.

На «Мире» обрабатывались базовые процессы кристаллизации полупроводниковых материалов с целью подготовки к производству в космосе опытных партий арсенида галлия, оксида цинка, сульфида кадмия.

На «Мире» биотехнологические эксперименты выполнялись на высокопроизводительных электрофоретических установках «Ручей», «Светлана» и биокристаллизаторах «Айнур» и «Биокрист». Полученные монокристаллы белков изучаются в земных условиях. Доставленные с орбитальной станции высокоактивные виды микроорганизмов используются в селекционных работах ВНИИ «Биотехнология». Большую научную перспективу имеют полученные в космосе «молекулярные сита», обладающие высокой разрешающей способностью при биологических анализах веществ.

Несмотря на столь насыщенную программу первых лет работы «Мира», к началу 1989 г. считалось, что технологические эксперименты занимали меньший объем по сравнению с другими. Начальник Главкосмоса СССР А. Дунаев объяснил это тем, что на орбиту в период

первых экспедиций готовился новый технологический модуль, который и позволит при хорошем приборном оснащении наверстать упущенное. Для него на «Мире» еще ранее планировалась целая система аппаратуры. На запускаемом в конце 1989 г. технологическом модуле намечено организовать опытно-промышленное производство, которое будет давать до 100 кг материалов в год. В дальнейшем на смену «Миру», как считает Ю. Семенов, должны прийти новые комплексы, имеющие массу в сотни тонн и энерговооруженность до 500 кВт.

К середине 1989 г. на борту «Мира» было проведено около 5000 сеансов различных исследований, в которых использовалось свыше 60 наименований исследовательской аппаратуры и оборудования общей массой 9 т. В то же время состояние работ в целом по программе ОКС «Мир» не удовлетворяло специалистов. Космонавты отмечают, что многие поставляемые на борт приборы «сырые», половина научного оборудования не работает, много тратится времени на ремонтно-технические работы. Затянулось дооснащение орбитальной станции «Мир». Новые модули в назначенное время оказались неготовы. В связи с этим пришлось корректировать программу исследований. Неопределенность дальнейших работ, отсутствие лидера в космонавтике (как в персональном смысле, так и в смысле конкретной организации) привели к появлению у ведущих специалистов, решающих отдельные задачи космических исследований, пессимизма в оценке ближайших перспектив этой передовой отрасли науки и техники. Жаль, что ожидания многих специалистов в получении от Главкосмоса СССР новых возможностей в этом плане пока не оправдываются. «Пробуксовывает» и Академия наук СССР. «Космическим долгостроем» назвал В. Шаталов ситуацию, сложившуюся на орбите к середине 1989 г.

*Исследования за рубежом* в области космической технологии представлены в основном работами, проводимыми в США, Западной Европе и Китае. Их руководство осуществляется специально созданными государственными органами, структура и приоритеты работы которых периодически пересматриваются. Обязательным атрибутом предвыборной программы нового претендента на пост руководителя страны стали его предложения по дальнейшим действиям в области космических исследований.

Недавно правительство США приняло решение к уже

существующей развитой структуре управления космонавтикой добавить национальный космический совет при президенте США, который будет осуществлять общенациональную космическую политику. Его возглавит вице-президент Д. Куэйл, а членами совета станут государственный секретарь, министры обороны, торговли, транспорта, директор административно-бюджетного управления, помощник президента по национальной безопасности, директор ЦРУ и директор НАСА. В Италии одобрен законопроект о создании Итальянского космического агентства, в ФРГ обсуждается возможность создания Германского агентства космических исследований.

В связи с этим напрашивается сравнение с положением в нашей стране. Наиболее точно его охарактеризовал В. Шаталов в интервью корреспонденту газеты «Известия» в мае 1989 г., за несколько дней до начала работы Съезда народных депутатов. По его мнению, нашей космонавтике жизненно необходим эффективный компетентный штаб. И видимо, не надо изобретать велосипед. Есть мировой опыт, и, исходя из него, надо нам создать Космическое агентство Советского Союза. Оно должно работать в условиях полной финансовой гласности. Приоритеты должны определяться с помощью научной общественности. Ведь действительно есть земные проблемы, более важные, чем космические. В. Шаталов считает безответственными разговоры о том, что нужно вообще приостановить развитие космонавтики. Отсутствие реального «хозяина» у космонавтики привело к тому, что фактически вся ответственность за ее судьбу лежит на создателях космической техники. Но их главные усилия направлены на то, чтобы без конца совершенствовать технику. Академия наук СССР и другие ведомства не проявляют заботы о ее отдаче. Это неправильно. Сейчас есть все необходимое для начала широкой практической работы в космосе. Надо только изменить приоритеты и создать организацию, которая считала бы и расходы, и доходы от космонавтики.

В 1971—1972 гг. на КК «Аполлон-14, -16, -17» проведены технологические эксперименты, из которых наиболее интересные результаты дали впервые выполненные работы по электрофоретическому разделению материалов. В полете по программе ЭПАС применялась разработанная в ФРГ электрофоретическая установка МА-014, в которой реализован зональный метод разделения веществ. На КК «Аполлон-14 и -17» изучалась конвекция,

вызванная поверхностным натяжением; эксперименты показали, что в дальнейшем необходимо определить влияние размеров сосуда, смачиваемость его боковой стенки и условий нагрева на результирующее течение и распределение температур в жидкости.

В 1973—1974 гг. выполнена программа исследований на ОКС «Скайлэб». Изучались капиллярные явления с целью создания и изучения больших поверхностей раздела: 1) для преодоления трудностей, связанных с влиянием размеров системы в наземных условиях; 2) для получения комбинаций малой кривизны и малой гравитации, что позволяет выявить действие молекулярных сил.

Как известно, у золота и германия различные плотности (соответственно 14,4 и 5,5 г/см<sup>3</sup>), из-за чего их расплавы не смешиваются в условиях воздействия силы тяготения. И все же на Земле удалось получить небольшие слитки сплава золото—германий, изучение которых показало, что сплав обладает сверхпроводимостью при низких температурах. А вот крупные слитки такого сплава, необходимые электронной промышленности, удалось получить только в космосе в специальной печи в течение 4 ч.

Неограниченное распространение информации о космических достижениях в США вызвало большой интерес к ней со стороны самых различных деловых кругов. Это требовало притока в науку и промышленность новых кадров, профессионально подготовленных в области космонавтики. Понимая это, правительство США принимало специальные меры к стимулированию информационного обеспечения системы просвещения и образования на основе результатов космических исследований. Наряду с этим создавались специализированные учебные заведения, среди которых можно назвать Школу юных космонавтов и Международный космический университет.

Школа юных космонавтов была учреждена Р. Рейганом 17 октября 1984 г. как частное учебное заведение, предназначенное для подготовки учащихся по естественным наукам и математике применительно к космонавтике. Филиалы этой школы были созданы во многих школах США. Их финансировали НАСА и аэрокосмические фирмы, часть средств выделяли правительственные и неправительственные учреждения. Ее выпускники должны в начале XXI в. работать в области космической технологии.



В январе 1988 г. начал работу Международный космический университет, созданный учеными, промышленными и государственными деятелями различных стран. Сто лучших выпускников вузов мира будут изучать в нем в течение пяти лет курсы космической науки, технологии, коммерции и права. Первые занятия прошли в Массачусетском технологическом институте. Каждый год университет будет переезжать в другие учебные центры планеты, а спустя некоторое время ему определят постоянную «прописку».

Большое значение не только для национальной американской программы, но и для мировой космонавтики имел ввод в эксплуатацию многоцветного транспортного космического корабля (МТКК) «Спейс шаттл». Выступая в Государственной библиотеке им. В. И. Ленина, летчик-космонавт О. Макаров сказал, что «Шаттл» — очень мощная космическая машина; хорошо, если она будет использоваться для решения мирных задач; при военной ориентации полетов «Шаттла» резко возрастет угроза жизни людей всего мира.

Действительно, опасность со стороны «Шаттла» существовала, существует и сегодня. Некоторые его полеты засекречены, так как в их программе — заказы Пентагона. Но политический климат на Земле меняется к лучшему, это не может не сказываться на планах милитаризации космоса. Экономические задачи США занимают большое место в программе «Шаттла», их доля будет расти, вытеснять военные эксперименты.

Среди новых, интересных экспериментов на борту «Шаттла» — получение латексных шариков правильной формы диаметром около 10 мкм (на Земле больше 3 мкм получить не удавалось). Известно, что есть природный (млечный сок каучуконосных растений) и синтетический латексы; шарики из него применяют для калибровки электронных микроскопов и другой точной техники, при диагностике рака, исследовании глаукомы и в других целях.

С помощью «Шаттлов» на орбиту выведено много различного технологического оборудования. Так, в седьмом его полете в июне 1983 г. полезную нагрузку составили: оборудование, установленное на спутнике-платформе «СПАС-01» (ФРГ); комплект оборудования ОСТА-2 (НАСА и ФРГ); установка CFES фирмы «Мак-Доннелл—Дуглас» (США) для электрофореза в потоке жидкости; установка MLR (монодисперсный латексный ре-

актор) Национального бюро стандартов США; оборудование фирмы «Эджин» (США) для исследования пайки металлов в вакууме; отдельное оборудование, подготовленное молодыми специалистами США. Во время девятого полета МТКК «Спейс шаттл» в 1983 г. на орбиту был выведен орбитальный блок «Спейслэб-1», разработанный Европейским экономическим агентством (ESA); из 70 запланированных на нем экспериментов 36 экспериментов относились к космическому материаловедению. Во время 22-го полета МТКК «Спейс шаттл» в 1985 г. по научной программе ФРГ был проведен большой цикл экспериментов по космическому материаловедению.

Случались и неожиданности, обостряющие внимание к качеству подготовки КА к работе в космосе. Так, во время профилактических работ на борту «Дискавери» между внешней обшивкой корабля и обшивкой кабины экипажа был обнаружен гаечный ключ. Видимо, его потерял кто-то из рабочих компании «Рокуэлл интернэшнл», создавшей корабль. «Заяц» совершил шесть космических полетов! Можно только представить, сколько бед он мог бы натворить, переместившись в невесомости в жизненно важные участки корабля.

В США наряду с пилотируемым намечено создать непилотируемый космический корабль многоразового использования. В августе 1987 г. НАСА объявил конкурс на его проект. Он должен обладать способностью доставлять на орбиту груз массой около 45 т (т. е. в два раза больше, чем корабли «Спейс шаттл»).

Трагедия с «Челленджером» 28 января 1986 г. нарушила космические планы не только США, но и многих стран, связанных с американской программой полетов ТКК «Спейс шаттл». США отказались от участия в полетах частных лиц, не являющихся профессиональными космонавтами, в связи с риском катастроф. Было принято решение разработать более совершенную систему спасения экипажа в случае катастрофы; лучшим ее решением оказался вариант, имеющий в своем составе телескопический шест, — он был испытан уже в начале 1988 г. на самолете (сама система спасения разработана в центре Джонсона). В связи с задержкой плановых полетов МТКК образовалась очередь на вывод на орбиту полезных грузов, это привело к скачку цен: если в 1985 г. запуск ИСЗ массой 2 т стоил около 50 млн, то теперь — на 20 млн долл. дороже.

После катастрофы 28 января 1986 г. МТКК «Спейс

шаттл» центральной инженерной проблемой в НАСА стало обеспечение безопасности астронавтов. В конструкцию и оборудование трех оставшихся МТКК запланировано внести свыше 100 усовершенствований для повышения безопасности полета. В новом, четвертом МТКК, который планируется создать к 1992 г., предполагается значительно повысить надежность всех систем, связанных с безопасным пребыванием на нем людей.

1 октября 1987 г. Комиссия по ассигнованиям сената США одобрила бюджет НАСА на 1988 финансовый год в сумме 9,098 млрд долл., из них 558,7 млн долл. выделялось на продолжение разработки ОКС. В конгрессе и сенате США все чаще стали раздаваться критические голоса в адрес национальной космической программы. На уровне, позволяющем публиковать результаты, проанализировано всего лишь менее 5 % всех данных, полученных в рамках космической программы США. Неэффективен и замедлен процесс распространения данных, в то время как удельная стоимость космических систем растет. Потребители предъявляют обоснованные претензии к исследовательским проектам. Чтобы удовлетворить их требованиям, необходимо тесное сотрудничество с разработчиками системы на всех этапах ее создания с использованием экспериментальных макетов, обеспечение тесного сопряжения наземных исследований с научным оборудованием на борту КА.

В отличие от СССР (имеющего ракеты-носители различной мощности) в США набор средств выведения полезных грузов в космос был ограничен. Авария «Челленджера» показала, что даже для малых ИСЗ (массой менее 225 кг) необходимы дублирующие средства доставки, и нельзя полагаться полностью на ТКК «Спейс шаттл». Кроме этого, подкомиссия палаты представителей США по космическим исследованиям в июле 1987 г. высказала опасение, что ТКК «Спейс шаттл» не сможет обеспечить даже развертывание ОКС (для сборки ОКС выделено пять полетов ТКК в год), и высказалась в пользу создания тяжелой новой ракеты-носителя. НАСА постоянно испытывает недостаток в средствах, в то же время только в последние годы министерство обороны США тратит на космонавтику в два раза больше, чем НАСА. Межведомственная комиссия правительства США по космосу, чтобы хоть как-то помочь финансированию полетов ТКК, рекомендовала повысить тариф за использование «Шаттла» до 245 млн долл., но НАСА

все-таки добилось решения административно-бюджетного управления утвердить тариф в размере 110 млн долл. Отмечалось недостаточное привлечение частного капитала на первых этапах при развертывании космических программ.

В то же время, как явствовало из правительственных источников, НАСА должно создавать возможности для коммерческого использования космоса, но не конкурировать с частным сектором. А для координации этих работ предлагалось создать на междуведомственной основе совет директоров, которому подчинить все запуски. Тем временем при Совете экономической политики правительства США была создана рабочая группа по коммерческому космосу, в задачи которой входило привлечение частного капитала и стимулирование создания промышленных установок в космосе. Уже тогда была высказана идея о создании в США специального государственного совета по работам в условиях микрогравитации на борту КА. Среди новых начатых в эти годы разработок — промышленная установка ISF для коммерческих исследований и получения материалов в космосе, запуск которой США планирует в 1992 г.

В конце 1987 г. члены комиссии по ассигнованиям палаты представителей конгресса США заявили, что они блокируют финансирование контрактов на разработку ОКС, если НАСА не гарантирует расширение работ по материаловедению в период до ввода ОКС. По мнению комиссии, необходимые мероприятия НАСА включают: 1) поддержку создания орбитальной платформы; 2) модификацию одного из образцов МТКК «Спейс шаттл», обеспечивающую увеличение длительности его орбитального полета; 3) осуществление двух полетов орбитальной лаборатории «Спейслэб», специально предназначенных для исследований в области материаловедения; 4) выделение дополнительных ассигнований на исследования по материаловедению в 1988 фин. г.; 5) разработку средств автоматизации и робототехники для ОКС.

Американская газета «Юнайтед Стейтс ньюс энд Уорлд рипорт» 4 марта 1984 г. писала, что, согласно прогнозу консультативной фирмы «Центр космической политики», объем промышленного производства в космосе к 2000 г. достигнет 65 млрд долл., в том числе: медикаменты — 27 млрд; оптическое стекло — 11,5 млрд; кристаллы для электронной промышленности — 3,1 млрд долл.

США, как и в других отраслях науки, в области космонавтики сотрудничает со своим соседом Канадой. В принятой Канадой в 1984 г. программе космических исследований предусмотрено исследование микрогравитации и ее влияния на живые организмы и материалы. В США заинтересованы в сотрудничестве с Канадой, так как разрабатываемый ею мобильный центр обслуживания необходим уже при сборке ОКС. В то же время Канада, судя по переговорам в сентябре 1987 г., не согласна с использованием ОКС в военных целях, настаивает на управлении ОКС через международный совет, возражает против распространения на ОКС ограничений законодательства США об экспорте технологии. НАСА и Канадское министерство науки и техники договорились о том, что для ОКС Канада поставит мобильный обслуживающий центр, а взамен получит возможность участвовать в управлении работой ОКС и использовании ее возможностей. Предполагается, что американская ОКС будет введена в строй в 1997 г.

В конце июля 1984 г. в США был опубликован документ «О национальной политике в области использования космического пространства на коммерческой основе». Белый дом дал «зеленую улицу» корпорациям, вовлеченным в космические программы, и заверил, что долгосрочной политикой правительства будет поощрение инвестирования частного капитала в разработку и производство новых космических систем, в том числе военных. Для этих корпораций предусмотрены налоговые льготы и другие меры. Частная инициатива в космонавтике получила такое сильное развитие, что появились даже разработки КА отдельных лиц. Так, оставшийся офицер американского военно-морского флота Роберт Труа начал работать над созданием собственного космического аппарата для вывода в космос грузов на коммерческой основе. Он не одинок в таких начинаниях. Его поддерживают несколько крупных фирм, проведены успешные испытания его ракеты-носителя. В этом ему помогает опыт, приобретенный при разработке ракетной системы «Полларис».

Правда, стремление получить экономическую выгоду иногда заводит предпринимателей в области, далекие от провозглашенного ООН гуманистического принципа космонавтики. Иначе как можно объяснить тот факт, что официальные власти США одобрили планы компании «Спейс сервис инкорпорейтед» по захоронению умер-

ших в космосе. Планируется запуск в космос специальных ракет с прахом в миниатюрных капсулах на высоту 3000 км, где они будут оставаться, по расчетам, не менее 63 млн лет.

Для рассмотрения хода работ по ОКС назначена специальная комиссия Национального исследовательского совета (NRC) США. Общие затраты на создание ОКС оцениваются в 27,5 млрд долл. (НАСА оценивает в 16 млрд долл.). Основные неопределенности программы: выбор окончательной компоновки ОКС, определяемый национальными целями, финансовыми возможностями и другими факторами; степень участия других стран; роль министерства обороны США; выбор транспортных космических средств. Уже заключены или находятся в стадии подготовки к выдаче основные контракты по программе. В связи с проектом ОКС рекомендовано повысить длительность полета ТКК «Шаттл» до 14 сут, а в дальнейшем дополнить его разовой ракетой-носителем, ввести на ОКС специальный КА для спасения ее экипажа в случае аварийных ситуаций.

В планах создания американской станции большое внимание уделяется технологическим работам. Так, предполагается, что после вывода на орбиту и включения в состав станции блока-лаборатории начнется эксплуатация станции в режиме посещения и пойдут исследования в области космического материаловедения, выращивания кристаллов белковых веществ и бесконтейнерных технологических экспериментов. После вывода второго герметизированного блока будет развернута программа автономного (в небольших объемах) проведения технологических экспериментов.

5 января 1988 г. Р. Рейган утвердил национальную политику США в космосе, охватывающую три сектора активности: военный, гражданский государственный и гражданский частный; впервые заявлено о поощрении использования на орбите опорожненных внешних топливных баков ТКК «Спейс шаттл». А 11 февраля 1988 г. Р. Рейганом утвержден документ, получивший название «новой коммерческой космической инициативы»; привлечение частного сектора рассматривается как главный способ преодоления отставания США в космонавтике. Еще более тесное сотрудничество намечается в международных проектах. В связи с международным космическим годом анализируются планы развития международного сотрудничества в космосе, выдвинутые на

конгрессах Международной астронавтической федерации:

1. Создание исследовательского и образовательного центра «Лунный парк».

2. Учреждение международного совета дистанционного зондирования.

3. Осуществление исследований планет типа Земли и небольших первичных небесных тел типа комет и астероидов.

4. Расширение запусков КА типа «Эксплорер».

5. Разработка международных стандартов на установки и оборудование для проведения экспериментов в космосе.

6. Создание банков данных о поведении организма человека в условиях невесомости.

7. Создание небольшой экспериментальной установки для преобразования и использования солнечной энергии.

8. Координация экспериментов по обработке биологических препаратов и материалов в условиях микрогравитации.

9. Осуществление ряда проектов в области космической связи, включая спутниковую систему оказания медицинских услуг в удаленных районах.

По мнению иностранного члена АН СССР, президента Национального центра космических исследований Франции Ж. Лионса, XX в. породил два самых выдающихся научно-технических достижения — электронно-вычислительные машины и ракетно-космическую технику. Эти области разработок оказались на переднем фронте научно-технического прогресса, чем сразу же решили воспользоваться военные специалисты. Уже в октябре 1959 г. США испытали противоспутниковое оружие, применив ракету, запущенную с бомбардировщика В-47 для перехвата ИСЗ «Эксплорер-6». В 1982 г. в США было учреждено космическое командование ВВС, через год аналогичное командование было создано в ВМС. Позже было организовано объединенное космическое командование.

Результаты работ в областях космической технологии, космонавтики в целом с первых лет полетов начали использоваться Пентагоном, несмотря на протесты ученых и общественности. Используя новые возможности, военное ведомство разработало различные проекты модернизации военных систем, ввода в строй новых, в том

числе средств уничтожения. В качестве примеров назовем две разработки — совершенствование средств связи с подводными лодками и создание лазерного оружия.

В настоящее время связь с американскими подводными лодками в погруженном состоянии осуществляется на сверхдлинных радиоволнах. Сигналы таких частот способны проникать в толщу воды на глубину до 50 м. Используются также короткие и ультракороткие волны, однако для приема таких сигналов подводная лодка должна подняться на перископную глубину и поднять выдвижную антенну, рискуя быть обнаруженной. Недостатки существующих систем связи — низкая скорость передачи данных, большие размеры береговых антенных систем, громоздкость энергетических источников питания и их уязвимость от ракетных ударов. Лазер позволяет перенести в оптический диапазон принципы передачи информации, разработанные для радиодиапазона. С помощью света можно передать в единицу времени информации в миллион раз больше, чем с помощью радиоволн метрового диапазона. Плотность передачи информации по лазерному лучу — до  $10^9$  бит/с. Еще в декабре 1979 г. военные специалисты США провели первые эксперименты по использованию лазера для передачи информации, хотя туман, низкая облачность были помехами для распространения лазерного луча. Распространение лазерного луча зависит также от частот спектра (сигналы в сине-зеленой части спектра проникают сквозь большую толщу воды). Наземные, плавающие и воздушные комплексы радиоканалами связываются с ИСЗ, на котором установлен лазер, сориентированный на находящуюся на глубине подводную лодку. В эксперименте луч лазера проникал на глубину до 200 м. Для спутниковых лазерных систем связи в МО США разработаны системы на основе лазеров на хлористом ксеноне с цезиевым атомным резонансным фильтром. Ожидается, что ресурс твердотельных лазеров превысит 10 000 ч. К 1990 г. первая система будет уже установлена на лодках в боевой готовности.

В рамках программы СОИ разрабатываются и модернизируются для боевого применения ряд лазерных систем и систем пучкового оружия. Мощный лазер наземного базирования «Миракл» предполагается использовать в качестве противоспутникового оружия; его совершенствование и приспособление для этих целей обойдется примерно в 18 млн долл. Такой лазер сможет



поражать не только низколетящие цели, но и спутники. В Уайт-Сэндс, где размещен «Миракл», ожидается строительство еще более мощного лазера, первая очередь которого потребует затрат в 1,5 млрд долл. Генерал ВВС США Джон Пиотровски — руководитель Объединенного командования аэрокосмической обороны Северной Америки — активный сторонник модернизации лазера «Миракл».

При поддержке военных принято решение доставить на орбиту 50-тонную космическую платформу по частям с помощью двух ракет «Титан-4»; на ней планируется к концу 1993 г. разместить химический лазер «Альфа», предназначенный для уничтожения межконтинентальных баллистических ракет.

В рамках СОИ разрабатывается электромагнитная пушка, которую предполагается, в частности, использовать для выведения на орбиту КА. Несмотря на малую массу таких КА, выводимых в дальние районы Солнечной системы (порядка 1 кг), в перспективе с созданием миниатюрных приборов этот метод старта может быть экономически выгодным. К 1993 г. в атомной лаборатории в Лос-Аламосе (штат Нью-Мексико) будет изготовлен и начнет действовать первый демонстрационный образец пучкового оружия, с помощью ТКК эту установку предполагается вывести на околоземную орбиту и провести ее испытание. Пучковое оружие, как считают, к 1998 г. будет готово для размещения в космосе.

Недавно сторонники милитаризации космического пространства опубликовали в США новый проект «Сверкающие камешки». Он основывается на изобретении Л. Вуда, физика Ливерморской лаборатории. Его противоракета имеет длину всего около одного метра, весит в снаряженном топливом состоянии 45 кг. Ее датчики обеспечивают надежное обнаружение пуска баллистической ракеты и слежение за ней на разгонной фазе полета. Успешно проведены наземные испытания этого нового вида оружия, обсуждается вопрос о размещении на Земле и в космосе нескольких тысяч таких антиракет. Мечтая создать для себя надежный «ракетный зонтик», американские военные стремятся обеспечить себе право безнаказанного военного диктата через космос.

Сторонники и инициаторы вывода оружия в космос пропагандируют свои идеи едва ли не как самые гуманные: ведь оружие убирается с Земли и выводится в космос. При этом не учитывается, что жизнь сконцентри-

рована только на Земле в ее тонкой и хрупкой оболочке, которую называли биосферой. Она тесно связана с космическим пространством, откликается на любые происходящие в нем процессы. Если допустить изменение радиационной обстановки в околоземном пространстве, то это сразу же начнет негативно сказываться на многих биологических процессах. Кроме этого, не следует верить в то, что кто-то сможет ограничить масштабы войны только космосом. Академик Б. Раушенбах считает, что только очень наивный человек может предположить, что «звездная война» не спустится на Землю. Приведем простейший пример. Оружие, выведенное в космос, будет в конечном итоге управляться с Земли, и ядерный удар по наземным центрам управления и связи — более чем естественный эпизод в такой войне — эпизод, открывающий дорогу ядерному конфликту на Земле, а не в космосе.

В Западной Европе холодно встретили предложение США активно подключиться к программе СОИ и в то же время с энтузиазмом разработали и начали реализовывать собственную программу ускоренного научно-технического развития «Эврика», которая предусматривала, в частности, решение задач космонавтики. Наиболее актуальны были (и остаются сегодня) космические программы, связанные с созданием ракеты-носителя «Ариан-5», МТКК «Гермес» и ОКС «Колумбус». Лидирует в космических исследованиях Франция, которая оценила важность решаемых в этой области задач не только для политики и военного дела, но и для гражданской экономики. Общую организацию работ в области космонавтики осуществляет во Франции специальный орган — КНЕС. После его посещения советский журналист Б. Коновалов справедливо возмущается: когда же у нас, в СССР, будут считать расходы и доходы в космонавтике, когда мы будем использовать по-коммерчески наше лидирующее положение в космонавтике? Все постигается в сравнении. Вот и сравнивал журналист, хорошо и не первый год знающий наши основные космические организации и соответствующие французские фирмы. Если у нас над подготовкой проекта подчас работают сотни, а то и тысячи специалистов, то во Франции это же успевают делать 10 человек. Если у нас никто не вправе знать, сколько и куда уходит денег в космонавтике, то бюджет КНЕС известен (6,3 млрд франков в 1988 г.), а перед началом нового проекта французы тщательно счи-

тают прежде всего доходы и расходы, а потом приступают к его разработке. Французская фирма «Навспейс» предложила Главкосмосу СССР представлять ее интересы во Франции — наш главк не согласился. Может быть, сам управится? Но время идет, а у Главкосмоса СССР дела не очень-то прибыльно идут с коммерческими заказами. Много, много проблем у нашей прикладной космонавтики.

Сложилась кооперация западноевропейских фирм, специализирующихся на выпуске космического оборудования. Многие из них успешно конкурируют с американскими аэрокосмическими фирмами, имеющими наибольший опыт в этой области.

Французские фирмы «Аэроспасьяль» и «Дассо-Бреге» ведут параллельные НИР по пилотируемому МТКК многоразового использования «Гермес». Его вывод будет осуществляться ракетой-носителем «Ариан-5», горизонтальная посадка — на специально подготовленную полосу на космодроме Куру во Французской Гвиане или в Западной Европе. Корабль будет иметь длину 18 м и сможет доставлять 4—6 космонавтов, полезная нагрузка составит 4500 кг; высота круговой орбиты 400 км с наклонением 30°, длительность полета 8 сут, в случае необходимости может быть увеличена до 30 сут за счет уменьшения численности экипажа.

В ФРГ разработан проект Центра пользователей экспериментами в невесомости в областях материаловедения, медицины и биологии. Его основные цели: привлечение новых пользователей, облегчение доступа к космическим экспериментам, уменьшение стоимости экспериментов за счет повышения эффективности использования времени, отводимого на эксперимент, и концентрации приобретенного опыта. Функции центра: подготовка эксперимента начиная от идеи и кончая реализацией, наблюдение за ходом эксперимента и управление им во время полета, анализ образцов, диагностика и обработка данных до, во время и после полета.

Аэрокосмическая проблематика способствует концентрации капитала. Так, недавно в ФРГ произошло слияние автомобилестроительного гиганта «Даймлер-Бенц» и авиакосмического концерна «Мессершмитт-Бельков-Блом», которое журналисты называли «свадьбой слонов». Создан суперконцерн, тесно связанный с американской программой СОИ, — на предприятиях под единым управлением будет теперь работать более 400 тыс. рабо-

чих и служащих. Один из западногерманских экспертов считает, что дальнейшая концентрация военной промышленности на юге ФРГ приведет к возникновению военно-промышленного комплекса, обладающего монополией во многих областях производства вооружений, а также ракетно-космической техники.

Западноевропейская программа в области микрогравитации предусматривает два этапа работ: 1) до ввода в эксплуатацию ОКС «Колумбус» (1989—1997 гг.) вернуться работы по проектированию экспериментального оборудования для космической платформы «Эврика» и всех элементов ОК: герметического модуля ОКС, орбитальной лаборатории (MTFF) и полярного КА (PPF); 2) в 1998—2000 гг. планируется обеспечить эксплуатацию разработанного оборудования, создать новое и вести перспективные исследования; будут привлечены организации фармацевтического и медико-биологического профиля. Шведская программа MASER предполагает продолжить на этих ракетах фундаментальные исследования по несмешиваемым сплавам, металлургии, теплопереносу и поверхностному натяжению жидкостей. Эксперименты на ракетах быстро и гибко подготавливаются, в таких полетах на несколько минут достигается уровень микрогравитации  $10^{-4}$ .

На заседании совета министров ESA в Гааге 9—10 ноября 1987 г. утверждена перспективная космическая программа агентства до 2000 г., которая, в частности, предусматривает исследование невесомости; 1992 г. объявлен международным космическим годом (ISY) в честь 500-летия высадки Колумба в Америке и 35-й годовщины Международного геофизического года. Центральной темой ISY будет познание и использование космоса для человечества. В 1987 г. начата программа орбитальных демонстраций новых технологий (ОДНТ) как один из элементов программы ESA. Из 150 экспериментов, предложенных промышленностью, научными центрами и университетами, для начального этапа ОДНТ отобрано 13, удовлетворяющих критериям экономической эффективности, уверенности в расчетных характеристиках, минимального технического и экономического риска при внедрении.

В международной программе «Топаз» участвуют итальянская фирма «Аэриталия» и западногерманские фирмы «Дорнье», «ОНВ-системз», «Крайзер трейде». Предусматривается создание космического аппарата с науч-

ным оборудованием массой до 100 кг для экспериментов в области космической технологии, вывод его на орбиту ракетой-носителем «Скаут». Запуск первого аппарата намечен на 1991 г.

На международной конференции «Спейс коммерс-88» приводились сведения о разработке западногерманскими фирмами «Дорнье» и «ОНВ-системз» космического аппарата «Раумкурир» («Космический курьер»), рассчитанного на многократное использование и запуск одной ракетой-носителем на низкую орбиту на 14 сут для технологических экспериментов. На нем будет размещаться полезная нагрузка массой 400 кг и источник питания мощностью 200 Вт. Его первый запуск ожидается в 1991 г. с помощью китайской ракеты-носителя «Великий поход-2С».

Выведенная в космос орбитальная лаборатория «Спейслэб-1» в 1983 г. обеспечивала проводимые на ней эксперименты энергоснабжением 2—5 кВт и включала аппаратуру: СПЕ-80 — изотермическая печь (ФРГ); СПЕ-82 и СПЕ-83 — низко- и высокотемпературные градиентные печи (Франция); СПЕ-84 — зеркальная оптическая печь (ФРГ); модуль по физике жидкости (Италия); специализированная печь по выращиванию кристаллов йодида ртути из газовой фазы (Франция). Проводимая на ней научная программа, в частности, предусматривала: выращивание методом Бриджмена монокристаллов теллурида свинца (Франция); выращивание монокристаллов теллурида кадмия методом движущегося нагревателя (ФРГ); получение объемных и сферических кристаллов кремния методом бестигельной зонной плавки на оптической печи (ФРГ) и др. В 1986 г. специалистами ФРГ на борту «Спейслэб-1» были проведены эксперименты по кристаллизации эвтектического сплава алюминий—никель—молибден и серого чугуна методом скин-технологии. Такая технология может быть использована для изготовления лопаток турбин. Методом направленной кристаллизации со скоростью 0,1—0,4 мм/мин получены образцы с более равномерным распределением упрочняющей фазы по сечению образца.

«Спейслэб» — первая европейская программа, где потребовалось использовать методы контроля разрушений. В настоящее время эти методы используются и в других программах. В составе ESA создано управление по контролю разрушений конструкций КА, ведется выпуск методических и информационных материалов в этой

области для промышленности. Основные задачи, изучаемые при этом ESA: свойства материалов, определение напряжений, алгоритмы прогнозирования трещинообразования, спектры нагрузок, неразрушающий контроль, разрушение композитов, вероятностная механика разрушения, крип. Во втором полете по программе «Спейслэб» предполагалось наряду с другими продолжить исследования в области материаловедения и космической биологии. Число поступивших предложений в три раза превышает запланированное количество экспериментов. Для отбора экспериментов привлечены независимые эксперты западногерманского научного общества.

Цель запланированного на «Спейслэб» эксперимента ROTEX — обеспечение возможности вмешательства наземного оператора в автоматический ход космического эксперимента путем перепрограммирования роботов. Наземное устройство включает дисплей, отображающий идущий в космосе процесс, и моделирующую установку, контролирующую действия оператора и передающую сигнал на выполнение в космос.

Одним из наиболее реальных проектов является создание герметизированного блока «Спейсхэб» американской фирмы с таким же названием, этот блок вместе с орбитальной лабораторией «Спейслэб» может использоваться на борту МТКК «Спейс шаттл» для увеличения объемов (в частности, предусматривается на «Спейсхэб» установить клетки с животными — удаление этого блока от «Спейслэб» с астронавтами позволит избежать дискомфорта от неприятных запахов, как это уже было в полете «Спейслэб-3»).

Причины создания специального совета ESA по стандартам программного обеспечения — повышение сложности космических проектов, трудности с различными интерфейсами человек—машина, стремление увеличить гибкость систем программного обеспечения и вычислительных систем в целом. Предусмотрено принятие специального документа, регулирующего эту область: он включает две части. Первая часть относится к самим программным продуктам. Вторая часть трактует вопросы, относящиеся к процессам разработки программного обеспечения. Сформулирована политика выбора основных языков программирования. В качестве одного из основных языков для перспективных проектов под давлением организации США выбран язык ADA (язык встроенных систем); для работы в режиме реального

времени зарезервированы языки Си, Паскаль. Предусмотрено решение проблемы переносимости программно-го обеспечения на различные вычислительные системы.

Большие надежды возлагает Западная Европа на МТКК «Гермес», который будет оснащен системой стыковки с КА, совместимой с американской, советской и западноевропейской ОКС; таким образом, он сможет быть использован и в спасательных операциях. Объем его катапультируемой кабины — 4 м<sup>3</sup>. Для минимизации массы корабля широко использованы композиты типа углепластик/термостабильный полиамид или полибисмалеимид. «Гермес» вместе с ракетой-носителем «Ариан-5» позволит выводить полезную нагрузку на низкие круговые орбиты высотой 300—500 км и на гелиосинхронные орбиты высотой 500—800 км. Продолжительность автономного полета может быть доведена до 10 сут. Общая масса полезной нагрузки 4,5 т, объем грузового отсека — до 18 м<sup>3</sup>. Посадка ТКК будет возможна на стандартные высококачественные взлетно-посадочные полосы аэродромов длиной 3,5 км, а шириной 45 м.

Разрабатываемый в Великобритании космический корабль многоразового использования «Хотол» будет способен выводить на низкую орбиту полезную нагрузку массой 7 т. Для него предполагается упростить предполетное обслуживание и подготовку к старту, что уменьшит персонал обслуживания с 4—5 тыс. чел. (численность на космодроме США на мысе Канаверал вместе с базой ВВС Ванденберг) до 200—250 чел. Стоимость выведения 1 кг ПН уменьшится в 5 раз по сравнению с МТКК «Спейс шаттл».

ESA планирует к 1996 г. создать европейский отряд космонавтов из 20 чел. для работы на борту ОКС «Колумбус» (не считая пилотов ТКК «Гермес»). ОКС «Колумбус» может стыковаться с ОКС США. Для выполнения орбитального полета продолжительностью 3 месяца космонавты должны пройти 18-месячное специальное обучение и 3-летнюю стажировку для ознакомления с ОКС НАСА.

ESA с участием Японии разработана международная программа FMPT в области космического материаловедения, которая будет выполняться на ОЛ «Спейслэб», включает проведение экспериментов по получению различных новых веществ, материалов и лекарственных препаратов по 22 тематическим направлениям, а также другие задачи. В составе ОКС США также на специаль-

ном модуле предполагается развернуть работы по этой программе. Для Японии особенно большой интерес представляют эксперименты по выращиванию кристаллов, получение сложных полупроводниковых кристаллов, изготовление новых сверхпроводящих металлов, стекла, кремниевых материалов, армированных сверхплотными углеродными волокнами, различных органических материалов.

Сложившаяся в Японии сеть государственных и частных учреждений и фирм, участвующих в космической программе, объединяется Советом содействия освоению космического пространства. В его состав входят также и банки, что позволяет привлекать крупные средства на новейшие разработки и быстро внедрять получаемые в космонавтике достижения. Исследования по проектированию МТКК проводит Японское агентство по исследованию космического пространства НАСДА и по созданию крылатых космических ракет — министерство просвещения Японии. В этих работах участвует национальный межуниверситетский НИИ авиации и космонавтики ISAS. Основные работы в области космического материаловедения ведут промышленный комитет по авиационно-космической технике и НИИ по практическому использованию космического пространства. К наиболее перспективным направлениям они относят выращивание смешанных кристаллов GaAs из раствора Ga и тройных полупроводниковых (ПП) материалов GaAlAs из газобразной фазы; получение однонаправленного затвердевания эвтектических структур GaAs—Ge; формирование простых кристаллов в виде пленок химически связанных ПП-материалов, совершенствование технологических процессов обработки таких материалов, как упрочненный магнит NdFeB, и другие направления.

В Японии разработано оборудование для неконтактного удержания материалов с помощью звуковых волн при проведении технологических экспериментов в космосе. В отличие от аналогичных устройств, в которых используют электромагнитный и электростатический методы удержания, данное устройство представляет собой камеру  $100 \times 100 \times 100$  мм с излучением акустических волн по трем осям координат; удержание испытываемых образцов осуществляется за счет отражения этих волн от стенок камеры.

Космическая крылатая ракета многоразового использования, разрабатываемая Японией, имеет общую дли-



ну корпуса 14 м, массу фюзеляжа 3 т, общую взлетную массу 13,5 т. В центре масс расположен отсек полезной нагрузки для проведения различных технологических экспериментов в космосе. Посадка ее осуществляется на аэродроме.

Космическая программа Японии создается на основе ракеты-носителя Н-2, включающей также беспилотный ТКК «Хопе», космический буксир OTV и одноступенчатый воздушно-космический самолет. Предусматривается создание обитаемого экспериментального модуля JEM и платформы, сопровождающей долговременную ОКС США, а также автономной малой ОКС для производства в условиях микрогравитации. Модуль JEM состоит из герметичного модуля, открытой платформы, модуля снабжения, дистанционного манипулятора и воздушного шлюза. Вывод модуля в космос будет осуществлен в ходе двух полетов ТКК «Спейс шаттл»: в первом будет выведен герметичный модуль и половина открытой платформы, во втором — модуль снабжения и другая половина платформы. Возможно возвращение из космоса прямо на территорию Японии небольшой капсулы, содержащей материалы и образцы технологических экспериментов. Для сборки модуля JEM в космосе потребуются 2—3 космонавта, которые будут подготовлены Японией.

В Японии выдвинуто 327 тем исследований на модуле JEM, из них 28,1 % — в области обработки и производства материалов; 26,3 % — разработка техники. Темы разбиты на 39 групп экспериментов, для выполнения которых составлен возможный сценарий, рассчитанный на 7 лет. Поток информации с модуля оценивается около 5 Мбит/с. Предполагается создать информационную систему JEMIS с использованием связного ИСЗ «ETS-6» или ретрансляционного ИСЗ «DRTS», согласующуюся с информационной системой SSIS.

ТКК «Хопе» будет иметь довольно скромные размеры: длина 13 м, размах крыла 9,2 м, стартовая масса 10 т, масса ПН 3 т. Он будет выводиться на орбиту высотой 250 км, а затем переводиться на орбиту 450 км для обслуживания модуля JEM. Длительность пребывания ТКК на орбите — 97 ч.

В 1986 г. в Японии были проведены два летных испытания модели ТКК «Хопе». В сентябре 1988 г. выполнена первая попытка запуска ТКК, которая закончилась неудачей. С испытательного полигона Утиноура (о-в Кю-

сю) был запущен полиэтиленовый аэростат, который должен был доставить КК на 20-километровую высоту; в дальнейшем стартовые ускорители космического корабля должны были вывести его на высоту 60 км. Однако аэростат не достиг заданной высоты и начал снижаться. Космический корабль опустился на парашюте и приводнился в Тихом океане.

В 1992 г. планируется вывести на орбиту уменьшенный вариант японского ТКК под названием «Хопе». После полной готовности к эксплуатации «Хопе» будет иметь экипаж в 2—4 человека, возможность нахождения в космосе 96 ч и более, массу полезной нагрузки на борту около 20 т. Его первый штатный полет намечено провести в 1995 г.

Основным производителем космической продукции в Китае является корпорация «Великая китайская стена», которая установила цены на 15—20 % ниже, чем у западных фирм; она, используя ракету-носитель «Лонг Мач», запускает ИСЗ для научных исследований и технических экспериментов с полигона в Северном Китае. С 1975 г. по июль 1987 г. в Китае запущено восемь возвращаемых ИСК; масса возвращаемого груза — до 150 кг, невозвращаемого — до 300 кг. По сообщениям агентства Синьхуа, по крайней мере 10 инофирм проявили интерес к использованию возвращаемых китайских ИСЗ для экспериментов в космосе и уже заключены некоторые контракты. 6 августа 1987 г. Китай запустил свой 20-й ИСЗ (с 1970 г.), на котором проводился эксперимент французской фирмой «Матра» в условиях микрогравитации; 10 августа он приземлился; это был первый эксперимент другой страны, проведенный на китайском ИСЗ. 9 сентября 1987 г. был запущен 21-й китайский ИСЗ, на борту которого было 34 научных прибора; 17 сентября он был возвращен на Землю.

В Китае ведутся работы по созданию космического корабля многоразового использования. Председатель Государственного комитета по делам науки и техники КНР Сун Цзянь осенью 1987 г. сказал, что Китай рано или поздно пошлет человека в космос. В данный момент идут исследовательские работы. Ключевой вопрос — финансовый: все дело в том, сколько правительство сможет выделить на эту программу.

### 3. Условия космоса

Начало космической технологии было положено с выводом на орбиту приборов, установок, оборудования. Новые условия, в которых работали приборы, результаты экспериментов и выделили технологию в условиях космоса в отдельное очень перспективное научное направление. Каковы же они, условия космоса?

Прежде всего это вакуум, достигающий  $10^{-8}$ — $10^{-12}$  мм ртутного столба. Большое значение имеет режим облучения КА Солнцем. На освещенной Солнцем стороне КА зарегистрировано около  $100^\circ\text{C}$  тепла, на затененной — почти  $-150^\circ\text{C}$  холода. Смена «дня» и «ночи» происходит каждые 45 мин (эта величина для ближней околоземной орбиты). Такие перепады вызывают опасную деформацию конструкций и даже вибрацию.

Если на каждый квадратный метр суши и океана поступает в среднем 0,16 кВт солнечной радиации, то на околоземной орбите — 1,4 кВт. Доля электромагнитного излучения Солнца, приходящаяся на ультрафиолетовую область (0,2—0,4 мкм), составляет 10 %. Это излучение, взаимодействуя с электронными оболочками вещества, вызывает сильные химические и физические изменения в материалах. Воздействие высокоэнергичной инфракрасной радиации вызывает повышение температуры материалов и изменение агрегатного состояния вещества. Радиация более высоких энергий возбуждает электронные оболочки, ослабляет связи между атомами, изменяет химическую активность молекул.

Если УФ-излучение возбуждает внешние электронные оболочки, то рентгеновское излучение — внутренние. (Химические и физические свойства вещества определяются внешними электронными оболочками.) Коротковолновое излучение может вызвать эмиссию электронов, УФ-излучение составляет всего 8,8 % всего солнечного излучения, но оно наиболее сильно влияет на терморегулирующие материалы.

В окрестности геостационарной орбиты наиболее вероятно воздействие трех типов частиц естественного происхождения с параметрами, сильно меняющимися во времени: 1) высокоэнергичных протонов, появляющихся в результате солнечных вспышек; 2) электронов с очень высокой энергией (2—10 МэВ) неизвестного происхож-

дения; 3) энергичных ионов и электронов, продуцируемых в результате магнитных бурь.

Интенсивность ионизирующей радиации в околоземном космосе зависит от солнечной активности и от орбиты КА. Материалы получают в космосе дозу ионизации от  $10^{-7}$  до  $10^{-5}$  Дж/(м<sup>2</sup>·с) в поверхностных слоях толщиной 1—0,01 мкм (при этом изменяются свойства полимеров). Наиболее важные результаты этого воздействия — изменение отражательной и поглощающей способностей, прозрачности и поверхностной электропроводности. Если в материале имеются чувствительные к разрушающему фактору примеси, то разрушение происходит быстрее, поэтому чем больше химическая чистота материала, тем надежнее будут проявляться его свойства. При нейтронном облучении у металлов возрастает прочность, но снижается пластичность. При сильном охлаждении увеличивается хрупкость большинства материалов. (Помните, сломался ключ у космонавтов на «Кванте».) Длительное воздействие космических излучений на эпоксидно-графитовый композитный материал приводит к увеличению хрупкости матрицы композита и уменьшению предела прочности в 1,5—2,5 раза.

Геомагнитные бури, видимо, являются причиной проявления на поверхности ИСЗ электрических зарядов, после чего мощный ток разряда разрушает схему коммуникации. Этим объясняется выход из строя нескольких спутников связи.

Радиационная обстановка в окрестностях КА зависит от параметров его орбиты. Так, для будущей американской ОКС (высота орбиты 500 км, наклонение 28,5°) основной вклад в общую дозу радиации дадут протоны внутреннего радиационного пояса (с максимальной интенсивностью в районе Бразильской аномалии) и тяжелые ионы, облучение которыми усиливает влияние невосомости. На высотах ниже 450—500 км космонавт находится под защитой от космических лучей и солнечных протонов («щитом» являются радиационные пояса Земли). Снижение орбиты до 250 км приводит к значительному расходу топлива для поддержания орбиты (из-за торможения в верхней атмосфере). На высотах более 500 км опасны протоны и нейтроны радиационного пояса Земли. На высотах более 30 тыс. км опасны космические лучи. В зависимости от характеристик орбиты КА должна быть выбрана определенная схема радиацион-

ной защиты электропроводки и электронного оборудования.

КА встречается на орбите с имеющими большие скорости атомами кислорода, которые вызывают деградацию термооптических свойств материалов и потерю массы полимерных материалов. В особенности сильное воздействие на КА оказывает на орбитах высотой 100—600 км атомарный кислород, вследствие чего уменьшается прочность элементов конструкции, выполненных из композитных материалов с малым удельным весом, происходит эрозия майлара (используемого для терморегулирующих покрытий), что приводит к перегреву КА. Последнее особенно опасно для КА с длительными сроками службы—10—20 лет. Кроме этого, атомарный кислород, взаимодействуя с внешним покрытием КА, вызывает свечение, влияющее на точность астрономических наблюдений.

Помехи для наблюдений создает фон, рассеянный на окружающих КА частицах; этот фон выше яркости звезд и ярче излучения светящегося земного лимба. Интенсивность рассеянного солнечного света и собственного излучения частиц зависит от длины волны, размера частиц, угла освещенности Солнцем, температуры поверхности КА, характеристик орбиты, а также содержимого грузового отсека.

Большие размеры, сложная конфигурация КА и дегазация различных конструкций и материалов вносят существенные изменения в окружающую КА плазму: она часто чрезвычайно турбулентна и содержит компоненты более энергичные, чем в естественной ионосферной плазме. Основным компонентом окружающей среды КА являются пары воды, плотность которых зависит от погодных условий перед стартом.

На КА наблюдается перенос молекулярных загрязняющих веществ от источников дегазации. Максимальный поток молекулярных загрязнений, падающих на поверхность КА ( $1,5 \cdot 10^{-6}$  г/см<sup>2</sup>·с), обусловлен прямыми, отраженными потоками и потоками повторно испаряющихся молекул. Наиболее сильным источником загрязнения считается десорбция влаги со скафандров космонавтов, выходящих в открытый космос. При работе двигателей системы управления поток загрязнений резко возрастает: двигатели выпускают N<sub>2</sub> и СО, а также NO. Вклад в фон загрязнений вносит аппаратура: например, жидкий гелий охладительных систем способст-

вует созданию гелиевого фона. Оптические измерения в ИК-области показали, что плотность частиц в окружении КА может увеличиваться в результате маневров КК, при открытии люка грузового отсека, во время и после выбросов воды, после восхода Солнца. Вентилирование полезной нагрузки также является источником загрязнения окружающей среды. Отдельные молекулы выхлопных веществ могут реагировать с внешними поверхностями КА, вызывать эмиссию и появление вторичных молекул.

Нередки встречи КА с микрометеоритами и осколками других КА. Микрометеориты (размером менее 0,01 см) имеют скорость порядка 20 км/с и плотность порядка 0,56 г/см<sup>3</sup>. Осколки КА имеют скорость порядка 9—10 км/с (размером более 1 см) и плотность 2,86 г/см<sup>3</sup>.

Намечена специальная программа по исследованию загрязнений вокруг КА, преследующая следующие цели: 1) определить относительное значение загрязнения, возникающего на внутренних поверхностях ИСЗ, по сравнению с загрязнением, возникающим на внешних поверхностях; 2) подтвердить важность конструкции вентиляции ИСЗ с точки зрения задач борьбы с загрязнением; 3) проверить лабораторные данные об усилении процессов загрязнения в условиях вакуума и воздействия ультрафиолетового излучения; 4) обеспечить измерение коэффициента поглощения солнечного света и установить зависимость его изменения от степени загрязненности поверхностей ИСЗ. Данные, полученные в ходе экспериментов, будут проанализированы с точки зрения уточнения списка источников загрязнений, механизмов переноса загрязнений и воздействия загрязнений на функции КА.

На поверхности станции устанавливаются специальные кассеты с материалами будущего космонавтики. Испытывается долговечность различных материалов под воздействием глубокого вакуума, солнечной радиации, смены температур, потока микрометеоритов.

Как известно, невесомость является одним из основных условий работы на борту КА технологических установок. Но есть и микроускорения, которые приводят к временным нарушениям этого условия и соответственно вносят неожиданные поправки в ход технологических процессов.

Во время старта на аппаратуру и другие компонен-

ты выводимого в космос КА действуют механические нагрузки до 25—35 g и звуковое давление 120—150 дБ. После вывода на орбиту возникают микроускорения, величина которых зависит от высоты орбиты, влияния аэродинамических сил, воздействия гравитационных аномалий; несферичности Земли и др. Микроускорения возникают также в случае несовпадения центра массы расплавленного (в установке) материала с центром массы ОКС. На ОКС амплитуда ускорения по продольным и поперечным осям станции различаются на порядок (по измерениям на ОКС «Салют-6»). Эксперименты на станции «Скайлэб» показали наличие колебаний порядка  $10^{-3}$  с частотным спектром примерно от одного до нескольких тысяч герц. На борту станции наиболее сильно проявляются вибрации в области низких частот (100—200 Гц). Максимальный уровень виброускорений на борту составляет  $10^{-2}$  для указанного диапазона. Поэтому для технологических экспериментов нужно создавать системы и устройства, компенсирующие случайные колебания и ускорения на КА.

С каждым годом возрастает риск столкновения КА и работающих в космосе космонавтов с метеорными телами и обломками разрушившихся КА. С Земли обеспечивается слежение за осколками и регулярно дается прогноз метеорной опасности, но все же риск возможного столкновения остается.

В январе 1989 г. КОСПАР подготовил доклад о состоянии космонавтики. В нем отмечается, что наиболее опасным явлением становится загрязнение космического пространства в результате взрывов и разрушения КА: в околоземном космосе находится приблизительно 7000 объектов искусственного происхождения размером более 20 см, 2000 объектов размером 10—20 см, 50 000 объектов размером 1—10 см и миллиарды объектов до 1 см. На 31 марта 1988 г. на орбитах высотой от 500 до 1000 км, кроме 1762 КА (включая неработающие), находилось 5388 прослеживаемых космических осколков общей массой более 2000 т. Кроме того, существовало около 30 000 непрослеживаемых объектов искусственного происхождения размером с футбольный мяч. Ежегодно около 150 космических объектов различных стран прекращают свое активное существование и входят в плотные слои атмосферы; большая часть их сгорает, а часть рассеивается по земной поверхности.

К. Феоктистов считает, что ежедневно орбиты поки-

дают от 5 до 20 космических объектов искусственного происхождения. Не всегда они безобидны. Так, в 1983 г. «Челленджер» возвратился с трещиной в лобовом стекле, анализ которой показал, что произошло столкновение с искусственным объектом. Уже отмечены случаи столкновения осколков с лобовым стеклом других КА (выбоины диаметром 630 мкм, глубиной 640 мкм), повреждения скафандра космонавта. В космосе находятся также триллионы мелких хлопьев краски; летящая со сверхзвуковой скоростью небольшая чешуйка краски может погубить космонавта. Особо опасны мелкие детали размером с теннисный мяч; как считают специалисты, их в космосе около 40 тысяч.

Более миллиарда металлических иголок вывели в космос ВВС США, чтобы проверить возможность организации связи через искусственно созданный слой, отражающий радиоволны. Как считают специалисты, из-за столкновения с ними развалился на части в 1975 г. ИСЗ «Пагеос». Наибольшее число обломков находится на орбитах, пролегающих через полюса Земли. Сейчас опасность встречи с обломками искусственного происхождения в 2—5 раз превышает риск встречи с метеоритом. В будущем понадобятся уборочные машины в космосе.

С 1967 г. обсуждается вопрос о международном соглашении по борьбе с загрязнением космоса. Специалисты считают, что пройдет еще много лет, прежде чем будет выработано эффективное законодательство по борьбе с загрязнением космоса. Предлагаются следующие меры для снижения опасности соударения на орбите: 1) временное снижение опасности как наиболее дешевая мера, предусматривающая стравливание из отработавших ступеней и КА всех способных вызвать разрушение веществ (топлива, сжатых газов и т. п.); 2) предотвращение столкновений как более эффективная, но и более дорогая мера, предусматривающая применение средств, убыстряющих сход с орбиты и падение отработавших ступеней и ИСЗ; 3) расчистка орбит — сочетание торможения отработавших КА (для высот менее 25 км) с разгоном до скорости выхода за пределы земного притяжения (для высот более 25 км).



#### 4. Физические и технические особенности осуществления технологических процессов в космосе

Космос имеет общечеловеческий интерес не только для получения новых материалов, но для изучения физических, химических и биологических процессов в условиях микрогравитации. Еще в экспериментах на высотных ракетах были отмечены явления, которые не всегда отвечали теоретическим представлениям. Так, например, уже в первых пилотируемых полетах было установлено, что в космосе явление тепломассопереноса, а также роста кристаллов определяются в основном диффузионными процессами. Космос воздействует в основном на жидкости и газы, поэтому первые приборы по изучению процессов в невесомости использовали в качестве изучаемой среды жидкости и газы; большое внимание уделялось изучению эффектов на границах раздела сред.

Как и на Земле, материалы в космосе находятся под воздействием различных сил. Именно их наличие и изменение режимов действия определяют направленность технологических процессов.

К «космическим» силам относят:

*Поверхностные силы.* Их происхождение может быть различным: от деформации твердых тел, из-за различия межмолекулярных взаимодействий в двух фазах вещества и др. Градиенты поверхностного напряжения также могут вызвать эти силы. Поверхностные силы приводят к явлениям когезии (слипание), адгезии (прилипание), смачивания, трения.

*Электромагнитные силы.* Они могут быть электростатического происхождения (упомянутые выше силы когезии и адгезии).

*Акустические и вибрационные воздействия на вещество.* Можно использовать для управления поведением вещества в невесомости.

*Силы реакции.* Возникают при проведении тех или иных технологических процессов. Связаны с такими явлениями, как испарение, конденсация, дегазация, конвективный перенос массы через поверхность жидкости и т. д.

«Чем хороша для исследователя невесомость?» — ставил вопрос К. Циолковский. И тут же отвечал, загляды-

вая далеко в будущее: «Нет силы Архимеда, разделяющей жидкие смеси по плотности. Нет конвекции, которая „смазывает“ картину многих земных опытов».

Исследователи знают, что особенно мешает конвекция при получении сверхчистых полупроводников и кристаллов, без которых немислимы быстрорействующие ЭВМ новых поколений, а также при работах в области биотехнологии и фармакологии. Калужский учитель предсказал появление космической технологии как области практической деятельности человечества.

В. Авдудевский, С. Гришин и Л. Лесков перечисляют следующие основные эффекты невесомости, которые использует (или будет использовать) космическая технология:

1. Значительно возрастает роль поверхностных явлений. Этот эффект можно использовать для получения в космосе устойчивых жидких зон (с существенно большими размерами, чем на Земле), крупных сферообразных капель или пузырей, пленок, жидкометаллических зеркальных поверхностей большой площади и т. п.

2. Значительно снижается роль естественной конвекции. Это позволяет по-новому организовать технологические процессы, когда в обычных условиях естественная конвекция существенно влияет на процессы теплообмена в жидкой и газовой фазах, а также на разделение фаз, обладающих различной плотностью.

3. Ввиду возрастания устойчивости жидких зон, обладающих значительной площадью свободной поверхности, при перепадах температуры может значительно возрасти роль конвективных течений, индуцированных термокапиллярным и концентрационно-капиллярным эффектами, а также поверхностно-активными веществами.

4. Расширяются границы устойчивости однофазных и многофазных жидких систем по отношению к возмущениям, обусловленным термодинамическими, кинематическими и другими процессами.

5. В силу изменения характера процессов теплообмена, расширения границ устойчивости многофазных систем по отношению к возмущениям различной природы, возрастания роли межфазных взаимодействий может измениться характер процессов фазообразования. На этом основании можно ожидать, что фазовый состав образцов сплавов, приготовленных в условиях невесомости, будет иным по сравнению с их наземными аналогами.

6. Существенно облегчается возможность обработки образцов бесконтейнерными методами. Остаточные малые ускорения сравнительно нетрудно компенсировать, например, с помощью акустических или электромагнитных полей. Это открывает новые возможности для приготовления чистых материалов, снижения скорости гетерогенной кристаллизации, переохлаждения расплавов с целью получения аморфных металлов и т. д.

7. Облегчаются возможности использовать управляющие воздействия (ультразвук, управляющие поля и т. п.) в целях повышения однородности расплавов либо, наоборот, их расслоения, подавления различного рода неустойчивостей, поддержания заданной формы жидкости и в других целях.

Благодаря этим специфическим эффектам и условиям космоса с веществом на орбите происходят удивительные превращения. Прежде всего это касается сублимации.

Под сублимацией понимается потеря вещества в космосе. Материал в космосе одновременно облучается коротковолновой и корпускулярной видами радиации, в результате чего и происходит сублимация. Такое явление известно и для наземных условий, но протекает оно на Земле значительно медленнее, чем в космосе; износившуюся деталь легко заменить на Земле, а в космосе сублимация может вызвать аварию. В связи с неоднородностью материала по структуре сублимация в различных его местах будет происходить с различной скоростью. На процесс сублимации влияет состояние поверхности материала. Так, гладкая поверхность быстро может стать шероховатой. У сплавов быстро сублимируют наиболее летучие компоненты. Сублимация может приводить к потере материалом прочности, к изменению свойств покрытий, что нарушает нормальную работу конструкции. Именно неравномерная сублимация наиболее опасна, она вызывает изменение механических, излучательных и электрических характеристик.

В экспериментах на ОКС исследовались реактивные силы, возникающие вследствие неравномерного испарения образцов. Было подчеркнуто, что в экспериментах необходимо: а) оценить величину реактивных сил, действующих на образцы различных материалов при данном градиенте температур, определить, какие химические элементы или сплавы устойчивы; б) определить, как влияют размеры и плотность образца на величину

реактивных сил; в) установить вид примесей, нежелательных для данного материала, и примесей, стабилизирующих материал; г) выявить природу ускорений, действие которых на образцы в конкретных условиях эксперимента эквивалентно действию гравитации; д) оценить время, за которое первоначально неподвижный образец неравномерно испаряющего материала переместится до стенки рабочей камеры заданного размера; е) определить минимальный размер рабочей камеры или максимальную степень нагрева, которые допустимы для данного материала и данных размеров образца; ж) выбрать способ нагрева и удержания образца во взвешенном состоянии.

Однако в вакууме может повышаться и прочность. Такое состояние замечено у нержавеющей стали. Это объясняют по-разному. Наиболее распространено мнение, что развитию усталостной трещины в атмосферных условиях способствует слой газа и оксидов на ее поверхности; эти чужеродные слои мешают «завариванию» трещины (здесь рассматривается случай попеременной нагрузки с чередованием растяжения и сжатия). В вакууме эти чужеродные слои отсутствуют, поэтому сопротивление усталости увеличивается.

И на Земле известно было слипание материалов, а в космосе это наблюдается чаще, процесс слипания более интенсивен: происходит холодная сварка материалов. В космическом вакууме материалы теряют абсорбированные на их поверхности газы и становятся «чистыми». Эксперименты показали, что величина слипания может достигать 96 %. На ход этого процесса влияет температура, прикладываемые к образцам усилия, состояние их поверхности. Вот поэтому конструкторы, планируя монтажные работы в космосе, должны думать и над тем, как обработать поверхность конструкций, чтобы после совмещения их элементов процессы на стыке конструкций пошли в нужном направлении, не стали неожиданными для живущих на станции космонавтов.

Отсутствие сил Архимеда кое-какие технологические операции, полезные на Земле, делает невозможными в космосе. Так, например, нельзя использовать эффект всплывания легкой примеси в расплаве при его очистке, трудно удалить пузырьки газа или пара из расплава, невозможно использовать барботаж для очистки расплава от включений и выравнивания температур по объему.

Известны различные механизмы перемешивания жидких слоев и частиц в невесомости, среди них — броуновское движение, течение Марангони, движение под действием сил Лоренца, движение по градиентам температуры, давлений, движение, обусловленное фазовыми превращениями, движения под действием магнитных полей, по зависимости растворимости и адсорбции от температуры и др. В сжимаемом газе могут образовываться также движения, связанные с изменением плотности газа из-за неравномерного нагрева среды (при этом наблюдается термоакустическая конвекция).

На конвекции в невесомости нужно остановиться более подробно, так как она сильно отличается от наших земных представлений и имеет большое значение в технологических процессах.

Конвекция — это перенос теплоты внутри жидкой или газообразной среды, обусловленной перемещением массы внутри этой среды. Существуют конвективные движения гравитационного и негравитационного типов. Если движения возникают в результате различий плотностей газов или жидкостей от температуры, то это естественная конвекция. Течение может носить ламинарный или турбулентный характер. Турбулентность неблагоприятно влияет на процесс кристаллизации металлов и сплавов, вызывая неоднородность в распределении примесей и искажение кристаллической решетки выращиваемых из раствора монокристаллов и ряд других дефектов. Интенсивное перемешивание жидкостей способствует уменьшению температурных напряжений в кристаллах.

В космосе, как и предполагалось, нет конвекции — теплового перемешивания вещества в расплавах. Но эксперименты показали, что в невесомости начинает играть большую роль так называемая термокапиллярная конвекция, которая влияет на качество получаемых сплавов и изделий.

Выделяют следующие основные виды конвекции в условиях пониженной гравитации: конвекция, зависящая от поля ускорений (вызванная градиентами температуры; обусловленная градиентами концентрации; вызванная колебаниями ускорения; обусловленная зависимостью растворимости от температуры); конвекция, не зависящая от поля ускорений (вызванная поверхностным натяжением; вызванная тепловым объемным расширением; обусловленная фазовыми превращениями; вызван-

ная электрическим или магнитным полем); конвекция, обусловленная одновременным действием нескольких факторов.

Рассмотрим явление электромагнитной конвекции, когда в зависимости от электропроводности расплавов и температуры может возникнуть градиент заряда по объему жидкости. Если этот расплав поместить в электрическое поле, то возникнет электропроводность, т. е. перемещение массы под действием электромагнитных сил. В электропроводящей жидкости под действием градиента температуры также возникает электрический ток, взаимодействие которого с внешним магнитным полем приводит к возбуждению сил Ампера, которые заставляют двигаться слои жидкости; это явление называется магнитоконвекцией.

Концентрационная конвекция возникает из-за разности в концентрациях веществ в расплаве. Возникающие здесь движения аналогичны естественной конвекции, они также имеют гравитационную природу. В невесомости концентрационная конвекция может или полностью отсутствовать, или быть пониженной (по сравнению с наземными условиями).

В космосе благодаря специфике происходят одни процессы и не происходят другие, эти особенности должны быть учтены в конструкторских и монтажных работах. Например, в космосе кабели из-за отсутствия теплоотдачи нагреваются быстрее, надо предусматривать их принудительное охлаждение. Да и размещение аппаратуры и кабелей на борту КА выбирается так, чтобы обеспечить контроль за состоянием аппаратуры, поскольку на борту КА не происходит тепловое перемешивание воздуха.

Совместимость технологического оборудования на КА — сложная научно-техническая проблема. Она предусматривает размещение оборудования в зоне, обеспечивающей наилучшие физические условия для протекания технологических процессов (в зоне меньших перегрузок и возмущений, в зоне определенной направленности перегрузок и т. д.); отсутствие взаимных помех при функционировании оборудования и систем КА в целом; максимальное использование имеющихся на борту КА систем как составляющих общей системы технологического оборудования. Ведь постановка задачи опытно-промышленного производства в космосе предусматривает создание: а) высокотемпературных нагревателей с ресур-

сом работы в тысячу и более часов, обеспечивающих оптимальный профиль температур в рабочей зоне; б) теплоизоляции, обладающей стабильными тепловыми характеристиками в течение всего времени эксплуатации и обеспечивающей минимальные тепловые потери при одновременном решении задачи минимизации массы и объема установок; в) высокоточных средств измерения температур в диапазоне от 300 до 2000 °С, способных длительное время стабильно работать в технологических установках; г) прецизионных приводов, обеспечивающих перемещение со скоростями от долей до десятков миллиметров в час с погрешностью в пределах  $\pm 1\%$ ; д) средств, сводящих к минимуму передачу виброперегрузок от разнообразных источников возмущений к материалу, обрабатываемому в рабочей зоне установок; е) автоматических систем управления технологическими процессами с прецизионными регуляторами температуры, скорости перемещения и других параметров.

Применяются самые разнообразные типы аппаратуры для космической технологии, количество которой увеличивается с каждым годом, а ее параметры и характеристики совершенствуются. Эта аппаратура рождается в лабораториях Института космических исследований АН СССР, НИИ космического приборостроения Главкосмоса СССР, университетах и других институтах страны — создана новая отрасль, отрасль космического приборостроения. Если в первых технологических установках точность управления и контроля изменения температуры достигала десятков градусов, то в существующих сегодня — нескольких градусов. И. Бармин с сотрудниками выделяют три этапа развития космической технологии, характеристика которых дает представление о разработках новых приборов и оборудования.

1. Организация исследований для определения путей развития и разработки программы работ по созданию космического производства. Задачами этого этапа являются: исследование специфики и определение основных закономерностей протекания технологических процессов в космических условиях; разработка научных основ космического производства; определение номенклатуры материалов, производство которых в космосе может быть рентабельным и целесообразным; отработка принципов проектирования бортового технологического оборудования; отработка экспериментальных образцов технологического оборудования в космосе.

2. Опытнo-промышленное производство. Вначале используется оборудование, работавшее на первом этапе, затем создаются целевые специализированные комплексы. Это оборудование должно удовлетворять следующим требованиям: оптимальность конструкции с точки зрения обеспечения заданного технологического процесса; высокая производительность; высокий энергетический КПД, так как вопрос об увеличении мощности бортовой системы энергоснабжения решается сложно и существенно; увеличение энерговооруженности КА на этом этапе не ожидается; сведение к минимуму технического обслуживания оборудования и его ремонтнопригодность; автоматизация технологического цикла с обеспечением возможности вмешательства в процесс либо космонавта, либо оператора по командной радиолинии с Земли; в некоторых случаях — визуализация процесса в рабочей зоне и телевизионная передача изображения.

3. Индустриализация космоса, создание на орбите промышленных комплексов. На этом этапе необходимо создать специализированные КА, мощные (десятки киловатт) системы энергоснабжения, специализированное оборудование по выпуску конкретной продукции, надежно функционирующую и недорогостоящую транспортную ракетно-космическую систему для связи с Землей.

Перспективы космической технологии связывают, с одной стороны, с выявлением возможностей получения в условиях космоса веществ, материалов и деталей, обладающих уникальными свойствами, которые нельзя или весьма затруднительно получить в земных условиях; с другой стороны, с разработкой методов сборки, технического обслуживания и ремонта объектов в космосе.

Безусловно, космос привлекает технологов уникальными возможностями производства. Так, в космосе можно получать кремниевые пластины, используемые для изготовления микросхем, можно легко вытянуть тонкую непрерывную ленту из кремниевого слитка, расплавленного в солнечной печи. Можно делать световоды для волоконной техники: из грамма стекла можно вытянуть нить длиной в километр, можно получить смесь металлов с керамическими материалами, «металлические стекла» — сплавы, напоминающие по структуре обычное аморфное стекло, но обладающие удивительной термостойкостью, электро- и теплопроводностью.

В космосе возможны электрокинетические процессы разделения биологических смесей, выращивание белко-



вых кристаллов, получение полупроводников, кристаллов (в частности, арсенида галлия, антимонида индия, йодида ртути), стекол, металлов и сплавов, композитов, кристаллов протеинов, латексных шариков однородных размеров. Уже в наши дни успешно реализуются бесконтейнерные процессы, электрофоретические методы разделения биопрепаратов, производство лопаток для газовых турбин (методы направленного затвердевания отливки заданной формы), методы получения монокристаллических отливок. С развитием космонавтики производство газотурбинных систем, строительство мощных и сверхмощных парогенераторных установок заимствовали из аэрокосмической техники конструкционные материалы, приемы и методы исследования надежности, расширили внедрение неразрушающих методов контроля и использование титановых сплавов.

Новый толчок в развитии получила скиновая технология (от английского *skin* — кожа, оболочка), которая предусматривает отливку детали на Земле, а для улучшения ее механических и физических свойств — напыление тонкого слоя тугоплавкого покрытия. В невесомости деталь плавится и подвергается направленной кристаллизации. В результате микроструктура детали улучшается, а форма не изменяется.

Получаемые в космосе полые шары можно, например, использовать в подшипниках: по расчетам академика Б. Патона, подшипник с полыми шариками в 5—8 раз долговечнее сплошных (правда, даже в невесомости получить шарик идеально круглой формы оказалась непростой задачей).

К технологическому оборудованию, работающему в условиях космоса, предъявляются различные требования: безопасность эксплуатации в космосе; высокая надежность функционирования, в том числе в условиях невесомости и глубокого вакуума; возможность активного контроля параметров процесса и состояния оборудования; совместимость систем оборудования с системами КК; совместимость оборудования с возможностями экипажа; конструкции органов управления и пультов должны соответствовать антропометрическим характеристикам экипажа и особенностям скафандра; рабочее место должно быть оборудовано средствами фиксации оператора и приспособлениями, обеспечивающими выполнение всех необходимых манипуляций в невесомости; соответствие оборудования общему интерьеру

КА; бортовые установки должны обеспечивать высокое постоянство основных параметров (температура, перепады давлений на фронте кристаллизации, пульсации перегрузок). Надежность технологического процесса складывается из надежности самого процесса (для этого нужно правильно его смоделировать и определить влияющие факторы) и собственно надежности оборудования. Особые требования предъявляются к безопасности для космонавтов, безаварийности работы оборудования.

Источниками опасности при проведении технологических процессов могут быть: источники нагрева (электронный луч, дуговой разряд, экзотермическая смесь и т. п.), ванна и брызги расплавленного металла, повышенное напряжение источников электропитания, опасные для жизни человека побочные явления (тепловое и рентгеновское излучения, электростатическое электричество и т. п.). Должна быть обеспечена невозможность работы оборудования при неправильном (в том числе аварийном) включении оборудования оператором. Необходимо исключить появление стружки, которая может попасть в дыхательные пути космонавта. Сверло космической дрели «само себя вталкивает» в металл, пластырь впитывает стружку. Затем космонавт скатывает пластырь и выбрасывает вместе со стружкой в контейнер.

Важным этапом подготовки космического полета становится испытание оборудования на Земле (а также в условиях, близких к космическим) и подготовка космонавтов для работы на нем. В наземных условиях осуществляются испытания технологического оборудования: динамические испытания, испытания на солнечную радиацию, герметичность и электрические проверки, проверка функционирования и работоспособности изделия, испытания по проверке помехозащищенности и помехообразования.

Тренажер для отработки ручной сварки в космосе был создан в Институте электросварки им. Е. Патона АН УССР (рис. 3). Он позволяет наряду с тренировкой экипажа изучать эргономические возможности человека-оператора в этом процессе, совершенствовать аппаратуру и технологию ручной сварки. Такой тренажер может быть смонтирован на борту самолета-лаборатории, который обеспечивает кратковременную невесомость.

В перспективе будет происходить укрупнение механизмов, что приведет к изменению роли наземных испы-

таний, так как крупные конструкции невозможно испытать на Земле в условиях, приближенных к космическим.

Недавно в Звездном городке появилось здание, в котором смонтирована огромная (диаметром 23 м) ванна для исследований на макете орбитальной станции. Моделирование в гидроневесомости — на сегодня основной способ проверки технологии сборки и других монтажных операций на орбите.

Специальные расчеты при моделировании в гидроневесомости обеспечивают эквивалентность силового воздействия космической и гидросреды на космонавтов и конструкции.

В наземных испытаниях очень важна проверка динамических характеристик космических конструкций. Достаточно адекватная математическая модель развертываемых в космосе конструкций позволяет быстро анализировать результаты испытаний и интерпретировать их в терминах характеристик аппаратных средств и оборудования.

Фирмой США «Энерги Сайн Лэборити» разработан пакет машинных программ для моделирования систем производства в космосе с использованием внеземных ресурсов. Он позволит оценивать эффективность различных вариантов систем.

В космосе много неожиданностей, поэтому приходится моделировать не только поведение материала или конструкции, но и перемещение космонавта-монтажника, его работу в скафандре, контрольные наблюдения по заданию Центра управления полетом и др. Чтобы понять важность предварительного моделирования, достаточно напомнить, что даже такое движение, как сжатие в руке плоскогубцев, является в космосе трудной операцией.

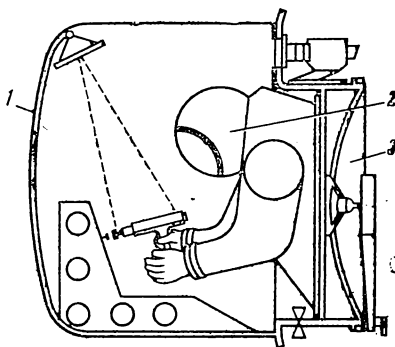


Рис. 3. Стенд для отработки аппаратуры и технологии ручной сварки в космосе

1 — вакуумная камера; 2 — фрагмент космического скафандра; 3 — крышка предкамеры

Какое усилие космонавт сможет приложить к крепежным элементам резьбового соединения — это зависит от типа скафандра и внутреннего давления в нем, положения космонавта относительно монтируемого резьбового соединения, типа системы фиксации, характеристики силового воздействия, вида инструмента (ручной или механизированный), взаимодействия крепежного элемента с инструментом и др.

В истории пилотируемых полетов были случаи загорания отдельных приборов и узлов станции, экипажи успешно справились с пожаром. Проекты новых ОКС предусматривают установку инфракрасных датчиков, своевременно информирующих о пожарах, и обеспечение возможности изоляции (блокировки) отдельного модуля, где возник пожар.

По-разному может проходить испытание систем и тренировка космонавтов: на Земле, на специальных тренажерах; непосредственно на ОКС, с использованием как настоящих монтажных изделий и аппаратуры, так и видеороликов, рассказывающих о предстоящей работе. Когда неожиданно возникла необходимость ремонта двигательной установки, на борт станции были доставлены видеофильмы разработанных на Земле операций по вариантам монтажных работ. Далеко не все можно предусмотреть до полета, многие задачи приходится решать космонавту в процессе полета, когда времени и возможности на обучение мало.

С вводом в эксплуатацию постоянно действующей развитой ОКС каждый из членов ее экипажа будет около 250 ч/год проводить за пределами станции, проводя монтаж конструкций, обслуживание и снабжение станции. Для создания работающему в космосе космонавту лучших условий в его шлеме предполагается вмонтировать дисплей, а самого космонавта снабдить специальным устройством передвижения по ОКС, питающимся через корабль от единого энергоисточника. В этом случае космонавт сможет уверенно работать за бортом по 6,5 ч, причем общее время работы в космосе в течение одной недели не должно превышать 19,5 ч.

Какими бы умелыми ни были роботы, человек на борту КА делает больше. Поэтому наряду с развитием автоматических КА все шире программа пилотируемых полетов. А раз в космос уходит человек надолго, то целый комплекс новых, «человеческих» проблем и условий появляется на орбите, потому что станция, как и зем-

ной дом, воспринимается космонавтом не только расчетливо, но и чувственно. «Пахнет космосом», — часто говорят космонавты, но никто не может точно описать этот запах. Как некоторые из них считают, он ближе к запаху горелого железа, хотя и не так агрессивен.

Как только на станции появляется человек, проблемы космической технологии начинают взаимодействовать с проблемами космической медицины и биологии. А их у последней много: предохранение от болезней и расстройств, предотвращение потери работоспособности; понимание неадекватности первоначальных концепций и подготовка к преобразованию их в более соответствующие выявившимся аспектам космической медицины и физиологии; создание устройств и математических программ, необходимых для поддержания здоровья и способствующих обеспечению гарантированного возвращения космонавтов на Землю в хорошем состоянии. Все это наряду с численностью экипажа станции, групповыми ролями в нем, статусом его членов, формальным и неформальным лидерством, групповыми нормами и правилами поведения, продолжительностью полета и многим другим влияет на результативность экспериментов на орбите. Психологи считают, что при длительных полетах необходимо учитывать групповую психологию; с увеличением длительности полетов уменьшается важность формальных целей, норм и правил поведения, увеличивается важность групповых структур, процессов и ценностей; нужно учитывать межличностную ориентацию и направленность на групповую деятельность.

Психологическое обеспечение экипажа должно поддерживать психическое здоровье экипажа при выполнении ими рутинных операций; предотвращать ухудшение индивидуальных и коллективных характеристик работоспособности и жизнедеятельности экипажа; предотвращать угрозу преждевременного прерывания полета из-за возникновения осложнений эмоционально-психической природы; предотвращать возникновение неоправданного риска; увеличивать вероятность успешного осуществления при необходимости проведения спасательных операций.

## 5. Работы с биоматериалами

На КК будущего К. Циолковский предполагал среду обитания, аналогичную земной. Ф. Цандер в 1915 г. выращивал на древесном угле растения, питавшиеся продуктами жизнедеятельности человека.

За хлореллой была признана главная роль в космонавтике: быстро размножается, прекрасно вырабатывает кислород под действием солнечных лучей, не выделяет токсических веществ, питательна, неприхотлива, дает массу, пригодную для переработки в пищевые продукты, усваивает минерализованные продукты жизнедеятельности людей. Возможно, на борту появится и перепел — у него отличный показатель удельной продуктивности на единицу массы и затраченного корма.

В полетах на космических кораблях и орбитальных станциях было показано, что невесомость — это биологически активный фактор на клеточном уровне. Раньше это признавалось далеко не всеми. Это открытие (в СССР диплом № 318 на открытие выдан его авторам Н. Делоне, В. Антипову, Г. Парфенову) позволило на практике разработать эффективные методы обеспечения жизни, здоровья и работоспособности космонавтов в условиях орбитального полета.

При создании замкнутых систем жизнеобеспечения планируется разводить на ОКС животных, чтобы обеспечить космонавтов высококачественными белками животного происхождения. Проводимая в связи с этим работа предусматривает: исследование и отбор подходящих животных с учетом специфики условий ОКС, создание экспериментального модуля для изучения поведения и воспроизводства животных, создание космической агротехники и агрономической науки.

Словом, изучение и использование живых организмов на орбите давно стоит в программе космических полетов. Существует даже мнение, что космонавтика дала возможность по-новому философски осмыслить наше бытие.

Астронавт Р. Швейкарт сказал, что каждый из нас ощущает свою неразделенную связь со всем человечеством при виде матерей с детьми, слез печали и радости, смеха, музыки, танцев. И все мы боимся употребленного во зло могущества, вложенного в руки людей техническим прогрессом. Взгляд из космоса на нашу планету позволяет понять это не только разумом, но и сердцем. Мы, люди, потратили много времени и энергии на

то, чтобы определить различия между нами, и все же, какими бы они ни были, история человечества, разделяемые нами страх, надежда, радость и любовь связывают нас в единое человеческое целое.

Наиболее прагматическая, прикладная часть работ с биоматериалами получила название биотехнологии. У неё следующие наиболее интересные области исследований: разработка специфических биологических материалов (например, лекарств и материалов), заменяющих живую ткань; разработка новых методов обезвреживания отходов производства и различных токсических веществ; изучение физиологических и патологических процессов в организме и методов лечения в условиях космоса; разработка новых методов работы с биологическими материалами; разработка новых видов аппаратуры и оборудования для биотехнологических экспериментов в космосе; изучение влияний космического полета на биологические системы и т. д.

Космическая отрасль биотехнологии включает эксперименты, проводимые и в наземных условиях. Их цель — проверить аппаратуру и методы, разработанные для космоса; получить в условиях земной тяжести результаты, которые затем можно было бы сравнить с космическими; изучать поведение живых систем перед тем, как их рекомендовать для работы в космосе.

В Институте ботаники АН Литовской ССР образована группа гравитационной биологии. С 1970 г. здесь проводятся «тренировки» высших растений для полетов в космос, ведь все их развитие на Земле происходило в условиях притяжения Земли. Геотропическая реакция растений — это ростовые движения под влиянием силы земного тяготения (одним из первых в стране этой проблемой начал заниматься академик А. Мяркис). Для постановки экспериментов на Земле изготовлена центрифуга-клиностат, позволяющая имитировать для растений некоторые условия невесомости.

В 1974 г. Институт ботаники АН Литовской ССР с другими организациями участвовал в эксперименте «Оазис». На «Салют-4» отправили горох и салат. В Вильнюсе на заводе «Прецизика» был создан биографистат, позволяющий проверить в космическом полете поведение растений одновременно как в условиях невесомости, так и при искусственной силе тяжести (два блока находятся в одном контейнере). Опыты показали, что растения в двух блоках росли почти одинаково,

только в невесомости они теряли ориентацию (что наблюдалось и в модельных наземных экспериментах).

С 1978 г. в космос запускаются микрооранжереи «Фитон». В одной из них («Фитон-3») впервые в условиях космического полета вырос, созрел и дал семена арабидопсис.

Ищутся пути создания орбитальных оранжерей в системах долговременного обеспечения космических полетов. А чем это может помочь земной практике? Известно, что геотропическая реакция растений связана с полеганием зерновых культур, которое приносит сельскому хозяйству много забот и потерь. Эксперименты по космической программе помогут найти средства против полегания посевов.

Несколько лет назад в красноярском Институте биофизики СО АН СССР был выполнен уникальный эксперимент: два ученых провели в герметически закрытой установке «Биос» 5 месяцев. Получены ценные данные для формирования малых коллективов. А Институт физико-органической химии АН Белорусской ССР создал ионитную искусственную почву: золотисто-янтарный песок, крупинки которого блестят, словно стеклянные. Каждая такая полимерная «песчинка» содержит большое количество видов питательных элементов, необходимых для роста растений. В его основе две разновидности ионитов. Ионы не вымываются водой, их невозможно извлечь из гранул механическим путем, но растение может поглощать нужное вещество, оставляя взамен токсичные органические соединения, которые в искусственной почве нейтрализуются. Это нашло применение не только в космонавтике, но и на Земле. На атомных ледоколах были смонтированы установки по выращиванию овощей на такой почве. Почва испытывалась также в герметически закрытом помещении — земном имитаторе космического корабля (космический вариант такой почвы — в свертках, похожих на фетр или войлок, — это почва, сотканная из полимера). Космические оранжереи «Оазис» на орбитальных станциях «Салют» использовали такую почву, в которую еще на Земле закладывали семена растений. С добавлением воды почва на орбите оживала, начинала снабжать семена питательными веществами.

Живые клетки проходят испытания и в космосе. Например, в эксперименте «Медуза» ставилась цель выяснить возможность абиогенного (без участия живого



организма) синтеза нуклеозидов в открытом космосе. Специальное устройство, напоминающее раскрытую книгу, укрепили на обшивке станции накануне ее запуска на Земле. На месте открытых «страниц» были специальные ячейки, куда поместили ампулы с веществами. Часть ампул была открыта воздействию всех факторов космического пространства, другая была закрыта металлическим экраном, третья — контрольная — находилась внутри станции. Эксперимент длился девять месяцев. В. Коваленок и И. Иванченков при выходе в космос сняли аппарат и вернули на Землю. Наземные исследования показали, что в ампулах первой группы образовались аналоги нуклеозидов! Так было доказано, что в космосе могут идти реакции соединения углерода и оснований, т. е. процессы усложнения биологически важных соединений.

Но наиболее важными работами в космосе оказались эксперименты по получению чистых веществ. Например, биологически активных веществ (БАВ), эффект действия которых зависит от их чистоты. Применение их в лечебных целях очень актуально, о чем говорит далеко не полный список областей применения таких веществ: чистые культуры В-клеток, производящие инсулин (трансплантация в поджелудочную железу больных диабетом, преодоление проблемы отторжения трансплантата с помощью чистых культур); препараты для лечения ожогов и ран (лечебная практика); интерферон (антивирусное и противоопухолевое средство); гормоны роста (стимуляция роста костей, лечение язв); клетки почек, производящие фермент урокиназу (противотромбозное средство, предупреждение инфарктов и инсультов); антитрипсин (замедление развития эмфиземы, усиление эффективности препаратов при химиотерапии раковых заболеваний); чистые культуры В- и Т-клеток (противоопухолевая терапия); чистые антигемофильные препараты (лечение наследственной гемофилии); чистый вирусный антиген (производство антивирусных вакцин); чистые клетки стволовых культур (трансплантация больным с неоплазией костного мозга); чистые культуры опухолевых культур (фундаментальные исследования мембран опухолевых клеток); чистые иммуноглобулины (диагностика иммунных заболеваний) и др.

Основные направления в области разделения на фракции сложных смесей биологически активных макромолекул: разделение и очистка клеточных и субклеточ-

ных суспензий с целью получения фракций, обогащенных конкретным БАВ; выделение чистых клеточных культур с целью их дальнейшего репродуцирования методом клонирования; выделение и очистка БАВ, вырабатываемых клетками-продуцентами.

Цель создателей вакцин — получить сверхчистый белок, концентрат из поверхностных структур вируса гриппа. Для выработки иммунитета против гриппа большое значение имеет один из поверхностных белков вируса — гемагглютинин, который обладает способностью склеивать эритроциты. Вакцина, состоящая из такого белка, наиболее безопасна, так как лишена нежелательных примесей. Для выделения белка используют ультрацентрифуги, хроматографию. Даже один миллиграмм такого белка получить трудно: процесс долгий, трудоемкий, дорогой из-за силы тяжести, благодаря которой разделяемые фракции стремятся осесть на дно или перемешаться. В последние годы наиболее часто стал применяться электрофорез.

Электрофорез — направленное движение дисперсионных частиц в растворе под действием электрического поля. В результате процессов, происходящих в растворе, его частицы приобретают электрический заряд. Заряженными частицами могут быть ионы, сложные макромолекулы, коллоидные частицы, живые клетки, капли эмульсии и др. Под действием внешнего электрического поля, создаваемого постоянным током, эти частицы начинают направленно двигаться. Скорость электрофореза зависит от формы и размера частиц и гидратационной способности, а также от диэлектрических свойств растворителя. Молекулы различных органических веществ обладают разным электрическим зарядом, поэтому и скорость в электрическом поле будут иметь различную. На этом основан метод электрофоретического разделения фракций. А многократная прогонка раствора позволяет добиться высокой степени очистки вещества. Производительность электрофоретической установки возрастает с увеличением пути движения фракций, расстояния между электродами, разности потенциалов. Но рост этих параметров в земных условиях быстро приводит к повышению градиента температуры и плотности в растворе, перегреву раствора, возникновению конвекции. В итоге условия эксперимента нарушаются, качество результата ухудшается. В невесомости эти трудности преодолеваются в связи со снижением интенсивности

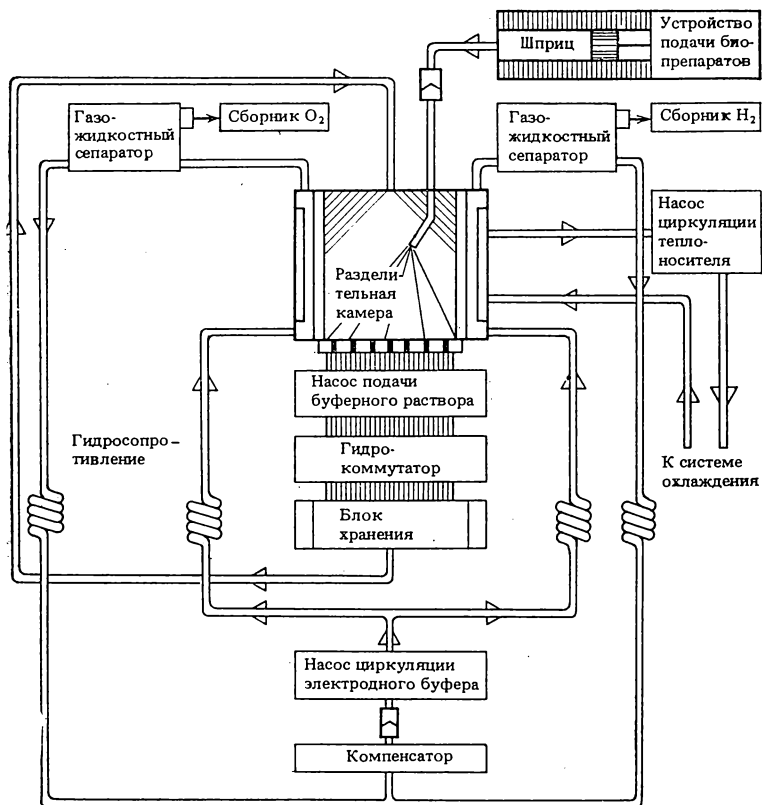
конвективных потоков, отсутствием влияния плотности раствора на процессы в нем.

Основная цель электрофоретических исследований в условиях космического полета — осуществление разделения живых клеток и определение их физико-химических характеристик (табл. П. 2). Называют следующие основные методы электрофоретического разделения компонентов смеси: зональный электрофорез, при котором разделение осуществляется в пористой гомогенной среде, пропитанной буферным раствором (электролитом), который обеспечивает фон ионов малого молекулярного веса; электрофорез в геле высокой плотности, при котором разделение идет по двум характеристикам: по поверхностной плотности заряда и молекулярному весу; изоэлектрическая фокусировка, при которой внутри электрофоретической среды создается непрерывный градиент водородного показателя pH; изотахофорез, при котором используется прерывная буферная система, в которую исследуемое вещество вводится на поверхность раздела между ведущим буферным раствором с высокой подвижностью и терминатором с низкой подвижностью.

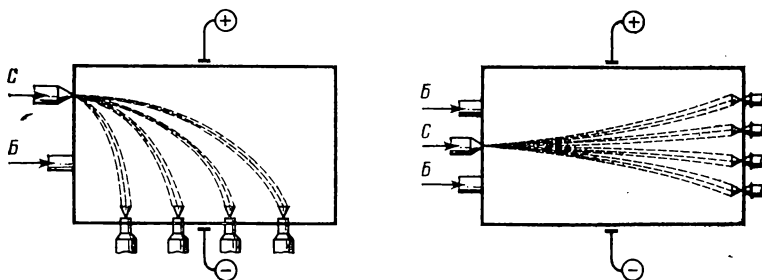
Принципиальная схема одной из электрофоретических установок показана на рис. 4. В разделительной камере происходит процесс разделения исходной смеси биопрепаратов. Электрическое поле здесь создается подачей высокого напряжения на электроды. Раствор электролита (буфера) течет в направлении, перпендикулярном линиям электрического поля, в этом же направлении подается вещество для разделения (рис. 5). Компоненты вещества в соответствии со свойственными им электрофоретическими подвижностями отклоняются в одну или обе стороны к электродам, после чего отдельные фракции собираются в емкости.

Установка «мини-Каштан» предназначена для разделения и очистки белковых препаратов методом изоэлектрического фокусирования рабочего буферного раствора. На этой конструкции проверялись принципы, заложенные в основу более сложной установки «Каштан».

В электрофоретической установке RIEF основным элементом является фокусирующая камера (рис. 6), состоящая из узких параллельных отсеков, отделенных друг от друга мембранами. По обе ее стороны размещены электроды. Разделяемая биосмесь рециркулирует через многоотсековую фокусирующую ячейку и многокальный теплообменник.

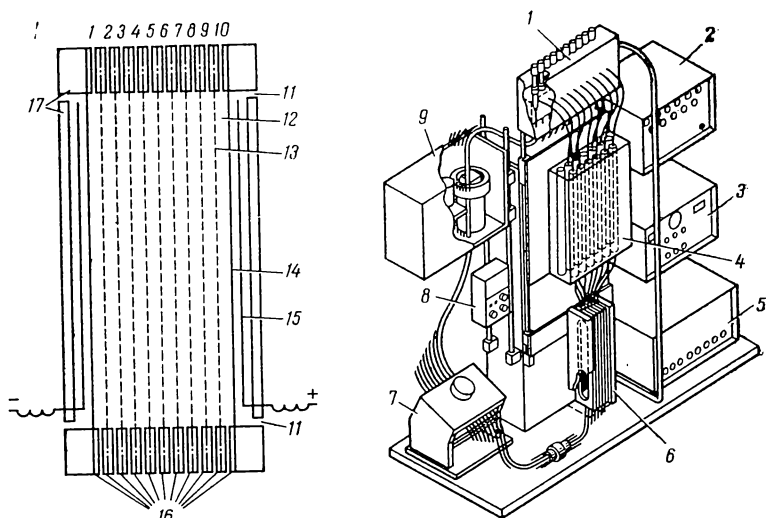


Р и с. 4. Электрофоретическая установка для фракционирования биопрепаратов в свободном потоке жидкости



Р и с. 5. Зональный электрофорез смеси в закрытом канале в земных условиях (слева) и в невесомости (справа)

С — смесь; Б — буферный раствор



Р и с. 6. Аппарат RIEF для рециркуляционного изоэлектрофокусирования (справа) и поперечное сечение разделительной ячейки (слева) для рециркуляционного изоэлектрофокусирования

справа: 1 — рН-метр; 2 — система контроля; 3 — источник питания; 4 — блок охлаждения; 5 — управление УФ-детектором; 6 — фокусирующая ячейка; 7 — насос; 8 — управление насосом; 9 — разделительные каналы; слева: 1—10 — разделительные каналы; 11 — каналные вход и выход; 12 — прокладки из оргстекла; 13 — пластинчатые фильтры; 14 — мембрана, отделяющая электродный отсек; 15 — платиновые электроды; 16 — выводы на многоканальный насос; 17 — корпус ячейки

«Космическая» сыворотка используется для диагностики препаратов, полученных на Земле по «земной» технологии. Кроме того, на ее основе планируется получить и своеобразную лакмусовую бумажку для врача, чтобы быстро определить: грипп у больного или какое-то респираторное заболевание.

Ориентировочная стоимость конечных продуктов биотехнологии, полученных в космосе, оценивается сейчас в 40 000 долл. за 1 кг. Это уже приемлемо для организации крупных производств. К 2000 г. ожидается получение в космосе фармацевтических материалов на сумму в 14,9 млрд долл. Так, 3 млн долл. стоит один грамм тимозина — чистого вещества, используемого для воздействия на иммунную систему. Добывать его на Земле очень трудно. А в условиях невесомости можно «по молекулам» отбирать примеси, получая сверхчистые вещества. На конференции в швейцарском городе Монтрё в феврале 1988 г. СССР заключил соглашение с фарма-

цветическими обществами США по кристаллизации белка на борту ОКС «Мир»; при этом физико-химическая суть проблемы не будет разглашена.

Генеральный директор НПО «Композит» С. Половников считает, что из всех разнообразных направлений космического материаловедения наиболее реальным в ближайшие годы является начало производства на орбите именно лекарств и биопрепаратов. Более сложно освоить производство деталей для микроэлектроники, потому что это требует большой энергетики и почти полного отсутствия всяких ускорений. Взвешивая эти обстоятельства, он называет цифру — к 1995 г. довести космическое производство до 3—5 млрд р. в год.

В гуманных земных целях используются результаты разработок космической техники. Так, на основе разработанного в СССР особого углеродного материала стало возможным изготовление сухожилий и связок, искусственных сосудов, барабанных перепонки. По основным медицинским параметрам (например, по тромборезистентности) этот материал превосходит применяющийся советский лавсан и американский фторлон в 2—3 раза. В Центральном институте травматологии и ортопедии недавно успешно сделана операция с использованием имплантата из специальной высокопрочной стали, созданной для ракетных двигателей. Применение композиций в травматологии и ортопедии сократит сроки лечения в 3—5 раз, позволит делать уникальные операции и восстанавливать трудоспособность людей в самых сложных случаях.

Космонавтика служит здоровью. Ее достижения уже сегодня спасают жизнь, лечат больных. Недалеко и то время, о котором в 1963 г. С. Королев сказал: «Анализируя проведенные опыты, результаты научных исследований, можно с уверенностью сказать, что, в частности, невесомость (в определенных дозах, конечно) может стать средством лечения сердечно-сосудистой системы, различных легочных заболеваний, дифтерии и других болезней. Это очень перспективная задача, она требует изучения и изучения. Ученые, посвятившие себя вопросам космической медицины, скажут свое окончательное слово. Настанет день, когда в околоземном пространстве профсоюзы откроют санатории «Космос», «Электрон»<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Правда. 1989. 6 янв.

## 6. Литье и кристаллизация

Знание особенностей поведения жидкости на борту КА позволяет развивать как прикладные, так и фундаментальные работы в области литья, плавления и кристаллизации материалов и веществ. Поэтому наряду с технологическими установками на борту устанавливаются приборы и оборудование для продолжения исследований особенностей невесомости. Наиболее известный из них — прибор «Пион-М». Исследования с его помощью проводят так. В плоской коробочке (кювете) с прозрачными стенками имитируется жидкая фаза с инородными включениями — пузырьками газа, алюминиевой пудрой и т. д. С одной стороны кювету подогревают, с другой (через прозрачные стенки) пропускают свет, который затем попадает в объектив фото- или киноаппарата. Результаты съемки анализируют для изучения теплового движения частиц в невесомости.

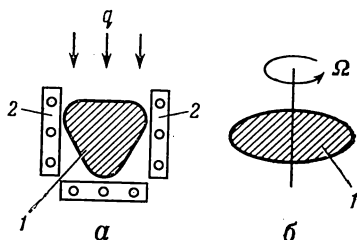
Для исследования термогидродинамических явлений в невесомости разработана установка «Фаза». В Физико-техническом институте АН СССР разработан комплект голографической аппаратуры (КГА) для изучения физических процессов в невесомости. При изучении прозрачных и отражающих объективов КГА применялась на «Салюте-6 и -7».

Расплав в невесомости; податливый любому воздействию, может принимать различные формы без больших затрат усилий. Это позволяет применить электромагнитные и другие установки для формирования у расплава заданной конфигурации и в таком состоянии — его застывания (рис. 7). Для удаления пузырьков воздуха из расплава в невесомости можно раскрутить расплав с помощью электромагнитных сил, тогда ближе к оси вращения все пузырьки соберутся в единый газовый пузырь. С увеличением угловой скорости расплав примет тороидальную форму, полностью освободится от газового пузыря, а с замедлением вращения расплав, лишенный газовых пузырьков, опять примет сфероидальную форму. Этот метод применим только для материалов с высокими магнитно-индукционными свойствами.

Зapatентовано устройство, в котором распределение жидкости в невесомости контролируется приложенными малыми центробежными силами. Сферический резервуар содержит ротор из нескольких дисков или лопастей;

вращение ротора вызывает вращение жидкости в горизонтальной плоскости, которое может быть использовано для перемещения жидкости в отводные трубы.

Освобождение расплава от газов возможно в поле высокочастотных колебаний, ультразвуковом поле. В этом случае при воздействии на систему жидкость — сосуд высокочастотных периодических возмущений происходит интенсивное выделение растворенного газа из жидкости в виде отдельных быстрорастущих пузырьков,



Р и с. 7. Формообразование расплава под действием электромагнитных (а) и инерционных (б) сил

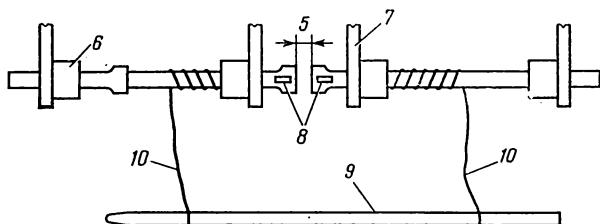
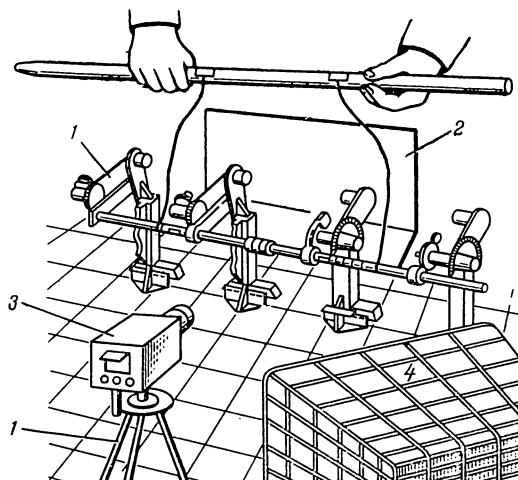
1 — расплав; 2 — электромагнитные катушки

которые затем объединяются в группы вблизи дна сосуда, в последующем всплывающих на поверхность.

На ОКС «Скайлэб» применялось устройство, в котором для создания плавающих зон использовалась вода с красителем. Устройство смонтировано на основе удлинителей торцевых ключей, которые в виде круглых стержней устанавливались в четырех узлах так, что стержни, расположенные соосно, могли бы плавно вращаться вокруг своей оси. На их концах устанавливались алюминиевые диски, внешняя поверхность которых покрыта нейтральной лентой, предварительно обработанной ацетоном для уменьшения смачиваемости водой. Диски вращались с равными скоростями. На диски наносились капли, за их поведением наблюдали с помощью телекамеры, подключенной к магнитофону (рис. 8).

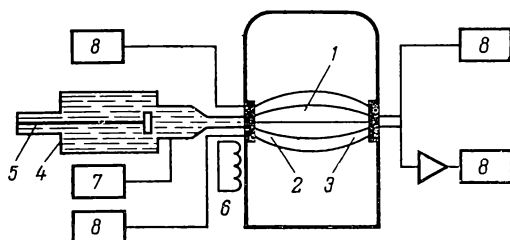
В соответствии с программой исследований физики жидкости на орбитальной лаборатории «Спейслэб» был разработан специальный модуль (рис. 9) для проведения исследований по устойчивости жидкой зоны между двумя дисками в зависимости от размеров зоны, свойств жидкости, температуры, смещения, вращения и вибрации дисков. В ходе эксперимента осуществлялась кино- и фоторегистрация процессов в продольном и поперечном сечениях столба жидкости. Однако первые испыта-





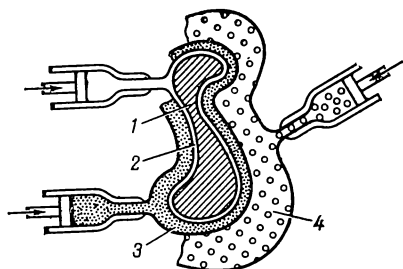
**Рис. 8.** Экспериментальная установка, использованная на ОКС «Скайлэб» для изучения плавающих зон жидкости

1 — узлы крепления; 2 — картонный экран; 3 — телевизионная камера; 4 — источник интенсивного освещения; 5 — плавающая зона; 6 — кольцевые ограничители; 7 — упор; 8 — полоски ленты; 9 — стержень; 10 — накручиваемый шнур



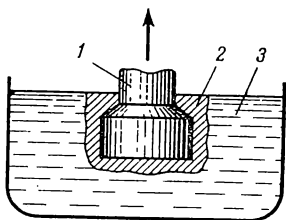
**Рис. 9.** Модуль для исследований по физике жидкости

1 — жидкая зона; 2, 3 — диски; 4 — резервуар с жидкостью; 5 — система слива жидкости; 6 — подогреватель; 7 — двигатель для смещения резервуара; 8 — двигатель для смещения, закрутки и вибрации дисков



Р и с. 10. Адгезионное многослойное литье

1 — форма; 2—4 — слои материала

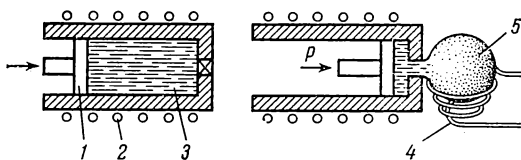
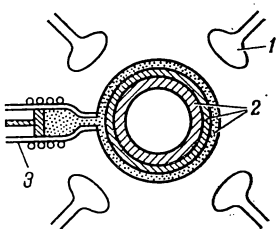


Р и с. 11. Литье «намораживанием»

1 — формоноситель; 2 — намораживающий материал; 3 — расплав

Р и с. 12. Литье многослойных полых сфер

1 — электромагнитная катушка; 2 — последовательно наносимые слои расплава; 3 — питатель с индуктором



Р и с. 13. Схема литья шариков методом выталкивания

1 — поршень; 2 — индуктор; 3 — расплав; 4 — магнитный подвес; 5 — деталь

ния этого модуля в космосе закончились неудачно из-за несовершенства аппаратуры.

При многослойном литье (рис. 10) силы адгезии (при хорошей смачиваемости расплава и поверхности формы) надежно удерживают материалы в соответствующем участке формы. Литье «намораживанием» — один из способов адгезионного литья (рис. 11). Форма окунается в расплав, за счет сил адгезии и поверхностного натяжения при извлечении формы из расплава или изменения температурного режима на поверхности формы можно получать детали различной конфигурации.

В невесомости многослойное литье может осуществ-

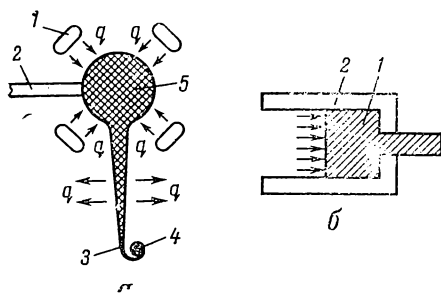
ляться последовательной заливкой в матрицу материалов, отличающихся не только плотностью, но и температурой плавления. Так, можно получить полые сферы, имеющие широкое распространение в технике (рис. 12). Выталкивание определенных объемов расплава из емкости с последующей магнитной или ультразвуковой подвеской расплава является эффективным способом литья шариков в космосе (рис. 13). Когда газ впрыскивается под давлением в расплав, последний раздувается и превращается в сферу. Определенные пропорции между количеством расплавленного материала и количеством поданного газа позволяют получать шары заданных размеров и толщины. Однако в невесомости газовый объем внутри шара занимает не обязательно центральное место, поэтому толщина стенки такого шара может быть неодинакова. Применение системы с двойным отверстием позволяет повысить вероятность центрального расположения газового пузыря и задания толщины стенки полого шара.

Следует отметить, что надежды на получение в космосе идеальных по форме шариков не оправдались: оказалось, что микроускорения, особенности процессов затвердевания шариков в невесомости и другие формы приводят к искривлению их поверхности. В то же время получаемые в невесомости полые шары имеют цельную и однородную микроструктуру, недостижимую на Земле (такие изделия могут быть использованы, например, при производстве баллонов высокого давления). Что же касается получаемых в космосе пленок, лент, мембран, волокон и др., то их толщина соизмерима с величиной молекул — параметры, фантастические для земной технологии.

На рис. 14 показана одна из возможных в невесомости схем производства вытяжкой тонких пленок, лент и нитей. Происходит чисто механическое вытягивание с одновременной подачей жидкого кристаллизующегося (отвердевающего) в процессе вытяжки материала либо вязкое прессование (волочение). Постоянный контроль за процессом кристаллизации позволяет получать направленную ориентацию микроструктуры материала.

В невесомости пленки и мембраны можно получить еще одним способом: расплавленное вещество подается на раму, образованную двумя прутьями (трубками), после разведения которых жидкая масса растягивается в пленку, становится все более тонкой.

Существует несколько типов печей (изотермические, градиентные, зеркальные), которые позволяют осуществить практически любые плавки в космосе. Печи могут быть построены с использованием электронагревных элементов джоулева типа, тепла экзотермических химических реакций, зеркально-лучевых методов нагрева образцов. **Ампульные электронагревательные печи конструктивно просты, обеспечивают проведение массовых**



Р и с. 14. Производство тонких пленок, лент и волокон вытягиванием (а) и прессованием (б)

а: 1—электромагнитная катушка-индуктор; 2—шприц-питатель; 3—нить (волокно, лента, пленка); 4—катушка; 5—расплав  
б: 1—расплав; 2—емкость для расплава

технологических экспериментов с широким кругом веществ и на основе различных технологических методов. Известные сегодня электронагревательные печи построены на основе одного из двух принципов: регулирование по времени тепловых характеристик или протяжка ампулы с образцом через стационарную тепловую зону. Наиболее распространены конструкции электронагревательных печей: изотермическая (нагрев осуществляется за счет пропускания электрического тока через электросопротивления); индукционная (используются вихревые токи (токи Фуко), образующиеся в токопроводящем материале под действием изменяющегося по величине и направлению электромагнитного поля); электронно-лучевая (используется пучок ускоренных электронов).

Одна из целей плавления вещества в невесомости — выращивание кристаллов. Выделяют следующие методы выращивания кристаллов: *направленная кристаллизация слитков* — образец в ампуле при нагреве плавится целиком, за исключением небольшой части, которая расположена вблизи холодного края ампулы и остается твердой (нерасплавленная часть играет роль затравочного кристалла, при понижении температуры со стороны затравки по расплаву движется плоский фронт кристаллизации); *объемная кристаллизация* — образец может

быть переплавлен целиком, затравка отсутствует; *эпитаксия* — ориентированное наращивание кристаллов одного вещества на кристалле другого; *газотранспортный перенос* — в холодной части ампулы размещаются либо объемные кристаллы, либо плоская подложка, на которую идет кристаллизация материала путем его осаждения из паровой фазы (заготовка размещается в горячей части ампулы, при нагреве происходит сублимация (испарение) материала заготовки, который в паровой фазе диффундирует в направлении холодного конца ампулы); *зонная плавка* — расплавляется часть образца путем движения вдоль образца нагревателя (фронт кристаллизации также будет передвигаться); *метод движущегося растворителя* — собранный послойно образец состоит из монокристаллической затравки арсенида галлия, галлиевой зоны, насыщенной растворенным в ней мышьяком, и поликристаллического источника арсенида галлия (этот образец устанавливается в печь так, чтобы максимальная температура приходилась на галлиевую зону, которая плавится в процессе эксперимента; в процессе кристаллизации из раствора мышьяка в расплаве галлия на твердую заправку происходит осаждение кристаллических слоев арсенида галлия); *метод Степанова* — для придания полупроводниковым кристаллам определенной формы, выращенный в установке кристалл обычно подвергают механической обработке; член-корреспондент АН СССР А. Степанов для преодоления этого неудобства предложил придавать расплаву нужную форму с помощью специального формообразования.

Традиционные методы выращивания кристаллов на Земле предусматривают механическое крепление кристаллической затравки на кристаллодержателе или специальной платформе, что имеет следующие недостатки: 1) неполное использование объема кристалла из-за вращаения кристаллодержателя в кристалл; 2) увеличение внутренних напряжений в кристалле вследствие механического крепления затравки; 3) повышенное образование ростовых дефектов в области контакта растущего кристалла с кристаллодержателем или платформой; 4) снижение однородности и морфологического совершенства кристалла вследствие его неравномерного обтекания раствором при использовании известных средств движения кристаллодержателя.

Называют следующие преимущества производства

полупроводниковых материалов в невесомости по сравнению с наземными условиями:

1. Увеличение выхода годных монокристаллов благодаря снижению плотности дислокаций, пор и других дефектов образцов.

2. Исклучение флюктуаций скорости роста, обусловленных термической и концентрационной конвекцией, улучшение однородности распределения легирующих примесей и стабилизации свойств полупроводников благодаря росту в диффузионном режиме.

3. Исклучение колебаний относительно стехиометрического состава и получение параметров полупроводников, близких к теоретическим значениям.

4. Облегчение выращивания монокристаллов большего диаметра методом зонной плавки, обусловленное малыми значениями чисел Бонда.

Левитаторы — это устройства, позволяющие фиксировать образцы в зоне нагрева без контактов со стенками камеры. Благодаря им возможна бесконтейнерная плавка. Используются левитаторы трех типов: ультразвуковые, электромагнитные и электростатические. Недавно созданы еще два типа левитаторов: ионно-плазменный и лазерно-абляционный. Ионно-плазменный основан на нагреве и удержании образца пучками плазмы инертного газа, например ксенона. Лазерно-абляционный левитатор основан на испарении порций материала с поверхности образца короткими импульсами лазерного излучения длительностью  $10^{-7}$ — $10^{-8}$  с. Средняя мощность лазера должна быть не более 100 Вт при частоте в несколько герц.

В условиях невесомости отпадает необходимость в креплении затравки на кристаллодержателе, создаются условия для однородного и изометрического роста кристалла. В земных условиях делались попытки достигнуть тех же условий с помощью специальных установок, в которых обеспечивалось равнодействие силы давления потока питающего раствора и силы земного тяготения (с учетом архимедовой силы выталкивания). В невесомости можно работать с расплавленными металлами без тигля, что позволяет избежать неконтролируемого загрязнения кристалла или слитка материалом тигля, вступающим в реакцию с расплавом. Бестигельная плавка была применена для создания и использования плавающих зон для очистки и выращивания монокристаллов химически активных материалов (кремний, вольф-

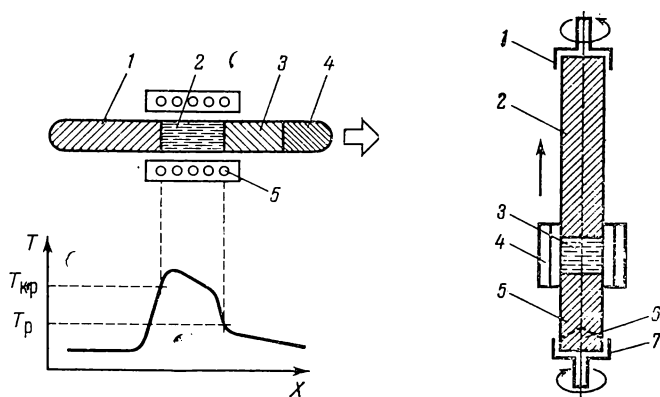
рам), а также монокристаллов тугоплавких оксидов (этот метод еще получил название «зонной очистки» или «зонной плавки»; он же используется и в земных условиях). Во время экспериментов на борту ОКС проводились регистрация параметров и видеозапись, которая в наземных условиях обрабатывалась.

В выполненных в космосе экспериментах применены различные методы выращивания полупроводниковых кристаллов (табл. П.3). Их результаты показали, что можно получать кристаллы, которые при использовании их в электронной промышленности не требуют механической обработки, в связи с чем достигается лучшее качество изделий электроники. При выращивании кристаллов можно контролировать их форму, состав и дефекты структуры, точность линейных параметров и другие параметры. Экспериментально обнаружено, что иногда скорость роста кристаллов в невесомости выше, чем в обычных условиях. В то же время зародыши кристаллов образовывались более медленно.

При бестигельной зонной перекристаллизации заготовка и монокристалл разделены жидкой зоной расплава (рис. 15 и 16). При перемещении заготовки относительно нагревателя происходит рост монокристалла, стержень плавят не целиком, а в узком поясе — кольцевой зоне.

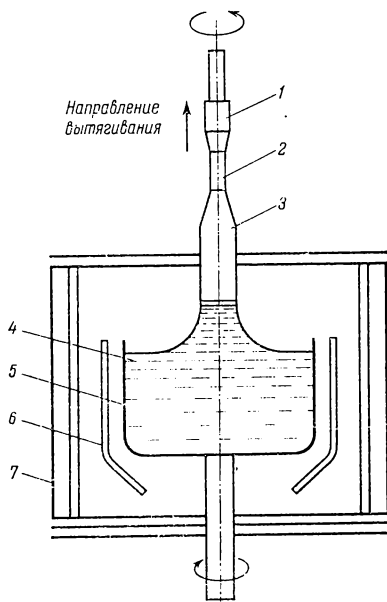
Выращивание кристаллов по методу Чохральского (метод вертикального вытягивания) осуществляется следующим образом. Материал помещается в тигле и поддерживается в жидком состоянии (рис. 17) благодаря непрерывному нагреву. Затравочный кристалл погружается в расплав. После оплавления конца затравки и достижения определенного температурного режима начинается вытягивание: держатель медленно поднимают вместе с затравкой, которая непрерывно наращивается за счет примыкающих к ней охлаждающихся порций расплава. Кристаллизация происходит вне тигля. Такой метод получения монокристаллов в земных условиях наиболее распространен.

При выращивании кристаллов методом направленной кристаллизации расплав находится в продолговатом контейнере (рис. 18), который помещается в электропечь с высокотемпературной и низкотемпературной зонами; в первой зоне материал плавится, во второй — остывает и затвердевает. Некоторые модификации этого метода называют методами Чалмерса и Бриджмена.



Р и с. 15. Бестигельная зонная кристаллизация

1 — заготовка; 2 — жидкая зона; 3 — растущий монокристалл; 4 — нагреватель;  $T_{кр}$  — температура кристаллизации;  $T_p$  — температура расплава



Р и с. 16. Установка для выращивания монокристаллов методом бестигельной зонной перекристаллизации

1 — зажим; 2 — стержень (поликристалл); 3 — расплав; 4 — нагреватель; 5 — стержень (монокристалл); 6 — затравка; 7 — зажим

Р и с. 17. Схема установки для выращивания монокристаллов по методу Чохральского

1 — держатель; 2 — затравка; 3 — монокристалл; 4 — расплав; 5 — тигель; 6 — нагреватель; 7 — теплоизоляция

Другим способом выращивания монокристаллов является направленная кристаллизация. Существуют две основные его модификации: метод Бриджмена — Стокбаргера и метод с регулируемым тепловыми характеристиками. В методе Бриджмена — Стокбаргера ампула из кварца или другого химически пассивного материала с заготовкой перемещается относительно зоны с гра-



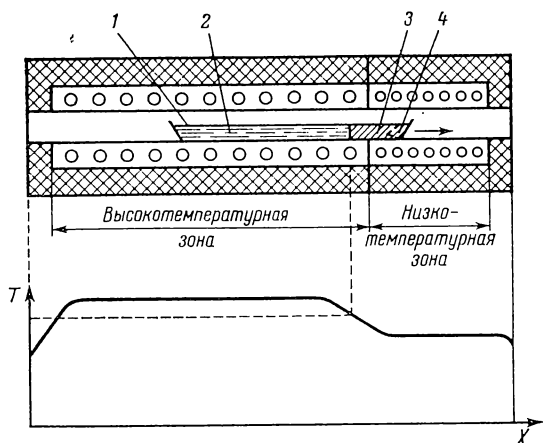
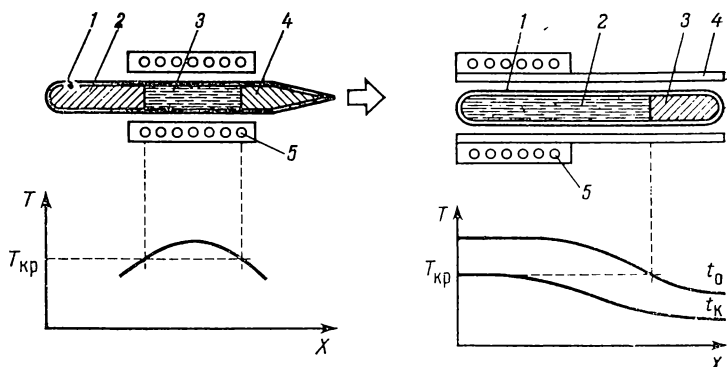


Рис. 18. Установка для выращивания монокристаллов методом направленной кристаллизации и распределение температуры по длине установки  
1 — контейнер; 2 — расплав; 3 — монокристалл; 4 — затравка

диентом температур. Рост монокристалла может идти как от острого конца заготовки, так и от монокристаллической затравки (рис. 19). При выращивании монокристалла по методу с регулируемыми тепловыми характеристиками в рабочей зоне печи температура создается так, чтобы на большей части ампулы температура превышала температуру плавления материала; после расплавления заготовки температура печи медленно снижается (рис. 20).

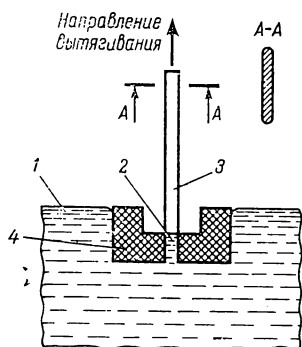
Метод выращивания монокристаллов по Степанову пригоден для выращивания лент и профилированных форм. Столб расплава, примыкающий к растущему монокристаллу (рис. 21), создается пластиной-формообразователем (прорезанной щелью), в которую вводится затравка до сцепления с раствором. Затем затравка вытягивается вверх (как в методе Чохральского), увлекая за собой растущий ленточный монокристалл.

Широко применяется способ движущегося растворителя для выращивания монокристалла из раствора. Процесс осуществляется в три стадии: диффузия растворенного вещества к зоне кристаллизации; образование и рост слоев кристаллизующего вещества на поверхности кристалла, рассеяние теплоты кристаллизации (рис. 22). При выращивании монокристалла методом с подвижным температурным полем необходимый темпе-



Р и с. 19. Выращивание монокристалла методом Бриджмена—Стокбаргера

1 — ампула; 2 — заготовка; 3 — зона расплава; 4 — выращенный монокристалл; 5 — нагреватель;  $T_{кр}$  — температура кристаллизации



Р и с. 20. Выращивание монокристалла в печи с регулируемыми тепловыми характеристиками

1 — ампула; 2 — заготовка; 3 — затравка; 4 — муфельная труба печи; 5 — нагреватель;  $t_0$  и  $t_K$  — начальный и конечный моменты процесса

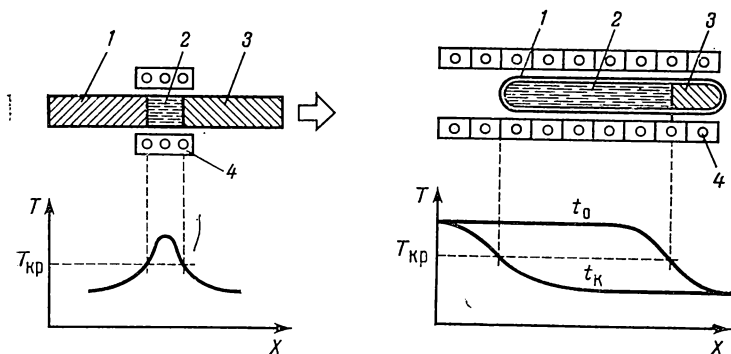
Р и с. 21. Схема установки для выращивания монокристаллов способом Степанова

1 — расплав; 2 — щель; 3 — монокристалл (лента); 4 — пластина-формообразователь

ратурный профиль в рабочей зоне печи меняется во времени за счет посекционного изменения подводимой энергии к нагревателю (рис. 23).

Применяемые в технологических экспериментах установки различаются методами выращивания кристаллов, размерами зоны плавления или объемом раствора, потребляемой энергией, источниками энергии и массой установки.

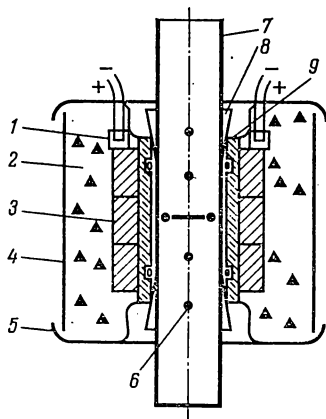
Технологический модуль МУРМЕК с оптической установкой разработан для высотных ракет шведскими учеными. При полете ОКС «Спейслэб» также использовалась оптическая установка МНФ с двумя галогенными лампами. Печь без нагревательного элемента при-



Р и с. 22. Выращивание монокристалла методом движущегося растворителя  
1 — исходный материал; 2 — раствор в расплаве; 3 — монокристалл; 4 — нагреватель;  $T_p$  — температура, соответствующая растворению исходного материала в расплаве

Р и с. 23. Выращивание монокристалла методом с подвижным температурным полем

1 — ампула; 2 — заготовка; 3 — затравка; 4 — секционный нагреватель

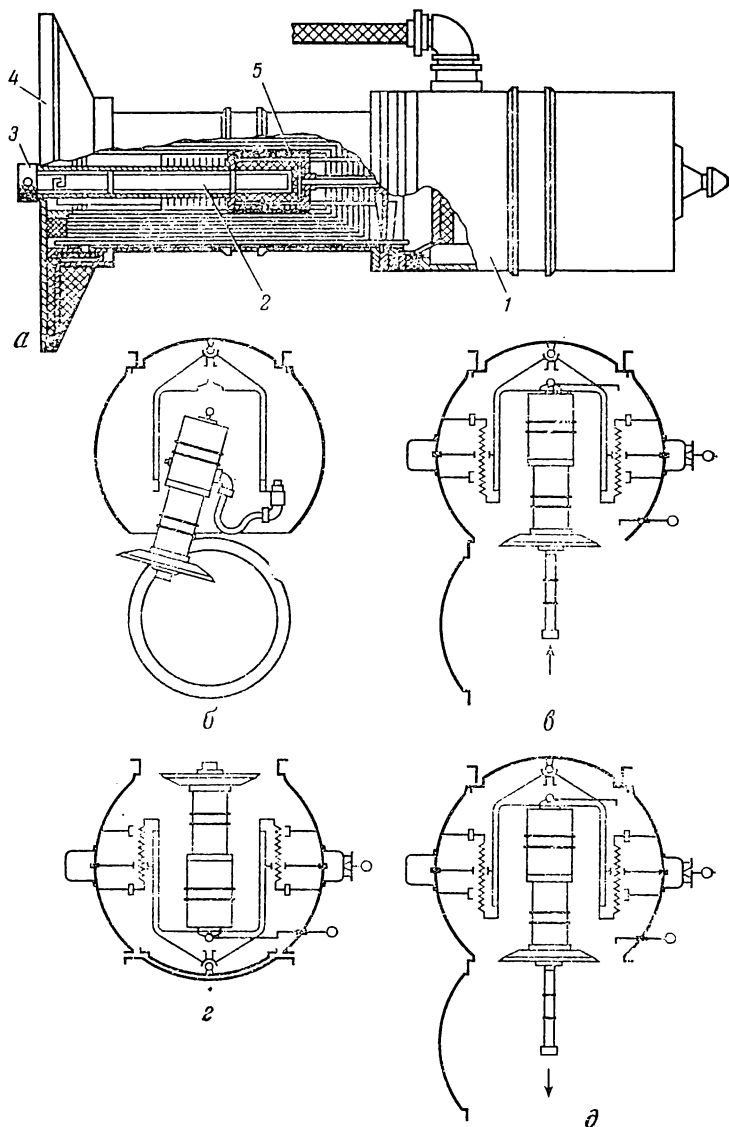


Р и с. 24. Схема печи, нагрев которой осуществляется за счет сгорания химических продуктов

1 — воспламенитель; 2 — изоляция; 3 — тепловыделяющая секция; 4 — тигель; 5 — нижняя плата; 6 — термopара; 7 — ампула или трубка, в которую помещается образец; 8 — прокладка; 9 — втулка

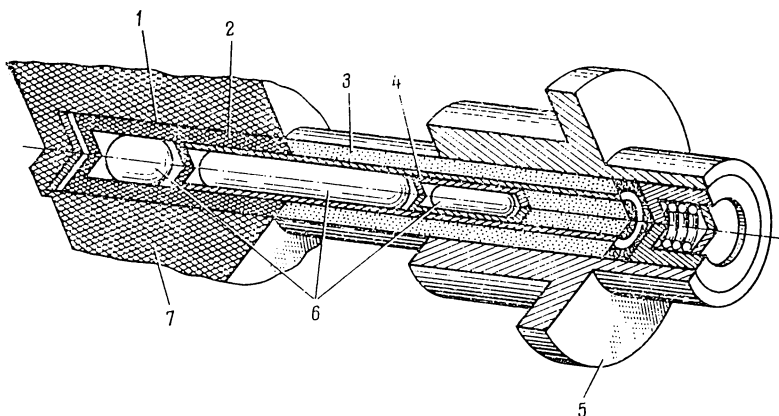
менялась на ОКС «Скайлэб» (рис. 24); нагрев в ней осуществлялся за счет тепловой энергии, выделяющейся при сгорании химических продуктов (около 650 кал/г).

Миниатюрная полуавтоматическая электропечь «Сплав-01» предназначена для проведения экспериментов по получению в космосе полупроводниковых, металлических, композиционных и оптических материалов (разработаны и применяются модификации этой установки). Установка «Сплав» размещается в специальном шлюзовом отсеке, который сообщается либо с рабочим отсеком ОКС, либо через открытый люк с космическим



Р и с. 25. Электронагревательная камера установки «Сплав-01»

*а* — схема камеры; *б* — компоновка камеры в шлюзовом отсеке; *в* — монтаж капсулы в камере; *г* — рабочее положение камеры в шлюзовом отсеке; *д* — демонтаж капсулы из камеры; 1 — термостат; 2 — капсула; 3 — байонетный замок; 4 — излучатель; 5 — нагреватель



Р и с. 26. Пенал для технологических экспериментов в космосе во время осуществления программы ЭПАС

1 — оболочка из нержавеющей стали; 2 — графитовый тепловой вкладыш; 3 — изоляция; 4 — медный тепловой вкладыш; 5 — блок отвода тепла; 6 — ампулы; 7 — графитовый нагревательный блок

пространством (рис. 25). Когда в «Сплаве» растет кристалл, космонавты стараются осторожно передвигаться по станции. Каждое движение контролируется. За 140 ч рождается в ней совершенный полупроводниковый материал — сплав  $\text{Cd—Hg—Te}$ .

Для применения в программе ЭПАС была разработана печь, в которой для отвода тепла была предусмотрена система газового охлаждения, что по сравнению с теплоотводящей пластиной (как было в такой же конструкции печи на ОКС «Скайлэб») позволяло сократить длительность процесса охлаждения и выполнить большее число экспериментов за короткое время полета. Электрическую печь разработали американские ученые, а научную программу работ на ней — ученые Института металлургии им. А. Байкова АН СССР. Образцы материалов, упакованные в кварцевые ампулы, помещались в пеналы (рис. 26). Пеналы на орбите помещались в камеры электропечи, нагревались, затем охлаждались. После завершения полета на Земле ампулы вскрывались и образцы подвергались исследованию.

Одной из первых для выращивания кристаллов использовалась установка «Кристалл». Установка «Магма-Ф» отличается от «Кристалла» возможностями выращивания более крупных образцов.

В установке «Магма-Ф» предусмотрены блок акселерометра и автономный магнитный регистратор для измерения и записи во время экспериментов спектра вибраций, создаваемых работой многочисленных приборов и систем ОКС, и микроускорений, вызываемых динамической станцией, гравитационными и аэродинамическими силами; температурные измерения могут производиться в любой точке во время проведения технологического процесса.

После «Кристалла» и «Магмы-Ф» была создана более совершенная установка «Корунд», позволившая работать с большими по массе и объему образцами и с более разнообразными режимами работы. «Корунд» — первая полупромышленная установка для выращивания кристаллов на ОКС. В барабан загружается до 12 контейнеров с материалами, каждый из которых обрабатывается в своем режиме, контролируемом автоматикой. На этой установке изучены технологические процессы получения монокристаллов полупроводниковых соединений из паровой и жидкой фаз, получены монокристаллы селенида кадмия методом физического транспорта из паровой фазы и монокристаллы антимолибдита индия методом зонной плавки из расплава.

«Кристаллизатор» характеризуется точностью измерений и стабильностью температуры, диапазоном скоростей перемещения образцов, возможностями регистрации данных и контроля проведения эксперимента. Ученые Института космических исследований АН ГДР создали автоматический регистратор параметров, совместимый с «Кристаллизатором», для его диагностики, а также в качестве независимой контрольной аппаратуры.

Установка АММФФ разработана западногерманскими учеными для обработки материалов методом зонной перекристаллизации. В ней также используется в качестве источника нагрева галогенная лампа.

Оборудование для выращивания кристаллов в космосе американской фирмы ИТА состоит из аппаратуры управления и двух блоков из инертного материала, в каждом из которых имеется равное число (около 100) внутренних полостей. В верхнем блоке и нижнем блоке содержатся различные жидкости, которые соединяются после выведения установки на орбиту. В результате реакции происходит рост кристаллов.

Работы по кристаллизации жидкостей ведутся в Ви-

тебском отделении Института физики твердого тела и полупроводников АН СССР под руководством члена-корреспондента АН Белорусской ССР В. Клубовича. Изучаются кристаллы КДР, АДР, ТГС, сегнетовой соли, квасцов и их водные растворы, легкоплавкие органические соединения (салол и др.). Основные направления работ этого института следующие.

1. Выращивание кристаллов из растворов под действием низкочастотных вибраций (0—200 Гц), накладываемых на кристалл или на поток обтекающего его раствора; исследование влияния вибраций различной частоты и амплитуды на скорость роста и структуру кристаллов, на образование вторичных течений, на развитие концентрационных потоков.

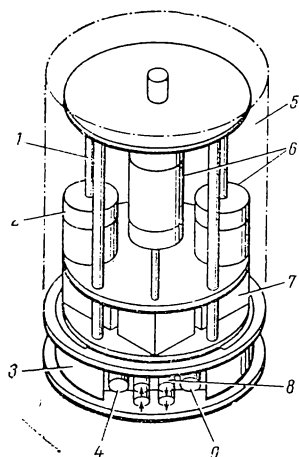
2. Выращивание механически не закрепленных кристаллов во взвешенном состоянии в восходящих потоках раствора; исследование условий гидродинамического подвешивания кристаллов.

3. Изучение устойчивости пересыщенных растворов и процессов вторичного зародышеобразования. Исследование влияния гидравлических сил потока на образование вторичных зародышей и их распределение по размерам.

4. Выращивание кристаллов с периодической сложной примесной структурой методом последовательного наращивания слоев в растворах разного состава. Исследование влияния вибраций, гидродинамических и других факторов вхождения примесей в растущий кристалл.

5. Ритмическая кристаллизация слоев расплава органических веществ. Исследование закономерностей образования ритмических структур в зависимости от степени шероховатости поверхности подложки, а также от других факторов.

Печь, схема которой показана на рис. 27, была разработана для уменьшения относительных ускорений образца (в данной конструкции перемещается нагреватель, а не образец), а также повышения теплоемкости образца. В. Клубович считает, что вибрации можно использовать в качестве средства интенсификации и управления процессами роста кристаллов. Воздействие вибраций на ростовую систему приводит к появлению ограничения кристаллов. Если без вибраций из расплава вытягиваются кристаллы KCl, NaCl, Ge и др. грубо цилиндрической формы, то при наличии вибраций сечение



Р и с. 27. Схема печи с автоматической системой водяного охлаждения

1 — тигель для образцов диаметром 2—5 мм и длиной до 10 см; 2 — система водяного охлаждения; 3 — источник питания и циркуляционный насос; 4 — электрический разъем; 5 — система контроля среды; 6 — секция печи (температура нагрева до 1600 °С, скорость перемещения 0,1—5,0 см/мин); 7 — система управления пещью; 8 — система газовой продувки; 9 — телеметрический разъем

кристаллов становится грубо квадратным или треугольным (в зависимости от направления вытягивания). С увеличением интенсивности колебаний уменьшается количество граней на кристалле; эффект изменения формы наблюдается при подведении вибраций и к кристаллу, и к тиглю с расплавом.

Известно, что при колебаниях частотой 100 Гц обеспечивается получение локально равновесных кристаллов Ge—Si, InSb—GaSb при скорости роста 10 вместо 2—3 мм/ч без колебаний. Скорость роста кристалла может увеличиваться и в том случае, если вибрации накладываются не на кристалл, а на омывающий его поток расплава. Вибрации также влияют на дефектную структуру и примесный состав выращиваемых кристаллов.

Эксперименты по выращиванию кристаллов на станции «Салют» показали, что ширина примесных полос в кристаллах зависит от параметров вибраций и составляет от десятых долей до десятков микрон (при амплитудах ускорений  $g \approx (10^{-3} \div 10^{-5}) g_0$ , где  $g_0$  — ускорение на поверхности Земли, и частотах  $f \approx 0,1 \div 10$  Гц). Например, при кристаллизации Ge с примесью Ga на установке «Кристалл» днем, в условиях наиболее интенсивных вибраций, ширина полос, обусловленных периодическим перемещением ампулы с расплавом в градиентной печи, равнялась 3,4 и 80 мкм, а амплитуда колебаний примеси — соответственно 2 и 0,7 %. При выращивании кристаллов  $Pb_{1-x}In_xTe$  ночью, в более спокойной по перегрузкам обстановке ( $g \approx 10^{-5} g_0$ ), амплитуда колеба-



ний примеси для полос шириной 3,4 мкм уменьшилась приблизительно на порядок.

В. Бирюков с соавт. отмечают следующие преимущества кристаллов, выращенных в условиях, близких к невесомости: более высокая степень совершенства кристаллической структуры и чистоты материалов, достигнутая благодаря отсутствию контакта растущего кристалла со стенками ампулы; лучшая однородность электрофизических параметров кристаллов и эпитаксиальных структур, обусловленная существенным ослаблением нерегулируемой конвекции и преобладанием диффузионного механизма массопереноса; устранение полосчатой неоднородности в распределении примесей, являющейся основной причиной разброса параметров микросхем, особенно при высокой степени интеграции ( $10^3 \div 10^6$  элементов на кристалле); улучшение стехиометрии состава полупроводниковых соединений, связанное с меньшим обеднением растущего кристалла легколетучим компонентом в условиях преобладания диффузионного массопереноса. В создаваемом в Ленинграде Музее истории науки и техники Ленинградского отдела Института истории естествознания и техники АН СССР представлены образцы аппаратуры, в которых применяются или будут применяться кристаллы, выращенные в условиях невесомости.

Производство стекла в космосе получило меньшее развитие, так как требует более сложных установок и высокотемпературных печей. При этом должны обеспечиваться: 1) бесконтейнерное удержание стеклообразной массы в процессе варки; 2) удаление нежелательных газовых включений в условиях отсутствия плавучести; 3) гомогенизация расплава в режимах, когда межфазные взаимодействия ведут к разделению компонентов; обеспечение заданного темпа охлаждения в условиях отсутствия конвекции в жидкой массе. В космосе можно осуществить бесконтейнерную варку стекла, повысить стабильность смесей различной плотности, уменьшить вероятность спонтанного зародышеобразования, активно использовать силы поверхностного натяжения для придания жидкому расплаву перед затвердеванием необходимой формы (зеркала, линзы, волокна, пленки и т. д.), использовать космический вакуум для откачки летучих фракций в процессе варки стекла.

Плавка стекла в невесомости позволяет избежать следующих дефектов:

1. *Кристаллы*, т. е. включения, выделяющиеся из самого стекла в процессе затвердевания. Увеличение скорости охлаждения жидкой массы и исключение контактов со стенками контейнера уменьшают вероятность кристаллизации.

2. *Камни*, т. е. инородные включения. Бесконтейнерная варка стекла в состоянии резко снизить их концентрацию.

3. *Свилы*, т. е. прослойки стекол с разным химическим составом. Их источником также в значительной степени служат стенки контейнера.

Основные направления создания в космосе улучшенных и новых сортов стекла: стекла с улучшенными характеристиками (высокий коэффициент преломления, большое значение числа Аббе, аномальная частная дисперсия); тугоплавкие стекла; термопоглощающие и теплоотражающие стекла; стекла с повышенной концентрацией активных примесей для твердотельных лазеров; стекла, устойчивые к активным химическим воздействиям; полупроводниковые стекла для интегральных схем.

Разработан проект установки для бестигельного получения стекол. Он предусматривает применение акустического интерферометра для фиксации образца.

На «Салюте-6» впервые была отлита стеклянная линза, имеющая идеальную для оптики поверхность. Полученные в космосе оптические элементы могут быть использованы для создания гибких зеркал для адаптивной оптики, элементной интегральной оптики; оптических элементов с переменным показателем преломления (градианов), оптических элементов с однородным содержанием мелкодисперсных частиц (фильтров, активных элементов лазеров с перестройкой частоты), крупногабаритных астрономических зеркал для внеатмосферных телескопов.

## **7. Материалы в космонавтике**

Материаловедение в космической технологии имеет следующие аспекты: получение новых материалов в космосе, создание и использование новых материалов при производстве космической техники, использование в земной практике материалов, полученных в ходе выполне-

ния космических программ как на Земле, так и в космосе.

Исследования, выполненные Международным фондом истории науки, показывают, что с древних времен материалы, происхождение которых связано с космосом, приковывали к себе внимание людей. Кинжалы и сабли, сделанные из метеоритов, высоко ценились в древности. Сегодня знаем, что метеоритный металл представляет собой такой сплав железа и никеля, который до сих пор не получен искусственным путем.

Удавалось даже на Земле смешать свинец и алюминий, имеющие различные плотности (земная сила тяжести стремится их разделить еще до того, как сплав затвердевает). Сплав из свинца и алюминия создан на Земле в Институте физики АН Латвийской ССР. Для этого плавильная печь была помещена в магнитные и электрические поля. Величины полей подобраны так, что свинец и алюминий плавают один в другом. Получив нужную мелкозернистую структуру, смесь охладили. Сплав обладает хорошими антифрикционными свойствами и применяется для изготовления подшипников скольжения, давая экономию дефицитного олова.

Для космического материаловедения характерно: выполнение плавки бестигельным способом, благодаря чему повышается чистота выращиваемого кристалла; удается получить новые металлические стекла или стекла, содержащие окислы ВаО и СаО; отсутствие естественной конвекции, обусловленной градиентами плотности; отсутствие седиментации и потоков Стокса; отсутствие гидростатического давления и его влияния на фазовое равновесие.

К настоящему времени выполнен большой объем экспериментов в области космического материаловедения (табл. П.4). Фирма «Крузет» изготовила комплекс приборов для экспериментов по космическому материаловедению (согласно франко-американской программе, изучались процессы затвердевания материалов на Земле и на орбите). В него входят образователи, регуляторы и усилители мощности, обеспечивающие функционирование плавильной печи, а также микропроцессоры управления экспериментом и интерфейс связи с системой обработки информации МТКК. Успехи работ на орбите позволяют говорить об опытно-промышленном производстве материалов на борту ОКС, прежде всего так необходимых земной промышленности полупроводниковых материалов (табл. П. 5).

Изучаются возможности запуска беспилотного модуля, который обеспечил бы ежедневное получение слитка кремния длиной 600 мм и диаметром 76 мм при энергопотреблении около 20 кВт. Подсчитано, что 2—3 космических цеха массой 15 т (стоимость 500 млн долл. каждый) смогут обеспечить половину потребностей США и Западной Европы в полупроводниковых материалах в последнем десятилетии нашего столетия. Японские ученые считают, что уже сегодня можно создать технологическое оборудование для работы в космосе со сроком службы до 50 лет.

На Земле создаются и развиваются принципиально новые методы ведения работ по программам материаловедения, перспективные для применения в космосе. К таким новшествам можно отнести волновое направление в машиностроении и химическую «сборку».

Коллектив ученых, возглавляемых членом-корреспондентом АН СССР Р. Ганиевым, разработал теорию колебаний многофазных систем, например состоящих из жидкости, газа и твердых частиц. С помощью воздействия высокочастотных колебаний можно сделать смеси различных веществ в десятки раз экономичнее, эффективнее и проще, чем другими ранее известными способами. Можно управлять колебаниями, можно управлять и получением смеси. В результате резонанса не требуется подвода мощности извне, это дает выигрыш в скорости и энергии. Первыми волновыми установками, созданными в Институте машиноведения АН СССР, были заложены основы принципиально нового направления в машиностроении — волнового.

В Ленинградском государственном университете проводятся теоретические и экспериментальные исследования по программе «Химическая сборка», результаты и технология которых могут быть переданы для отработки в условиях космоса. Эти работы базируются на концепции надмолекулярного строения твердых веществ, выявляющей роль размерного фактора в протекании химических реакций. Основным отличительным признаком этой технологии является формирование структуры металла в ходе его глубокого химического превращения в отличие от известных физических процессов кристаллизации и спекания. Особенности этих процессов являются: коэффициент использования металла, близкий к единице; полная экологическая чистота; малооперационность процесса; малая энергоемкость; возможность полной ав-

томатизации. Эти методы перспективны для изготовления в орбитальных условиях изделий, форма и характеристики которых задаются в зависимости от ситуации на орбите; возможно также производство заготовок и блоков с последующим их соединением в крупногабаритные изделия сложной конфигурации, состоящие из множества слоев и зон различного химического состава и строения. При этом используется несложное оборудование: источник водорода и водородная печь. Ориентировочные параметры одного синтеза: продолжительность 5—6 ч, расход водорода 3 л/мин, потребление энергии 5—15 кВт/ч.

Уже сегодня обширен перечень применяемых в космонавтике новых материалов: каптоновые пленки, каптон с защитными кремниевыми покрытиями, кевлар с циклическими включениями полиамидных цепей, различные модификации тефлона, майлар, полиуретан, серебро, осмий, магниевые сплавы, германий, кремний, композиты графито-эпоксидной структуры и др. В МТКК «Спейс шаттл» используется бериллий как лучший конструкционный материал при изготовлении следующих важных узлов и деталей: замков, прокладок, стоек фонаря кабины экипажа, навигационных панелей, крышек внешнего бака в хвостовой части фюзеляжа; для него исследовались также материалы: 1) композит из 75 % волокна  $\text{SiO}_2$  и 25 % волокна  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ; 2) композит из волокна  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{—B}_2\text{O}_3\text{—SiO}_2$  (Nextel) и волокна  $\text{SiO}_2$ ; 3) полиуретановый пенопласт с наполнением из нитевидных кристаллов  $\text{Si}_3\text{N}_4$ .

В ФРГ при наземном испытании наилучшие результаты при моделировании микрометеоритной бомбардировки показали поликарбонатные системы для применения в качестве иллюминаторов ОКС.

Широко применяются в космической технике углепластики. Структура и высокая химическая стойкость позволили использовать их в качестве фрикционного материала для тормозных дисков колес. Этот материал нашел применение и на Земле: уже сегодня применяются изготовленные из углепластика разнообразные протезы.

Изучались материалы, которые можно было бы использовать для космических конструкций в местах, особо изнашивающихся и сваривающихся. Определялись их характерные параметры: коэффициенты трения или вибрации как функции времени или количества циклов ис-

питаний; срок службы покрытий (в количествах циклов), определяемый увеличением трения выше предельной величины; интенсивность изнашивания. Из 144 изученных во Франции материалов лучшие результаты оказались у TiC, Tiodize, Adhesail, Rh+MoS<sub>2</sub>, для точечного контакта рекомендованы титан и алюминий, покрытые материалом марки Tiolube-1175. Наибольший ресурс трущихся частей обеспечивает смазка, содержащая вещество ЕрохуADMESOIR.

Перспективными материалами для космических сооружений считаются полимерные композитные материалы на основе высокопрочных волокнистых наполнителей с ужесточением их под действием солнечного излучения или других факторов среды. Искусственно созданные композиты состоят из связующего материала (матрицы) и наполнителя в различных объемных соотношениях. Свойства композитов зависят от формы, размеров и количества наполнителя, прочности матрицы и армирующих частиц, сил сцепления между матрицей и наполнителем и др. В космосе можно получить даже вспененную сталь — смесь стали и воздуха. Получение на Земле композитов на основе металла невозможно, так как низкая вязкость металлов приводит к немедленному разделению компонентов, составляющих композицию и имеющих различную плотность. Параметры получаемых в космосе композитов зависят, в частности, от степени смачиваемости твердых включений расплавом основного материала; смачиваемость можно изменять, вводя в расплав нейтральные для основного материала примеси или включения.

Широкое применение в космонавтике получают композитные материалы с высокомодульным графитовым волокном вследствие их высокой прочности и жесткости при малой массе и близким к нулю коэффициенте теплового расширения. Эти свойства позволяют создавать на их базе большие и легкие конструкции с высокой стабильностью размеров (антенны, точные оптические устройства).

Во Французском центре космических исследований CNES с 1982 г. разрабатывается программа получения композитов с металлическими матрицами. В особенности перспективны для использования в космосе композиты с матрицей из магния для изготовления вторичных конструкций КА, таких, как рефлекторы антенн, несущие фермы оптических приборов, которые требуют вы-

сокой стабильности конструкций для обеспечения хорошей точности, отсутствия чувствительности к УФ-излучению и влажности и др.

Не только для декоративно-маркировочных целей, но и для терморегулирования объекта служат краски, которыми покрываются элементы КА. В последние годы отобрана серия полос покрытий (силиконовых, силикатных, полиуретановых и др.), а также красок (белых, черных, алюминиевых и др.) и проведены их испытания для исследования следующих характеристик: уровень дегазации, термооптические свойства, стабильность при воздействии радиации, поверхностное сопротивление.

Анализ планов разработки конструкций новых КА показывает, что срок их службы будет увеличиваться (уже сейчас планируется довести срок эксплуатации КА до 10—25 лет). Это потребует новых материалов, способных противостоять воздействию космоса.

С каждым годом расширяется использование материалов в некосмических отраслях, созданных специально по программам исследования и использования космического пространства. НПО «Композит», специализирующийся на внедрении аэрокосмической технологии в народное хозяйство, имеет банк данных с 300 тысяч различных характеристик созданных для космонавтики материалов. Любой потребитель сможет обратиться в этот банк данных и на взаимовыгодных коммерческих условиях получить информацию и помощь по внедрению выбранного материала.

Высокопрочная сталь ракетных двигателей с успехом применяется даже для производства таких прозаических изделий, как ножи для разделки мяса. Изготовленные в СССР из «ракетной» стали, такие ножи лучше и долговечнее западногерманских, исторически заслуживших первое место. Оказывается, благодаря улучшенным качествам ножа можно экономить мясо на крупных мясокомбинатах, а приготовленный с их помощью мясной фарш позволяет сделать более вкусные блюда.

Где еще может использоваться «ракетный» металл? В самых неожиданных местах: производство водосточных и газоносных труб, нагревательных панелей, твердых стальных зубьев для фрезерования старого асфальтового покрытия, изготовление установок для нанесения пенопласта в стыки и трещины панельных домов (кроме этого, в последнем случае уже используется опыт задел-

ки стыков, позаимствованный у строителей новейшей ракеты-носителя «Энергия»).

Легкие высокопрочные сплавы, созданные для авиакосмической промышленности под руководством академика И. Фридланда, используются при создании пассажирских судов на подводных крыльях и в самолетостроении. Острodeфицитная нержавеющая сталь идет на покрытие различной кухонной утвари, чанов, цистерн, емкостей для хранения зерна, жидкостей,— ее предполагается заменить полимерными композиционными материалами, созданными в космической отрасли. Стекловолокно находит применение даже в спорте: выполненные из него спортивные снаряды даже при поломке не травмируют спортсменов.

У некоторых применяемых в космонавтике конструкционных сплавов удельная прочность составляет 30—35 км (т. е. такова максимальная длина проволоки, подвешенной в одной точке и выдерживающей свой собственный вес — сравните: тот же показатель для известной всем «нержавейки» равен 7 км). Поэтому при толщине силовой оболочки КК «Союз» всего в несколько миллиметров корабль надежно защищен от космической среды. В криогенном машиностроении для космических аппаратов создан сплав 1201, который в 2—3 раза прочнее хромоникелевых сталей. Этот сплав может резко увеличить ресурс применяемых на Севере машин. О том, что необходимость в этом есть, говорит печальный опыт эксплуатации наших машин на БАМе и в других районах Севера и Сибири. Земное машиностроение так и не смогло решить проблему надежности машин для севера, что привело и приводит сегодня к огромному ущербу для экономики страны.

Под влиянием заказов космонавтики в металловедении создана новая отрасль — металлургия жаростойких материалов. Для теплозащиты космических кораблей потребовалось создание совершенно новых материалов. Под действием интенсивных тепловых потоков они разрушаются лишь в сравнительно тонком поверхностном слое, а внутри остаются «холодными». Составляющие их материалы (стеклонаполнители, теплоизоляторы, клеи, герметики) начинают использоваться в народном хозяйстве. «Наветренные» поверхности «Бурана» разогреваются при спуске до 1600 °С. Для защиты этого корабля были созданы углеродные волокнистые материалы и углерод-углеродные композиты. Еще до первого полета

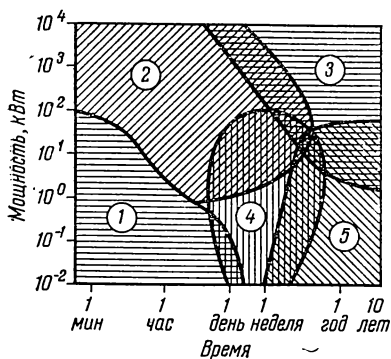


«Бурана» эти новшества начали применяться в народном хозяйстве на предприятиях Минцветмета СССР и Минэлектротехпрома СССР. Разработанные в космонавтике анаэробные герметики «Анатерм» широко используются в автомобилестроении, судостроении, машиностроении, авиастроении, приборостроении и в сельском хозяйстве; общий экономический эффект от их применения составляет 17,5 млн р./год. Из космического двигателестроения на завод «Армэлектросвет» Минэлектротехпрома СССР переданы материалы, технические процессы сварки и пайки.

Разработанные в ракетной технике антистатические терморегулирующие покрытия снимают заряды статического электричества; они могут применяться на Земле в вычислительных центрах, в шахтах. Для покрытия поверхностей на космических кораблях разработаны самые различные эмали, которые не горят, не выделяют опасных для здоровья людей химических соединений, к тому же технология их нанесения также экологически безвредна. Такой опыт может быть использован на Земле при строительстве общественных и жилых зданий. Токопроводящее, нетоксичное и негорючее покрытие АК-5260 с нанесенной на него электроизоляционной эмалью ВАС-980 обеспечивает поддержание в космическом корабле требуемого теплового режима без специальных обогревательных приборов. В НПО «Энергия» создана грунтовка ЭП-0214, защищающая алюминиевые сплавы и стали от коррозии; она надежно «прилипает» к металлу, сохраняет эластичность в интервале температур от  $-253$  до  $+200^{\circ}\text{C}$ . Такая грунтовка может применяться и в наземных установках криогенной техники.

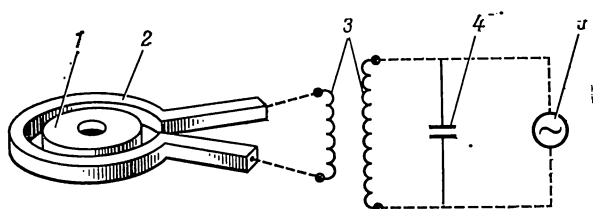
## 8. Энергетика космической технологии

На выбор источника энергии для КА влияют многие факторы и характеристики КА: потребность размещенных на нем установок в энергии, продолжительность работы, ограничения по массе, необходимость специальной защиты оборудования и экипажа ОКС, ограничения по финансированию и др. Классификация областей возможного использования различных по типу источников энергии в зависимости от первых двух факторов представлена на рис. 28.



Р и с. 28. Области рационального применения бортовых источников электроэнергии

1 — химические аккумуляторы; 2 — системы открытого цикла с МГД-генераторами; 3 — энергоустановки с ядерным реактором; 4 — топливные элементы; 5 — радиоизотопные энергоустановки и солнечные батареи



Р и с. 29. Схема индукционного нагрева

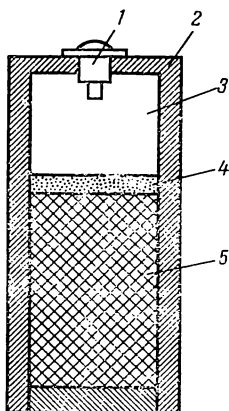
1 — нагреваемая деталь; 2 — индуктор; 3 — трансформатор; 4 — конденсатор; 5 — генератор переменного тока

Для энергоснабжения традиционно используются химические и солнечные батареи, топливные элементы. К перспективным системам относят солнечно-динамические установки, радиоизотопные генераторы, термоэлектрические преобразователи с ядерным источником энергии, ядерные реакторы различных типов, термоионные преобразователи и другие устройства, использующие энергию деления атомных ядер.

Индукционный нагрев может использоваться для нагрева образца в космосе. Токопроводящий материал или деталь помещают в электромагнитное поле, которое возбуждается кольцевыми проводниками — витками из медной трубки (рис. 29), которые через трансформатор подключаются к источнику переменного тока. Вихревые токи, образующиеся в токопроводящем теле, нагревают его.

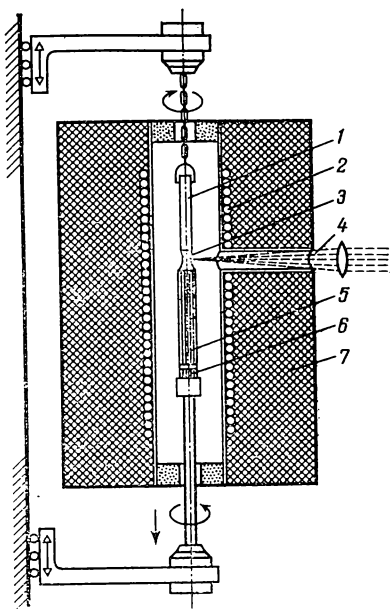
В некоторых технологических установках образцы нагревались галогенными лампами.

При использовании тепла экзотермических реакций



Р и с. 30. Экзотермическая печь с обтюрацией

1 — инициатор; 2 — корпус печи;  
3 — свободный объем (расширительная камера); 4 — воспламенитель; 5 — экзотермическая смесь



Р и с. 31. Выращивание кристаллов в космосе методом зонной плавки с помощью нагрева лазерным лучом

1 — исходный материал; 2 — вспомогательный нагреватель; 3 — расплав; 4 — лазерный луч; 5 — монокристалл; 6 — затравка; 7 — теплоизоляция

для нагрева образцов за малый промежуток времени (секунды или десятки секунд) может быть получена высокая температура (рис. 30). В качестве горючего применялись измельченные порошки циркония и его сплавов, ниобия, тантала, марганца, хрома, бора, кремния, вольфрама; окислителями служили оксиды свинца, хроматы бария и свинца, перхлорат калия.

Преимущество лазерного луча состоит в равномерности нагрева образца и перемешивания расплава в зоне нагрева (в такой установке предусматривается вращение образца, облучаемого лазерным лучом) (рис. 31).

Советские ученые давно работают над атомными реакторами космического назначения. Вначале были созданы стендовые реакторы — преобразователи тепловой энергии в электрическую, такие, как «Топаз», «Ромашка», совмещающие в себе источник тепловой энергии (ядерный реактор) и устройства, обеспечивающие прямое преобразование тепловой энергии в электриче-

скую. Затем были изготовлены ядерные энергетические установки для ИСЗ «Космос».

Широкое распространение в космической энергетике получили фотопреобразователи солнечной энергии. В СССР под руководством академика Ж. Алферова на основе полупроводников сложного состава (так называемых гетеропереходов) разработаны новые типы фотопреобразователей, которые повысили эффективность работы солнечных батарей.

На «Мире» установлены солнечные элементы из арсенида галлия. Они обеспечивают более высокий КПД преобразования лучистой энергии и лучшую температурную стабильность. Включение в состав стекол двуокиси церия, как считают специалисты, предотвратит образование в них центров при облучении электронами и протонами и обеспечит поглощение ультрафиолета.

Большие требования предъявляются к подсистеме приводов и механизмов развертывания солнечной батареи, которая должна отличаться: способностью выдерживать нагрузки, возникающие при запуске и высвобождении от воздействия устройств фиксации (крепления); передавать силовые и управляющие воздействия от солнечной батареи к КА; обеспечивать постоянное поворачивание солнечной батареи в течение всего срока функционирования КА; ограничивать возмущающие моменты, искажающие ориентацию КА, пределами, допускаемыми системой управления. На первых «Салютах», как и на «Союзах», солнечные батареи жестко прикреплялись к корпусу станции. На «Салюте-4» панели солнечных батарей были уже поворотными.

Энергетика космических исследований — это не только обеспечение работы КА и размещенного на нем оборудования, но и разработка спутниковых электростанций (СЭС), обеспечивающих электроэнергией объекты на поверхности Земли. Строительство таких СЭС в космосе и поддержание их функционирования — одна из перспективных задач космической технологии. Как считают в США, для удовлетворения потребностей землян в электроэнергии необходимо создать сеть из 100 спутников-ловушек на геосинхронной орбите. Световая энергия будет преобразовываться в электрическую, а затем передаваться на Землю в коротковолновом диапазоне.

В связи с возможным созданием СЭС отмечается актуальность разработки двух групп проблем: 1) создание высокоэффективных фотоэлектрических преобразо-

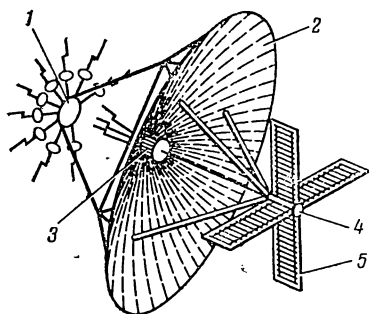
вателей малой массы и низкой стоимости, рентабельность ТКК, освоение их сборки в космосе; 2) взаимодействие мощного СВЧ-пучка с ионосферой, его нетепловое воздействие на биологические объекты и электромагнитная совместимость с существующими радиоэлектронными системами, обеспечение высокой эффективности системы передачи энергии из космоса на Землю.

Японские ученые из института космологии в Токио также разрабатывают небольшую СЭС. Ее общая масса должна составить всего 8 т, работать она будет на орбите высотой около 500 км. На ней будут размещены две антенны диаметром 10 м. Солнечное тепло будет расплавлять фторид лития или некоторые другие легкоплавкие вещества в специальных элементах. Полученное тепло станет накапливаться и перерабатываться, вращая установленные на станциях турбины. Над определенными точками планеты станция будет «выстреливать» на Землю энергию в виде электромагнитных импульсов. Мощность станции — около 50 кВт.

Для преодоления трудностей создания орбитальной электростанции предлагается уменьшить высоту орбиты и применить на СЭС систему хранения энергии (СХЭ). СЭС может быть как на солнечно-синхронной, так и на эллиптической орбите с постоянной высотой перигея. СХЭ может быть механической (с маховиком) и термической (с использованием скрытой теплоты плавления рабочего тела); последней отдается предпочтение. Для СЭС мощностью 10 МВт выбрана орбита с перигеем 500, апогеем 4858 км и наклоном  $63,4^\circ$  с частотой вращения 10 витков/сут.

Солнечное излучение могут преобразовывать в электроэнергию не только солнечные батареи, но и лазер. Преимущество основанных на нем СЭС в том, что сокращаются размеры передающих и приемных устройств до нескольких десятков метров (по сравнению с километрами в случае СВЧ-пучка). Передача энергии на Землю в этом случае осуществляется по лазерному лучу. Общий вид одного из проектов лазерной СЭС показан на рис. 32. Меньшая расходимость пучка лазерного излучения дает возможность повысить компактность приемопередающих устройств. Однако КПД лазерного устройства для этих целей пока невысок.

Есть проекты передачи из космоса не только электроэнергии, но и светового излучения. Для этого предлагается разместить на орбите отражатели большой пло-



Р и с. 32. Лазерная космическая электростанция с прямой накачкой солнечным излучением

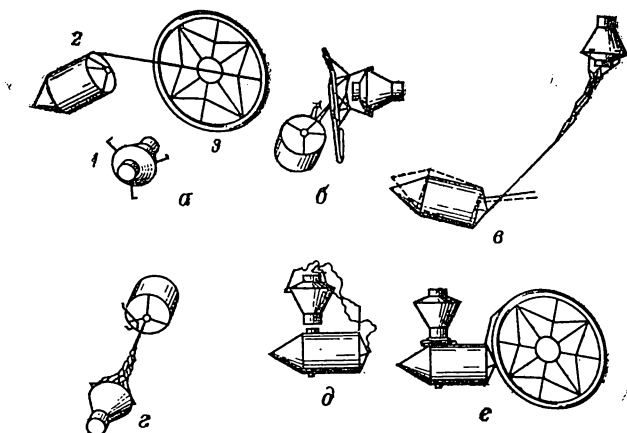
- 1 — лазерное излучение;
- 2 — фокусирующий солнечный отражатель;
- 3 — расщепитель светового пучка;
- 4 — система лазера;
- 5 — панель холодильника-излучателя

щади, которые передадут солнечный свет в определенные районы Земли в ночное время. Такие предложения изучались, в частности, американскими военными специалистами с целью постоянного в течение суток освещения района военных действий в Индокитае. Предполагают, что концентрированное солнечное излучение можно использовать для освещения городов, участков сбора урожая и районов катастроф. Экологические последствия реализации таких проектов не изучались.

## 9. Монтажные и ремонтно-профилактические работы

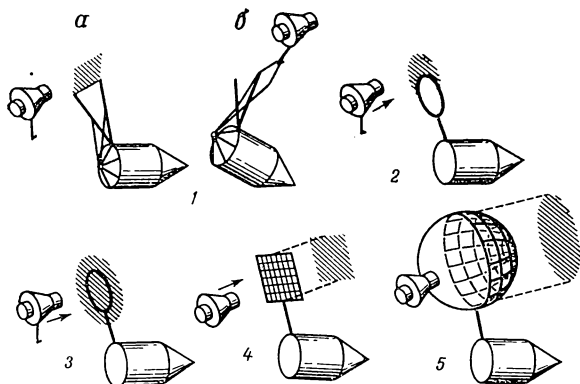
Существуют или планируются к созданию самые разнообразные КА и сооружения вне Земли, каждое из которых потребует определенных ремонтно-профилактических работ, а некоторые из них вообще будут доставляться на орбиту по частям для последующей сборки и состыковки в космосе. Поэтому профессия космонавта-монтажника едва ли не самая перспективная в космонавтике. Деятельность монтажника в космосе связана с преодолением многих несвойственных земной практике трудностей. О некоторых из них мы поговорим.

Выведенные в космос конструкции могут находиться далеко друг от друга, поэтому первая задача монтажника — собрать их и отбуксировать к месту строительства. Для захвата и приближения объекта предлагаются устройства типа «сети» с тросом (рис. 33). Разматываясь, трос обеспечивает торможение захваченного объекта и



**Рис. 33.** Встреча с захватом при больших относительных скоростях

*a* — активный аппарат приближается к пассивному, на котором развернута сеть; *б* — активный аппарат зацепил за сеть; *в* — тормозной трос разматывается; *г* — аппараты подтягиваются друг к другу; *д* — активный аппарат располагается против шлюза на пассивном; *е* — аппараты состыкованы; захватывающая сеть вновь расправляется при помощи дистанционных манипуляторов; 1 — активный аппарат; 2 — пассивный аппарат; 3 — сеть



**Рис. 34.** Схема захватывающих приспособлений (заштрихованная область соответствует размерам захватываемого аппарата)

1 — захватывающая система из стержневых элементов; *a* — активный аппарат приближается; *б* — активный аппарат зацепился за стержневую систему; 2 — захватывающая система из кольцевых элементов; 3 — кольцевая ловушка; 4 — прямоугольная сеть на штангах; 5 — пространственная сеть на баллоне

в последующем приближении его к буксиру в виде кольца, а также различные манипуляторы (рис. 34). Не только монтируемая конструкция, но и вышедший из строя ИСЗ может быть снят манипулятором с орбиты и помещен в грузовой отсек ТКК для ремонта или возвращения на Землю. Один из вариантов устройства захвата предполагает размещение на конце манипулятора зонда, который вводится в какое-либо отверстие в корпусе захватываемого КА (например, в сопло реактивного двигателя).

Для успешной стыковки и отстыковки таких важных операций на космических орбитах нужно, по мнению ученых И. Белякова и Ю. Борисова, решать следующие основные задачи: уменьшить разность скоростей между стыкуемыми объектами до нуля; обеспечивать после первого контакта механическое сцепление аппаратов, чтобы избежать отскакивания их друг от друга после соударения; компенсировать взаимное рассогласование осей аппаратов, которое возможно в момент первого контакта; без включения двигательных установок обеспечивать совмещение осей аппаратов и срабатывание замков после первого контакта; обеспечивать точную жесткость соединения после срабатывания основных замков и передачу через эти замки нагрузок при совместном маневрировании аппаратов; обеспечивать при необходимости герметизацию соединения; давать возможность аппаратам в экстренных случаях немедленно разъединяться; обеспечивать отталкивание усилия при разъединении; сразу после разъединения быть готовыми для повторного использования; допускать возможность передачи электрических сигналов, перекачки топлива, передачи грузов или перехода экипажей между кораблями; обладать достаточной надежностью при малой массе.

Герметичность стыковки необходима для перехода космонавтов из одного КА в другой, а также выхода космонавтов в открытый космос. Для этого используют шлюзовые камеры. Существующие сегодня шлюзовые камеры не обеспечивают свободу работы в космосе, поэтому с учетом перспективы расширения монтажных операций ведется поиск новых решений. Одно из них — проект малогабаритной шлюзовой камеры «Кривлок», которая представляет собой герметизированный контейнер, снабженный люком для выхода в космос и возвращения на КК. Количество газа для ее наддува и соот-



ветственно загрязнение окружающей КК среды при выходе в космос невелики.

В зависимости от ситуации на орбите монтажные работы могут быть штатными или аварийно-ремонтными, а по назначению их можно разделить на работы по сохранению, восстановлению и реконструкции систем КА. Однако в каждой из них монтажник имеет дело с техническим обслуживанием оборудования. Это может быть автоматическое устранение неисправностей, простая регулировка или ручное переключение на резерв, замена отказавшего блока запасным, ремонт отказавшего блока на специализированном рабочем месте с помощью технологического оборудования и инструмента; замена механически закрепленных деталей в блоке с частичной его разборкой; замена деталей с применением перепайки элементов, механической обработки, сварки, восстановления покрытий. К объектам технического обслуживания и ремонта на ОКС и в ее окружении относят блочную аппаратуру, механическое и электромеханическое оборудование, радиоэлектронные и энергосистемы КА, корпус и металлоконструкции КА.

При планировании технического обслуживания оборудования ОКС необходимы организация и планирование работ, разработка технологических процессов профилактических и ремонтных работ, инструментальное обеспечение профилактических и ремонтных работ, специальная подготовка экипажа, экспериментальная отработка технологических процессов на Земле. Техническое обслуживание оборудования на орбите включает его проверку, дефектацию, ремонт, демонтаж вышедших из строя систем и замену их новыми, демонтаж для ремонта в другом месте станции с последующим монтажом. При длительных космических полетах ремонт и восстановление оборудования предпочтительнее его замены.

Сборка на орбите считается пока основным методом создания больших космических сооружений. При этом основными возможными на сегодня процессами механической обработки на орбите являются: строгание, долбление, фрезерование, протягивание, шабрение, распиливание, точение, сверление, резьбонарезание, шлифование, разделение материала без образования стружки при помощи штампов, ножниц, включающее пробивку, вырубку, обрезку и пр.; основными процессами ремонта являются: подналадка и регулировка, очистка, промывка, смазка и заправка, крепежно-контрольные операции,

монтажно-демонтажные операции, сборка и разборка конструктивных элементов различной величины, склеивание, герметизация, контрольно-измерительные операции и поиск неисправностей, сварка, пайка, резка. Даже этот неполный перечень работ говорит о сложности и ответственности деятельности космонавта-монтажника. В космической технологии даже начало формироваться специфическое направление — приемы и методы внекорабельной деятельности. Для оказания оперативной помощи экипажу в ЦУПе создаются группы профессиональной поддержки. Наиболее сложные работы на орбите проводятся синхронно с космонавтами: на Земле в гидробассейне на макетах КА работают испытатели. Чтобы облегчить работу космонавта, конструкторы создают системы автоматизированного контроля, обслуживания и текущего ремонта КА. Такие системы более точно определяют зазоры и чистоту поверхности, толщину покрытия и другие характеристики, ведь требования к ним в космосе выше, чем на Земле.

Монтажные операции космонавта должны от него требовать минимума энергии (или вообще обходиться без нее), не давать стружку. Каждое движение, каждая операция на орбите с учетом малоподвижности скафандра требуют тщательного учета количества затрачиваемой энергии; минимизация усилий — один из критериев выбора пути космонавта по станции к рабочему месту или варианта выполнения работы.

При сборке могут найти применение постоянные магниты, установленные в стыковочных узлах конструкций. Магниты обеспечивают не только фиксирование конструкций определенными точками, но и возможное их перемещение в процессе сборки до закрепления. Положительная особенность применения магнитов — отсутствие потребности в энергии.

Как возможный метод сборки предлагается развальцевать отбортовки отверстия одного из соединяемых элементов, которые вставляются в отверстия другого элемента. Прочность в итоге получается такая же, как и при заклепочном соединении.

При разворачивании конструкций предполагается использовать пиротехнические устройства, а при их отсутствии (или невозможности включения в конструкцию) — термомеханические триггеры из сплава «с памятью», при тепловом воздействии на которые конструкция приобретает заданную форму.

При сборке конструкций большое значение имеет учет процессов, возникающих при соприкосновении материалов. В особенности это актуально для соприкасающихся металлических поверхностей. Соприкосновение металлов происходит при контакте деталей ОКС, в подшипниках, зубчатых передачах, технологических разъемах и пр. Чтобы оценить возможность работы пар металлов в соприкасающихся трущихся частях, нужно с учетом времени работы и приложенных усилий рассчитать, когда может произойти свариваемость металлов, что конкретно нужно сделать для предотвращения этого. Например, может длительно не слипаться пара оксид алюминия — мягкая аустенитная нержавеющая сталь; значительно хуже работает пара железо — медь.

Разъемные соединения обеспечивают точность и неизменность взаимного расположения деталей после каждой сборки, сохраняют неизменность форм и размеров деталей после многократных сборок и разборок, не допускают изменения взаимного расположения деталей в процессе работы под действием динамических сил, обеспечивают необходимую прочность, жесткость и плотность соединений. Конструкция соприкасающихся поверхностей должна генерировать минимальное количество тепла, отводить тепло (так как в космосе отсутствует конвекция), узлы должны иметь существенные внутренние зазоры для компенсации термического расширения (из-за большого перепада температуры). В космосе применяются следующие виды разъемных соединений: а) резьбовые соединения, обладающие рядом преимуществ по сравнению с другими видами разъемных соединений (удобство монтажа, быстрота сборки и разборки изделий, высокая надежность соединений с помощью крепежных деталей); б) штифтовые соединения, применяемые для соединений деталей и для точного фиксирования взаимного расположения соединяемых деталей; в) шпоночные соединения, применяемые при цилиндрических поверхностях соединяемых деталей и предназначенные для передачи крутящих моментов; г) шлицевые соединения, имеющие по сравнению со шпоночными ряд преимуществ (они обеспечивают лучшее центрирование соединяемых деталей, устраняют возможность перекосов при осевых перемещениях, допускают передачу больших крутящих моментов); д) соединения на квадрате и на лыске (такие соединения применяются в основном при посадке втулок на консольный конец);

е) фрикционные соединения, в которых взаимная фиксация деталей осуществляется только благодаря трению между цилиндрическими и коническими поверхностями соединяемых деталей; ж) штыковые (байонетные) соединения, применяющиеся для закрепления часто снимаемых деталей, крышек, фланцев, муфт, патронов, электроламп и т. д. (соединения образуются посредством штифта с головкой, закрепленного на одной из деталей и входящего в прорезь другой детали при последующем смещении одной детали относительно другой).

Резьбовые соединения можно применять в космосе с учетом двух обстоятельств: во-первых, наволакивание и холодная сварка в резьбовых парах; во-вторых, обеспечение возможности манипуляции космонавта в скафандре с оборудованием, инструментом и резьбовыми деталями. Конструкция резьбового соединения должна специально разрабатываться для каждого узла. Покрытие гаек серебром позволяет предотвратить наволакивание, к тому же серебро действует как смазка. Используя явление «схватывания» соприкасающихся металлических поверхностей в космосе, при постановке болтового соединения можно получить герметическое без специальных герметиков.

При применении резьбового соединения нужно оценивать усилие, с которым затягивается болт: скрепить так, чтобы детали были прочно соединены, но при необходимости космонавт мог бы их разъединить. Для затяжки болтов применяют тарировочные ключи, которые позволяют дозировать усилия.

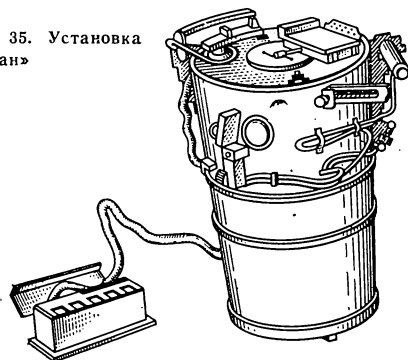
Крепежные резьбовые элементы в зависимости от прилагаемых к их головкам усилий можно разделить на три группы: 1) с головками, требующими только крутящего усилия при монтаже и демонтаже резьбовых деталей; 2) шестигранные, двенадцатигранные и прочие головки, требующие, кроме приложения крутящего момента, еще и небольшого осевого усилия; 3) головки, требующие как крутящего момента, так и осевого усилия для снятия или установки (например, головки, имеющие прямой или крестовый шлиц).

Возможно применение в космосе и клепаных соединений, хотя опыта их выполнения пока нет. А вот клеи, как считают ученые, в ряде случаев смогут заменить любое соединение. Могут использоваться анаэробные клеи, застывающие без доступа воздуха и заключенные

в капсулах малых размеров, которые разрушаются от небольших усилий. Возможно применение экзотермических клеев (застывающих при изменении температуры под действием экзотермических химических реакций), с помощью которых могут быть получены более прочные соединения, нежели при использовании анаэробных клеев.

Соединение в космосе металлических деталей с керамическими или стеклянными осложнено возможным растрескиванием материала из-за неравномерности теплового расширения этих материалов (нужно помнить о больших перепадах температуры поверхности материа-

Р и с. 35. Установка  
«Вулкан»



лов в космосе). Эту проблему предлагается решить за счет введения в зону шва промежуточной демпфирующей прокладки, которое может быть сделано с помощью плазменного напыления в виде фольги или порошка. В этом случае даже диффузная сварка может использоваться с успехом как метод соединения материалов.

Наиболее разработанным является метод соединения изделий в космосе с помощью сварки. Еще на КК «Союз-6» применялась установка «Вулкан» — комплекс электронно-лучевой аппаратуры, позволяющий выполнять сварку несколькими способами: электронным лучом, плазменной дугой и плавящимся электродом. «Вулкан» состоит из двух блоков: в одном располагаются сварочные устройства и соединяемые образцы, в другом — система энергоснабжения, приборы управления, измерительные и преобразовательные устройства, средства автоматики. Общая масса установки около 50 кг (рис. 35).

В. Ямпольский и В. Неровный считают наиболее важными следующие положения для построения в космосе сварочного процесса и создания соответствующего оборудования: а) процесс сварки плавлением необходимо вести в режиме с минимальным количеством расплавленного металла в промежутке сварочная горелка — деталь; б) к сварочному инструменту должны прикладываться минимальные реактивные силы, и на нем должно выделяться небольшое количество энергии; в) устройство должно питаться непосредственно от силовой бортовой сети постоянного тока с минимальным количеством электрических преобразователей энергии и минимальными потерями при ее преобразовании; г) возможность сварки и резки различных металлов и сплавов, в том числе алюминиевых и магниевых сплавов; д) возможность ведения процесса в широком диапазоне изменения давления окружающей среды; е) минимальные излучения из рабочей зоны ведения процесса; ж) отсутствие высокого напряжения, жесткого проникающего излучения, вибраций и колебаний в непосредственной близости от оператора; з) возможность ведения вручную, механически и автоматически.

Как известно, диффузная сварка разнородных материалов проводится в защитной среде, в качестве которой обычно используется вакуум. Поэтому диффузная сварка рассматривается как перспективный для космоса вид соединений. При этом должно быть обеспечено давление сжатия на свариваемые материалы. Этим методом, например, можно в космосе приваривать полупроводниковый элемент к диэлектрической керамической кремниевой или стеклянной подложке. В космосе отсутствует ликвидация и разбрызгивание материала шва. Процессы парообразования могли бы быть, если бы использовались легкоиспаряющиеся в вакууме материалы, но в космосе таковые не применяются. Действие космических излучений на поверхность свариваемых материалов повышает прочность шва за счет изменения химического состава поверхностных слоев и создания дефектов кристаллической решетки под действием ионного внедрения и увеличения коэффициента диффузии разнородных металлов. При диффузной сварке отсутствует коробление деталей в процессе сварки и после нее.

Для ручной электронно-лучевой сварки разработана специальная пушка, представляющая собой один из инструментов космонавта-монтажника. Она имеет оптиче-

скую систему, которая обеспечивает устойчивую фокусировку пучка на расстояниях в несколько десятков и даже сотен миллиметров от пушки.

Фирмой «Боинг» построен комплекс для автоматической сварки модулей ОКС диаметром до 12,2 м. Применение такого комплекса возможно и на орбите, где может производиться автоматически сварка модулей и передача их космонавтам для монтажа ОКС. Предусмотрена система дистанционных средств контроля качества сварных швов.

В космосе трудно устранять брак сварки, поэтому одна из задач науки — обеспечить контроль качества сварочных работ непосредственно в процессе их производства. В. Волченко с соавт. отмечают следующие отличительные особенности контроля качества сварки в космосе: а) нецелесообразность или малая эффективность последующего неразрушающего контроля, который позволяет лишь зафиксировать дефекты; б) необходимость применения систем активного контроля с обработкой основных внешних возмущений и внутренних аномалий во всех звеньях и на всех этапах технологического процесса, включая его проектирование; в) необходимость предварительного тщательного расчета и математического моделирования сварочных процессов с выявлением долей допусков, обеспечивающих стабильность процесса с высокой заданной вероятностью; г) целесообразность использования специальных тренажеров для отработки навыков оператора-сварщика по визуально-оптическому контролю за процессом формирования шва; д) необходимость отдельного контроля уровня работоспособности человека до начала и во время процесса сварки с применением оперативной экспресс-диагностики биотехническими средствами. Это направление работ важно еще и потому, что, несмотря на обширный опыт сварки в космосе, действие космоса на шов пока плохо изучено. Требуется отдельного исследования и временной режим осуществления сварки в космосе.

Американская фирма «Грумман» разрабатывает бортовую систему, рассчитанную для применения вне ОКС при проведении монтажных работ. К этой системе предъявлены требования: надежная работа на борту ОКС в самых тяжелых условиях при минимальном техническом обеспечении; максимальная эффективность работы (минимальное время подготовки к работе, невысокая трудоемкость и стоимость технологических опера-

ций, максимальная автоматизация рабочих процессов); минимальное влияние на конструкцию оборудования для работы космонавтов в открытом космосе.

А. Лукьянов предложил метод автоматической сборки больших пленочных устройств с помощью автомата. Он предусматривает вывод на орбиту свернутых в рулон полотнищ с панелями пленочных солнечных элементов отражающей пленки или сетки, а также свернутых вспомогательных элементов конструкций. На орбите эти конструкции разворачиваются, устанавливаются в нужное положение, соединяются между собой. При этом используется новый способ соединения полотнищ с помощью «электроприжима». Для его реализации при изготовлении полотнищ на кромки вдоль линий их будущего соединения наносятся узкие полоски электропроводного материала на непроводящей подложке. После стыковки полотнищ на орбите эти полоски подключаются к источнику электропитания, кромки оказываются плотно прижатыми электростатическими силами. При отключении энергии полотнища могут быть отсоединены одно от другого.

В ноябре 1985 г. проведен эксперимент по сборке фермы длиной 13,7 м из 96 алюминиевых стоек двумя космонавтами, работающими в скафандрах в грузовом отсеке. Целями эксперимента были: оценка техники сборки космонавтами; сравнение данных по скорости сборки в полете и в гидробассейне; накопление опыта сборки в открытом космосе; оценка условий работы с крупногабаритными конструкциями. В эксперименте были созданы жесткие условия техники безопасности, соблюдение которых также явилось одной из важных целей эксперимента: были удалены острые кромки и заусеницы с деталей фермы, применялись перчатки повышенной износостойкости, предусматривалась возможность сбрасывания деталей за борт в случае аварийной ситуации.

Жесткие требования предъявляют к скафандрам. В НАСА сложились следующие современные требования для обеспечения деятельности космонавтов в открытом космосе: ресурс работы 1000—2000 человеко-часов в год при 8-часовой сменной работе с перерывами между сменами не более 3—4 ч; должны быть легко приспособляемы для мужчин и женщин, легко надеваться и сниматься, обеспечивать требуемый уровень комфортности и диапазон движений, надежно защищать от космиче-



ской радиации и микрометеоритов. Скафандры должны быть простыми и надежными в эксплуатации, промежутки времени между поддерживающими ремонтами не менее года.

Однажды В. Ляхов обнаружил то ли разрыв, то ли прокол на штанине скафандра — пришлось «латать» прямо в космосе. Новые мягкие оболочки скафандра «Орлан», опробованные на ОКС «Мир» в октябре 1988 г., можно заменять прямо на борту. Кроме этого, в новых скафандрах все автономно и кабельная связь со станцией не нужна: данные идут по телеметрическому каналу.

Конструкция скафандра зависит от разности давлений на борту ОКС и внутри скафандра. Необходима защита космонавтов от радиации. Скафандр космонавта должен иметь минимальные массу, объем, энергопотребление, надежное обеспечение интерфейсов с КА; он должен быть надежным и удобным.

Чтобы помочь космонавту, разрабатывают его механических помощников-полуроботов. Экзоскелетон — усилитель человека, его механические мускулы. Это свое детище американские ученые называли Хардимэн. Его части крепятся на ногах, предплечьях и талии человека и позволяют ему поднимать груз массой 680 кг, затрачивая при этом усилие 18—20 кг.

Удобство скафандра — понятие вполне конкретное для космонавта, ибо успех его работы, работоспособность, безопасность зависят прежде всего от скафандра. Стружки и другие мельчайшие частицы повисают в невесомости, мешают работающему монтажнику. При каждом шаге, каждом повороте надо фиксироваться. Большое значение имеет отвод тепла (одна из новых конструкций скафандра предусматривает отдачу тепла от воды к слою специального парафина, который в данном случае выступает в качестве теплоемкости). При длительной работе космонавта с инструментом велика вероятность повреждения скафандра. Поэтому нужно обеспечить быструю эвакуацию космонавта на станцию для замены скафандра (американский скафандр АХ-5 состоит из 15 частей, любая из которых может быть заменена на ОКС). Нужны скафандры, которые могли бы уменьшить время предварительного шлюзования. Ведется поиск удачных узлов сочленений отдельных частей скафандра, создаются более прочные перчатки, обладающие хорошей тактильной чувствительностью и гиб-

костью. Испытываются новые системы жизнеобеспечения, разрабатываются совершенные технологии техобслуживания скафандра. Наука в непрерывном поиске того, как сделать космический костюм монтажника более удобным и надежным.

Даже для простейших работ в космосе нужны инструменты. В экспозиции Музея истории космонавтики им. К. Циолковского в Калуге среди инструментов, используемых космонавтами,— молоток, отвертки, специальные винты, клещи со сменными головками, инструменты ударного типа и другие для работы на орбите. Иногда приходится создавать инструмент, который нужен только для одной конкретной операции; например, Л. Кизиму и В. Соловьеву понадобился инструмент — зажим с многотонным усилием для ремонта резервной магистрали объединенной двигательной установки станции.

Выделяют следующие требования к космическому инструменту.

*1. Эргономические требования:* а) принципиальная схема инструмента должна обеспечивать возможность удобной его компоновки с учетом эргономики и эстетики; б) в слесарно-сборочных операциях необходимо стремиться использовать режущие инструменты (сверло, фреза и т. п.) с самоподачей или самоприжимом инструмента; в) инструмент должен требовать приложения усилия только одного вида, например или крутящего момента, или осевого усилия; г) переходы сборочной операции (установка инструмента и т. д.) должны быть просты, содержать минимальное количество рабочих движений и при необходимости выполнимы одной рукой; д) в операциях установки крепежа крепежные элементы (винты, болты, гайки) и инструмент должны представлять собой единую, взаимоувязанную, легко сопрягаемую систему винт — инструмент с жестким механическим соединением между собой; соосность крепежных элементов и инструмента должна быть обеспечена конструктивно без приложения со стороны космонавта усилий и необходимости контроля соосности; е) необходимо стремиться к максимальной механизации труда космонавта, отдавая предпочтение механизированным инструментам по сравнению с ручными, немеханизированными.

*2. Технические требования:* а) избегать применения механизмов с возвратно-поступательным движением; необходимо по возможности заменять их менее энергоем-

кими механизмами с вращательным движением, так как реакция на крутящий момент компенсируется легче, чем реакция на возвратно-поступательное движение; б) реактивное воздействие на ручку исполнителя-космонавта должно отсутствовать или быть минимальным; необходимо использовать замкнутую систему сил, включающую главное рабочее усилие и реакцию на него; в) стремиться к минимизации массы и энергопотребления; предпочтительный вид энергии — электрическая; г) конструкция должна обладать высокой надежностью в работе, достаточным ресурсом, устойчивостью эксплуатационного характера, ремонтопригодностью, простотой обслуживания; д) конструкция инструмента должна обеспечивать минимальное количество регулировок в процессе работы, необходимо предусматривать быстросъемность насадок и исключить возможность их неправильной установки; е) необходимо обеспечить членение конструкции по модулям, которое позволяет в случае необходимости осуществить их замену в процессе модернизации, а также в процессе эксплуатации (например, привод, рукоятки, насадки); необходимо обеспечить максимальную степень универсальности инструмента и его модулей, а также крепежных элементов в конструкции КА и всего технологического оборудования.

*3. Требования правильной организации и безопасности работ:* а) необходимо оснащать инструменты механической и электрической блокировки, предотвращающие несанкционированные выключения или включения механизмов; б) инструмент должен обеспечивать удержание крепежа до и после окончания операции для исключения его свободного дрейфа в невесомости; в) обрабатывающие инструменты (особенно при их использовании внутри КА) должны быть снабжены высоконадежными устройствами, удаляющими отходы обработки; г) необходимо предусматривать наличие средств фиксации инструмента на руке, на одежде исполнителя и на рабочем месте; д) конструкция системы должна быть жесткой, ибо вибрация и даже упругие деформации в пределах допусков затрудняют удержание инструмента.

Инструмент должен быть безопасным для космонавта — это одно из главных требований к нему. Нельзя допустить неконтрольное появление стружки, абразивной пыли, газообразных выделений и т. п. Принцип работы устройства для улавливания стружки, показанно-

го на рис. 36, основан на том, что в обычных условиях алюминий не реагирует на постоянное магнитное поле. С помощью индуктора в алюминиевом сплаве индуцируется переменный ток, намагниченный сплав может быть извлечен из потока отходов. Для той же цели разработаны и применяются различного рода отсосы, электромагнитные катушки, липкие клейкие вещества.

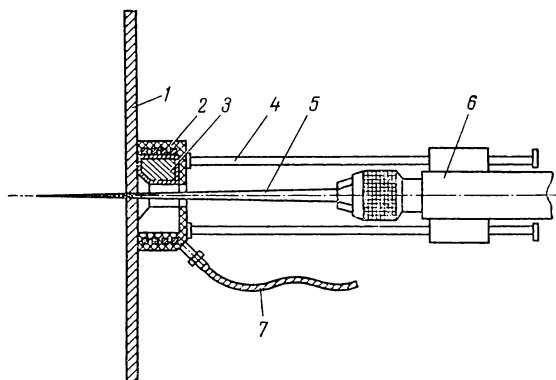


Рис. 36. Устройство для улавливания стружки

1 — листовая заготовка; 2 — индуктор; 3 — концентратор; 4 — направляющие; 5 — сверло; 6 — элемент привода; 7 — электрошнур

Космический молоток вроде бы не отличается от земного. Но он не отскакивает при ударе — безреактивный молоток. Это достигается за счет дробы, заполнившей пустотелый блок молотка, а его рукоятка может быть использована в качестве ломика.

Анкерная отвертка с шариковым зажимом позволяет не только закручивать и откручивать винты, но и держаться за нее. Шарики направляющего стержня входят в ответные отверстия головки специального винта, образуя жесткую систему винт—инструмент. После выворачивания винт удерживается ключом, что тоже помогает космонавту.

У керны, зубила, пробойника единая удобная рукоятка, рабочие головки сменные.

Многоцелевой безреактивный электромеханический привод с системой насадок: своеобразная электродрель, с помощью которой можно отворачивать винты, сверлить отверстия, обрезать кромки металла, перерубать металлические прутки и др.

Космический паяльник больше похож на авторучку с электрическим шнуром.

Рычажные клещи в 7,5 раз увеличивают сжимающее усилие руки космонавта. У них несколько сменных рабочих насадок: плоскогубцы, клещи, ножницы для металла, резак для мягких материалов круглого сечения.

И в самом инструменте, применяемом в космосе, и в конструкциях космических сооружений много трущихся деталей. Для уменьшения влияния вакуума на работу трущихся поверхностей предложено сокращение площади поверхности трущихся деталей, размещение их в герметизированных отсеках, применение герметичных валов при малых скоростях вращения, использование магнитного привода через стенку при высоких скоростях и малых моментах вращения; снижение потерь смазочных веществ — использование смазочных веществ с низким давлением паров.

Пленки оксидов на рабочих поверхностях из-за отсутствия в космосе кислорода не восстанавливаются после износа, происходит приварка соприкасающихся поверхностей. Поэтому нужны покрытия, препятствующие сцеплению. Обычные земные смазки не подходят, так как они испаряются в космосе; невозможность конвективного отвода тепла в космосе, например от подшипников, тоже требует к себе внимания. Какой же выход нашли конструкторы?

Эксперименты показали, что более предпочтительны твердые смазочные вещества, но они не восстанавливаются в процессе работы, кроме того, защитная пленка может отделиться от основного материала смазываемой детали. Графитовая смазка не может быть использована в космосе: из-за отсутствия адсорбированной водяной пленки графитовая смазка превращается в абразивное покрытие. Растекание масел по поверхности может повредить конструкции, для предотвращения этого используют несмачиваемые или адсорбирующие материалы. Необходимо учитывать также каталитическое влияние чистых металлических поверхностей на процесс полимеризации масел в смолы и лаки.

В качестве твердых смазок рекомендуется использовать дисульфид молибдена и плакированные металлические пленки. Покрытие серебром и дисульфидом молибдена оказалось полезным для уменьшения тенденции трущихся деталей к «заеданию». Такие сухие смазки отличаются высокой износоустойчивостью и выдержива-

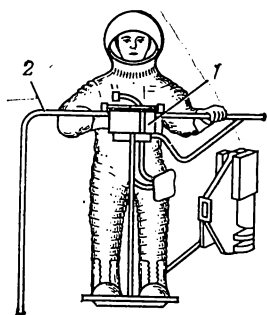
ют большие механические нагрузки, хорошо работают в экстремальных условиях космоса, не загрязняют механизмы и не требуют сложных конструкций, препятствуют проникновению смазки в непредусмотренные места, имеют низкий коэффициент трения.

При исследовании защиты космических механизмов от истирания и микросварки контактирующих поверхностей в США были рекомендованы покрытия: 1) при точечном контакте — Tiolube-1175 (для Ti и Al); TiC (для стали при высоких нагрузках); эпоксидная смазка Abhesoil (обеспечивает наибольшее время работы); 2) при поверхностном контакте пары Ве—сталь в умеренных условиях — Pb, MoS<sub>2</sub>, PTEE; при больших и длительных нагрузках — MoS<sub>2</sub> с подложкой из Rh.

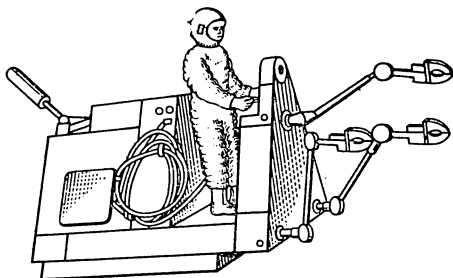
Сейчас для обеспечения мобильности и безопасности космонавта при монтажных работах создаются небольшие маневрирующие устройства. Летом 1989 г. на авиакосмическом салоне в Бурже была впервые показана установка маневрирования космонавта — «космический мотоцикл», как назвали ее журналисты. Двигательная установка представляет собой панель (чуть меньше человеческого роста) массой 160—170 кг, оснащенную 32 микрореактивными соплами. Из них по командам космонавта может истекать сжатый воздух или азот, находящийся под большим давлением в двух баках из прочного композитного материала.

Уже при первом выходе А. Леонова в космос использовался фал, крепившийся на КК для безопасности космонавта. Сегодня существует множество конструкций фалов, отличающихся длиной, временем пребывания в космосе, назначением, устройством и др.

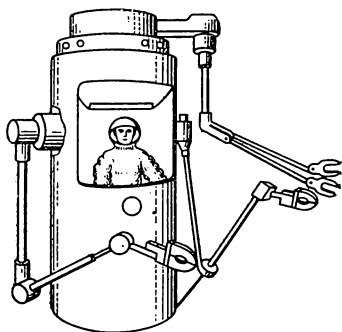
Если монтажные операции осуществляются в заданных местах периодически, рекомендуется использовать перемещающееся по направляющим рельсам устройство, на котором может находиться космонавт и комплекс необходимой аппаратуры (рис. 37). Для более сложных монтажных и транспортных операций разрабатываются специальные модули и платформы. КА платформенного типа для монтажных работ в космосе снабжен управляемыми космонавтом устройствами, включая манипулятор, наборы механизированных инструментов, установки сварки, резки и других методов обработки материалов (рис. 38). Наиболее удобен для работы в космосе герметический модуль с манипуляторами, одна из возможных конструкций которого показана на рис. 39.



Р и с. 37. Площадка с ручным приводом и рельсовой направляющей  
1 — привод; 2 — направляющая

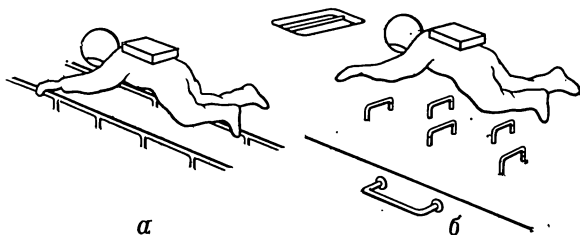


Р и с. 38. Маневрирующая рабочая платформа с манипуляторами



Р и с. 39. Маневрирующее устройство с роботами-манипуляторами

Р и с. 40. Поручни-фиксаторы



Непосредственно на рабочем месте космонавту необходимо зафиксировать себя. В невесомости это нужно сделать обязательно. Реализация этой задачи очень трудна. Существуют различные методы и устройства фиксации: механические, адгезионные, электростатические, магнитные, электромагнитные, пневматические.

К устройствам для фиксации космонавтов предъявляют следующие требования: гарантированное восприятие реакций на максимальные усилия, развиваемые космонавтом; минимум времени срабатывания устройства и простота (минимальное количество манипуляций, про-

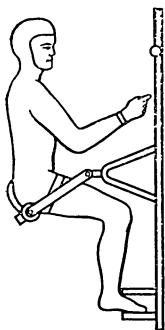


Рис. 41. Устройство для фиксации оператора в области таза

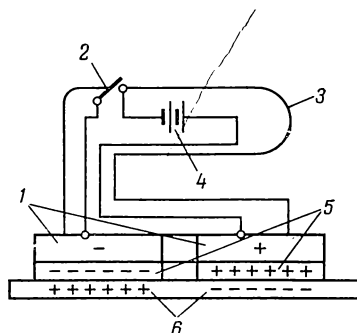


Рис. 42. Ручное электроприлипающее устройство крепления космонавта к корпусу объекта

1 — металлические электроды; 2 — выключатель; 3 — изолированная ручка; 4 — источник питания; 5 — изоляционный материал; 6 — наведенные заряды в обшивке КА

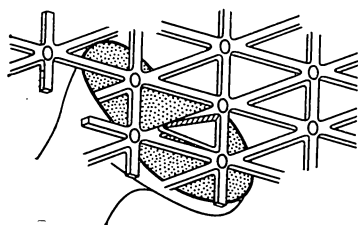


Рис. 43. Система ножной фиксации и перемещения

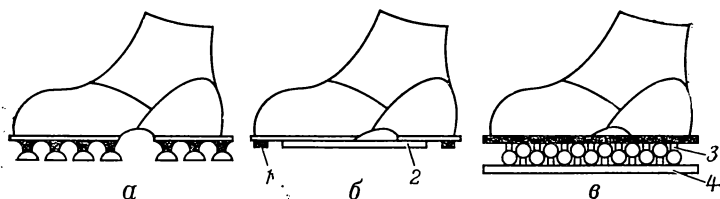


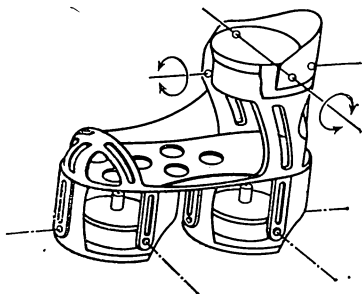
Рис. 44. Обувь для фиксации космонавта при его перемещении

а — с присосками; б — электромагнитная; 1 — выключатель; 2 — магнитная плоскость; в — с поверхностями нулевой гравитации; 3 — поверхность нулевой гравитации; 4 — эластичные штыри со стержневыми головками



**Рис. 45.** Башмаки космонавта с системой стабилизации и управления положением космонавта

изводимых космонавтом при фиксации); обеспечение максимальной подвижности космонавта при выполнении операций и максимальной производительности труда; исключение возможности несанкционированной расфиксации устройств.



Для перемещения космонавтов на многих КА уже применялись поручни (рис. 40). Они могут иметь различную конструкцию, размеры и расположение на КА; достоинством поручней является простота, малая масса, высокая надежность и долговечность. В то же время при передвижении с помощью поручней у космонавта заняты обе руки, трудно переносить крупные предметы.

Устройство для фиксации космонавта в области таза используется непосредственно в рабочей зоне и не требует со стороны космонавта приложения усилий для фиксации (рис. 41). Электроприлипающее устройство (рис. 42) может быть использовано для временного прикрепления к поверхности КА инструментов, фала, других предметов. Система ножной фиксации предусматривает наличие решетчатой поверхности с треугольными отверстиями, расположенными в шестиугольной решетке; с помощью треугольных профилей на башмаках скафандра космонавт может фиксировать свое положение в безопорном пространстве (рис. 43). При перемещении космонавта в невесомости на подошвах обуви космонавта могут предусматриваться различные устройства, позволяющие фиксировать положение космонавта и помогающие в его передвижении (рис. 44). Гироскопическая система стабилизации положения космонавта разработана фирмой «Дженерал дайнемикс» и монтируется в башмаках скафандра (рис. 45).

## 10. Космические аппараты

В космической технологии КА выполняют различные функции. Во-первых, они являются той площадкой в космосе, на которой строится космическая индустрия;

разрабатываются и эксплуатируются на орбите автоматические и пилотируемые КА, на борту которых размещено технологическое оборудование, позволяющее получать кристаллы, уникальные сплавы, биопрепараты и многое другое. Во-вторых, КА являются целью монтажных работ в космосе, их сборка, эксплуатация и ремонт входят в число задач космической технологии. К космическим аппаратам можно отнести и автоматический ИСЗ, и орбитальную станцию, и солнечную электростанцию, и долговременную лунную базу, и марсоход, и др.

Рассмотрим некоторые космические аппараты и сооружения в космосе. Их проектированием занимаются специалисты во многих странах, хотя не все страны в одинаковой степени ушли вперед по пути развития космонавтики (например, технологией возвращения КА из космоса владеют пока только СССР, США и КНР). Синтез новых конструкций КА рождается в процессе научно-технического прогноза развития космонавтики, один из вариантов которого представлен в табл. П.6.

Тип КА зависит от ракеты-носителя, которая, в свою очередь, определяется двигателем, на основе которого она создана (табл. П.7).

Двигатели бывают разные. Герой Г. Уэллса изобрел «кэворит» и отправился на Луну с помощью антигравитации. Физики-ядерщики сегодня утверждают, что в будущем можно построить двигатель на антипротонах, реагирующих с позитронами. Но это — в перспективе. А пока в космос летают более «скромные» ракеты. Но даже за тридцать лет космических полетов произошла революция в космическом ракетостроении. Если стартовая масса первой ракетно-космической системы «Восток» была около 300 т (из них корабль — 4725 кг), то стартовая масса «Энергии» — свыше 2000 т (способна выводить на орбиту полезную нагрузку массой более 100 т). Чл.-корреспондент АН СССР Ю. Семенов, характеризуя выводимый «Энергией» ТКК «Буран», отмечает многообразие сфер его применения (кстати, вместе с кораблем «Буран» стартовая масса «Энергии» возрастает до 2400 т, а масса «Бурана» — более 100 т). Общая длина «Бурана» 36,4 м, размах крыльев около 24 м, высота на стоянке 16,5 м. При посадке скорость «Бурана» падает с 8000 до 95 м/с. В его носовом отсеке располагается герметическая вставная кабина для экипажа и аппаратуры. По большей части фюзеляжа корабля

расположен грузовой люк — огромный продольный вырез, закрывающийся створками. В грузовом отсеке может быть размещен груз массой до 30 т; это может быть базовый блок орбитальной станции «Мир», или ее модуль «Квант», или другой КА.

Что может «Буран»? Возврат на Землю ИСЗ для повторного запуска или изучения последствий их пребывания в космосе, возврат уникального и дорогого оборудования, доставка неисправных ИСЗ с атомными установками, запуск дорогостоящих объектов, доставка на орбиту крупных элементов космических сооружений. «Буран» может также использоваться как научно-исследовательская космическая лаборатория.

Ю. Семенов считает, что использование в народном хозяйстве результатов, полученных по программе «Буран», принесет миллиардные прибыли. В числе новшеств, рекомендуемых для применения, он называет электрохимические генераторы модульного типа на экологически чистых компонентах (водород—кислород) и теплоизоляционные материалы, работающие при температурах до 1500—1600 °С, технологические процессы изготовления конструкций из различных новых материалов, включая сотовые композиты, снижающие их вес на 50—70 %, а также перспективные бериллиевые и титано-никелевые сплавы; методы испытаний сложных технических систем; универсальные высоконадежные вычислительные комплексы; методы разработки и отладки программного обеспечения; средства автоматической диагностики и прецизионные системы измерения физических параметров; телевизионные системы отображения и видеорегистрации информации с высокой разрешающей способностью и чувствительностью; методы и средства оснащения авиации системами всепогодной посадки; дистанционные средства контроля и управления с использованием каналов связи через спутники-ретрансляторы на все виды транспорта и др.

Обширная программа разработки КА и средств их запуска осуществляется за рубежом. Английские конструкторы предложили систему четырех ракет-носителей «Смолл Орбитер» для запусков небольших научных и технологических полезных нагрузок, а также возвращаемых контейнеров для экспериментов в условиях микрогравитации; предусматриваются запуски грузов массой от 20—40 до 200 кг на орбиты высотой 200 км. Американская фирма «Спейс сервисис» наметила построить

на южной оконечности Гавайских островов стартовый комплекс для регулярного запуска (ежемесячно по одной) ракет-носителей, первый запуск намечен в 1993 г. В июне 1988 г. американские фирмы «Орбитал сайенс корпорейшен» и «Геркулес аэроспейс» объявили о планах запуска КА при помощи находящегося в воздухе реактивного самолета (типа бомбардировщика Б-52), специально сконструированная ракета «Пегас» всего лишь за 9 мин выведет ИСЗ на околоземную орбиту высотой 250 миль.

В связи с успешной эксплуатацией ТКК «Спейс шаттл» американская фирма «Спейс транспортейшн» намерена купить его для коммерческих целей. Основные доходы она планирует получить от запуска с его помощью связных ИСЗ. Ранее с помощью этого ТКК осуществлялись технологические эксперименты со связными ТКК: ремонт спутника и запуск новых. Так, в седьмом полете ТКК «Спейс шаттл» в июне 1983 г. на орбиту был выведен технологический ИСЗ СПАС-01.

В научно-исследовательском центре имени Лэнгли (штат Вирджиния) считают, что после 2000 г. нужно будет создавать более эффективные и экономичные транспортные системы, чем «Спейс шаттл». На базе существующего ТКК «Спейс шаттл» разрабатывается грузовой беспилотный вариант: наиболее ценные установки (двигательная установка и блок электроники) размещаются в модуле, который после выполнения программы возвращается на Землю. Один из вариантов грузового ТКК намечено ввести в конце 1993 г., он сможет доставлять на орбиту ОКС (высотой 400 км) полезную нагрузку массой 45,4—68 т. Ежегодно планируется запускать два-три ГТКК. Кроме сборки ОКС, он будет использован для запуска межпланетных КА.

В США идут также работы над проектом создания грузового беспилотного корабля многоразового использования «Шаттл-С» с ускорителем, аналогичным нашей «Энергии».

В 1991 г. НАСА предполагает ввести в строй космический буксир. После этого радиус действия ТКК «Спейс шаттл» увеличится на 2400 км. По контракту с НАСА фирма TRW проектирует космический буксир, имеющий форму диска диаметром 4,6 м и толщиной около 1,2 м, полетную массу — около 5440 кг.

В последние годы на международных аэрокосмических салонах были представлены воздушно-космические

самолеты. Предполагается, что их использование в ближайшем космосе будет более экономичным.

Катастрофа «Челленджера» активизировала работы в США по созданию нового, так называемого трансатмосферного самолета (TAV). Его маневренность должна быть значительно шире, чем у «Спейс шаттла».

В 1986 г. Р. Рейган объявил о разработке и создании к 2000 г. воздушно-космического самолета. Предполагается, что он будет взлетать с аэродрома, как обычный самолет, и разгоняться в верхних слоях атмосферы до скоростей, в 15—25 раз превышающих звуковую. Затем он будет выходить на низкую околоземную орбиту, выполняя функции космического корабля. Спуск его на Землю предусматривается аналогичным спуску самолета. При этом будут использованы бетонные полосы любого крупного аэродрома.

В значительной мере эта программа перекликается с проектом NASP по созданию воздушно-космического самолета США (которому уже присвоен индекс X-30), разрабатываемого тремя компаниями военно-промышленного комплекса — «Дженерал дайнэмикс», «Мак-доннелл—Дуглас» и «Рокуэлл интернэйшнл». К 1990 г. предполагается создать и испытать его основные узлы. Общая стоимость программы составляет 3,4 млрд долл. Основной вариант X-30 скомпонован по схеме крыло—фюзеляж. Для него разрабатываются способы активного охлаждения конструкций самолета. Окончательное решение о создании будет принято в 1990 г., а в 1994—1995 гг. предполагаются летные испытания. С его помощью будет снижена стоимость доставки грузов на орбиту, расширятся возможности свободного маневрирования в полете и многоразового использования. Трудности его создания: нужны мощные реактивные двигатели, работающие на водороде, необходимы надежная защита от теплового нагрева, новые материалы и системы управления. Американские специалисты считают, что в некоторых задачах X-30 может заменить нынешний ТКК «Шаттл». Проявляют к нему интерес сторонники СОИ. Он может стать удобным транспортным средством для доставки всего необходимого на промежуточную околоземную орбиту при осуществлении полетов на Марс. Возможно также использовать его для трансконтинентальных авиарейсов.

Западногерманский проект ТКК «Зенгер» представляет собой двухступенчатый ТКК, использующий для

запуска и приземления обычные взлетно-посадочные полосы в Европе. Первая ступень — сверхзвуковой самолет с турбореактивным двигателем (длина ступени 83 м, размах крыльев 40 м, стартовая масса 308—383 т); эта ступень может быть преобразована в пассажирский самолет для 250 пассажиров. Вторую ступень предполагается создать в двух модификациях: беспилотной («Каркус») для вывода на орбиту полезной нагрузки массой 15 т на низкую (300—460 км) орбиту или 2,5 т на стационарную орбиту и пилотируемой («Хорус») возвращаемой крылатой ступени с экипажем из четырех человек и полезной нагрузкой 2—4 т.

В Англии ведутся работы по проектированию воздушно-космического самолета «Хотол» с горизонтальным стартом и посадкой. Его габариты приблизительно соответствуют габаритам сверхзвукового пассажирского самолета «Конкорд»: общая длина 76, размах крыла 20, диаметр фюзеляжа 5,7 м. Штатная продолжительность одного полета 12 ч. Полномасштабную разработку корабля предполагается начать в 1991 г., а в 1998 г. провести летные испытания. В отсек полезной нагрузки может быть помещен герметизированный пассажирский модуль, в этом случае «Хотол», как полагают его создатели, будет использоваться на Земле как сверхбыстрый самолет: время полета на нем из Лондона в Сидней составит 45 мин, а во время полета по баллистической траектории пассажиры будут испытывать невесомость (билет на такой самолет будет стоить 50 тыс. долл).

Фирма «Боинг» разрабатывает малоразмерный космический аппарат, запускаемый со «спины» самолета-носителя (в качестве которого будет использован модернизированный «Боинг-747»).

Индийские ученые разрабатывают гиперплан, первый полет которого намечен на 1991 г. Этот ТКК будет взлетать с обычного аэродрома и будет в состоянии вывести на орбиту ИСЗ, после чего возвратится на Землю.

НАСА разработало «космический гараж», который, как ожидается, будет построен в ближайшие 5—6 лет. Он будет размещен на околоземной орбите и выполнять несколько функций. Основная из них — принимать космические корабли, облегчать их разгрузку и погрузку, а также обеспечивать их ремонт.

Количество кораблей в космосе будет расти. Одна из возникающих при этом проблем — совместимость стыковочных элементов. Это будет как в интересах безо-

пасности полетов, так и в интересах сотрудничества ученых различных стран. Председатель Главкосмоса СССР А. Дунаев сообщил, что ведется техническая проработка возможности стыковки второго поколения советских станций типа «Мир» с разрабатываемым во Франции воздушно-космическим самолетом «Гермес». Намечены и другие работы по совместимости станции: раньше при подходе к «Салютам» КК станция поворачивалась к кораблю стыковочным узлом, с появлением «Мира» маневрирование станции стало чрезвычайно сложным делом, поэтому КК сам прокладывает себе путь к нужному стыковочному узлу. В этом ему помогает новая радиосистема сближения «Курс».

С усложнением космической техники все большее внимание уделяется безопасности полетов. Так, в программе «Спейс шаттл» возможные неисправности поделены на следующие классы: 1) отказы аппаратуры внешней среды, контролируемой системой управления, недопустимо изменяющие микроклимат кабины ТКК; 2) неисправности аппаратуры системы управления и внешней среды, аппаратуры управляемой и контролируемой системы управления, проектные ошибки в программном обеспечении главной бортовой вычислительной системы, вызывающие переход на критический уровень деградации; 3) неисправности аппаратуры системы управления; 4) сбой данных и программ на некритических этапах, т. е. неисправности, не приводящие к деградации; 5) интерактивные ошибки экипажа, не влекущие угрозы безопасности экипажа. В этой программе предусматриваются следующие варианты аварийных полетов: аварийный спуск с катапультированием; возврат на стартовую площадку; трансатлантический полет; одновитковый полет; прекращение орбитального полета в разных вариантах; возврат на орбиту с космической составляющей этапа спуска для последующей эвакуации экипажа. Многоуровневое многовариантное функциональное и аппаратное резервирование призвано свести минимум риск катастрофы.

Для аварийного спасения экипажа для новой создаваемой в США ОКС разрабатывается многоцелевая капсула диаметром 4 м, массой 7 т, рассчитанная на 6 человек. Капсула будет состоять из спускаемого и служебного модулей. Она может использоваться также для самостоятельного выведения западноевропейских космонавтов на орбиту, применения в качестве автоматичес-

кой лаборатории для экспериментов в условиях микрогравитации. Запуск капсулы — с помощью ракеты-носителя «Ариан-4».

Есть несколько проектов запуска в космос полезных грузов, которые по сегодняшним меркам техники кажутся слишком уж фантастическими.

Кливлендский центр научных исследований создал модель электромагнитной катапульты для запуска в космос строительных конструкций со скоростью 76 700 км/ч. Она состоит из двух рельсов, находящихся под напряжением, между которыми закрепляется запускаемый груз. Так как при преодолении звукового барьера ожидается очень большой шум, ее предлагается установить вдали от населенных пунктов. Стоимость комплекса 8 млрд долл. Однако стоимость доставки грузов будет в 50 раз дешевле, чем имеющимися сегодня ракетами-носителями.

Вполне возможно, что через 20—30 лет в космос будут запускаться таким методом грузы. Научно-технический прогресс развивается стремительно. Разве мог предположить К. Циолковский, что всего лишь через 40 лет после Великой Октябрьской социалистической революции наша страна запустит первый в мире искусственный спутник Земли? Взгляд в будущее всегда помогал ученым решать задачи текущие.

Вот как видит перспективы космонавтики член-корреспондент АН СССР В. Троицкий: «Прогресс радиоастрономических исследований определяется уровнем экспериментальной техники. Можно ожидать, что с ее помощью в ближайшие десятилетия будут открыты планеты у ближних к нам 5—10 звезд. Причем скорее всего они будут обнаружены в оптическом, инфракрасном и субмиллиметровом диапазонах волн с помощью внеатмосферных установок. Начнут создаваться межзвездные корабли, зонды для послышки к одной из ближайших звезд в пределах расстояний 5—10 световых лет. Разумеется, в первую очередь к той, возле которой будут обнаружены планеты. Думаю, что такой корабль будет двигаться со скоростью не более 0,1 скорости света с помощью термоядерного двигателя.

В радиоастрономии будут использоваться гигантские космические системы с радиотелескопами размером более 100 м и расстоянием между ними до нескольких сот тысяч километров (сейчас наибольшее расстояние между радиотелескопами ограничено размерами Земли).



Полагаю, что в первой трети XXI в. будет обсуждаться проблема ограничения производства термоядерной энергии, которая к тому времени станет доминирующей. И будут предприниматься серьезные шаги, чтобы использовать фоновую энергию, существующую на Земле всегда, — энергию ветра, приливов, солнечную энергию и другие, утилизация которых не приводит к дополнительному нагреву планеты.

Наконец последнее — будут построены специальные большие радиотелескопы для наблюдения и поиска электромагнитных сигналов разумного (искусственного) происхождения во всем перспективном диапазоне волн. Будут проведены наблюдения сигналов от значительной части звезд галактики. Получит дальнейшее развитие теория возникновения и развития внеземных цивилизаций»<sup>1</sup>.

Среди разрабатываемых для космоса конструкций — механизмы разворачивания, механизмы солнечной батареи, механизмы и устройства по выполнению операций в космосе, привод системы управления, электромеханические и пиротехнические компоненты устройств. Например, параболическая антенна-отражатель. Она включает центральную втулку, к которой шарнирно крепятся 10 основных и 10 вспомогательных спиц. Спицы могут складываться пополам, когда антенна убирается. На спицы туго натянута мелкая металлическая сетка, которая отражает радиоволны. После раскрытия антенны форма сети точно соответствует расчетной параболе (с точностью до 1 мм). Габариты антенн, работающих в метровом диапазоне волн, могут достигать 1,5—2,0 км, а мощность солнечного коллектора при полезной мощности станции 6 ГВт; площадь составит около 50 км<sup>2</sup>, масса подобных конструкций — десятки тысяч тонн. В ближайшие годы будут увеличены размеры антенн спутников связи: вначале до 15—25, затем до 40—55 м. Допустимые отклонения формы и размеров антенн измеряются миллиметрами. Проблема создания точных отражающих поверхностей может быть представлена следующим списком систем и задач: создание щитов отражающей поверхности (механическая обработка поверхности; метод репликаций); создание несущего каркаса (автоматически раскрывающиеся; сборные); система регулирования поверхности (система контроля поверхности; логический

---

<sup>1</sup> Соц. индустрия. 1984. 25 окт.

блок; система компенсации ошибок); система наведения и стабилизации поверхности (датчики положения; система управления). Предполагается создание систем, предназначенных для теплоохлаждения, низкотемпературного фото- и термоэлектрического преобразований солнечной энергии. В будущем потребуются низкопотенциальные энергетические установки с термодинамическим циклом, высокотемпературные фото- и термоэлектрические преобразователи солнечной энергии, энергетические установки с термодинамическим циклом, высокотемпературное материаловедение, высокотемпературные теплофизические исследования, высокопотенциальные энергетические установки с термодинамическим циклом, высокотемпературные технологические процессы и др.

Американский профессор Дж. О'Нейл в своих публикациях начал обсуждение вопроса о будущих околоземных космических поселениях. Ныне предложения О'Нейла по освоению космоса хорошо известны: «Какими же мне видятся космические станции будущего? Станция будет собираться на большой поверхности, отдельные элементы соединятся друг с другом легкими, ажурными фермами, из которых можно сложить квадратные и кубические сооружения. Солнечные батареи, антенны, аппаратура для наблюдения — все это будет отнесено подальше от станции. Как, кстати, и космические атомные электростанции, если таковые появятся. Вообще рядом с большой пилотируемой станцией целесообразно создать сеть маленьких станций-фабрик, на которых в автоматическом режиме будут производиться уникальные препараты и материалы. Обслуживающий персонал будет осуществлять лишь контроль и сбор продукции.

Собирать такие ажурные станции надо в космосе, доставляя блоки в упакованном виде на ракетах-носителях, до сих пор же мы противоречили тому, что услужливо предлагает невесомость. Вместо того чтобы делать станцию легкой, мы готовили ее к перегрузкам при старте».

Все чаще обсуждая дела космические, высказывают сомнение в целесообразности вложения больших средств в космические полеты. Можно и нужно отстаивать технологические программы: научно-технический прогресс невозможен без новой орбитальной технологии. Нужно терпеливо убеждать общество в необходимости получения из космоса данных, развивающих фундаментальные направления науки.

Частные корпорации разработали план создания своей орбитальной станции. Работы по проекту возглавляет компания «Спейс индастриз». За несколько лет станция может быть построена и выведена на околоземную орбиту. Ее стоимость оценивается всего лишь в 700 млн долл.

В проектах КА находят применение самые различные конструкции. Среди трансформирующихся конструкций выделяют: раздвижно-надувные, с использованием материалов с «памятью», раздвижно-стержневые и раздвижно-площадные. Раздуванием сплошных жидкометаллических объемов можно получить даже модули для построения ОКС на орбите. Варианты фермерных и стержневых конструкций космических сооружений уже находятся на стадии модельных образцов. Создание тонкостенных оболочечных конструкций пока на стадии проработки идей; их положительные качества — автоматическое развертывание, использование характеристик открытого космоса, отсутствие сдвиговых, изгибающих и сжимающих напряжений, высокая прочность пленок и тканей, высокая компактность конструкции в сложенном виде.

Разрабатываются различные механизмы и устройства для развертывания на орбите и управления ими, ориентации приборов и инструментов, приводов, реализующих точное позиционирование и ориентацию компонентов антенн, для развертывания панелей солнечной батареи, наведения (ориентации) антенн, управления ориентацией астрономических и других исследовательских инструментов. Инфраструктура обслуживающих систем: робототехнические системы для выполнения дистанционных манипуляций (для ремонта и замены оборудования), осуществление маневров встречи и стыковки. В конструкциях особое место занимают проблемы шарнирных соединений, электромоторов (в частности, специальных шаговых электромоторов, позволяющих чрезвычайно точно с малыми дискретными переходами регулировать необходимые перемещения).

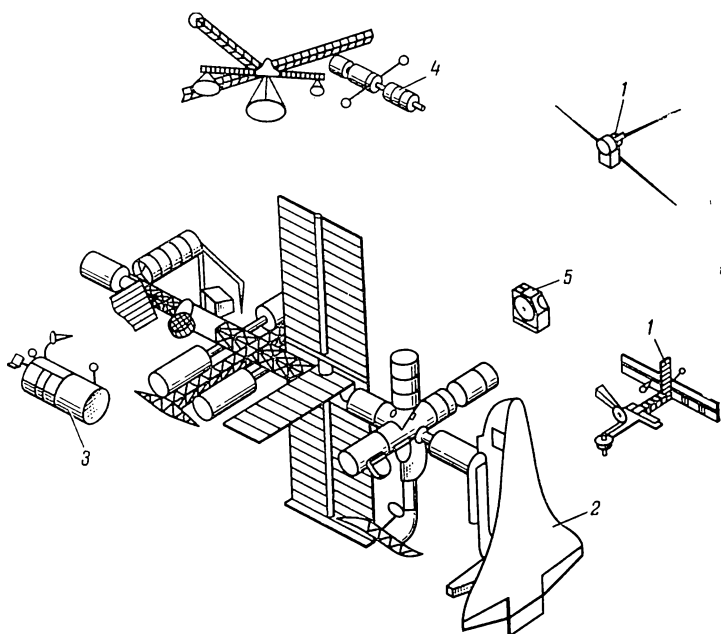
Так, для КА «Юлисес», отправляемого к Юпитеру, разработано несколько механизмов развертывания исследовательского оборудования, у которых реализованы новейшие достижения космической технологии. Для вынесения в сторону от корпуса пяти датчиков (двух магнитометров, двух датчиков рентгеновского излучения и датчика электрического поля с пробной катушкой) пре-

дусмотрена жесткая стрела в виде радиальной штанги из немагнитных материалов, выполненная как двухзвенная конструкция с шарнирным соединением плеч; общая длина стрелы 5,2 м. Электромагнитные и плазменные измерения предложено осуществить с помощью проволоочной (фактически — ленточной), изготовленной из материала  $\text{CuBe}_2$  дипольной антенны длиной (после разматывания) 72 м; разматывание осуществляется за счет центробежной силы грузов, прикрепленных к штангам, массой по 16 г каждый. Величина центробежного усилия регулируется с помощью шагового электродвигателя. Другая антенна на данном КА — осевая — выполнена из трубок двояковыпуклого сечения. Сдвигая трубки, можно получать плоскую поверхность и наматывать антенну на барабан.

При создании многозеркальных конструкций для регулировки взаимного положения элементов предусматриваются исполнительные механизмы, стержни с регулируемой длиной. Широко применяются раскрываемые мачты, на которых устанавливается аппаратура выносимая за пределы КА. Использовались мачты с продольными лонжеронами, соединительными радиальными стержнями и диагональными тросами. Стержни соединяются в жесткую треугольную конструкцию, концы которых сочленяются с лонжеронами через шарниры. Вместо угловых шарниров могут быть использованы свойства упругой деформации самих стержней; к тому же исключение люфтов в шарнирах увеличивает точность раскрытия мачты.

В ESA ведутся разработки вогнуто-выпуклых трубчатых складных мачтовых конструкций из сплава Сивег, из нержавеющей стали или из композита на базе пластмасс, упрочненных углепластиком. Эта конструкция плотно складывается и в таком виде может наматываться на барабан, обеспечивая ее компактность в отсеке полезной нагрузки ТКК.

Космические конструкции из материалов, не имеющих изгибной жесткости (пленка, сетка), могут под воздействием силовых полей (инерционных, электромагнитных, поля давления) принимать заданную форму и сохранять ее в условиях полета в вакууме и невесомости. Такие конструкции могут, например, применяться для улавливания, изменения направления и концентрации электромагнитного излучения в диапазоне  $10^{-1} \div 10^{-7}$  м. Для больших поверхностей предлагается использовать уп-



**Р и с. 46. Развернутая орбитальная космическая станция**

**1** — автономные спутники-платформы; **2** — транспортный корабль; **3** — межорбитальный буксир; **4** — дополнительная станция на геостационарной орбите; **5** — телеоператор

равление пленочными поверхностями посредством струй двух двигателей, расположенных по обе стороны пленочного зеркала. Для контроля поверхности зеркала предложено использовать бесконтактный датчик — лазерный дальномер.

Конструкция ОКС в виде балки длиной 92 м является основой «грозди» из других элементов ОКС. Такая балка предполагает наличие более 3 км линий трубопроводов, которые предстоит смонтировать космонавтам. Главное требование к ним — идеальная герметичность. Давление внутри них будет от 36 кПа до 11 МПа. Исследования показывают, что эта часть монтажных работ требует специального инструмента, технологии сборки, разъединений и основных узлов. ОКС предполагается разместить на орбите высотой 500 км (рис. 46). Станция построена по блочному принципу. Она включает обитаемые блоки, лабораторные модули, хранилища, герме-

тизированный стыковочный блок, негерметизированные платформы для обслуживания КА, агрегатный блок, системы жизнеобеспечения и другие конструкции. Для самого большого комплекса работ по созданию ОКС НАСА предложило группе фирм разработать конструкцию ОКС в виде ферм, системы электропитания, управления, связи, слежения, наведения, навигации, терморегулирования и мобильный транспортер с подъемным краном. Для изготовления балки из соединяемых труб предполагается использовать композитный материал и алюминиевый сплав с покрытием. На первом этапе создания ОКС будут использованы четыре панели фотогальванических солнечных батарей мощностью 75 кВт, на втором будет установлена турбогенераторная система преобразования солнечной энергии.

Высказываются и пессимистические взгляды. Так, условия на ОКС США оцениваются как далеко не самые лучшие для выращивания кристаллов из-за толчков при стыковке, перемещения экипажей, выделения загрязнений. Некоторые считают проект ОКС всего лишь средством обеспечения занятости аэрокосмической промышленности США.

На ОКС ежедневные потребления космонавтом пищи, воды и кислорода достигает по массе 30 кг. Расходятся и другие бытовые и топливные ресурсы. Поэтому снабжение ОКС считается важной задачей не только для современных ОКС (как известно, снабжение ОКС «Мир» осуществляется с помощью КК «Прогресс»), но и для будущих станций. Разрабатываются специальные методы и устройства, позволяющие «уплотнить» полезную нагрузку на Земле перед помещением ее в транспортный корабль.

В ходе полета предусмотрена возможность замены оборудования с непродолжительным ресурсом работы: различных вкладышей и патронов в системе обеспечения жизнедеятельности экипажа, аккумуляторных батарей, научных приборов. Это потребовало обеспечить доступ к элементам систем, простоту крепления узлов и разработки технологии их монтажа в космосе, пригодность унифицированного инструмента.

Из опыта работы космонавтов на борту ОКС известно, какое большое значение для результативности программы имеет учет при конструировании даже самых, казалось бы, малых факторов обитания. В длительных полетах источниками беспокойства являются вибрации,

недостаточное освещение рабочих мест, шумы от вентиляторов и реле, однообразие обстановки и пищи, неправильный режим дня и др. Например, после замечаний предыдущих экипажей на «Салютах» был введен 9-часовой сон, позволяющий отдохнуть экипажу; кроме этого, по 2,5 ч. отводилось на прием пищи и на физические упражнения. Космонавт Л. Попов считает, что длительность полета положительно сказывается на проведении научных экспериментов в тех случаях, где нужен набор статистики, увеличение наблюдательного материала для более уверенных выводов; в длительном полете многократно корректируется задача экипажа, воспроизводятся отдельные опыты в измененных условиях, т. е. программа работ становится более гибкой, адаптированной к условиям полета.

На американской станции вначале планировалось производить смену экипажей каждые три месяца, затем этот срок увеличился до шести месяцев. Применение усовершенствованных двигателей на ТКК «Спейс шаттл» повысит его грузоподъемность на 5,4 т, благодаря этому будет уменьшено количество полетов. Особенно это важно на этапе создания станции (предполагается, что она будет построена за 19 месяцев).

Внутри ОКС планируется создать условия, благоприятствующие работе экипажа. Мы уже представляем себе интерьер ОКС: по бортам повсюду — резиновые кольца, карманы, средства фиксирования космонавта и хранения различных предметов. В различных местах — гнезда для съемных столиков. Жилое помещение в развитых ОКС чаще всего располагают вблизи центра массы для уменьшения влияния динамики экипажа на проводимые на станции технологические эксперименты. Общее представление о структуре комплекса бортового технологического оборудования дает схема на рис. 47.

Сконструирована даже посудомоечная машина, которая будет работать на ОКС США в условиях невесомости. Как и в наземных машинах, в ней используется разбрызгивание воды из форсунки. Посуда укрепляется на девяти (по числу космонавтов) подносах, которые помещаются в бак, вращающийся вокруг разбрызгивателя со скоростью 30 об/мин. Возможно увеличение количества подносов до 15.

Самостоятельную задачу космической технологии представляет собой проектирование и поддержание эксплуатации устройств и систем охлаждения. Криогенная

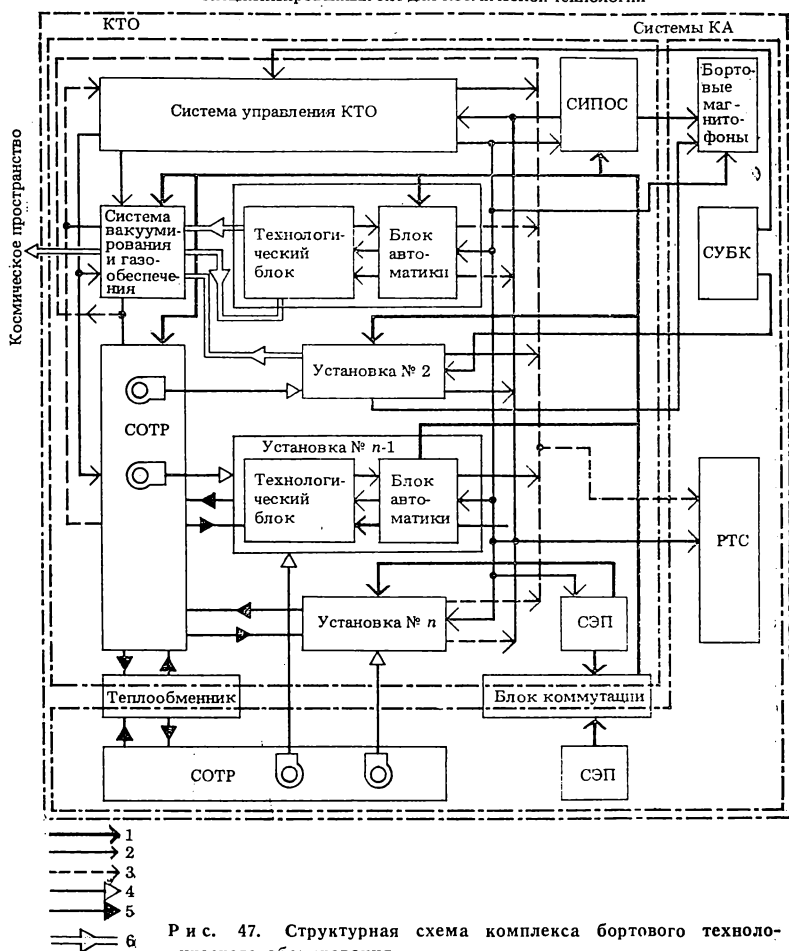


Рис. 47. Структурная схема комплекса бортового технологического оборудования

1 — связь электрическая силовая; 2 — связь электрическая командная; 3 — связь электрическая сигнальная; 4 — контур воздушного охлаждения; 5 — контур жидкостного охлаждения; 6 — линия вакуумирования или газоснабжения

техника с охлаждением жидким гелием используется в аппаратуре для астрофизических исследований. Охлаждение необходимо также для инфракрасных датчиков, для некоторых исследовательских приборов (например, для работы видеоспектрометрического комплекса по проекту «Фобос») и др.



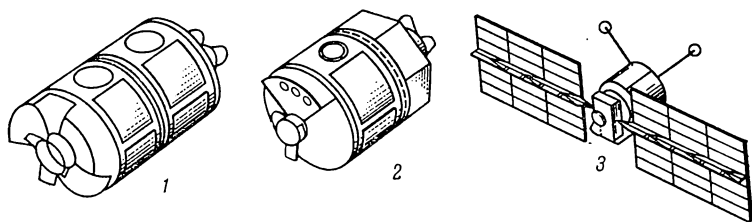
Работающие в космосе космонавты смогут реализовать такой простой проект создания ОКС, как переоборудование топливных баков. Внешние топливные баки ТКК «Спейс шаттл» предполагается использовать на околоземных орбитах как отсеки и служебные платформы, обслуживающие гражданских, коммерческих и военных потребителей. Наличие у них стыковочных узлов, предварительно смонтированных, позволит космонавтам посещать их и использовать как базу для колонизации космоса.

На ОКС предполагается собирать КА «Солнечный парус» для доставки полезной нагрузки массой до 30 т на орбиту Марса. Парус квадратной формы  $2 \times 2$  км предполагается собирать на конце соединенного с ОКС металлического фала длиной от 10 до 150 км, вдоль которого будет перемещаться монтажное транспортное средство.

С 1984 г. в Западной Европе проводятся исследования по созданию собственной, независимой от США ОКС «Колумб», которую предполагается ввести в действие в конце века. Она рассматривается как многофункциональное сооружение, которое будет использовано как для научных и технологических целей, так и для ремонта КА и обеспечения транспортных операций по исследованию и освоению космического пространства (рис. 48).

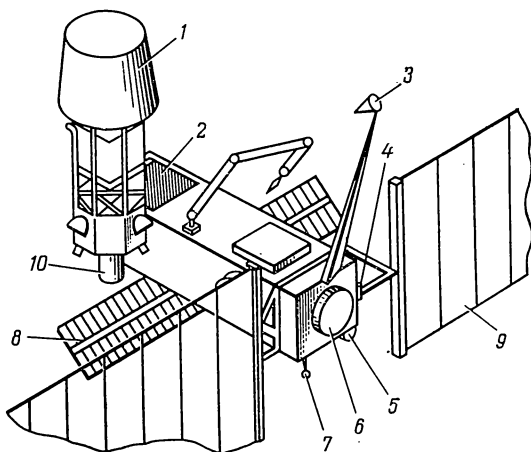
Во Франции разработан проект орбитального производственного комплекса «Солярис», в состав которого входят ОКС с технологическим оборудованием, операционный модуль с манипуляторами и оборудованием для выполнения технологических операций, автоматический транспортный космический корабль для доставки на станцию сырья и возвращения материалов (рис. 49).

Разрабатывается проект орбитального буксира OMV, который сможет базироваться на ТКК «Спейс шаттл». Это КА модульного типа, имеет диаметр 4,6, высоту 1,4 м, состоит из собственно летательного аппарата малой дальности массой 3 т и блока двигательной установки массой 5 т. В числе решаемых им задач — обслуживание орбитальной обсерватории массой 11,3 т; доставка полезной нагрузки массой 1,6 т на орбиту выше базы на 630 км; возвращение полезной нагрузки массой 5 т с орбиты выше базы на 185 км; обслуживание ИСЗ на высоте до 730 км от базы при помощи комплекса оборудования массой 2,3 т и др. Так, уже в 1991 г. планирует-



Р и с. 48. Проект западноевропейской орбитальной космической станции «Колумб»

1 — обитаемый блок; 2 — транспортный блок; 3 — агрегатный блок



Р и с. 49. Проект орбитальной космической станции «Солярис»

1 — обтекатель транспортного корабля; 2 — печь для производства материалов; 3 — антенна для связи с Землей через спутники-ретрансляторы; 4 — солнечный датчик; 5 — датчик направления на Землю; 6 — переходник между станцией и ракетой-носителем; 7 — антенна для непосредственной связи с Землей; 8 — антенна радиолокатора; 9 — панели солнечных батарей; 10 — стыковочный узел транспортного корабля

ся с его помощью восстановить высоту орбиты ИСЗ «Космический телескоп».

Самостоятельный класс КА представляют модули — небольшие целевые автоматические и обитаемые аппараты, выводимые на близкие к Земле орбиты.

ФРГ планирует две программы непилотируемых космических средств (НКС) для экспериментов в условиях микрогравитации. По программе «Раумкуттер» западно-германские фирмы разрабатывают НКС в виде возвра-

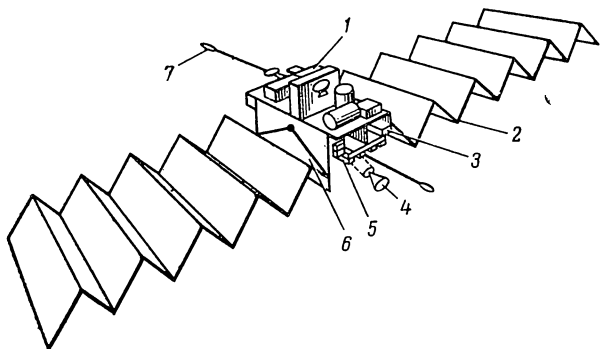
щаемого модуля диаметром 1,47 м, способного совершить 14-дневный полет с полезной нагрузкой 400 кг и обеспечением электроэнергией 200 Вт.

В марте 1987 г. закончен один из этапов проекта JEM, на котором были выработаны детальные определения, предварительное проектирование и разработка усовершенствованной техники для нового модуля. Конструктивно он состоит из герметичного отсека, секции экспонирования (выполнения экспериментов в открытом космосе) и блока материального обеспечения. Герметический отсек представляет собой цилиндр длиной 10,6 м с внутренним диаметром 4,0 м, вмещающий до 23 эквивалентных стандартных шкафов-стендов. Пространство, примыкающее к полу, используется для размещения подсистем модуля и эквивалентно приблизительно 6 стандартным стендам. Имеется шлюзовой отсек и консоль дистанционного манипулятора. Секция экспонирования может механически соединяться с герметичным отсеком и отстыковываться от него на орбите. Модуль — сравнительно автономное устройство, шаг к созданию японской ОКС.

В КНР имеется возвращаемая капсула FSW с баллистическим спуском, которую предполагается использовать для проведения экспериментов по кристаллизации белков в условиях невесомости и других технологических экспериментов. Советские капсулы «Фотон» того же назначения также предполагается использовать для проведения технологических экспериментов в космосе по заказу западногерманских фирм. Западногерманские и итальянская фирмы проектируют для тех же целей капсулу «Топаз», которая будет использоваться в 1991—1992 гг.

В феврале 1988 г. Центром Маршала НАСА подготовлены технические условия на арендуемую орбитальную платформу. Предполагается, что установка будет выводиться на орбиту в качестве одной полезной нагрузки ТТК объемом 50—80 м<sup>3</sup>. Не менее 30 % объема арендуют коммерческие потребители, а остальное — государственные. Предусматривается периодическое обслуживание платформы космонавтом. Станция способна совершать полет в автоматическом режиме в течение 4—6 мес и функционировать без технического обслуживания при помощи МТКК в течение трех лет. Оператор установки несет эксплуатационные расходы на нее. Ввод платформы в эксплуатацию, вероятно, осуществится в 1993 г.

Страны Западной Европы с 1982 г. разрабатывают орбитальную платформу «Эврика» для технологических и научных исследований (рис. 50). Ее длина 4,5 м, ширина 2,3 м, масса 4 т (в том числе 1 т — полезная нагрузка). Мощность энергоисточника (солнечные батареи) — 5 кВт. Предполагается, что платформа будет использоваться в течение 10 лет. Собственная двигательная установка позволяет переводить платформу с опорной орбиты высотой 300 км на круговую орбиту высотой 500 км, где гравитационные условия более оптимальные



**Рис. 50. Проект спутника-платформы «Эврика»**

1 — полезная нагрузка; 2 — панель солнечной батареи; 3 — ферменная конструкция; 4 — двигатель системы коррекции орбиты; 5 — бортовые служебные системы; 6 — холодильник-излучатель; 7 — антенна

для проведения технологических экспериментов. На платформе размещаются установки: 1) зеркально-лучевая печь для выращивания методом зонной плавки кристаллов полупроводниковых материалов (мощность до 500 Вт, температура до 1000 °С, диаметр кварцевой ампулы с образцом 25 мм); 2) установка для кристаллизации протеина из растворов энзимов и солей (предусматривается наблюдение за процессом роста с помощью микроскопического телевидения); 3) установка для выращивания кристаллов из раствора; 4) многоцелевая кассетная печь (30 автономных нагревательных устройств с единой системой управления, средняя мощность 180 Вт, температура до 1100 °С); 5) многоцелевая автоматическая градиентная печь (средняя мощность 400 Вт, температура до 1250 °С, диаметр образцов до 15 мм, число капсул с образцами — 30); 6) аппаратура для исследований по фи-

зике невесомости (высокоточный термостат, установка для исследования адгезии за счет поверхностного натяжения и др.); 7) аппаратура для измерения полей малых ускорений на борту платформы. На ней будут проводиться эксперименты в условиях особо низкого уровня гравитации (до  $10^{-5}g_0$ ).

Продолжительность полета 6 месяцев. На платформе устанавливаются: автоматическая печь для обжига для изучения характеристик технологических процессов и свойств материалов в космосе; установка для выращивания кристаллов в растворе; устройство для кристаллизации белков, устройство с множеством камер для обжига; блок для проведения экзобиологических и радиационных исследований. Платформа будет выполнена из пластиковых материалов, упрочненных углеволокном, титана, алюминия и сплава инконел-718. Энергообеспечение с помощью солнечной батареи, выходная мощность 5 кВт, из них 1 кВт — для полезной нагрузки. Выведение в космос намечено в 1990 г. Вначале за пределы Земли его доставит ТКК «Спейс шаттл», затем уже он самостоятельно выйдет на орбиту 500 км. Возвращение на Землю — также в отсеке МТКК «Спейс шаттл».

Строительство на других планетах и их спутниках, освоение ресурсов планет и астероидов также можно причислить к сфере деятельности космической технологии, так как условия работы во многом отвечают условиям ОКС (правда, на планетах уже существует сила тяжести). В информационном банке Международного фонда истории науки хранятся данные о сотнях различных конструктивных предложений, предназначенных для освоения Луны и других небесных тел. Когда в середине 70-х гг. автор этих строк зарегистрировал свои конструкции лунных баз в Госкомитете СССР по делам изобретений и открытий, эта тематика находилась под плотным покровом секретности. Тогда было известно всего лишь несколько десятков иностранных и советских проектов. Однако их количество быстро росло, несмотря на появившийся в то время пессимизм в отношении целесообразности высадки на Луне для создания лунной базы. Сегодня в различных изданиях опубликованы самые разнообразные проекты лунных и марсианских баз, информация об их целях и задач доступна для каждого интересующегося.

Космический центр Джонсона НАСА планирует проведение пяти наземных исследований длительностью

1 год по вопросам создания крупной базы на Луне к 2005 г. Луна рассматривается как ближайший внеземной источник материалов для обеспечения создания растущей инфраструктуры в космосе и освоения Солнечной системы, удобная стартовая площадка и лаборатория для отработки технических средств освоения дальнего космоса. База на Луне может стать следующей целью НАСА после ОКС. В Лаборатории строительной технологии (штат Иллинойс, США) проведены эксперименты с доставленным сюда лунным грунтом; оказалось, из него можно делать материал, напоминающий бетон, но по прочности превосходящий свой земной аналог.

Для освоения Луны разрабатываются различные мобильные аппараты, диапазон которых можно представить следующим списком: 1) «лунный кузнечик»; 2) электротрейлер с прицепами, требующий создания на Луне системы дорог; 3) монорельсовый поезд на электромагнитной подвеске; 4) электромагнитный ускоритель, использующий специальные грузовые контейнеры. Очевидно, что выбор конкретного решения будет определяться требованиями по грузопотоку, стоимости, времени и условиям эксплуатации.

Многие американские фирмы заинтересованы в создании лунной базы, они надеются получить прибыль от эксплуатации ресурсов нашего естественного спутника. Количество гелия-3 на Луне оценивается в 1 млн т. Для высвобождения его из лунных пород достаточна температура приблизительно 600 °С, которую может обеспечить энергия Солнца. Возможны, таким образом, производство и доставка на Землю изотопа гелия-3 для использования в термоядерных энергетических реакторах (США его потребуется всего лишь 20 т в год). Уже разрабатывается технология извлечения гелия-3 из лунных пород.

Планируется «пригонять» из космоса астероиды и из них добывать материалы. Идея прорабатывается в Лаборатории динамики полета ВВС США. На полюсах астероида будут установлены двигатели — центробежные массоускорители, похожие на соосные двухвинтовые роторы вертолета. Вместо лопастей у них сквозные трубы. Когда ротор вращается, из труб, как из пращей, вылетают в пространство гранулы, «слепленные» из вещества астероида. Запирающие механизмы, установленные в трубах, выпускают гранулы лишь в одном направлении, которое задается пилотом. Получившиеся четыре парал-

лельные реактивные струи толкают астероид в противоположную истечению сторону. Привод ускорителей электрический, на солнечной или ядерной энергии. Планируется использовать астероиды диаметром до нескольких километров. Экспедиция за астероидом займет год полета «туда» и 3—4 года «обратно». В окрестностях Солнечной системы можно выбрать такие астероиды, которые имеют орбиты, благоприятные по энергетическим характеристикам для доставки к Земле. Мощность электродвигателей — 10—50 МВт для астероидов с начальной массой 0,9—1,3 млн т. На околоземную орбиту попадет одна пятая часть массы, остальное выбросится ускорителями. Оборудование для экспедиции будет весить примерно 1 тыс. т. Другой аналогичный проект — американца Д. Спаркса предполагает подводящие астероиды (с массой около 1 млрд т) отбуксировать на околоземную орбиту, где с использованием солнечной энергии переплавить имеющийся в нем металл в слитки массой от 1 до 10 т, которые затем по баллистической траектории доставлять на Землю в специально выделенный район. По его оценкам, при затратах на этот проект около 60 млрд долл. земляне получают прибыль от 100 до 2200 млрд долл.

## 11. Космос и автоматика

Космонавт, ученый К. Феоктистов, много сделавший для развития советской космонавтики, так определил будущее роботов: «Возможности человека велики, но не безграничны. Сам человек к звездам не полетит. Если мы захотим наладить полеты в дальние концы Солнечной системы и к другим звездам, то надо создать электронного „человека“... Это „существо“ должно быть создано в промышленных условиях. И „воспроизводить себя“ в случае необходимости также должно в аналогичных условиях. Но „жить“ и действовать оно будет не по жесткой заданной программе, а обладать свободой воли. У него должны быть индивидуальность, любопытство, жизнерадостность, обязательно доброта, способность к познанию окружающего мира, накоплению знаний, саморазвитию, умению ставить проблемы, анализировать их и решать.

Оно должно быть специально приспособлено к существованию в вакууме, уметь усваивать энергию космиче-

ских излучений для поддержания жизнедеятельности. У него должны быть мощный мозговой центр, датчики окружающего мира, способные, например, видеть Вселенную не только в видимом свете, но и в ультрафиолетовых, инфракрасных гамма- и рентгеновских лучах. Оно должно обладать исполнительными органами, чтобы общаться с бортовыми машинами, управлять кораблем. В его распоряжении должны быть средства, чтобы ремонтировать себя, если это понадобится. Это должно быть „продолжение“ нашей разумной расы, созданное специально для жизни в космосе... На мой взгляд, это единственно разумный путь освоения дальнего космоса»<sup>1</sup>.

Именно роботам человек предполагает доверить самые трудные, рутинные, опасные операции не только на Земле, но и в первую очередь в космосе. Роботы классифицируются по степени их автономности: телеоператоры, телероботы, супервизорные роботы и адаптивные, роботы с искусственным интеллектом. Особенно перспективны последние в связи с созданием экспертных систем и баз знаний. Работы в области искусственного интеллекта ведутся во многих странах, издается 34 журнала (в США — 19, в СССР — пока ни одного), опубликовано более 300 монографий и более 600 сборников. По оценкам НАСА, содержание человека на орбите в начале 80-х гг. обходилось ежегодно в 10 тыс. долл. Использование роботов будет значительно дешевле, так как для них не требуются сложные системы жизнеобеспечения. Роботов также не обязательно возвращать на Землю, таким образом отпадет необходимость еще и в других дорогостоящих системах.

Европейское космическое агентство создало в космическом центре в Тулузе специальную группу для определения целей и координации работ в области искусственного интеллекта для космических программ. Наиболее важное место отведено проблемам выработки и уточнения баз знаний и надежности. Используется опыт создания и работы с экспертными системами и базами знаний. В подобных системах в США используется главным образом язык искусственного интеллекта Лисп и Лисп-машины, в Европе более употреблен язык искусственного интеллекта Пролог и применение эффективных компиляторов для преобразования спецификаций в кодах скоростных программ Фортрана из записей на Про-

---

<sup>1</sup> Известия. 1986. 23 апр.



логе. Эти разработки предполагается использовать не только для сбора и обработки данных, но и для генерирования плана полета КА методом искусственного интеллекта.

Разработанная НАСА программа роботизации космонавтики предусматривает создание образцов техники на основе модульных конструкций, состоящих из манипуляторов, компьютеров и других подсистем, каждая из которых со временем может заменяться на более совершенную. Для ТКК «Спейс шаттл» создается испытательная установка, которая включает соединенные с дистанционным манипулятором системы роботов, маневрирующую установку для космонавта, орбитальный маневрирующий КА, а также автономный автоматизированный и роботизированный модуль, имеющий возможность соединения с орбитальным буксиром для движения по орбите и стыковки с ОКС. Должны быть усовершенствованы системы встречи и стыковки, высокоэнергоемкие и моментные маховики, электромоторы (например, шаговые электродвигатели), криогенные устройства и др.

Во многих полетах ТКК «Спейс шаттл» применялся дистанционный манипулятор с рычагом 15 м и массой 390 кг. В последние годы он был снабжен системой «космического зрения» для повышения точности определения положения перемещаемых полезных нагрузок путем машинной обработки телевизионных «целей». Как полагают, следующее поколение этого дистанционного манипулятора будет иметь рычаг 30 м и обладать «искусственным интеллектом», что значительно расширит возможности автоматизации сборочных работ в космосе.

В США создается летающий телеробот для обслуживания долговременной ОКС. Его летные испытания планируются в 1992 г. Изменение порядка сборки ОКС с его помощью ускорит размещение на ней экипажа.

В будущем ожидается быстрая эволюция микроэлектроники, позволяющая создать специализированные приводы со встроенными микропроцессорами, интеллектуальными системами, усовершенствованными датчиками и др. На кафедре физики полупроводников Киевского университета создан биосенсор — датчик нового поколения, сочетающий в себе живые и неживые клетки; за доли секунды он может с высокой точностью определить концентрацию в смеси любого вещества. Американская корпорация «Интел» разработала новый мощный ЧИП — микросхему, используемую в компьютерах (кодовое наз-

вание Н-10); она содержит один миллион транзисторов и способна производить 150 млн операций в секунду.

Разработана система управления робототехническими устройствами ОКС. В основе ее программного обеспечения — гибкая перестраиваемая структура с множеством обратных связей и элементами самоорганизации. Включает подсистему декомпозиции, базу данных общей памяти, подсистему моделирования и обработки информации, операторский интерфейс. Последний позволяет человеку входить в систему управления на любом уровне для супервизорного контроля.

Стоимость доставки на орбиту полезной нагрузки снижается, но вот затраты на управление космическими аппаратами растут. Так, если стоимость наземного управления первыми зондами на Марс в 60-е гг. составляла около 10 млн долл., то в 90-е гг. она достигнет 160 млн. В то же время система с искусственным интеллектом сама выберет режим работы, объем обмена информацией с Землей будет минимален, что позволит снизить затраты на управление.

Поступаемая сегодня информация из космоса не селектируется, для ее анализа требуется большое количество времени. Так, НАСА ежедневно получает из космоса порядка  $10^{12}$  бит информации, на обработку которой уходит иногда месяц. Роботы смогут отфильтровывать информацию и сортировать ее при передаче на Землю.

Для передачи информации перспективны оптические волокна, позволяющие передавать в единицу времени очень большой объем информации по сравнению с другими каналами; они имеют малый удельный вес, низкие требования к мощности передаваемых сигналов.

Начался переход на машинночитаемые носители хранения информации для КА в части данных, необходимых для управления полетом. В связи с этим появились и трудности. Дисплей как эквивалент системы с использованием бумаги затруднял управляющие воздействия экипажа. В то же время хранение и обновление файлов имеет преимущества по сравнению с бумажными.

Обсуждается проблема дистанционного управления исследованиями на борту КА. В связи с этим выдвигается ряд требований: обеспечение соответствующими каналами связи, продуманность организации и планирования исследований, бортовая обработка и распределение данных, организация интерфейса ученых — установка и

ученый — экипаж — установка. Экспертная система KBS позволяет обслужить электронное оборудование, управлять функционированием спутниковых систем связи и решать другие задачи.

ESA разработало принципы создания информационных систем для обеспечения космических программ: 1) тщательный анализ потребностей пользователей и ограничений, налагаемых этими потребностями на предполагаемые варианты информационных систем; 2) использование готовой коммерческой аппаратуры и программного обеспечения; 3) максимальное использование международных и национальных стандартов; 4) использование принципа интерфейса при обмене информацией с другими организациями и фирмами-партнерами; 5) обучение потребителей правильному использованию стандартов и методик работы; 6) разработка достаточно гибкой структуры информационной системы для использования технических нововведений и приспособления ее к изменившимся потребностям пользователей; 7) признание того факта, что развитие программного обеспечения является причиной прогресса аппаратуры; 8) максимальное использование имеющегося научно-технического потенциала.

Информационная система ОКС США представляет собой комплекс космических, наземных средств и информационных сетей, обеспечивающих предоставление требуемых данных и информационных услуг экипажу ОКС, наземному персоналу и потребителям данных. Перспективные информационные системы характеризуются автономностью работы, сжатием и оперативностью передачи данных, универсальностью элементов, высоким уровнем устойчивости к отказам и надежности.

Разработана компьютерная сеть SPAN, объединяющая в единую систему работающие в области космической технологии научные учреждения США и Западной Европы. В ней имеется около 1000 ЭВМ, включая и суперкомпьютеры. В сеть входят четыре американских распределительных центра (Центр космических полетов Годдарда, космический центр Джонсона, ZPL, Центр космических полетов Маршалла) и один западноевропейский центр ESOC. Центры оснащены вычислительным оборудованием фирмы DEC (США) и соединены между собой каналами связи с пропускной способностью 56 кбит/с. Удаленные потребители подключаются к этой сети по каналам связи на 9,6 кбит/с. Предусмотрена

возможность подключения сети SPAN к другим национальным и международным компьютерным сетям: NERNET, TEXNET, DAN, GEONET, ASTRONET и др.

\* \* \*

Даже из этого краткого обзора современных достижений и перспектив (табл. П. 6 и П. 7) космической технологии ясна огромная польза этого нового научно-технического направления для экономики и науки нашей страны и всего человечества. По сравнению с другими научными и народнохозяйственными программами космонавтика сегодня тратит не так уж много средств на свое развитие. Расходы СССР на народнохозяйственный и научный космос в 1988 г. составили около 1,3 млрд р., это в 10 раз меньше расходов Минводхоза СССР. Бюджетные ассигнования на космос в 1988 г. составили в Японии около 1,1 млрд долл, в США — 9,0 млрд долл. Выступая на Съезде народных депутатов СССР, Н. Рыжков привел такие цифры затрат на космонавтику: народнохозяйственный и научный космос — 1,7, военный космос — 3,9, космическая система многообразового использования «Буран» — 1,3 млрд р., итого по стране — 6,9 млрд р.

Зато прибыль от космической индустрии мы получаем уже сегодня. Разве можно было получить без космических аппаратов новые материалы, осуществить дальнюю передачу информации, решить другие важные научные, хозяйственные и оборонные задачи? Конечно, нет.

Все работающие в области космонавтики сходятся во мнении относительно того, что мы вступили в новую эпоху развития космических исследований. То, что раньше считалось сенсацией, сегодня становится будничным делом, приносящим прибыль. В одном случае эта прибыль получается в виде материалов, изделий или услуг, в другом случае — валютными средствами, получаемыми нашей страной от иностранных фирм. А. Дунаев огласил следующие цены на услуги, предоставляемые советской космонавтикой: использование лабораторных отсеков на станции «Мир» — по 15 тыс. долл. за 1 кг (включая доставку); вывод ИСЗ на геостационарную орбиту — 30 млн долл.; запуск груза в 20 т — 26 млн долл.; запуск грузов массой 5—7 т — 10—14 млн долл. Первые заказы уже выполняются, один из последних космических коммерческих договоров — с английскими фирмами на совместный полет на борту ОКС «Мир». Космонавтика работает на людей.

## Список сокращений

- ГКНТ — Государственный комитет СССР по науке и технике  
ИСЗ — искусственный спутник Земли  
КА — космический аппарат  
КК — космический корабль  
МТКК — многоразовый транспортный космический корабль  
НАСА — Национальное агентство по исследованию космического пространства США  
НИР — научно-исследовательская работа  
НПО — научно-производственное объединение  
ОКС — орбитальная космическая станция  
ПП — полупроводник  
ПН — полезная нагрузка  
СОИ — стратегическая оборонная инициатива  
СВЧ — сверхвысокочастотный  
СХЭ — система хранения энергии  
СЭС — спутниковая электростанция  
ТКК — транспортный космический корабль  
УРИ — универсальный ручной инструмент  
ЦУП — центр управления полетом

## Рекомендуемая литература

*Авдуевский В. С., Гришин С. Д., Лесков Л. В.* и др. Проблемы космического производства. М.: Машиностроение, 1980. 221 с.

*Авдуевский В. С., Лесков Л. В.* Работает невесомость. М.: Молодая гвардия, 1988. 210 с.

*Авдуевский В. С., Успенский Г. Р.* Народнохозяйственные и научные космические комплексы. М.: Наука, 1984. 416 с.

*Бабский В. Г.* Электрофорез в невесомости: (Состояние проблемы) // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1985. Т. 49, № 4. С. 724—730.

*Бармин И. В., Горюнов Е. И., Егоров А. В.* и др. Оборудование космического производства. М.: Машиностроение, 1988. 253 с.

*Беляков И. Т., Борисов Ю. Д.* Основы космической технологии. М.: Машиностроение, 1980. 184 с.

*Беляков И. Т., Борисов Ю. Д.* Технология в космосе. М.: Машиностроение, 1974. 292 с.

*Бирюков В. М., Желанный Ю. М., Марков Е. В.* и др. Перспективы производства полупроводниковых материалов в космосе // Тр. XX чтений, посвященных разработке научного наследия и развитию идей К. Э. Циолковского. М.: ИИЕТ АН СССР, 1987. С. 19—26.

*Боно Ф., Гатланд К.* Перспективы освоения космоса. М.: Машиностроение, 1975. 214 с.

*Волченко В. Н., Бутаков В. И., Белоногов А. П.* Обеспечение качества сварки при монтаже космических конструкций // Тр. XX чтений, посвященных разработке научного наследия и развитию идей К. Э. Циолковского. М.: ИИЕТ АН СССР, 1987. С. 45—52.

*Гришин С. Д., Лесков Л. В.* Индустриализация космоса. М.: Наука, 1987. 352 с.

*Евич А. Ф.* Индустрия в космосе. М.: Московский рабочий, 1978. 224 с.

Идеи К. Э. Циолковского и проблемы космического производства // Тр. XVIII чтений, посвященных разработке научного наследия и развитию идей К. Э. Циолковского / Калуга, 13—17 сент. 1983 г. Секция: «К. Э. Циолковский и проблемы космического производства». ИИЕТ АН СССР. М.: 1984. 145 с.

Идеи К. Э. Циолковского и проблемы космического производства // Тр. XIX чтений, посвященных разработке научного наследия и развитию идей К. Э. Циолковского / Калуга, сент. 1984 г. Секция: «К. Э. Циолковский и проблемы космического производства». ИИЕТ АН СССР. М.: 1984. 120 с.

*Иконникова Г. М., Изергин А. П.* Влияние низкочастотных вибраций расплава на форму и свойства кристаллов KCl // Рост кристаллов. М.: Наука, 1965. Т. 6. С. 271—274.

*Келдыш М. В.* Избранные труды Ракетная техника и космонавтика. М.: Наука, 1988. 493 с.

*Клубович В. В., Мозжаров С. Е., Соболенко Н. В.* и др. О роли вибраций при выращивании кристаллов на борту космических аппаратов // Космические исследования для народного хозяйства. Л.: Наука, 1989. С. 36—42.

Космическая технология. М.: Мир, 1980. 420 с.

*Краффт А. Эрике.* Будущее космической индустрии. М.: Машиностроение. 1979. 200 с.

*Крошкин М. Г.* Физико-технические основы космических исследований. М.: Машиностроение, 1969. 288 с.

*Куландин А. А., Тимашев С. В., Иванов В. П.* Энергетические системы космических аппаратов. М.: Машиностроение, 1979. 320 с.

*Лебедев А. А., Соколов В. Б.* Встреча на орбите. М.: Машиностроение, 1969. 366 с.

*Легостаев В. П., Раушенбах Б. В.* Автоматическая сборка в космосе // Косм. иссл.-я. 1969. Т. 7, вып. 6. С. 803—813.

*Леонов А. А., Лебедев В. И.* Психологические особенности деятельности космонавтов. М.: Наука, 1971. 180 с.

*Лесков Л. В.* Индустриализация космоса: ближайшее тысячелетие // Наука и жизнь. 1985. № 6. С. 24—28.

*Лукьянов А. В.* Автоматическая сборка на орбите больших коллекторов и отражателей // Тр. XX чтений, посвященных разработке научного наследия и развитию идей К. Э. Циолковского. М.: ИИЕТ АН СССР, 1987. С. 79—84.

Моделирование тепловых режимов космического аппарата и окружающей его среды / Под ред. Г. И. Петрова. М.: Машиностроение, 1971. 380 с.

Научное творчество К. Э. Циолковского и современное развитие его идей. М.: Наука, 1984. 124 с.

Околосземное космическое пространство: Справочные данные // Пер. с англ. / Под ред. В. П. Шабанского. М.: Мир, 1966. 191 с.

Перспективы и проблемы космического производства // Тр. XVII чтений, посвященных разработке научного наследия и развитию идей К. Э. Циолковского / Калуга, 15—17 сент. 1982 г. Секция: «К. Э. Циолковский и проблемы космического производства». ИИЕТ АН СССР. М. 1983. 100 с.

*Петров Б. Н.* Орбитальные станции // Авиация и космонавтика. 1971. № 4. С. 32—33.

*Петровский Г. Т., Воронков Г. Л.* Оптическая технология в космосе. М.: Машиностроение, 1984. 158 с.

Плавление, кристаллизация и фазообразование в невесомости. М.: Наука, 1979. 251 с.

*Регель Л. Л.* Космическое материаловедение // Итоги науки и техники. Иссл.-е косм. пространства. М.: ВИНТИ, 1984. Т. 21. 244 с.

*Регель Л. Л.* Космическое материаловедение // Итоги науки и техники. Иссл.-е косм. пространства. М.: ВИНТИ, 1987. Т. 29. 293 с.

«Салют-6—Союз»: материаловедение и технология / Под ред. Ю. А. Осипьяна, Л. Л. Регель. М.: Наука, 1985. 177 с.

*Тучкевич В. М., Гуревич С. Б.* Голография на космической орбите // Наука в СССР. 1985. № 3. С. 35—39.

*Тучкевич В. М., Семенов Ю. П., Гуревич С. Б.* Голография осваивает космос // Земля и Вселенная. 1984. № 3. С. 17—24.

*Фаворский О. Н., Каданер Я. С.* Вопросы теплообмена в космосе. М.: Высшая школа. 1967. 240 с.

*Феонычев А. И.* Микросегрегация примеси в кристаллах, выращенных в условиях космического полета // IV Всесоюз. семинар по гидромеханике и тепломассообмену в невесомости: Тез. докл. М.: Наука, 1987. С. 132—133.

*Шарп М.* Человек в космосе / Пер. с англ. под ред. С. М. Городинского. М.: Мир, 1971. 210 с.

*Ямпольский В. М., Неровный В. М.* Исследование возможности применения дугового разряда в вакууме для целей космической технологии // Тр. XX чтений, посвященных разработке научного наследия и развитию идей К. Э. Циолковского. М.: ИИЕТ АН СССР, 1987. С. 27—33.



## Приложение

Таблица П. 1. Технологические эксперименты, проведенные на ОКС «Мир»

Типы материалов и образцов	Материалы	Число экспериментов	Основные результаты
Полупроводниковые материалы	Германий, кремний	60	Обнаружено отсутствие контактов образцов со стенками ампулы. Получены малодислокационные монокристаллические образцы с равномерным распределением примесей. Скорость роста кристаллов аномально велика (до 1 см/мин)
Металлы и сплавы (магнитные и сверхпроводящие)	Сплавы на основе железа, титана, никеля, самарий—кобальт, ниобий—кремний, ниобий—галлий, ванадий—галлий	25	Структура слитков мало отличается от контрольных образцов, приготовленных на Земле. Наблюдаются более крупные образования новых фаз
Композиционные материалы	Алюминий—графит, алюминий—никель—карбид хрома, медь—углерод, медь—хром—углерод, железо—алунд	12	Однородность смачиваемых композиций возрастает. Образцы несмачиваемых композиций резко неоднородны. Введение добавок, улучшающих смачивание, повышает однородность
Сплавы с областью не-смешиваемости	Медь—хром, алюминий—свинец, алюминий — бериллий	8	Наблюдается расслоение несмачиваемых компонентов

Таблица П. 1 (окончание)

Типы материалов и образцов	Материалы	Число экспериментов	Основные результаты
Эвтектические сплавы	Алюминий—никель, кадмий—цинк, медь—серебро, свинец—сурьма	6	Образцы обладают правильным строением и мелкодисперсной структурой между дендритами
Оптическое стекло	Борфосфатное стекло	3	Образцы имеют зоны повышенной прозрачности
Получение профилированных образцов методом капиллярного образования	Медь, кремний	4	Методом Степанова получены образцы заданной формы. Испытан метод управления профилем образца путем изменения капиллярного давления внутри формообразователя
Кристаллизация образцов бесконтактным методом	Медь, серебро, германий	16	Получены сферические образцы меди, обладающие правильной дендритной структурой. Сферические образцы серебра имеют крупноблочную или монокристаллическую структуру. Процесс кристаллизации происходил в условиях заметного переохлаждения расплавов. Кристаллизация сплавов германия шла из центра образцов, а теплоотвод осуществлялся через жидкую фазу

Т а б л и ц а П. 2. Эксперименты по электрофорезу в условиях микрогравитации

КЛА, программа (страна-экспериментатор, год)	ТИП ЭФ	Объект	Регистрация	Результаты	Недостатки
«Аполлон-14», США, 1971	ЖЗЭФ	Красители, гемоглобин	Фотографирование	Разделились только красители, качество — как на Земле	Неудачное освещение
«Аполлон-16», США, 1972	ЖЗЭФ	Латекс, элементы крови	То же	Разделение — как на Земле; конвекция отсутствует	Сильный электроосмос
«Скайлэб», США, 1974	ИТФ	Ферритин, гемоглобин, элементы крови	»	Разделились только клетки; процесс типа ЗЭФ	Утечка из колонки, газ блокировал электроды
ЭПАС, США, 1975	ЖЗЭФ ИТФ	Эритроциты, лимфоциты, клетки почек	Фотографирование, замораживание колонок	Эритроциты разделились, ИТФ прошел неудачно	Изменилось значение pH, газ блокировал электроды, жизнеспособность клеток низкая
ЭПАС, ФРГ, 1975	ЗЭФСП	Клетки костного мозга и седалишки крыс; эритроциты	По оптической плотности	Разделение хорошее	Чрезмерная освещенность, большие потери живого материала
«Шаттл-3», США, 1982	ЖЗЭФ ИТФ	—	Фотографирование и замораживание колонок	По фотоснимкам разделение четкое	При доставке материала на Земле вышел из строя холодильник

Таблица П. 2 (окончание)

КЛА, программа (страна-экспериментатор, год)	ТИП ЭФ	Объект	Регистрация	Результаты	Недостатки
«Шаттл-4», США, 1982	ЗЭФСР	Три образца культур клеток	Анализ фракций на Земле (197 фракций на образце)	Качество чрезвычайно высокое, при 25%-ной концентрации выход в 400 раз выше, чем на Земле	—
«Салют-7», СССР, 1982	ИЭФ ИТФ ЖЭЭФ	В амфолинах и борат-полнольной системе; очищенный альбумин, альбумин, гемоглобин, краситель; клетки костного мозга крыс	Фотографирование	Качество высокое, как на Земле в гелях	—
«Шаттл-6», США, 1983	ЗЭФСР	Смесь альбуминов, культура клеток, гемоглобины и полисахарид	Анализ фракций	Чистота продукции в 4 раза, а количество в 700 раз выше, чем на Земле	—

Примечания. Прочерк означает, что данная информация не описана в научных публикациях. Кроме упомянутых в таблице, проведены эксперименты на «Салюте-7» на модифицированной установке «Таврия» и установке «Пион» в 1983—1984 гг., а также на ТКК «Спейс шаттл» и ОКС «Спейслэб» в 1983—1984 гг. (не упомянуты в связи с отсутствием публикаций по ним). Сокращения: ЭФ — электрофорез; ИТФ — изотохофорез; ИЭФ — изоэлектрофокусирование; ЭФСР — электрофорез в свободном потоке; ЗЭФ — зональный электрофорез.

Т а б л и ц а П.3. Результаты экспериментов по выращиванию полупроводниковых кристаллов в космосе

Материал	Аппаратура	Метод получения	Образцы	
			«космические»	«земные»
Si, Ge	«Скат»	Направленная кристаллизация	Элементарные полупроводники	
			Малодислокационные монокристаллы с равномерным распределением примесей	Поликристаллы; структура с неоднородным распределением примесей
Ge	«Кристалл»	То же	Монокристаллы с $N_D = 10^2 \div 10^4$ см <sup>-2</sup> и неоднородным распределением примесей	Поликристаллы с $N_D = 10^4 \div 10^5$ см <sup>-2</sup> и неоднородным распределением примесей
InSb	То же	»	Полупроводники типа AIII BV	
InSb+Te	»	»	Монокристаллы с $N_D = 2 \cdot 10^2$ см <sup>-2</sup>	Поликристаллы с $N_D = 5 \cdot 10^4$ см <sup>-2</sup>
			Кристаллы крупноблочной структуры с $N_D = 10^3 \div 10^5$ см <sup>-2</sup> и полосчатым распределением примесей	Поликристаллы с $N_D = 10^5 \div 10^6$ см <sup>-2</sup> и полосчатым распределением примесей
InAs	»	»	Кристаллы крупноблочной структуры с $N_D = 2 \cdot 10^3$ см <sup>-2</sup>	Поликристаллы с $N_D = 2 \cdot 10^5$ см <sup>-2</sup>

Таблица П. 3 (окончание)

Материал	Аппаратура	Метод получения	Образцы	
			«космические»	«земные»
GaAs	»	Метод движущегося растворителя	Космические образцы имели в несколько раз более низкую плотность дислокаций	Полупроводники типа A <sup>III</sup> B <sup>VI</sup>
CdS, CdSe	»	Метод сублимации	Улучшение характеристики спектров фотолуминесценции	
Cd—Hg—Te	«Сплав-01»	Направленная кристаллизация	Монокристаллы с более низким $N_D$ , фронт кристаллизации близок к плоскому, отсутствие включений вторичных фаз	
Cd—Hg—Te	То же	Жидкофазная эпитаксия	Более высокое структурное совершенство, отсутствие включений вторичных фаз	
ZnO	«Кристалл»	Метод газотранспортного переноса	Крупноблочная структура, диффузионный механизм массопереноса наблюдался при более высоких давлениях.	

Примечание.  $N_D$  — плотность распределения дислокаций.

Т а б л и ц а П.4. Технологические эксперименты по космическому-полупроводниковому материаловедению

Годы	СССР		США		Основные результаты по выращиванию кристаллов в невесомости
	КА	Оборудование, материалы	КА	Оборудование, материалы	
1	2	3	4	5	6
1973—1975	«Союз»— «Аполлон»	Ge—Si (лег. Sb) из расплава	«Скайлэб-3», «Скайлэб-4», «Аполлон»— «Союз»	Печь фирмы «Вестингауз», InSb, Ge из расплава GeSe, GeTe из газовой фазы ZnSb—GaSb из расплава Ge—Si (лег. Sb)	Устранение полосчатой неоднородности InSb, получение сферических материалов, улучшение однородности электрофизических параметров кристаллов
1978—1980	«Салют-6»	«Сплав», Ge—Si, PbTe, Ge, InSb; объемные и ленточные кристаллы: CdS, CdSe, CdTe; из паровой фазы: GaAs, GaInAs; из раствора — расплава: из GeSi; ZnO, газотранспорт GaP, PbTe, InAs, BiSb			Обнаружение эффекта кристаллизации расплава полупроводниковых материалов при ограниченном контакте со стенками контейнера; получение монокристаллов с более высокой степенью структурного совершенства; снижение уровня загрязнений кристаллов материалом контейнера; получение сферических и ленточных кристаллов;

Таблица П. 4 (окончание)

Годы	СССР		США		Основные результаты по выращиванию кристаллов в невесомости
	КА	Оборудование, материалы	КА	Оборудование, материалы	
1	2	3	4	5	6
1982	«Салют-7»	«Магма-Ф», «Корунд», Ge, CdSe, InSb, объемные кристаллы			повышение однородности удельного сопротивления; улучшение электрофизических свойств (образцы $\varnothing=8$ мм длиной до 10 мм) На аппарате «Магма-Ф» получены кристаллы $\varnothing=$ до 18 мм, длиной до 20 мм; на аппарате «Корунд» получены кристаллы $\varnothing$ до 25 мм, длиной до 30 мм
1989			«Спейслэб-1» «Шаттл»	Изометрическая печь СПЕ-80 (ФРГ). Высоко-температурная градиентная печь СПЕ-83 (Франция). Зеркальная печь СПЕ-84 (ФРГ). Cd <sub>x</sub> Hg <sub>1-x</sub> Te, CdTe, Pb <sub>1-x</sub> Sn <sub>x</sub> Te, Si	Получены опытные образцы полупроводниковых материалов; проведение бестигельной зонной плавки кремния



**Т а б л и ц а П. 5. Перспективы опытно-промышленного производства полупроводниковых материалов в космосе**

КА	Оборудование	Материалы
<b>США</b>		
«Спейслэб-2», $N=2-5$ кВт, $a \leq 10^{-2}$ г, 1985 г.	Печь SES, образцы $\varnothing=12-31$ мм, $T=1600^\circ\text{C}$ ; зеркальная печь, образцы $\varnothing=10$ мм, $T$ до $2100^\circ\text{C}$	$\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ , $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}$ , GaAs, HgIn, Si, $\text{Al}_2\text{O}_3$ , GaSb, CdTe.
Открытая платформа МЕС с энергетическим модулем, $N=4,5$ кВт, 1988 г.	Установки кристаллизации; зонной плавки; бестигельной зонной плавки с левитатором	Si $\varnothing 75$ мм, $L=600$ мм, 1 слиток/сут
Два герметизированных модуля, $N=25$ кВт, $a \leq 10^{-5}$ г	Установка для выращивания кристаллов из газовой фазы	GaAs $\varnothing$ до 50 мм по программе MPS ф. «Микрогравити» к 1989 г., органические кристаллы ф. 3М
<b>Западная Европа</b>		
Открытая платформа «Эврика» (ФРГ), $M=1100$ кг, $N=8$ кВт, 1987 г.	Комплекс опытно-промышленного оборудования, в т. ч. установка для бестигельной зонной плавки	Si, $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ , $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}$ , органические кристаллы
«Эврика» с энергетическим модулем 12—20 кВт, 1993—2000 гг.	Промышленные установки 2—3 космических цеха стоимостью 500 млн долл. и массой 15 т каждый обеспечат половину потребности США и Западной Европы в ПП-материалах	
<b>Япония</b>		
Герметизированный орбитальный модуль, открытая платформа с энергоблоком	Аппаратура для исследования свойств новых материалов и проведения исследований. Создание с 1990 г. элементной базы для космического завода и демонстрация его работы без операторов	Постройка к 2000 г. совместно с НАСА и ESA космического завода-автомата со сроком службы более 50 лет

Т а б л и ц а П.6. Перспективы индустриализации космоса

Этап	Основное содержание этапов	Год
1	Развитие методов дистанционного зондирования Земли. Космический мониторинг. Повышение точности и глубины прогнозов погоды. Национальные системы непосредственного телевидения. Опытно-промышленное производство в космосе улучшенных материалов	1990
2	Космические аппараты и энергоустановки нового поколения. Крупногабаритная орбитальная станция. Многоцелевые космические платформы. Широкое распространение космических информационных систем. Промышленное производство материалов	2000
3	Транспортные космические системы нового поколения. Глобальная информационно-промышленная инфраструктура. Космические энергоустановки большой мощности. Космические линии передачи энергии на большие расстояния. Освещение районов Земли с помощью орбитальных отражателей. Космические поселения вахтенного типа. Исследовательская база на Луне	2015
4	Космические солнечные электростанции для энергоснабжения Земли. Космические термоядерные электростанции и ракетные двигатели. Межорбитальный транспорт со световыми двигателями	2050
5	Единая информационная и энергопромышленная система. Освещение наземных биопромышленных и энергопромышленных комплексов. Отвод с Земли в космос избыточной энергии. Эксперименты по активному управлению погодой с помощью воздействий из космоса	2120

Т а б л и ц а П. 6 (окончание)

Этап	Основное содержание этапов	Год
6	Индустриальное освоение Луны. Космический лифт. Активные методы предупреждения стихийных бедствий и локального управления погодой	2190
7	Космическая эконоиндустрия — восстановление природных ресурсов, глобальное управление погодой, оптимальная перестройка климата. Конструирование экологического оптимума	2300
8	Крупномасштабные искусственные сооружения в космосе. Транспортировка малых астероидов и использование их вещества. Энергопотребление на уровне $10^{23}$ — $10^{24}$ Дж/год	2400
9	Использование вещества других планет. Перевод астероидов на околоземные орбиты. Крупномасштабное космическое строительство	2500
10	Космические энергосистемы на расстояниях 0,1 а. е. от Солнца. Промышленное освоение Меркурия, Венеры, Марса	2700

Т а б л и ц а П.7. Двигатели транспортно-космических систем

Транспортная система	Источник энергии	Принцип двигателя	Область применения
Электромагнитный рельсовый ускоритель	Независимый	Разгон капсулы электромагнитными силами	Транспортировка грузов с Луны
Прямоточные электрические ракетные двигатели	Бортовой ядерный реактор	Ускорение струи ионизированного или неионизированного воздуха	Разгон и торможение КА в атмосфере
Световые двигатели	Независимый источник или Солнце	Ускорение рабочего вещества в теплообменной камере	Стабилизация КА на орбите; грузовые транспортные операции; вывод грузов с поверхности Земли
Солнечный парус	Солнце	Солнечное давление	Грузовые транспортные операции вдали от Земли
Космический лифт	То же	—	Вывод грузов с Луны
Центробежный ускоритель		Выброс массы силами инерции	Транспортировка астероидов к Земле

## Содержание

Введение . . . . .	3
1. Организация работ по программам космической технологии . . . . .	7
2. Из истории космических технологических исследований . . . . .	13
3. Условия космоса . . . . .	65
4. Физические и технические особенности осуществления технологических процессов в космосе . . . . .	71
5. Работы с биоматериалами . . . . .	84
6. Литье и кристаллизация . . . . .	93
7. Материалы в космонавтике . . . . .	112
8. Энергетика космической технологии . . . . .	119
9. Монтажные и ремонтно-профилактические работы . . . . .	124
10. Космические аппараты . . . . .	143
11. Космос и автоматика . . . . .	165
Список сокращений . . . . .	171
Рекомендуемая литература . . . . .	172
Приложение . . . . .	175

Научно-популярное издание

Мелуа  
Аркадий Иванович

СТАРТ  
КОСМИЧЕСКОЙ  
ТЕХНОЛОГИИ

Утверждено к печати  
редколлегией серии  
«Научно-популярная литература»  
Академии наук СССР

Художник Б. К. Шаповалов  
Художественный редактор И. Д. Богачев  
Технический редактор Е. Ф. Альберт  
Корректоры Р. С. Алимова, В. А. Бобров  
ИБ № 40027

Сдано в набор 24.11.89  
Подписано к печати 9.02.90  
Т-00343. Формат 84×108<sup>1</sup>/<sub>32</sub>  
Бумага книжно-журнальная импортная  
Гарнитура литературная  
Печать высокая  
Усл. печ. л. 10,08. Усл. кр. отт. 10,5, Уч.-изд. л. 10,6  
Тираж 5 000 экз. Тип. зак. 411  
Цена 70 коп.

Ордена Трудового Красного Знамени  
издательство «Наука»  
117864, ГСП-7, Москва, В-485,  
Профсоюзная ул., 90

2-я типография издательства «Наука»  
121099, Москва, Г-99, Шубинский пер., 6

Отпечатано в московской типографии № 8 РГПТО  
«Союзбланкоиздат». Зак. 1496  
107078, Москва, Каланчевский туп., д. 3/5

**Мелуа А. И.**

**М 47** Старт космической технологии.— М.: «Наука», 1990.— 188 с., ил.— (Серия «Наука и технический прогресс»).

ISBN 5-02-005924-2

В книге рассказывается об интереснейших возможностях создания в космосе различных производств и получения с их помощью материалов и изделий, необходимых народному хозяйству, о результатах технологических экспериментов по различным космическим программам, реализуемым в СССР и за рубежом. Прочитав эту книгу, вы узнаете о том, как будет развиваться космическая технология, как в недалеком будущем человек будет осваивать космическое пространство.

Для широкого круга читателей.

**М** 2103000000-053  
054(02)-90 —76—89 НП

**ББК 30.6**

**В издательстве**

**«НАУКА»**

**готовятся к печати:**

**Алибеков Л. А.**

**Полоса жизни: между горами  
и пустынями.**

Предгорья Средней Азии — полоса зарождения и расцвета уникальных цивилизаций древности и современного мира. В книге дан географический анализ природных условий их существования, исследована система внутренних связей в ландшафтах, история взаимодействия с человеком. Хрупкая в экологическом отношении зона предгорий чутко реагировала на колебания климата, усиливающую хозяйственную деятельность людей. Тысячелетний опыт борьбы за жизнь в узком поясе между горами и пустынями, где взаимодействовали оседлые и кочевые культуры, проходил Великий Шелковый путь, позволяет под новым углом зрения взглянуть на современные экологические трудности Средней Азии.

Для широкого круга читателей.

**Никонов А. А.**

**Сильнейшие землетрясения  
на территории СССР.**

Изучение ряда разрушительных землетрясений, произошедших в последние десятилетия, а также общий прогресс в сейсмологии, привели исследователей на новый уровень знаний о сильнейших землетрясениях и сейсмической опасности различных регионов СССР. Ряд прежних оценок пришлось серьезно изменить. В предлагаемой книге в доступной форме характеризуются сейсмические события, дано сравнение условий возникновения, проявления и опасных эффектов разрушительных землетрясений в разных регионах.

Для специалистов в области сейсмологии, инженерной геологии, а также для широкого круга читателей.



**Никифировский В. А.**

**Вероятностный мир.**

Теория вероятностей — одна из важнейших и интереснейших ветвей математики. Возникнув из задач, связанных с азартными играми, страхованием, обработкой результатов наблюдений, демографией, правосудием, она за сравнительно короткий срок выросла в ведущую науку; ее методы позволяют осознавать закономерности окружающего нас мира и широко применяются во многих теоретических и прикладных науках. В книге прослеживаются возникновение и развитие теории вероятностей от ее основоположников — Паскаля, Ферма, Гюйгенса, Я. Бернулли — до наших дней.

Для читателей, интересующихся математикой и ее историей.

**Иваницкий В. Ю.**

**Голос времени или Наука  
и ее популяризация.**

В книге показаны особенности современной науки, роль научно-популярной литературы в распространении научных знаний и в развитии науки. Рассмотрены теоретические и практические аспекты научной популяризации, обсуждаются особенности языка и стиля научно-популярных произведений; а также вопросы типологии изданий и типологии научно-популярных произведений.

Для издательских работников, авторов-популяризаторов, специалистов, интересующихся проблемами популяризации, и широкого круга читателей.

Для получения книг почтой заказы просим направлять по адресу:

Адреса магазинов «Академкнига»:

- 480091 **Алма-Ата**, ул. Фурманова, 91/97 («Книга — почтой»);
- 370001 **Баку**, ул. Коммунистическая, 51 («Книга — почтой»);
- 232600 **Вильнюс**, ул. Университето, 4;
- 690088 **Владивосток**, Океанский проспект, 140 («Книга — почтой»);
- 320093 **Днепропетровск**, проспект Гагарина, 24 («Книга — почтой»);
- 734001 **Душанбе**, проспект Ленина, 95 («Книга — почтой»);
- 375002 **Ереван**, ул. Туманяна, 31;
- 664033 **Иркутск**, ул. Лермонтова, 289 («Книга — почтой»);
- 420043 **Казань**, ул. Достоевского, 53 («Книга — почтой»);
- 252030 **Киев**, ул. Ленина, 42;
- 252142 **Киев**, проспект Вернадского, 79;
- 252030 **Киев**, ул. Пирогова, 2;
- 252030 **Киев**, ул. Пирогова, 4 («Книга — почтой»);
- 277012 **Кишинев**, проспект Ленина, 148 («Книга — почтой»);
- 343900 **Краматорск**, Донецкой обл., ул. Маркса, 1 («Книга — почтой»);
- 660049 **Красноярск**, проспект Мира, 84;
- 443002 **Куйбышев**, проспект Ленина, 2 («Книга — почтой»);
- 191104 **Ленинград**, Литейный проспект, 57;
- 199164 **Ленинград**, Таможенный пер., 2;
- 196034 **Ленинград**, В/О, 9 линия, 16;
- 197345 **Ленинград**, Петрозаводская ул., 7 («Книга — почтой»);
- 194064 **Ленинград**, Тихорецкий проспект, 4;
- 220012 **Минск**, Ленинский проспект, 72 («Книга — почтой»);
- 103009 **Москва**, ул. Горького, 19а;
- 117312 **Москва**, ул. Вавилова, 55/77;
- 117192 **Москва**, «Мичуринский» проспект, 12 («Книга — почтой»);
- 630076 **Новосибирск**, Красный проспект, 51;
- 630090 **Новосибирск**, Морской проспект, 22 («Книга — почтой»);
- 142284 **Протвино** Московской обл., ул. Победы, 8;
- 142292 **Пушино** Московской обл., МР, «В», 1 («Книга — почтой»);
- 620151 **Свердловск**, ул. Мамина-Сибиряка, 137 («Книга — почтой»);
- 700000 **Ташкент**, ул. Ю. Фучика, 1;
- 700029 **Ташкент**, ул. Ленина, 73;
- 700070 **Ташкент**, ул. Шота Руставели, 43;
- 700185 **Ташкент**, ул. Дружбы народов, 6 («Книга — почтой»);
- 634050 **Томск**, наб. реки Ушайки, 18;
- 634050 **Томск**, Академический проспект, 5;
- 450059 **Уфа**, ул. Р. Зорге, 10 («Книга — почтой»);
- 450025 **Уфа**, ул. Коммунистическая, 49;
- 720000 **Фрунзе**, бульвар Дзержинского, 42 («Книга — почтой»);
- 310078 **Харьков**, ул. Чернышевского, 87 («Книга — почтой»).



## ·НАУКА·

Экономический эффект космонавтики подсчитать не просто. Но она может и должна давать прибыль. Надо помнить, что именно развитие космонавтики способствовало прогрессу в таких областях, как тяжелое машиностроение, энергомашиностроение, математическое моделирование, вычислительная техника, создание новых материалов.

