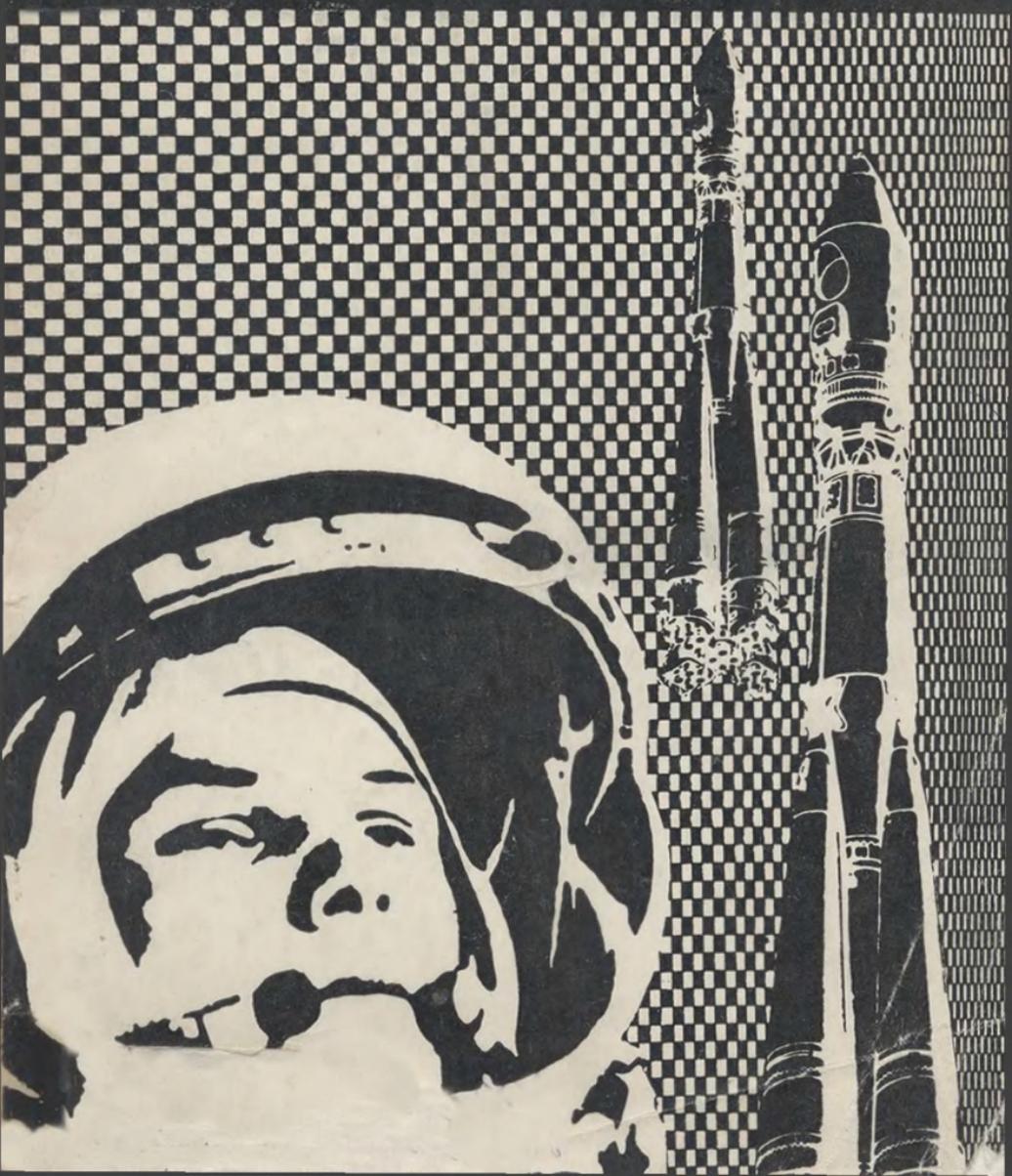


В МИРЕ НАУКИ И ТЕХНИКИ



М. ШАРП

ЧЕЛОВЕК В КОСМОСЕ





ИЗДАТЕЛЬСТВО
«МИР»

MITCHELL R. SHARPE

LIVING IN SPACE

THE ASTRONAUT AND HIS ENVIRONMENT

NEW YORK 1969

Митчел Р. Шарп

ЧЕЛОВЕК В КОСМОСЕ

Перевод с английского

М. И. Рохлина и Л. А. Сливко

Под редакцией и с предисловием

д-ра мед. наук проф. С. М. Городинского

Издательство «МИР» Москва 1971

Шарп М. Р.

Ш25 Человек в космосе. Пер. с англ. М. И. Рохлина и Л. А. Сливко. Под ред. и с предисл. д-ра мед. наук проф. С. М. Городинского. М., «Мир», 1970. 200 стр. с илл. (В мире науки и техники)

Книга посвящена медико-техническим средствам обеспечения жизни космонавта в условиях космического пространства. Узнать о том, как воздействуют на человека условия космического полета, каким образом имитируются отдельные факторы такого полета на Земле, каковы методы тренировки и отбора космонавтов, что представляют собой системы жизнеобеспечения в космических кораблях и скафандрах, будет интересно и тем, чья работа так или иначе связана с космическими исследованиями, и тем, кто просто мечтает о Космосе.

2-6-5

111-71

61 : 6Т5

*Редакция научно-популярной
и научно-фантастической литературы*

М. Р. Шарп

ЧЕЛОВЕК В КОСМОСЕ

Редактор *А. Г. Беленцева*
Художественный редактор *Ю. Л. Максимов*
Технический редактор *Л. П. Вирюкова*
Корректор *И. С. Додолева*

Сдано в производство 2/IX 1970 г. Подписано к печати 5/1 1971 г.
1 умага № 1 $84 \times 108 \frac{1}{32} = 3,13$ б. л. 10,50 усл. печ. л. Уч.-изд л. 10,05
Изд. № 12/5849. Цена 53 коп. Зак. 1298

ИЗДАТЕЛЬСТВО «МИР»
Москва, 1-й Рижский пер.,

Ярославский полиграфкомбинат Главполиграфпрома Комитета по печати при Совете Министров СССР. Ярославль, ул. Свободы, 97.

Предисловие редактора

Прошедшее десятилетие ознаменовалось бурным развитием космонавтики — теории и практики полетов человека и автоматических устройств в космическом пространстве. Среди проблем, возникающих при освоении космического пространства, важное место занимают проблемы космической биологии и медицины, изучающих возможность обитания живых организмов и особенно человека в космическом пространстве.

Космическая биология и медицина возникли на стыке ряда научных дисциплин — авиационной медицины, различных областей биологии, физики, химии, аэродинамики, радиологии и многих других; использование их достижений способствовало созданию собственных методов, условий и задач проводимых исследований.

К числу вопросов, разрабатываемых космической биологией и медициной, относятся изучение пребывания человека в замкнутой системе, исследование влияния длительной невесомости, космической радиации, создание методов отбора космонавтов, условий поддержания нормальной жизнедеятельности и высокой работоспособности человека в особой среде обитания в космическом полете, при выходе на планеты и другие задачи.

Многообразие проблем самого различного характера, связанных с освоением космических полетов, и всеобщий интерес к космическим исследованиям послужили толчком к появлению не только специальной медико-биологической литературы, но и научно-популярных книг, доступных широкому кругу читателей.

Предлагаемая вниманию советского читателя книга Митчела Р. Шарпа «Человек в космосе» позволяет получить представление о широком круге проблем космической биологии, медицины и техники, без решения которых че-

ловец не смог бы проникнуть в космическое пространство.

Бурное развитие космических исследований, особенно в последнее десятилетие, полеты советских и американских космонавтов, которым 12 апреля 1961 года положил начало Ю. А. Гагарин, привлекают к себе всеобщее внимание. Осуществляется многовековая мечта человека. Автор так и назвал первую главу своей книги «Что влечет человека в космос?» Он показывает, что от ранних легенд и мифов до современных произведений научной фантастики, от первых гипотез ученых прошлого до сегодняшних исследований умами людей владела мечта о полетах во Вселенную. Однако здесь от внимания М. Р. Шарпа ускользнули имена таких ученых, как М. В. Ломоносов, Джордано Бруно, Декарт, Паскаль, Ньютон, Кеплер, Лаплас, Д. И. Менделеев, которых волновала проблема познания космоса.

В ряду этих ученых особое место занимает наш великий соотечественник Константин Эдуардович Циолковский (1857—1935), которого по праву считают отцом космонавтики и который в своих работах на многие десятилетия предвосхитил проекты реактивных двигателей, разработал основы теории реактивного движения и межпланетных сообщений и подробно рассмотрел факторы внешней среды, действующие на человека при полете на космическом корабле. К сожалению, М. Р. Шарп упоминает имя К. Э. Циолковского лишь в конце книги, а в историческом обзоре совсем не отводит ему места.

Успешное решение грандиозной задачи освоения космического пространства является венцом человеческого разума. Как тут не вспомнить слова другого великого русского ученого Н. Е. Жуковского, говорившего, что человек в полете опирается не на силу своих мускулов, а на силу своего разума.

В книге большое внимание уделяется непосредственному участию человека в пилотируемых космических полетах. Книга уже готовилась к изданию на русском языке, когда драматический полет корабля «Аполлон-13» еще раз продемонстрировал, какую роль играют мужество, самообладание, находчивость, а также опыт и знания человека.

В то же время нельзя не отметить весьма существенного значения полетов автоматических спутников и ракет без участия человека на борту. Так, полет советских автоматических станций «Луна-16» и «Луна-17» позволил выполнить сложную научно-техническую программу по ис-

следованию поверхности Луны. «Луна-16» доставила на Землю образцы лунного грунта, а «Луноход-1» передал нам неоценимую информацию о нашем спутнике. Космические автоматы, безусловно, играют важную роль в деле изучения космоса. Поэтому советская программа космических исследований включает в себя рациональное сочетание пилотируемых и автоматических средств исследования Вселенной.

М. Р. Шарп неоднократно возвращается к понятию «человек — машина», подразумевая под этим объединение человека в один исследовательский комплекс с космическим кораблем. Не со всеми взглядами автора здесь можно согласиться. Но в то же время пребывание человека на космическом корабле действительно является важным условием успешного и полноценного решения задач космических полетов, особенно длительных, предназначенных для исследования проблем космической биологии и медицины. Успешный 18-дневный полет советских космонавтов А. Г. Николаева и В. И. Севастьянова на корабле «Союз-9» служит тому реальным подтверждением.

Говоря о воздействии на человека внешней среды при космическом полете, М. Р. Шарп главное внимание уделяет таким факторам, как ускорение, пониженная или нулевая гравитация, пониженное барометрическое давление, радиация. Автор останавливается также и на других, более знакомых человеку по жизни в земных условиях действующих факторах — шумах, вибрации, повышенной температуре, магнитных полях. Ему удалось изложить весь этот сложный материал с привлечением современных понятий физики, биологии и медицины в достаточно популярной форме, избегнув вульгаризации. Автор освещает многие вопросы, стоящие перед инженерами и врачами в исследованиях по освоению космического пространства, которые и в настоящее время (книга написана до полета советских кораблей «Союз-4, -5, -6, -7, -8, -9» и американских кораблей «Аполлон-11, -12, -13») остаются весьма актуальными и важными для правильного понимания трудностей и условий космического полета.

Сейчас, когда наступает время длительных пилотируемых космических полетов, вопросы космической медицины, исследования, связанные с состоянием человека во время полета, приобретают особое значение, так как именно они определяют возможность многомесячных космиче-

ских полетов. В космосе действуют необычные для человека раздражители: невесомость, комплексные ускорения, повышенная радиация, создается своеобразный психический фон. При сложном управлении кораблем, выходе в открытый космос, приземлении космонавт находится в состоянии значительного нервного напряжения, требующего отдачи всех сил. В то же время он должен сохранять самообладание и высокую работоспособность и принимать правильные решения в очень сложных ситуациях.

Материалы, посвященные опасностям, которые подстерегают человека в космосе, на наш взгляд, изложены несколько неровно и не дают полного представления о реакциях человека на действия упомянутых выше факторов космического полета. Возможно, это связано с чрезвычайно бурным развитием космических исследований.

Космическая медицина как наука возникла сравнительно недавно, поэтому в ряде случаев среди ученых нет единого мнения о механизме реакций человеческого организма на действие факторов космического полета. Это объясняется недостаточным количеством экспериментальных данных, полученных в реальных условиях длительного космического полета. В то же время за сравнительно короткий промежуток времени, прошедший после выхода книги, ученые собрали много новых данных, позволивших получить представление о физиологических и психологических реакциях организма человека на воздействие факторов внешней среды. В свете этого в книге Шарпа некоторые материалы носят спорный характер и отражают взгляды лишь отдельных ученых. Например, это относится к оценке некоторых психических состояний, психологических и физиологических стрессов, радиационного воздействия, а также использования гипноза.

Сам М. Р. Шарп в заключительной главе справедливо ссылается на мнение советских ученых, которые считают, что без четкого понимания механизма действия длительной невесомости и ускорения, без изучения интимных процессов, протекающих в организме, научно обоснованный выбор средств и методов защиты человека во время полета оказывается чрезвычайно затруднительным.

В то же время автор в интересной и доступной форме освещает сложные и актуальные вопросы современной биологии. Он говорит о проблеме биоритмов, о порядке отбора американских космонавтов и о многом другом. Инте-

ресным, хотя и требующим критического подхода, как уже указывалось, является раздел, посвященный инженерной психологии, системе человек — машина. Следует отметить, что автор достаточно подробно рассматривает результаты работ американских ученых, однако ему либо неизвестны, либо недоступны многие работы советских исследователей по близким или аналогичным вопросам. Так, например, говоря об изоляции и сенсорном голоде и придавая этому важное значение, он не упоминает о всемирно известном эксперименте по годовой изоляции в имитаторе космического корабля трех советских испытателей Г. А. Мановцева, А. Н. Божко, Б. Н. Улыбышева.

Известный интерес не только для массового читателя, но и для специалистов представляют материалы, связанные с имитацией космического полета на Земле. Автор показывает всю сложность установок, имитирующих в земных условиях отдельные факторы внешней среды, встречающиеся в космическом полете. Дано также общее представление о технических системах, обеспечивающих жизнедеятельность человека во время космического полета, космических скафандрах, телеметрических системах регистрации и пр., применяемых главным образом на американских космических кораблях.

Несколько обособленное место занимают в книге проблемы, посвященные использованию в «земных» целях, в том числе для медицины, результатов исследований, связанных с полетами в космос. Медики, обычно не отличающиеся легкостью принятия нововведений, благодаря активному участию в осуществлении программ пилотируемых космических полетов с успехом заимствуют плоды развития такого дерзкого новопришельца в науке, как космонавтика. Автор приводит интересные примеры использования таких результатов: от барокамер в хирургии до новых видов обработки рентгеновских снимков и от криогенной техники до разных видов телеметрии. Важное место может занять система планирования и проведения медицинских программ, используемых медиками в космических полетах.

Нельзя не согласиться с тем, что плоды усилий многих ученых и огромные средства, затраченные для создания космических кораблей и аппаратуры, должны использоваться и в земных условиях. Эти вопросы находятся в центре внимания и советских исследователей. Как известно, в Советском Союзе придается важное значение использова-

нию результатов разработки космической техники для мирных земных целей.

Для читателя могут представить интерес и перспективы космических исследований. Хотя приведенные М. Р. Шарпом данные о перспективах космических исследований носят достаточно умозрительный характер, тем не менее они содержат ряд любопытных мыслей о будущих полетах, особенно о системах жизнеобеспечения для них. Автор справедливо отмечает, что существующие системы жизнеобеспечения не пригодны для будущих длительных пилотируемых полетов в районы ближайших планет. Для исследования глубокого космоса человеку, вероятно, потребуется создать на корабле микроклимат, в основе которого будет обмен между животным и растительным миром и круговорот воды. Приведенные по этому вопросу отдельные материалы довольно интересны, так как дают представление о состоянии этих исследований в США.

К сожалению, нельзя не отметить, что порою материал в книге излагается поверхностно, без каких-либо обобщений и выводов критического порядка. Возможно, это объясняется теми трудностями, которые обычно возникают при создании краткого популярного труда, когда необходимо дать представление об основных достижениях какой-то бурно развивающейся науки.

Как мы уже указывали, работы советских ученых и успехи советской космической техники не нашли достаточного отражения в книге. Так, например, говоря о выходе космонавта в открытый космос, автор очень скупо упомянул, что впервые выход человека в скафандре за пределы космического корабля был осуществлен советским летчиком-космонавтом А. А. Леоновым 18 марта 1965 года, задолго до выхода американских космонавтов. Поэтому текст книги понадобилось дополнить краткими примечаниями.

С. Городинский

Что влечет человека в космос

В связи с необычайно большой стоимостью исследований космического пространства неизбежно возникает вопрос, нужны ли вообще эти исследования. Для того чтобы правильно ответить на него, следует вспомнить эпизоды из прошлого человечества, которые нашли отражение в легендах, мифах и литературных произведениях фантастического жанра, а также обратиться к действительным событиям из истории авиации, предшествовавшим первому полету человека в космос.

Легенды и мифы

Первое стремление человека оторваться от Земли было, несомненно, связано с подражанием полету птиц. В те далекие времена человек не думал о путешествиях на другие планеты уже просто потому, что в его сознании отсутствовало само понятие «планета». Звезды на ночном небе он считал шляпками гвоздей, светящимися на хрустальном своде. Может ли прийти в голову посетить гвоздь пусть на «небесном», но потолке?

До нас дошло немало легенд о людях, которые могли летать. Такие легенды можно найти в устном и письменном фольклоре почти каждой культуры. Они есть в священных книгах брахманизма Брихадманах и Араньяках (Индия), в китайских «Книге песен» — «Шицзин» (XI—VII века до н. э.) и книге «Мэн-цзы» (V—III века до н. э.), в гатах Заратуштры (Иран), в произведениях Аристотеля и Платона, а также в сказаниях эскимосов и индейцев.

Согласно преданию, китайский император Шунь еще в 22 веке до н. э. спасся от плена, «надев на себя крылья птицы». Живший почти тысячелетие спустя персидский император Кей Кавус владел тронем, который переносили

по воздуху четыре орла. «Упряжка» орлов летала, тщетно пытаясь догнать привязанного над ней ягненка. В IX веке до н. э. мифический король Блэйдуд, отец столь же мифического короля Лира, погиб при безуспешной попытке полететь, прыгнув с башни.

Мечта человека оторваться от земли нашла отражение и в поэтических легендах американских индейцев. В одной из этих легенд, принадлежащей племени ирокезов, охотник Сесондова в погоне за божественным лосем попадает «за Солнце».

Позже, во времена мрачного средневековья, считали, что летать по воздуху может только дьявол или люди, попавшие под его власть. Убеждение, что человек может подняться в воздух лишь с помощью сверхъестественных сил, сохранялось и в эпоху Ренессанса. Так, например, до нашего времени дошли рассказы о святом Иосифе из Капертино, умершем в 1663 году, который мог летать, даже прихватив с собой спутника, и однажды провел в воздухе два часа.

Путешествия в космос в литературе и произведениях научной фантастики

Одним из первых произведений фантастического жанра является, вероятно, сочинение Плутарха «О лице, видимом в диске Луны». В нем Плутарх пишет о размерах и форме Луны, а также о возможности ее обитания. Полвека спустя греческий сатирик Лукиан создает фантастические повести «Правдивые истории» и «Икароменипп». В первой из них смерч поднимает корабль с путешественниками в воздух и через несколько дней опускает его на неизвестную землю, оказавшуюся Луной. Во второй повести герой сам планирует путешествие на Луну — очень важная идея, если проследить историю зарождения и осуществления человеком идеи путешествия в космос.

В 1516 году был опубликован эпос «Неистовый Орланд» итальянского поэта Людовика Ариосто. Герой его прилетает на Луну в колеснице, запряженной четверкой лошадей. Знаменитый астроном Кеплер, открывший законы движения планет Солнечной системы, также обратил свой изобретательный ум к фантастике и в 1609 году написал повесть «Сон», которая была опубликована только в 1634 году. Хотя «космонавт» Кеплера попадает на Луну с помощью демонических сил, эта повесть оказалась в какой-то мере про-

роческой, поскольку ее автор предвидел проблемы ускорений и космического вакуума и их воздействия на человеческий организм. Однако средство, которое он предложил против этих воздействий, в свете современных знаний оставляет желать лучшего: Кеплер рекомендовал во время путешествия на Луну закрывать нос и рот влажной губкой.

В 1638 году два английских епископа опубликовали научно-фантастические повести, которые заслуживают упоминания, так как были широко известны и переиздавались в течение многих лет. Это «Человек на Луне, или трактат о путешествии туда» Франциска Годвина и «Открытие нового мира» Джона Уилкинса. В XVII веке французский поэт Сирано де Бержерак случайно напал на единственно реальный способ достичь Луны — с помощью последовательно воспламеняемых пороховых ракет. В XVIII столетии сатирики Англии и Франции часто обращались к теме путешествия в космос, чтобы осмеять человеческую косность и глупость на Земле. С наступлением XIX века и началом промышленной революции путешествия в космос в фантастической литературе приобретают более реалистический характер. Люди путешествуют на Луну в герметизированных цилиндрах или шарах, правда, запускают их из пушек или другими столь же невероятными способами, например используя в качестве движущей силы антигравитацию. Последний способ применил в своем романе «Первые люди на Луне» Герберт Уэллс*.

Пророческий характер научно-фантастической литературы можно продемонстрировать на примере небольшой повести К. Картмилла «Мертвый рубеж», увидевшей свет в 1944 году. В ней говорится об атомной бомбе из урана-235, которая взрывается, когда его масса достигает критической величины. Среди описанных автором деталей упоминаются температура взрыва, ударная волна и последующая радиа-

* Нельзя не вспомнить здесь великого русского ученого Константина Эдуардовича Циолковского (1857—1935). Некоторые свои произведения в области теории реактивного движения и межпланетных сообщений он облек в общедоступную форму научно-фантастического повествования. Это повести «Вне Земли» и «Грезы о Земле и небе», в которых автор подробно рассказывает об условиях полета и жизни в ракете, о колониях людей на искусственных спутниках Земли, о посещении Луны и астероида. Следует подчеркнуть, что эти описания основаны на строго научных данных и математических изысканиях автора и представляют собой пример гениального научного предвидения. — *Прим. ред.*

ция. Это литературное произведение увидело свет за год до того, как утром 16 июля 1945 года настоящий атомный взрыв превратил в пар стальную башню в пустыне Нью-Мексико.

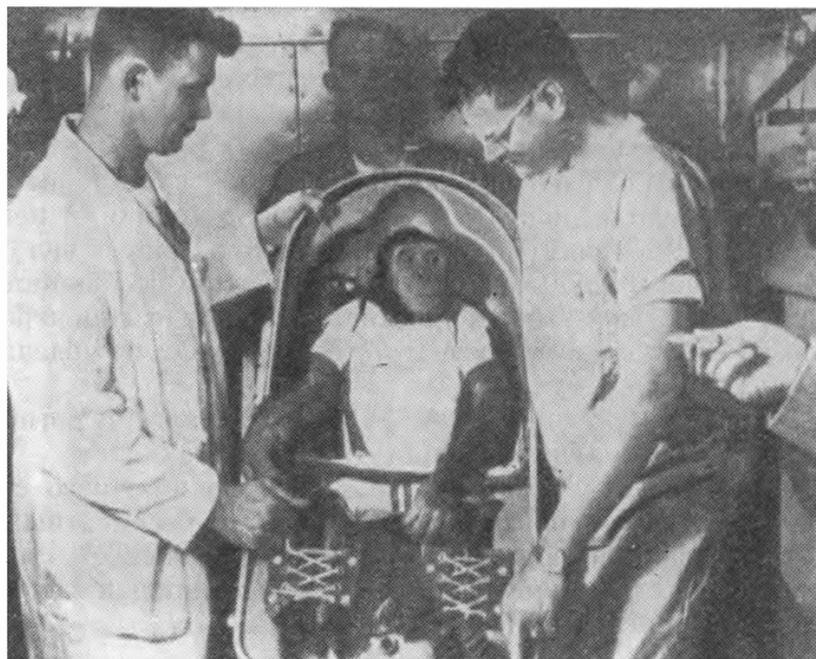
Животные — пионеры космоса

Прежде чем человек сам сделал первый шаг в космос, там побывал целый ряд биологических объектов — от низших форм жизни (плесневые грибы, бактерии, дрожжи, морские водоросли, плодовые мушки) до млекопитающих (мыши, хомяки, кошки, собаки и обезьяны). Эти биологические эксперименты были необходимы, чтобы оценить соматическую и генетическую опасность космической радиации для человека.

Первым высокоорганизованным существом, облетевшим Землю на искусственном спутнике, была собака Лайка, запущенная в СССР 3 ноября 1957 года. Система жизнеобеспечения незамкнутого типа в небольшой кабине снабжала Лайку воздухом, пищей и водой. Система биотелеметрии передавала на Землю электрокардиограмму и данные о частоте дыхания, пульсе, кровяном давлении. Эти данные свидетельствовали о том, что Лайка адаптировалась к условиям невесомости. После недельного пребывания на орбите, когда истощились запасы воздуха, Лайка была безболезненно умерщвлена. Летательный аппарат вошел в земную атмосферу 14 апреля 1958 года и сгорел. Полет Лайки доказал, что условия космического полета не угрожают жизни.

Типичными космическими полетами высших животных были полеты обезьян Альберта, Хэма и Эноса *. Шимпанзе Энос совершил полет на космическом корабле «Меркурий» 29 ноября 1961 года. Биотелеметрическая система передавала на Землю данные о частоте дыхания и сердечных сокращений, температуре и кровяном давлении. Во время

* В СССР была проведена серия запусков вертikalных и орбитальных ракет с находящимися на борту животными. Среди них важным этапом в медико-биологических исследованиях был космический полет собак Уголька и Ветерка на спутнике «Космос-110», запущенном в 1966 году. На этих животных был проведен большой объем физиологических исследований. После 22-дневного пребывания в космосе собак благополучно возвратили на Землю. — *Прим. ред.*



Один из предшественников человека в космосе — шимпанзе Хэм, закрепленный в специальном кресле-сиденье, перед полетом на корабле «Меркурий» (1961 г.).

своих двух витков вокруг Земли Энос принимал пищу и выполнил несколько психомоторных тестов, которым был обучен. И хотя перед концом полета вышла из строя система жизнеобеспечения, а температура в кабине поднялась до 40°C , аппарат был возвращен на Землю и обезьяна осталась жива.

Таким образом, на ранних этапах космических исследований дорогу в космос человеку прокладывали животные. С их помощью было получено много ценной информации о влиянии необычных условий окружающей среды и о способности живых организмов приспосабливаться к ним. Вероятно, к помощи животных будут прибегать и в дальнейшем при исследованиях более удаленных планет.

Человек проникает в космос

Первым человеком-космонавтом, облетевшим вокруг земного шара, был Юрий Алексеевич Гагарин, 27-летний майор ВВС СССР. Его корабль стартовал из Байконура в 9 час. 07 мин. (по московскому времени) 12 апреля 1961 го-

да. Совершив один виток вокруг Земли, он в 10 час. 55 мин. приземлился возле деревни Смеловка Саратовской области.

Во время полета Ю. А. Гагарин делал наблюдения, фотографировал. Он отметил, что в иллюминаторе были видны большие квадраты колхозных полей на территории СССР и можно было отличить распаханые земли от невозделанных. Космонавт принимал пищу, пил воду и вел бортовой журнал. Кроме того, он сделал много сообщений по радио, а биотелеметрическая система непрерывно передавала на Землю данные о частоте его дыхания и сердечных сокращений.

27 марта 1968 года Ю. А. Гагарин трагически погиб во время обычного тренировочного полета на самолете.

Имя Гагарина — первого человека, покинувшего свою планету и взлетевшего в космос, — стало бессмертным, а его полет, заняв особое место в истории, доказал, что человек в условиях космического полета может жить и работать более или менее нормально.

Роль человека в исследовании космоса

Успешными полетами в космос Юрия Алексеевича Гагарина и других советских и американских космонавтов человек удовлетворил свое извечное прирожденное стремление к познанию нового и неизвестного, которое в прошлые времена заставляло его покинуть дерево и пещеру, пробираться через непроходимые леса, плыть по морям, не отмеченным на карте, и взбираться на неприступные высоты. Очевидно, в попытке достигнуть звезд проявляется инстинкт, лежащий в основе человеческой природы, — исследовать новое и приспосабливаться к новым окружающим условиям. Очень возможно, что изучение космоса является следующим и в высшей степени логическим шагом во врожденном человеческом стремлении расширять свою экологическую нишу — область существования человека как биологического вида.

Такие обоснования могут показаться сомнительными или слишком сложными, чтобы ответить на вопрос, почему человек должен исследовать космическое пространство. Поэтому попробуем обратиться к более простым объяснениям практического характера.

Человек составляет необходимую и полезную часть современного исследовательского комплекса, которым яв-



Советский космонавт А. Г. Николаев после приземления делится впечатлениями о своем полете (1962 г.). Человек способен не только к самоанализу и абстрактному мышлению, но и обладает уникальной способностью наблюдать, фиксировать результаты своих наблюдений и информировать о явлениях самого разнообразного характера.

ляется космический летательный аппарат. Этот факт был доказан эмпирически. Человек обладает способностью к самоанализу и абстрактному мышлению — свойствами, которыми нельзя наделить небольшое вычислительное устройство на транзисторах, имеющееся на борту космического корабля. В понятии «человек — машина» (см. главу III) человек составляет с космическим кораблем единую систему и является ее важным функционирующим звеном, поскольку обладает качествами и свойствами, дополняющими качества и свойства механических элементов этой системы. В данном случае человек не пассажир, не владелец сезонного билета, совершающий поездки в трамвае.

К числу свойств, которые делают человека ценной и неотъемлемой частью космического исследовательского комплекса, относится его удивительная способность к адаптации. Это означает, что человек может легко приспособиться к очень сложным системам космического корабля, управляя ими так, как он управляет запряженной в повоз-

ку лошадию, быстроходным парусником, автомобилем, подводной лодкой или реактивным самолетом. Адаптационные возможности человека в значительной мере являются функцией его способности к обучению и, что столь же важно, его способности передавать свои знания или обучать.

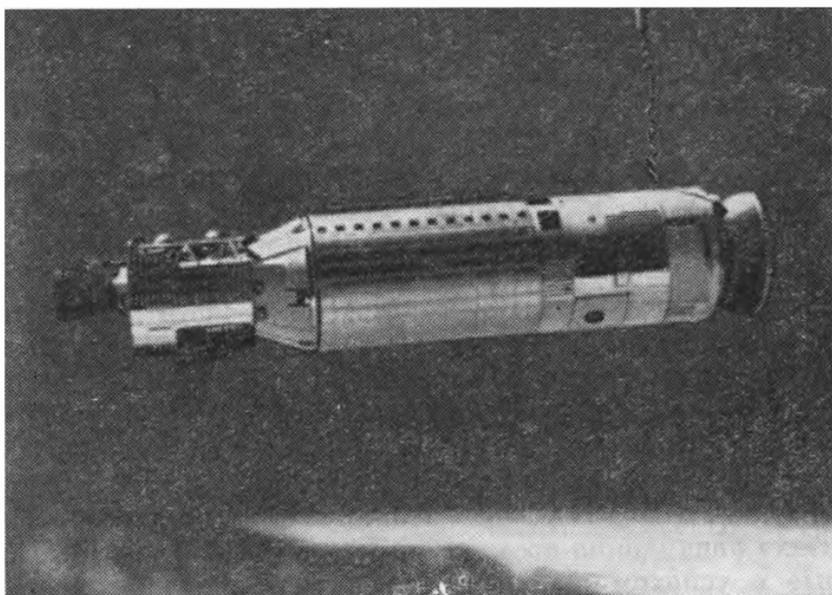
Когда человек вступает на космический корабль, его память отнюдь не подобна чистому блокноту, куда следует записать до мельчайших подробностей все, что ему требуется знать и что он должен делать для выполнения задания. Человек начинает космический полет, запасшись богатым опытом, часть которого под влиянием новых требований преобразуется в новое, более совершенное мастерство. Известно, что человек может совершать ошибки, однако он обладает и способностью их замечать и исправлять. Более того, человек может обнаруживать ошибки или аномалии в работе той сложной системы, частью которой он стал, находясь на космическом корабле, и исправлять их*.

Короче говоря, человек может проявлять ум и здравый смысл — качества, которыми не обладают (и не могут обладать) никакие самые совершенные машины. Когда человек сталкивается с какой-нибудь проблемой, он призывает на помощь собственный опыт и вспоминает аналогичные или похожие ситуации и на основе этого находит правильное решение. Эта способность человека определяет его важную роль в исследовании космического пространства; роль эта, вероятно, в ближайшем будущем не уменьшится.

Подтверждением такой точки зрения может служить полет космонавтов Дж. Макдивитта и Э. Уайта на корабле «Джеминай-4», который начался 3 июня 1965 года. На 48-м витке вокруг Земли на корабле отказало бортовое счетно-решающее устройство, то есть вышло из строя автоматическое управление кораблем во время критической фазы полета — вхождения в плотные слои атмосферы. Однако космонавты быстро оценили ситуацию и перешли на ручное управление.

Еще более драматическая ситуация возникла во время полета корабля «Джеминай-8», запущенного 16 марта 1966 года. Спустя 27 минут после стыковки с «Адженой» началось рыскание и быстрое вращение всей системы

* Примером может служить полет к Луне американского космического корабля «Аполлон-13», на котором произошла серьезная авария; только мужество и самообладание космонавтов позволили благополучно закончить этот тяжелый полет. — *Прим. ред.*



Ракета «Аджена», снятая из иллюминатора корабля «Джеминай-8» до стыковки. Система космических кораблей «Джеминай» — «Аджена» потеряла устойчивость и начала вращаться. Только хорошо обдуманые действия экипажа космического корабля ликвидировали аварийное положение. Корабль и космонавты были спасены.

«Джеминай» — «Аджена» вокруг продольной оси. Сначала космонавты Н. Армстронг и Д. Скотт думали, что причина потери управляемости кроется в «Аджене», и в течение нескольких минут пытались исправить положение, сообщая различные команды именно ей. Когда это ни к чему не привело, стало очевидным, что причину надо искать в самом корабле. Прежде всего была произведена расстыковка с «Адженой», после чего быстро обнаружили неполадки, которые, как оказалось, произошли в системе стабилизации корабля. Космонавты преодолели критическую ситуацию и благополучно спустили «Джеминай-8» на Землю.

Таким образом, в обоих случаях вполне очевидно, что «спас положение» именно космонавт.

Цель настоящей книги — показать, как человек участвует в исследовании космоса и посредством чего становится функциональным и необходимым элементом космического исследовательского комплекса. В большей своей части книга касается пребывания человека в космосе на современном этапе космических исследований, но там, где это уместно с технической и медицинской точек зрения, приво-

дятся соображения и о перспективах деятельности человека в космосе в будущем.

Так как человек по своей природе не приспособлен к существованию вне Земли, то основная трудность, которую необходимо преодолеть, заключается в приспособлении (адаптации) его к условиям космического полета. Эта проблема рассматривается в следующих четырех главах книги, где говорится об опасностях, которым подвергается человек во время пилотируемого космического полета, отборе кандидатов в космонавты и тренировке их с использованием имитаторов космических условий, а также о системе жизнеобеспечения космонавтов. В главе VI рассматриваются вопросы, связанные с поддержанием контакта с космонавтами во время полета посредством системы биотелеметрии. Глава VII рассказывает о ценных «побочных продуктах» авиационно-космической техники и медицины, которые с успехом используются в лечебной практике на Земле. Перспективы будущих исследований космоса составляют содержание последней главы.

Осторожно: космос!

На пути к Луне, Марсу или другим планетам человек должен преодолеть ряд барьеров.

С точки зрения физиолога космос наиболее точно охарактеризовал в своей книге «Человек и космос» Х. Штругхольд: «Космос как физическая среда является, по существу, средой радиационной с очень малой плотностью вещества. В противоположность этому земная атмосфера имеет высокую плотность, и радиация в ней заметно ослаблена. Вакуум, метеоритная пыль и различного вида излучения, меняющиеся в широких пределах, — вот что ожидает человека в космосе». От опасного воздействия этих факторов человека необходимо защитить. Возможно, что приведенная характеристика космического пространства покажется специалистам-физикам недостаточно точной и не строго научной — ведь они, изучая космос и атмосферу, описывают их вполне определенными физическими параметрами и понятиями. К примеру, для них космос — это удаленное на несколько тысяч километров от Земли пространство, в котором вследствие сильного разрежения пренебрежимо мала вероятность столкновения молекул.

Где начинается космос.

Для незащищенного человека космос, как это ни парадоксально, начинается всего в 5 км от земли. Уже на небольшой, казалось бы, высоте 3,5 км человек не может работать и чувствовать себя так же, как на Земле. Это препятствие на пути человека в космос является первым в ряду многих преград, называемых *физиологическими барьерами космического пространства*. Они определяются границами областей космического пространства, пребывание в которых вызывает резкое изменение (чаще всего тормо-

жение, а затем и прекращение) важных биологических процессов. Эти области, представляющие наибольший интерес для физиолога, показаны на помещенном ниже рисунке. Штругхольд насчитывает четыре зоны, в которых можно обнаружить такие функциональные барьеры:

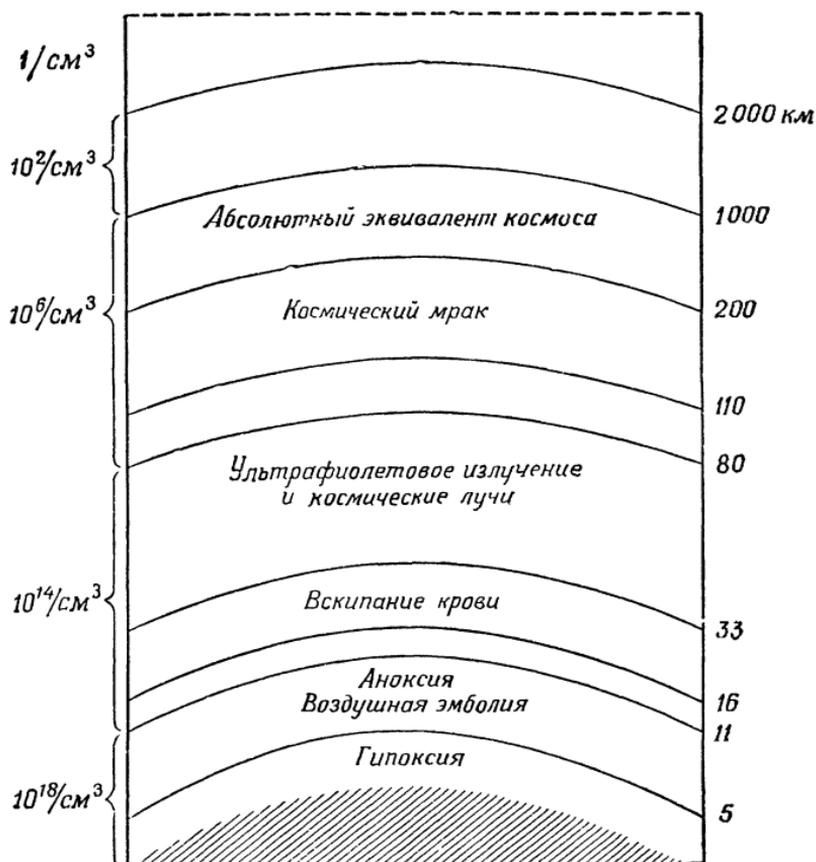
0—3,6 км — физиологическая зона;

3,6—16 км — зона физиологической неполноценности;

19—224 км — зона, частично эквивалентная космосу;

224—9600 км — зона, полностью эквивалентная космосу.

На высоте 3,6 км низкое парциальное давление кислорода вызывает затруднение дыхания. Таким образом, гипоксия, или кислородная недостаточность, — это первый



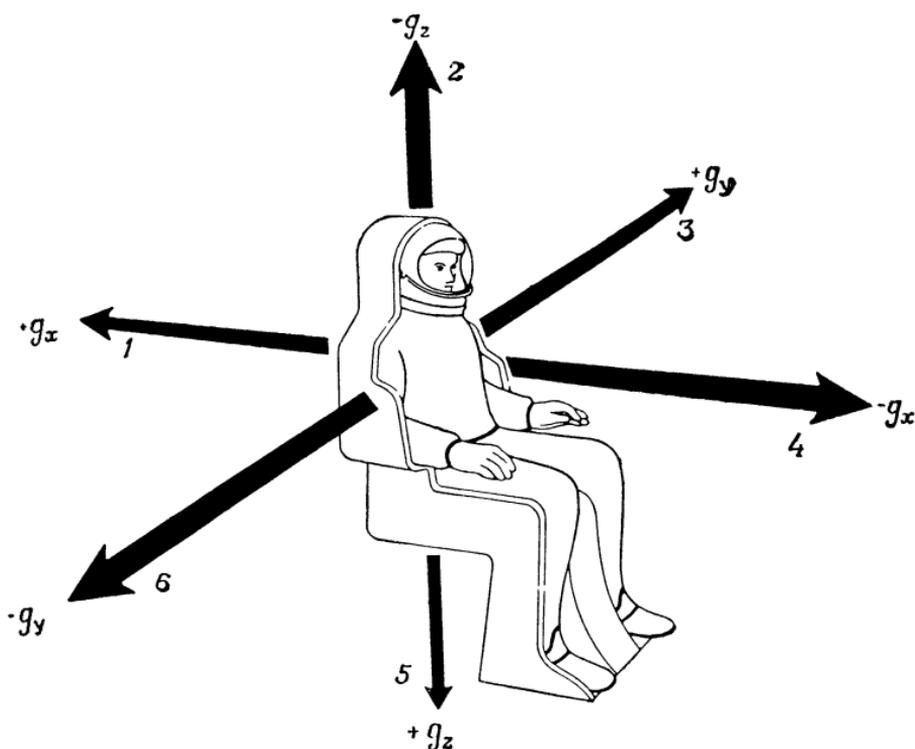
Функциональные барьеры на пути человека в космос и уменьшение плотности воздуха с высотой. Слева по вертикали указано число молекул кислорода в 1 см^3 , справа — высота над уровнем моря.

барьер, который нужно преодолеть человеку на пути в космос. При быстром подъеме к высоте более 5 км наступает *кессонная болезнь* — декомпрессионные расстройства, которые обычно ассоциируются с работой водолазов. При быстром падении давления окружающей среды происходит внезапное выделение в виде пузырьков растворенного в крови и тканях азота — *воздушная эмболия*. На высоте 5 км атмосферное давление составляет всего лишь 300 мм рт. ст., в то время как на уровне моря оно равно 760 мм рт. ст.

Следующий функциональный барьер находится на высоте 15 км. На этой высоте наблюдается *аноксия*, то есть полное кислородное голодание. На первый взгляд это может показаться странным, так как атмосфера в этой зоне содержит достаточное количество кислорода, причем именно в виде необходимых для дыхания двухатомных молекул. Но углекислый газ и водяные пары, содержащиеся в альвеолах, создают в них давление 87 мм рт. ст. Когда атмосферное давление снижается до этого значения, что происходит как раз на высоте 15 км, кислород из-за отсутствия необходимого перепада давлений перестает проникать через стенки альвеол.

На высоте 16 км космонавт сталкивается с последним физиологическим барьером, связанным с атмосферным давлением; оно составляет здесь 47 мм рт. ст. и соответствует давлению паров жидкостей в тканях человека. Это вызывает «*вскипание*» содержащихся в тканях жидкостей, переход их в газообразное состояние. Пузырьки газа проникают в сосуды, закупоривают их и выделяются через слизистую оболочку носоглотки, глаз и т. д.

Такова первая группа «высотных» физиологических барьеров, препятствующих полету человека в космос. Однако эти барьеры можно преодолеть, используя соответствующие способы и средства защиты (см. главу V). Условия космического полета и факторы космического пространства могут оказывать вредное воздействие на многие физиологические системы человека. Влияние отдельных факторов снижается или нейтрализуется сравнительно просто и легко (например, действие света). Однако следует учитывать возможность проявления *синергизма*, выражающегося в том, что общее воздействие нескольких факторов оказывается значительно большим, чем совокупность воздействий каждого из них.



Перегрузки, которые испытывает космонавт под действием ускорения, обозначаются направлением смещения при этом внутренних органов человека (показано стрелками). Здесь же приведена широко используемая система обозначения направления действия ускорений по смещению глазных яблок.

1 — ускорение вперед, глазные яблоки вдавливаются; 2 — ускорение вниз (к ногам), глазные яблоки смещаются вверх; 3 — ускорение вправо, глазные яблоки смещаются влево; 4 — ускорение назад, глазные яблоки выходят из орбит; 5 — ускорение вверх (к голове), глазные яблоки смещаются вниз; 6 — ускорение влево, глазные яблоки смещаются вправо,

Ускорение

При космическом полете влияние ускорения наблюдается прежде всего при старте, когда корабль быстро набирает скорость. В этот период, длящийся около 5 мин, на космонавта действует ускорение, величина которого изменяется от 1 до 7 g. Другими словами, вес космонавта во время запуска корабля как бы увеличивается в семь раз*.

Описывая влияние ускорения на организм человека, целесообразно пользоваться системой координат, достаточно

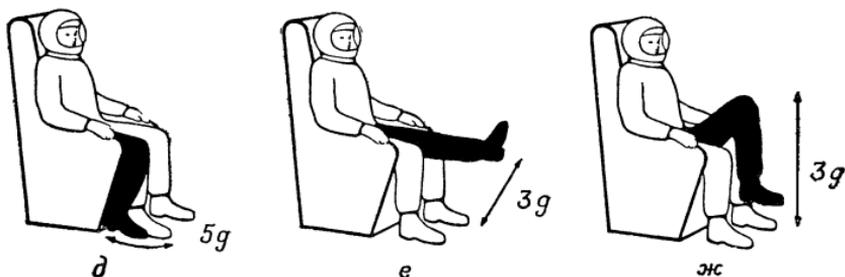
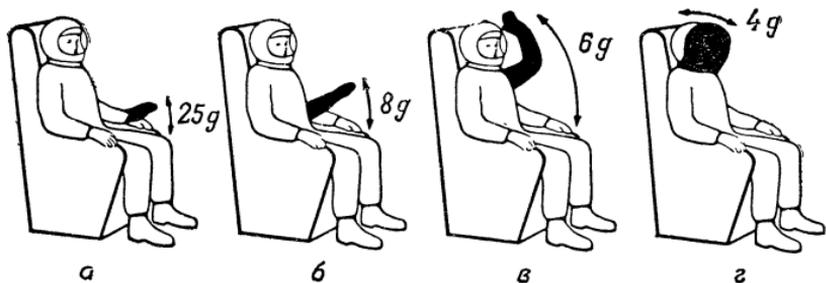
* Действие ускорений на космонавта также имеет место при входе в плотные слои атмосферы при возвращении и зависит от конструкции корабля. — *Прим. ред.*

понятной и инженерам и медикам. На приведенном здесь рисунке схематически представлен широко распространенный метод обозначения направлений действия ускорений. Он основан на определении направления ускорения инерционных сил. Здесь же представлен и другой, может быть, менее точный, но более наглядный метод обозначения направлений действия перегрузок по смещению внутренних органов или положения глазного яблока. Пользуясь приведенной терминологией, можно сказать, что при максимальном ускорении во время запуска космического корабля на космонавта действуют перегрузки $7 + g_x$, или $7 g$ — вдавливание глазного яблока (обозначения по первому и второму методам соответственно).

Человек легче всего переносит перегрузки по оси $+g_x$. Далее, в порядке уменьшения выносливости, следуют перегрузки в направлениях $-g_x$, $+g_z$ и $-g_z$. Однако способность переносить перегрузки (величина допустимых перегрузок) у разных людей различна и зависит от ряда факторов, например от скорости нарастания перегрузки, температуры окружающей среды, содержания кислорода во вдыхаемом воздухе, длительности пребывания космонавта в условиях невесомости до начала ускорения и даже от эмоционального состояния космонавта. Существуют, несомненно, и другие более сложные или менее уловимые факторы, влияние которых еще не совсем выяснено.

Перегрузки, связанные с ускорением, вызывают значительное ухудшение функционального состояния организма человека: замедляется ток крови в системе кровообращения, снижаются острота зрения и мышечная активность. Постарайтесь представить себе, как трудно поднять потяжелевшую в семь раз руку и тем более производить ею манипуляции по переключению органов управления. Поэтому в моменты перегрузок при ускорении или торможении космического корабля большинство операций, связанных с его управлением, должно быть автоматизировано. На помещенном ниже рисунке показано, какие максимальные перегрузки может преодолеть человек, двигая головой и конечностями.

Замедление кровообращения происходит вследствие кажущегося увеличения веса крови. Нормальное давление крови у человека на уровне сердца составляет $0,12 \text{ ат}$. Поскольку голова находится примерно на 30 см выше сердца, то при ускорении $4 g$ этого давления достаточно лишь для

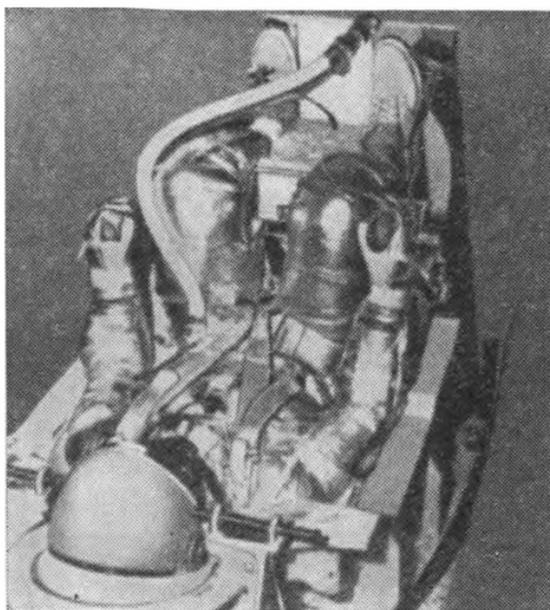


Ускорения, которые может преодолеть человек, двигая головой и конечностями.

а — поднять и опустить кисть руки; *б* — поднять и опустить предплечье; *в* — поднять и опустить всю руку; *г* — наклонить голову вперед и откинуть назад; *д* — передвинуть голень со ступней вперед и назад; *е* — поднять и опустить голень со ступней; *ж* — поднять и опустить всю ногу.

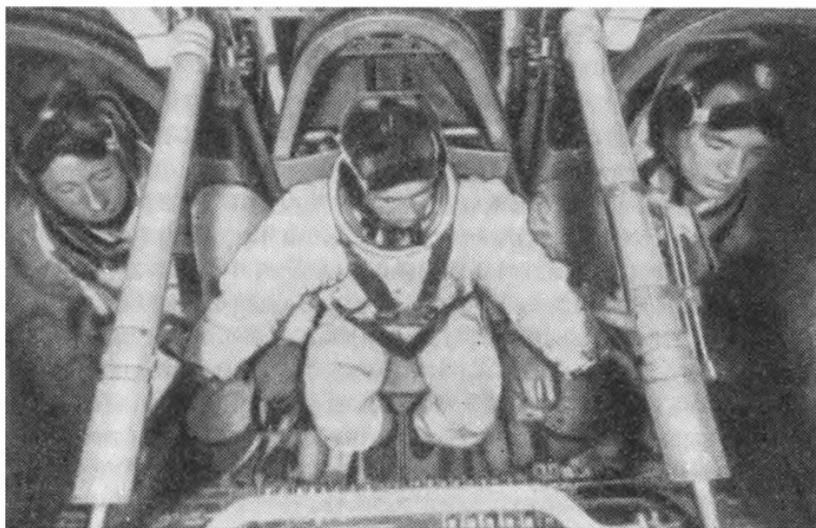
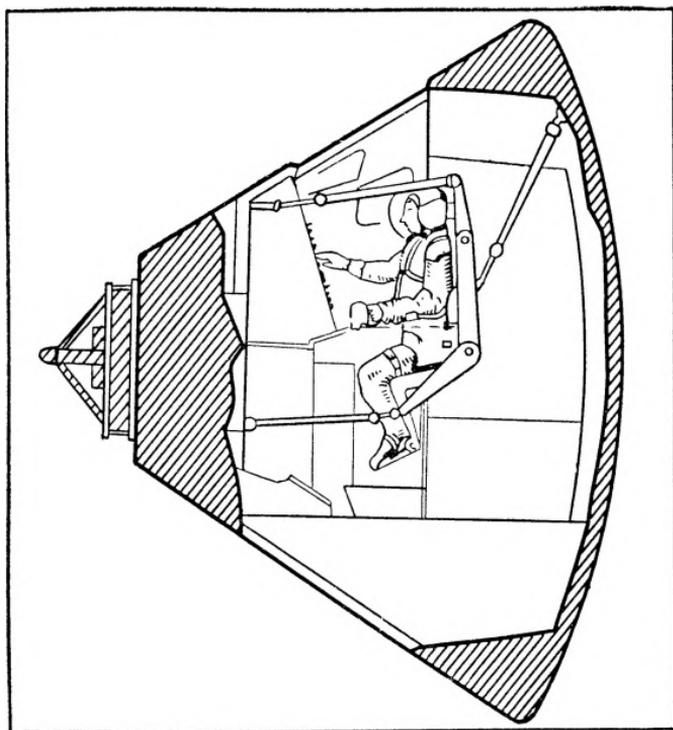
того, чтобы кровь могла дойти до головного мозга. Чтобы обеспечить кровоснабжение головного мозга при ускорении 8 g , сердце должно увеличить напор крови более чем вдвое. При ускорении 5 g , направленном по оси $-g_z$, кровь «утяжеляется» настолько, что сердце вообще не может гнать ее к голове и человек испытывает ощущение «черной пелены», перед глазами и теряет сознание. Если действие ускорения направлено в противоположную сторону по оси $+g_z$, перед глазами встает «красная пелена» и наступает потеря сознания в результате прилива крови к голове.

Уже под действием ускорения, превышающего 1 g , у космонавта могут появиться нарушения зрения. При ускорении 3 g в направлении $+g_z$, длящемся более 3 сек , могут возникнуть серьезные нарушения периферического зрения. Вообще с увеличением перегрузок острота зрения уменьшается, поэтому в отсеках космического корабля необходимо увеличивать уровень освещенности. При продольном ускорении у космонавта возникают зрительные иллю-

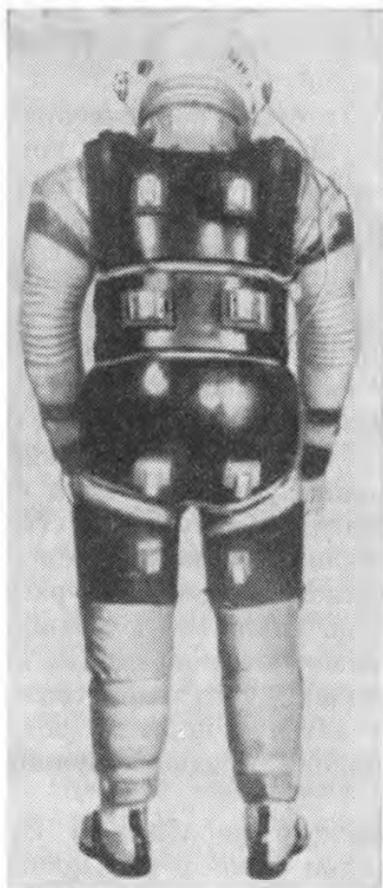


На первых пилотируемых космических кораблях серии «Меркурий» использовали особые противоперегрузочные кресла, отлитые по индивидуальным для каждого космонавта моделям. Когда космонавт занимает в таком кресле показанное на фотографии положение, мозг в достаточной степени снабжается кровью и при ускорении до 10 g, а при кратковременных перегрузках — даже до 25 g.

Ему кажется, что предмет, на который он смотрит, смещается в направлении результирующего вектора ускорения и силы тяжести. Эта иллюзия возникает в результате воздействия ускорения на отолитовые органы. При угловых ускорениях возникает кажущееся перемещение объекта зрения в плоскости вращения. Эта так называемая *окологиральная иллюзия* является следствием воздействия перегрузок на полукружные каналы. Чтобы ослабить действие высоких ускорений, космонавта помещают в космическом корабле таким образом, чтобы перегрузки были направлены по оси $+g_x$. Космонавт, лежа на спине, находится почти в горизонтальном положении. Угол между его спиной и бедром составляет примерно 100° , а между бедром и голенью — 117° . Наклон спины составляет приблизительно 12° . Такое положение обеспечивает эффективное кровоснабжение головного мозга космонавта при ускорениях до 10 g, а кратковременно даже до 25 g.



Кресла на космических кораблях «Аполлон» сконструированы так, чтобы тело космонавта могло занять самое удобное положение, позволяющее выдерживать ускорения.



Будущие космические скафандры, возможно, будут обеспечивать защиту космонавта благодаря жестким сегментам, расположенным со стороны спины и на коленях. С помощью выступов на спине скафандр будет крепиться к креслу и таким образом фиксировать положение космонавта на время действия перегрузок.

Действие ускорений на тело можно уменьшить с помощью обжимающего тело компенсирующего костюма.

На космических кораблях «Меркурий» кресло космонавта отливалось по форме его тела. Такое кресло надежно закрепляет тело космонавта, предотвращая произвольные сдвиги, и хорошо защищает от боковых ускорений. Однако отлитое по индивидуальной модели кресло оказалось слишком тесным, поэтому на космических кораблях «Джеминай» и «Аполлон» от него пришлось отказаться.

На стр. 27 и 28 показаны кресла, которые используют на кораблях «Джеминай» и «Аполлон».

В настоящее время испытывается космический скафандр полужесткого типа (рисунок на стр. 29), который защищает космонавта как от перегрузок, так и от пониженного давления внешней среды. На жесткой каркасной части этого скафандра имеются специальные выступы, которые входят в соответствующие пазы — разъемы в кресле и таким образом фиксируют положение скафандра и космонавта. В таком кресле можно выдержать ускорения до 30 g , действующие в любых направлениях. Как только прекращается действие перегрузок, космонавт может быстро отделиться от кресла и передвигаться в скафандре по кораблю. Несколько более сложно устройство для создания противоперегрузочного давления (рисунок на стр. 29). Оно представляет собой закрепленную на нижнем белье космонавта систему трубок водяного охлаждения, расположенных вокруг туловища и бедер. Такой костюм защищает космонавта от действия перегрузок и одновременно может быть использован для отвода выделяемого телом тепла, подобно тому как это осуществляется в костюме водяного охлаждения в скафандре «Аполлон», предназначенном для исследования Луны.

При возвращении космического корабля на Землю, когда он входит в плотные слои атмосферы, космонавт испытывает перегрузки торможения, то есть отрицательного ускорения. По интегральной величине торможение соответствует ускорению при старте. Космический корабль, входящий в плотные слои атмосферы, ориентируют так, чтобы перегрузки торможения имели направление $+g_x$. Таким образом, их воздействие на космонавта сводится к минимуму, как и во время запуска корабля.

Вибрация и шум

Практически так же, как ускорения, вибрация и шум связаны главным образом с фазой запуска двигателей космического корабля или их работы во время полета. Их источниками являются работа ракетных двигателей, их сотрясение, перемещение топлива в цистернах-баках, атмосферные потоки и турбулентность атмосферы, а также аэродинамические удары при преодолении космическим кораблем звукового барьера. При полете с выключенными

двигателями шум и вибрация почти исчезают, так как в этом случае их порождают лишь импульсные двигатели управления ориентацией космического корабля в пространстве, различные электромоторы и система радиосвязи.

Воздействие на человека шума и вибрации в настоящее время широко изучается. Шум и вибрация вызывают ощущение дискомфорта, раздражение, тошноту и другие неприятные явления. Характерно появление чувства тревоги и страха, удушья, болей в области живота и позвоночника, общего утомления, затрудненного дыхания, головной боли, зуда и глухоты. Вредное действие вибрации на организм человека имеет механическую природу, по крайней мере в диапазоне тех частот колебаний, которые возникают во время космического полета. Очевидно, нарушается нормальное протекание процессов как в отдельных клетках, так и в органах в целом. В частности, вибрация влияет на *анафазу*, то есть на ту стадию деления клеток, во время которой начинается расхождение половинок хромосом. Советские биологи в своих экспериментах подвергали вибрации, характерной для работы ракетного двигателя, мышей и установили значительное возрастание количества анафазных формаций в спинном мозгу уже через день после опыта. Процент анафазных формаций достиг максимальной величины 9,79, в то время как у контрольной группы животных он составлял 2,61.

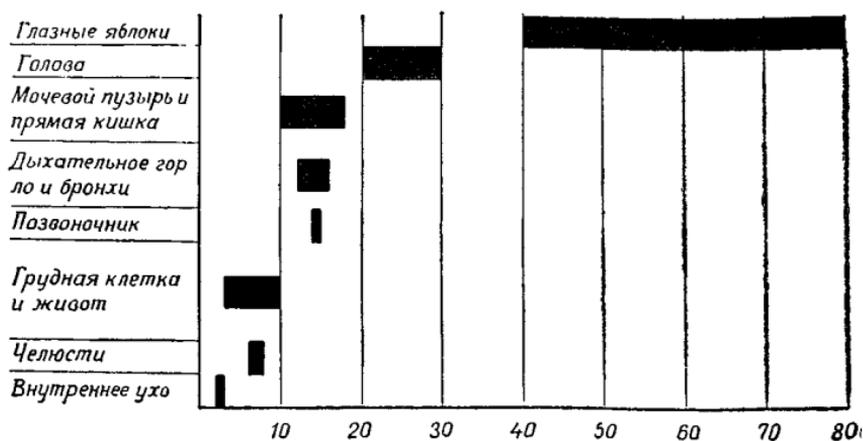
Если бы механические повреждения на клеточном уровне происходили в большем масштабе, то вибрация во время космического полета стала бы серьезной проблемой. Дело в том, что человеческое тело и его отдельные органы имеют, к сожалению, собственные резонансные частоты, лежащие в том же диапазоне, что и частоты ракетносителей. Так, космический корабль «Аполлон» с ракетносителем «Сатурн-5» имеет основную резонансную частоту около 4,5 *гц*. После отделения двигателей первой ступени резонансная частота космического корабля с двигателями второй и третьей ступеней составляет примерно 6 *гц*, а частота третьей ступени ракетносителя с космическим кораблем будет уже около 9 *гц*. Это очень важно, так как резонансная частота тела человека в зависимости от его положения и способа фиксации лежит в диапазоне от 3 до 12 *гц*. А отдельные органы, как это видно из приведенной ниже диаграммы, имеют более высокие собственные резонансные частоты. Когда космический корабль вибрирует на какой-

либо из этих частот, вибрация соответствующих органов человека резонансно увеличивается, эти органы деформируются, смещаются или теряют фиксацию, то есть происходит их механическое повреждение. Однако до этого в большинстве случаев возникает ощущение дискомфорта. Пилоты космического корабля «Джеминай» при частоте колебаний 50 *гц* не могли считывать показания приборов, так как именно при этой частоте начинают вибрировать глазные яблоки и глаза словно застилают пеленой.

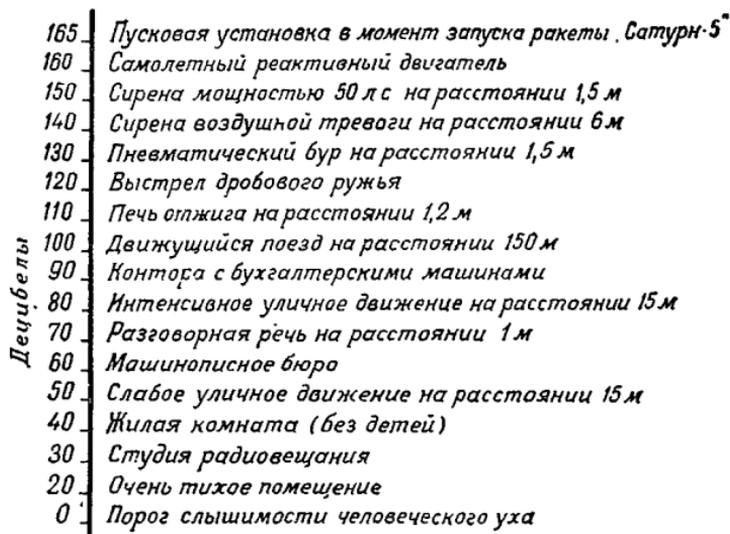
О колоссальных уровнях шумов, генерируемых крупными космическими ракетами, дают представление некоторые цифры. Так, ракета «Сатурн-5» при тяге около 3 млн. *кг* на уровне моря в течение 2 *мин* генерирует почти 200 млн. *вт* звуковой энергии. Вообще в звук обычно переходит 0,3—0,8% общей мощности ракеты. Показательно, что количество звуковой энергии, генерируемой реактивным самолетом «Боинг-707», в четыре с лишним тысячи раз меньше. Когда ракета набирает скорость, это вызывает дополнительный шум. После 60 *сек* полета основную часть шума снаружи корабля вызывает обтекающий его воздушный поток. При максимальном динамическом давлении, когда давление воздуха на носовую часть ракеты «Сатурн» достигает 3593 *кг/м²*, возникают дополнительные шум и вибрация. Это происходит на 78-й секунде полета на высоте около 13 *км*. Сравнение уровней шума при запусках больших ракет с шумами, окружающими нас в повседневной жизни, дано на приведенной ниже диаграмме.

Шум в 160 *дб* может вызывать механические повреждения и необратимую глухоту в результате разрыва барабанной перепонки и смещения слуховых косточек в среднем ухе. При 140 *дб* человек ощущает сильную боль, а продолжительное воздействие шума в 90—120 *дб* может привести к повреждению слухового нерва.

Физиологическое воздействие на человека низкочастотных шумов изучают на специальных установках. Одна из таких установок сооружена в Исследовательском центре НАСА Лэнгли в Хэмптоне (штат Виргиния). Основная ее часть — цилиндрическая камера диаметром 7,3 *м* и длиной 6,4 *м* — видна на приведенной фотографии. Один конец камеры оборудован поршнем диаметром 4,3 *м*, его приводит в движение гидравлический силовой привод, управляемый электронно-вычислительной машиной. Другой конец камеры закрывает подвижная стенка, с помощью которой



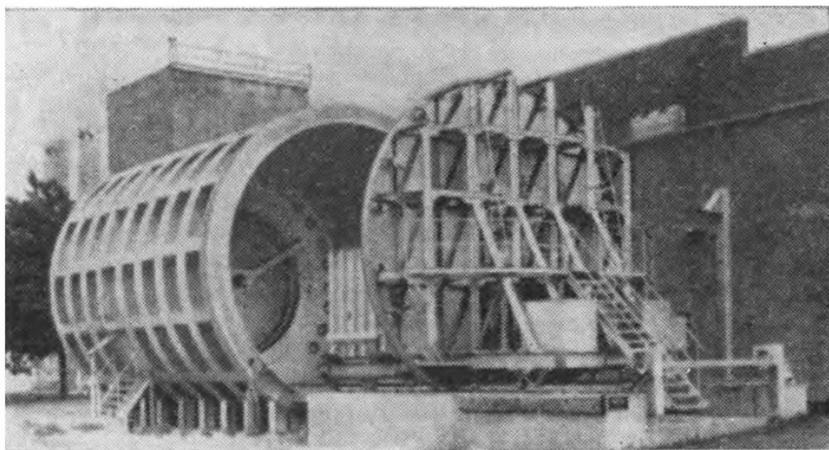
Диаграмма, показывающая, на каких частотах резонируют отдельные части тела человека (в гц).



Сравнение шума при запуске мощных ракет с шумами других источников.

осуществляют акустическую настройку камеры. В камере можно создавать шум с уровнем до 160 дб при частоте ниже 3 гц.

В пилотируемом космическом корабле шумы опасны не только тем, что воздействуют на органы слуха космонавта. При уровне шума 120 дб наступают серьезные ухудшения в речевой связи и радиосвязи. Эксперименты показывают, что речь говорящего становится значительно менее разборчивой, если к вибрации в диапазоне 10—30 гц добавляются хаотические шумы. Кроме того, шум в 60 дб и выше вызывает торможение нормальных сокращений желудка и кишечника, а также уменьшает выделение желудочного сока и слюны. Поэтому при создании космического корабля «Аполлон» стремились снизить шумы настолько, чтобы максимальный их уровень после окончания фазы полета с выключенными двигателями не превышал 55 дб в диапазоне частот 300—3800 гц. В лунном отсеке «Аполлона» уровень шума составляет 80 дб, а в диапазоне частот 600—4800 гц снижен до 55 дб. Шумы иной интенсивности и частотной характеристики также оказывают нежелательное физиологическое воздействие на человека, значительно снижая его работоспособность и мешая сосредоточиться. Например, советская женщина-космонавт В. В. Николаева-Терешкова во время полета на космическом корабле «Восток-6» установила, что ее внимание особенно отвлекал



Звуковая камера для исследования физиологического воздействия низкочастотного шума на человека.

шум вентилятора с интенсивностью 76 *дб* и частотой 2000 *гц*. Уровень шума в командном отсеке корабля «Аполлон» на 62-й секунде полета составляет 125 *дб*. Уровень внешних шумов при прохождении их сквозь обшивку космического корабля снижается до 20—30 *дб*. Кроме того, они глушатся шлемом скафандра. Интенсивность шумов снаружи и внутри космического корабля в первые две минуты после запуска показана на приведенном здесь гра-

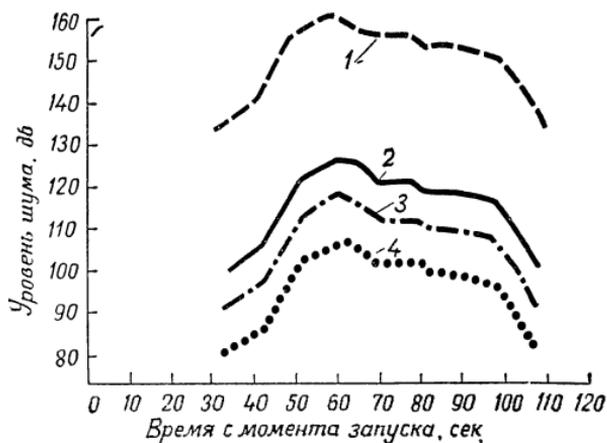


График интенсивности шумов в командном отсеке космического корабля «Аполлон» в первые две минуты активной фазы полета с работающими двигателями (шлемы космонавтов частично заглушают эти шумы).

1 — снаружи корабля; 2 — в кабине; 3 — на уровне живота космонавта; 4 — на уровне уха космонавта.

фике. Уровень шума сразу после запуска советских кораблей «Восток-5» и «Восток-6» достигал 128 *дб*, но гасился шлемом космонавта до 18 *дб*. Принимая во внимание все эти факты, можно сделать вывод, что вибрация и шум не составляют основных проблем при разработке программ пилотируемых космических кораблей. Влияние шума, генерируемого ракетноносителем, невелико, так как корабль быстро отделяется от ступеней с работающими двигателями и шумы глушатся не только окружающим воздухом, но и обшивкой корабля. Аналогично этому вибрация велика лишь в первые минуты полета корабля с ускорением и во время входа его в плотные слои атмосферы. В эти короткие промежутки времени вибрация не вызывает у человека значительных функциональных сдвигов.

Зрение и освещение

«Днем Земля имеет преимущественно голубоватый оттенок... Я мог различать отдельные дома и улицы в такой безоблачной и сухой зоне, как район Гималайских гор... Я разглядел паровоз, заметив сначала его дым... Я видел также след корабля на большой реке в районе Бирмы — Индии... и яркий оранжевый свет от британского нефтеочистительного завода к югу от города Перт в Австралии». К этим наблюдениям, сделанным Гордоном Купером, пилотом космического корабля «Фейт-7» (серия «Меркурий»), во время его орбитального полета вокруг Земли 15—16 мая 1963 года, ученые отнеслись с недоверием, хотя космонавт обладал идеальным зрением. Но более поздние полеты американских и советских космонавтов подтвердили, что на околоземной орбите острота зрения космонавта очень высока. Еще раньше, в 1962 году, космонавт А. Г. Николаев (корабль «Восток-3») видел улицы городов, а космонавт В. Ф. Быковский (корабль «Восток-5», июнь 1963 года) — инверсионные следы реактивных самолетов и след корабля в Средиземном море. Пилот космического корабля «Джеминай-4» Э. Уайт во время своей «космической прогулки» различал прямо под собой сеть шоссеиных дорог. Поэтому в программу научных экспериментов при полетах космических кораблей «Джеминай-5» и «Джеминай-7» включили эксперименты по измерению остроты зрения космонавтов. Космонавты Ч. Конрад и Г. Купер («Джеминай-5») и Ф. Борман и Дж. Ловелл («Джеминай-7») провели специальные исследования остроты зрения до, во время и после полетов. Они использовали небольшой бинокулярный оптический прибор с системой контрольных объектов (прямоугольников), имеющих высокую и низкую контрастность. Космонавты определяли ориентацию каждой фигуры и отмечали ее на перфокарте. Кроме того, они наблюдали за прямоугольными фигурами, специально выложенными на поверхности Земли в Техасе и Австралии. Положение этих фигур меняли во время каждого витка. Этот эксперимент оказался не очень эффективным, так как соответствующие участки Земли часто были закрыты облаками. Однако полученных данных оказалось достаточно, чтобы прийти к заключению, что зрительная работоспособность космонавта во время космического полета не ухудшается.

Теоретические исследования и эксперименты в имитаторах космических условий позволили определить оптимальную освещенность для корабля «Аполлон»:

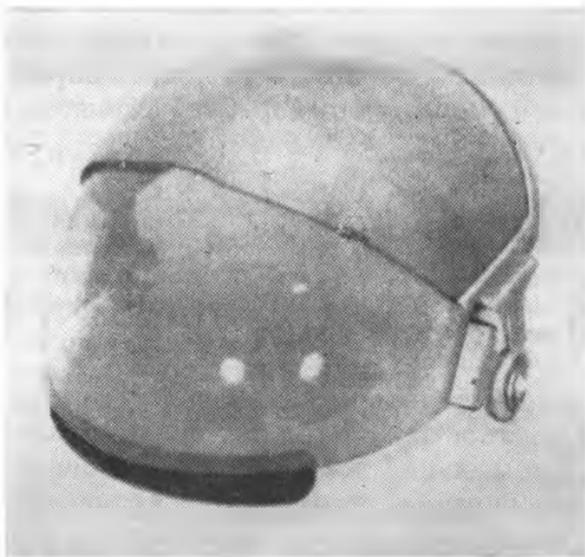
Освещаемая зона	Освещенность, фут-свеча*
Приборная доска и пульт управления	20 (средняя) 40 (максимальная)
Рабочая зона	20 (средняя) 40 (максимальная)
Сигнальные и индикаторные лампочки	150

В фут-свечах измеряется световой поток, падающий на единицу поверхности. Чтобы получить примерное представление о том, какой должна быть освещенность внутри космического корабля, заметим для сравнения, что освещенность боксерского ринга составляет обычно 50 фут-свечей, а освещенность операционного стола — 2500 фут-свечей. Когда на космонавта в периоды ускорения после запуска космического корабля и торможения при его входе в плотные слои атмосферы действуют перегрузки, освещенность внутри корабля должна быть вдвое выше нормальной, так как зрительная работоспособность космонавта в это время падает. Таким образом, освещенность внутри космического корабля должна регулироваться.

Серьезную опасность для космонавтов представляет световое излучение вне космического корабля и на поверхности Луны. Человеческий глаз очень чувствителен к высоким уровням видимого и инфракрасного светового излучения, но его чувствительность к ультрафиолетовым лучам еще больше. Земная атмосфера поглощает 57% опасного для человека ультрафиолетового излучения. Поэтому в космосе человека нужно обеспечить соответствующими средствами защиты от этого наиболее опасного для глаз вида непонижающей радиации. Шлемы космонавтов, вышедших при полете кораблей «Джеминай» в открытый космос, имели защитные смотровые щитки (см. рисунок), которые пропускали только 4% падающих на них ультрафиолетовых лучей. Для более продолжительных выходов в открытый космос потребуются фильтры, задерживающие всю ультрафиолетовую часть светового излучения.

Даже при очень быстром взгляде на Солнце незащищенными или недостаточно защищенными глазами космо-

* 1 фут-свеча = 10,76 люкс.



Комплект смотровых щитков, которые устанавливаются на шлемах космонавтов кораблей «Джеминай» для защиты глаза от различных видов излучения.

навт получит серьезный ожог сетчатки, который вызывает частичное выпадение поля зрения (скотома). Аналогичное повреждение глаз получили японские рыбаки, которые во время взрыва атомной бомбы находились в Тихом океане. У них на сетчатке каждого глаза были обнаружены рубцы грибовидной формы.

Еще одна потенциальная опасность кроется в так называемом *безориентирном поле* — в отсутствии в открытом космосе ориентиров для фокусировки глаз, отчего развивается близорукость. Так, например, во время выходов в открытый космос происходит автоматическая настройка глаз на расстояние около 3 м. Все, что лежит за пределами этого радиуса, космонавт будет различать очень плохо. Если в поле зрения будет находиться лишь один предмет, например очень удаленный спутник, то космонавт не сможет определить его размеры или расстояние до него. Однако такого рода ситуация может и не возникнуть, так как в поле зрения космонавта могут находиться звезды.

Поскольку в глубоком космосе нет отражающих свет предметов, космонавту весьма трудно определять истинную форму объектов, попадающих в его поле зрения. В глубоком космосе нет полутеней, поэтому предметы сфериче-

ской формы там кажутся точками или кругами, конусы — треугольниками, а космические станции, имеющие форму тора, представляются перемещающемуся относительно них космонавту сегментами кругов.

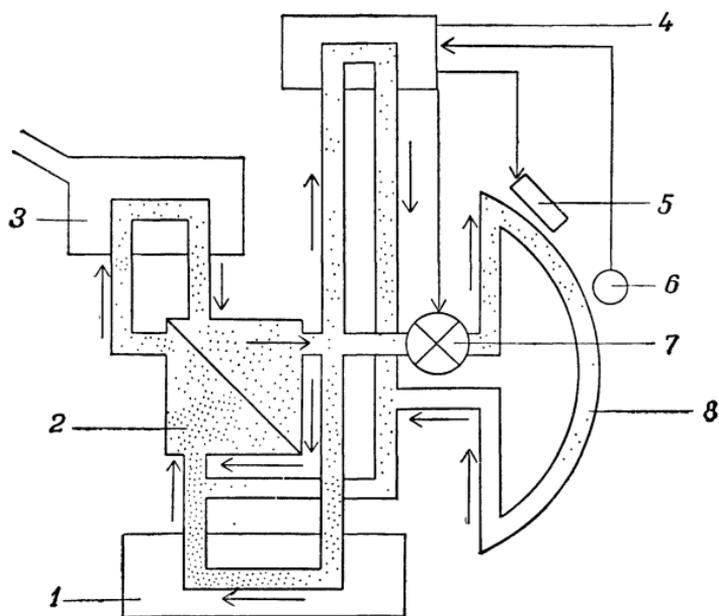
Представьте себе, что вы летите в космическом корабле, скорость которого все возрастает, приближаясь к скорости света. В этом случае вы испытаете на себе ряд интересных оптических aberrаций (искажений). Хорошо знакомая вам картина звездного неба резко изменится. Когда скорость космического корабля достигнет 86% скорости света, звезды будут казаться вытянутыми в направлении движения корабля и примут вид конусов с углом при вершине 30° . При скорости космического корабля, равной 95% скорости света, звезды будут иметь вид еще более вытянутых конусов с углом при вершине 18° , причем они будут казаться исключительно яркими и синими. Если при такой скорости корабля вы посмотрите назад, то увидите звезды, которые постепенно будут блекнуть и в конце концов при скорости корабля, равной скорости света, исчезнут совсем.

Температура

Каким образом в космическом корабле и в космическом скафандре поддерживается оптимальный температурный режим, будет рассказано в главе V. Здесь мы рассмотрим лишь влияние температуры на космического путешественника. Еще в 1878 году известный французский физиолог Клод Бернар писал: «Среда, в которой паходятся внутренние органы и ткани человеческого тела, всегда постоянна. Изменения в окружающей человека атмосфере на нее не влияют, и поэтому можно считать, что у высших животных физические условия внутренней среды неизменны. Все механизмы их жизнедеятельности направлены на выполнение единой задачи: сохранить постоянство этих условий».

Одним из основных параметров физических условий внутренней среды является постоянная температура внутренних органов человека, которая составляет 37°C и изменяется лишь в очень небольших пределах. Увеличение температуры тела всего на 10% даже на весьма непродолжительный отрезок времени для высших животных, и особенно для человека, может быть смертельным. Столь изумительная стабильность температуры является результатом взаимосвязанной работы нескольких физиологиче-

ских систем теплового гомеостаза, который поддерживает равновесие (баланс) между теплом, вырабатываемым человеческим телом, и теплом, отводимым во внешнюю среду. Этот процесс иллюстрирует приведенная на помещенном ниже рисунке механическая модель. Тепло вырабатывает-

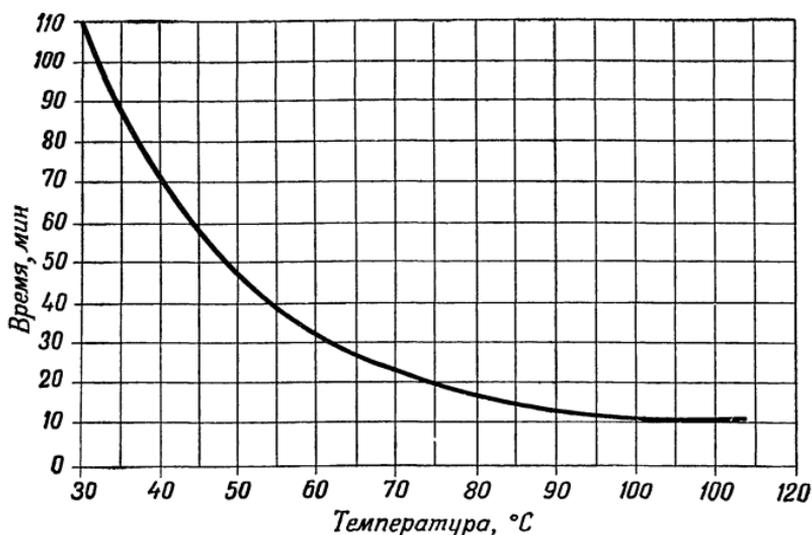


Теоретическая модель, показывающая, как поддерживается в организме человека тепловой баланс (температура внутренних органов изменяется не более чем на $0,5^{\circ}\text{C}$). Тепло, образующееся в результате метаболических процессов в тканях (1), передается потоком крови через сердце (2) к охлаждаемому воздухом легким (3) и снова возвращается к двойному насосу — сердцу (2). Отсюда тепло передается к коже (8) — главному холодильнику. Тепловой поток регулируется чувствительным термостатирующим органом — гипоталамусом (4) — и управляется клапанами мелких артерий (7). Гипоталамус, воспринимая сигналы о перегреве тела, которые он получает от кожных терморецепторов (6), приводит в действие потовые железы (5) и затормаживает в тканях организма (1) метаболические процессы.

ся в результате протекающих при обмене веществ (метаболизме) реакций окисления веществ, содержащихся в продуктах питания. Оно отводится в окружающую среду через кожный покров посредством лучеиспускания, теплопроводности и конвекции, легкими, а также с мочой и фекальными массами, причем на долю кожного покрова

приходится около 87% отводимого тепла. К указанным трем способам добавляется еще и испарение (когда человек потеет). Только 11% тепла отводится выдыхаемым из легких воздухом и 2% — мочой и фекальными массами.

На Земле, где температура воздуха колеблется от -70 до $+50^{\circ}\text{C}$, сложная система терморегуляции человека про-



Время, в течение которого человек способен эффективно работать в условиях экстремально высоких температур окружающей среды. Температуру внутри кабины космического корабля тщательно поддерживают в пределах оптимальной величины.

шла большой эволюционный путь. Используя соответствующую одежду и другие средства защиты, человек может жить в любом уголке земного шара, начиная от знойной пустыни и кончая полярными областями. Однако никакая одежда не поможет человеку адаптироваться к температурным условиям космического пространства. В лабораторных условиях, используя очень сложную искусственную защиту, человек едва способен переносить в течение коротких промежутков времени температуры ниже -50° и выше $+260^{\circ}\text{C}$. Эти экстремальные температуры ни в коем случае нельзя считать пределами функциональных возможностей человека, так как тепловой функциональный диапазон человека гораздо уже. Наивысшая работоспособность сохраняется при отклонении температуры окружающей среды от оптимального значения на $\pm 5^{\circ}\text{C}$. При внешней

температуре ниже 10°C теряют гибкость пальцы, а при температуре выше 25°C становится очень утомительной тяжелая физическая работа. При температуре $+30^{\circ}$ замедляется умственная деятельность. Приведенный график показывает, как зависит продолжительность эффективной работы от температуры окружающей среды.

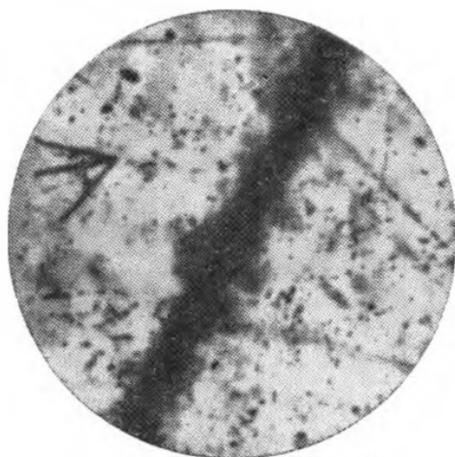
Если исключить солнечное излучение, то самым большим источником тепла, который воздействует на космический корабль, является аэродинамическое трение во время запуска корабля и вхождения его в плотные слои атмосферы при возвращении на Землю. Когда корабль «Аполлон» со скоростью $40\,000\text{ км/час}$ проходит через плотные слои атмосферы, температура его головной части и теплозащитной оболочки достигает 2260°C . При такой температуре материалы, из которых выполнена эта оболочка, плавятся и испаряются в окружающее пространство, унося с собой тепло. Небольшое количество тепла проходит через обшивку внутрь корабля, но система жизнеобеспечения корабля и скафандры обеспечивают космонавтам температуру около 23°C .

Таким образом, можно считать, что в ближайшем будущем большую часть работы в космосе человек будет проводить внутри космического корабля и в скафандре на поверхности Луны или на удаленной на сотни километров земной орбите. В каждом случае он будет защищен современными средствами от воздействия температурных условий окружающей среды. Но, очевидно, для полетов в межпланетное пространство инженерам придется разработать еще более совершенные системы тепловой защиты.

Радиация

Для человека в космосе значительную опасность представляет радиация. Защита от нее требуется сразу же, как только останутся позади окружающие Землю атмосфера и магнитные поля. Радиационное излучение в космосе — это поток заряженных и незаряженных частиц и электромагнитного излучения. Такие же условия существуют на Луне, лишенной атмосферы и магнитного поля. В космическом полете наиболее опасна ионизирующая радиация, к которой относятся рентгеновские лучи и гамма-излучение Солнца, частицы, образующиеся во время солнечных (хромосферных) вспышек, солнечный ветер, солнечные,

галактические и внегалактические космические лучи, электроны и протоны радиационных поясов, нейтроны и альфа-частицы. К неионизирующей радиации относится инфракрасное и ультрафиолетовое излучения Солнца, видимый свет и электромагнитное излучение радиочастотного диапазона. Эти виды излучения не представляют большой опасности для космонавта, так как сквозь обшивку косми-



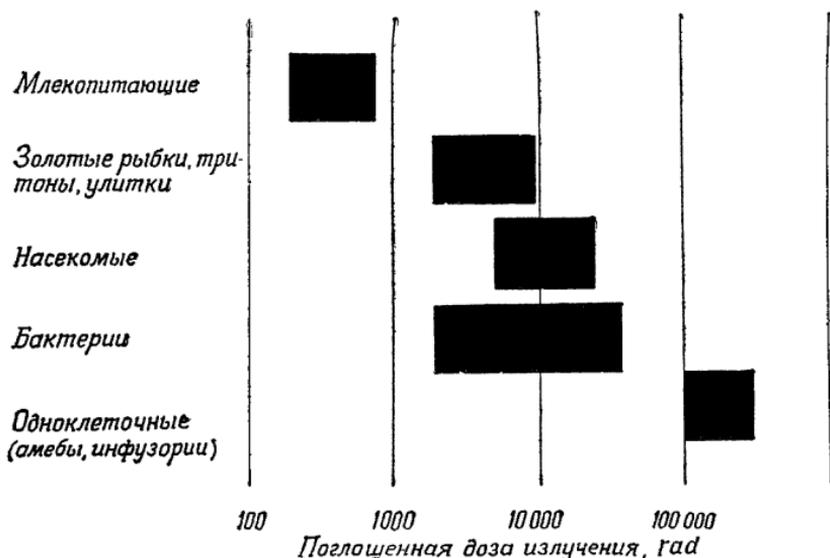
При космическом излучении частицы с высокой энергией, проникая в ткани тела и теряя свою энергию, ионизируют атомы вдоль пути пробега и таким образом разрушают клетки ткани. На микрофотографии показан след частицы с атомным номером $Z=24\pm 2$ (титан, ванадий, хром, марганец или железо).

ческого корабля или оболочку скафандра они не проникают.

Ионизирующая радиация оказывает вредное воздействие на протекающие в клетках человеческого организма жизненные процессы. При прохождении частиц высокой энергии, или *фотонов*, через вещество на их пути в результате взаимодействия с атомами вещества образуются пары заряженных частиц — ионы. Отсюда и название — *ионизирующая радиация*. Типичный путь (трек) прохождения через вещество тяжелой ионизирующей частицы (атомный номер $Z=24\pm 2$) первичного космического излучения представлен на помещенной выше микрофотографии.

На биологическом объекте действие ионизирующей радиации сказывается в значительно большей степени, чем

на неживом веществе. Живая ткань представляет собой организацию высокоспециализированных клеток, которые постоянно обновляются. Их обновление — процесс динамический. Неживые объекты, например камни, являются малоизменяющимися конструкциями из кирпичиков-молекул, как правило, нечувствительных даже к весьма большим до-



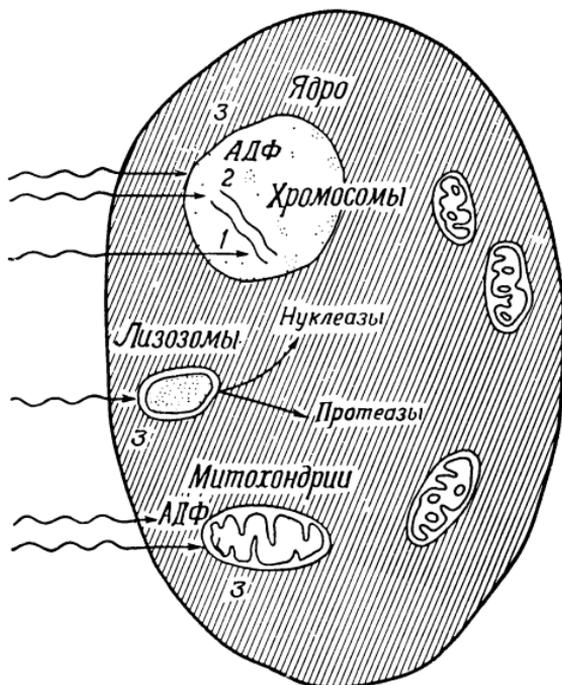
Устойчивость организмов к действию радиации тем меньше, чем выше уровень их эволюционного развития.

зам ионизирующей радиации. В противоположность этому у живых организмов чувствительность к воздействию ионизирующей радиации тем больше, чем выше уровень их эволюционного развития (см. диаграмму)*. Особенно чувствительны к радиации клетки кроветворных тканей и костного мозга.

Механизм радиационных поражений весьма разнообразен и до конца не ясен. Очевидно, часть радиационных поражений связана с механическим повреждением (разры-

* Для определения меры действия излучения пользуются понятием *поглощенной дозы излучения* — это энергия любого вида излучения, поглощенная единицей массы облучаемого вещества. Для всех ионизирующих излучений поглощенная доза измеряется в радах (rad): 1 rad составляет 100 эрг энергии, поглощенной 1 г вещества. — *Прим. ред.*

вом) важных в биологическом отношении молекулярных структур, таких, например, как хромосомы, а часть — со сложными химическими процессами. Первоначально незагрязненные осколки молекул превращаются в высокоактивные радикалы, такие, как OH , HO_2 и H . Они могут рекомбинироваться в H_2O_2 или вступать в реакцию с органиче-



Значительные дозы радиации могут наносить ущерб клеткам, вызывая разрывы генов в хромосомах (1), замедляя синтез АДФ (аденозинтрифосфата), необходимого для осуществления энергетических процессов (2), либо разрушая клеточные мембраны или увеличивая их проницаемость, вследствие чего нарушается внутриклеточное биохимическое равновесие (3).

скими веществами клетки, нарушая клеточный метаболизм.

Таким образом, вероятно, можно сказать, что радиационное поражение клеток происходит как в результате непосредственного повреждения молекул биологически важных веществ (например, дезоксирибонуклеиновой кислоты), так и вследствие вторичных химических реакций внутри ядра и протоплазмы. Схема радиационного пораже-

ния клетки представлена на рисунке, приведенном на стр. 45.

Радиация оказывает влияние и на воспроизводительные функции организма, нередко вызывая изменение в генетическом аппарате. О том, в каких формах это может проявляться, выдвинуто немало предположений. По-видимому, существует реальная опасность мутаций в результате изменений в хромосомном аппарате. В зависимости от поглощенной дозы излучения может наступить и бесплодие.

Ценные материалы дает изучение генетических поражений, вызванных радиацией, у животных; однако результаты этих исследований, проводимых главным образом в лабораторных условиях, нельзя переносить на человека, тем более что в условиях космического пространства возникают еще и синергетические эффекты. В лаборатории в Лос-Аламосе (штат Нью-Мексико) проводилось облучение каждого из 25 последовательных поколений мышей-самцов, доза облучения в 6000 раз превышала обычный для земных условий радиационный фон. В результате этого эксперимента было установлено сокращение числа особей в каждом помете, увеличение числа мертворожденных и случаев рождения особей с водянкой головного мозга; снизилась и выносливость потомства по отношению к стрессовым физическим нагрузкам. На советском искусственном спутнике Земли «Космос-110» был проведен длительный медико-биологический эксперимент на двух собаках (самцах), которые находились в условиях орбитального полета в течение 22 дней. После этого у собак обнаружили от 30 до 70% аномальных сперматозоидов, в то время как у контрольных животных количество таких сперматозоидов составило 10—15%. Однако, несмотря на это, собаки, побывавшие в космосе, дали здоровое потомство.

Мы имеем мало данных относительно уровней ионизирующей радиации, которой может подвергнуться космический корабль. Все они основываются на результатах экспериментов, полученных во время непродолжительных орбитальных полетов вокруг Земли. Поэтому установить требования к защите от радиации при продолжительных и дальних космических полетах необычайно трудно. Тем не менее на основании медико-биологических исследований и предполагаемых уровней радиации, существующих в космосе, были определены предельно допустимые дозы радиации для космонавтов, участвующих в выполнении програм-

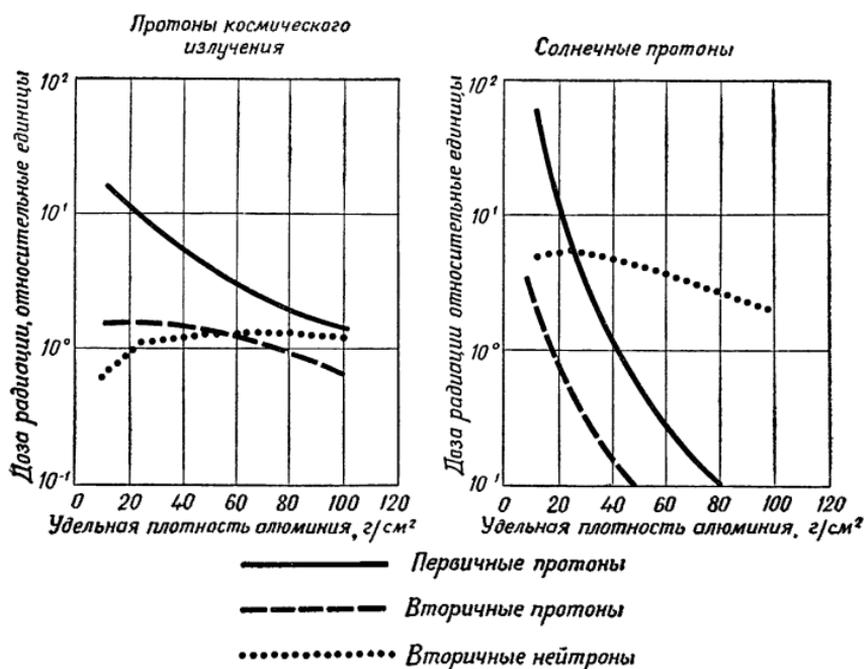
мы «Аполлон». Эти предельно допустимые дозы составляют 980 *бэр* для ступней ног, лодыжек (голеностопных суставов) и кистей рук, 700 *бэр* для кожного покрова (всего тела), 200 *бэр* для кроветворных органов и 200 *бэр* для глаз*. Результаты экспериментов на растениях и других биологических объектах, которые проводились на американском спутнике для биологических исследований космического пространства «Биос-2», запущенном 7 сентября 1967 года, показали, что в условиях невесомости влияние радиации усиливается (синергизм). Если эти данные подтвердятся, то опасность космической радиации для человека, вероятно, окажется большей, чем предполагалось первоначально. Вероятно, она будет более губительна для молодых быстро делящихся клеток или для активных половых клеток. После определения эффекта от совместного воздействия невесомости и радиации на дрозофил (плодовых мушек), мучных жучков, ос, оранжевую хлебную плесень и другие биологические объекты, имевшиеся в капсуле «Биос-2», ученые пришли к выводу, что в условиях космоса живой организм более чувствителен к радиации, чем на Земле.

Лучший способ ослабить ионизирующую радиацию — это поглотить ее энергию при прохождении через толщу какого-либо вещества. Поэтому проблема защиты космонавта от радиации сводится к изысканию наиболее эффективного экранирующего материала, при этом не следует забывать о требованиях минимального веса. Идеальная защита от радиации должна иметь эффективную плотность земной атмосферы, то есть 1000 г/см^2 , и такое же магнитное поле, как вокруг земного шара в районе экватора. Для создания эквивалентной защиты от радиации в космосе потребовался бы слой воды толщиной около 10 м или свинцовый экран толщиной около 1 м. Насколько сложна проблема защиты от радиации, видно из графика. На нем показано, какие дозы (в относительных единицах) получают космонавты внутри космического корабля при облучении

* *Бэр* — биологический эквивалент рентгена. В *бэрах* измеряется биологическая доза излучения — величина, определяющая биологическое воздействие излучения на организм. Доза в 1 *бэр* любого ионизирующего излучения вызывает биологический эффект аналогичный эффекту от воздействия 1 *рад* рентгеновского излучения, поглощенного той же тканью. — *Прим. ред.*

ионизирующими частицами нескольких видов (первичные протоны, вторичные протоны и нейтроны) в случае использования защитного алюминиевого экрана различной толщины.

Увеличение веса экранов не поможет решить проблему, так как при прохождении электронов высоких энергий через металлы генерируется рентгеновское излучение (явление, известное как «тормозное излучение»). Когда корабль проходит через магнитные пояса, в нем возникают мощные потоки вторичной радиации. Другого рода вторичная радиация (потоки мезонов, каскадных и испарительных нейтронов, а также протонов отдачи) возникает в результате ядерных взаимодействий в экранирующем материале. Все эти виды вторичной радиации представляют потенциальную опасность для космонавтов. Если эта опасность велика, для защиты от вторичной радиации в будущих космических кораблях придется делать внутренние экраны. Может быть,



Захваченные протоны из состава космических лучей и солнечные протоны поясов Ван Аллена вызывают в космическом корабле вторичную радиацию, дозы которой зависят от толщины алюминиевой обшивки в гипотетическом космическом корабле.

вокруг космического корабля будут создаваться искусственные магнитные поля, которые защитят корабль подобно тому, как Землю защищают окружающие ее магнитные пояса.

Корпус корабля «Аполлон», сделанный в основном из алюминия, нержавеющей стали и фенольно-эпоксидных смол, создает экран плотностью $7,5 \text{ г/см}^2$. Такого экрана достаточно для защиты трех космонавтов от обычной солнечной радиации. Самая мощная из зарегистрированных до сих пор солнечных вспышек создала бы для космонавтов внутри этого корабля дозу облучения всего лишь в 70 мрад . Лунный же модуль корабля «Аполлон» имеет экран плотностью всего лишь $1,5 \text{ г/см}^2$, который для защиты космонавтов от таких солнечных вспышек недостаточен.

В настоящее время ведутся большие работы по изысканию фармакологических средств защиты человека от облучения. Среди множества исследуемых препаратов можно назвать цистамин, цистеин, глутатион и аминокэтилзио-тиуроний. Однако применение этих препаратов в силу ряда причин не дает особенно эффективных результатов. Дело в том, что, во-первых, большинство экспериментов проводилось на животных и в наземных условиях, а во-вторых, такие препараты необходимо вводить в организм человека до начала облучения. Кроме того, существует проблема токсичности этих препаратов. К тому же с помощью фармакологических средств можно обеспечить человеку защиту от рентгеновских лучей и гамма-излучения, но не от сильного ионизирующего излучения альфа-частиц, протонов и быстрых нейтронов.

Следует отметить, что дозы облучения на Луне, вероятно, невелики, но, чтобы не подвергать космонавтов риску облучения во время экспедиций на Луну, необходимы тщательные расчеты по предсказанию солнечных вспышек.

Взрывная декомпрессия

Мы уже говорили о влиянии на организм человека пониженного давления окружающей среды. Однако особую опасность представляет так называемая *взрывная декомпрессия* — резкое падение давления воздуха в кабине космического корабля, которое может произойти в результате внезапной ее разгерметизации.

Если утечка воздуха из корабля будет происходить

медленно, то космонавты будут иметь время, чтобы надеть скафандры или произвести необходимые аварийно-ремонтные работы (если такой ремонт окажется возможным). Во время орбитальных полетов пилотируемых космических кораблей случаев повреждения их обшивки не наблюдалось, но американский автоматический космический летательный аппарат «Маринер-4», запущенный к Марсу, полностью вышел из строя (22 декабря 1967 года) при встрече с роем метеоритов, которые неслись навстречу ему со скоростями от 130 000 до 160 000 км/час (относительно корабля).

Еще до недавнего времени влияние взрывной декомпрессии изучали главным образом по данным аварий в кабинах высотных самолетов, а также по материалам экспериментов над животными в барокамерах. Опыты с животными, проведенные в 1966 году в Школе авиационной медицины ВВС США, позволяют считать, что в условиях взрывной декомпрессии человек, вероятно, располагает сравнительно большим запасом так называемого *резервного времени* (время, в течение которого человек не теряет в таких условиях сознания), чем это предполагалось раньше. В течение 1 сек давление в барокамере, где находились животные, понижали со 180 мм рт. ст. до менее чем 2 мм рт. ст. При столь низком давлении собаки находились в течение 5—10 сек, а шимпанзе — до 150 сек. И собаки и шимпанзе через 9—12 сек после начала декомпрессии впадали в шок-овое состояние. В этот момент у них можно было наблюдать «раздутие» тел, конвульсии, затрудненное дыхание и общее спастическое состояние мышц. И если у 18—20% собак после 120—180 сек декомпрессии наступала смерть, то у всех шимпанзе после декомпрессии в течение 150 сек восстанавливалось нормальное состояние без каких-либо последствий для нервной системы. После рекомпрессии (повышения давления до нормального) они начинали самопроизвольно дышать. Следовательно, их сердечно-сосудистая система функционировала еще достаточно хорошо, чтобы восстановить нормальное кровяное давление.

Нескольких шимпанзе подвергли декомпрессии в атмосфере чистого кислорода, давление в барокамере снижалось в течение 0,8 сек со 179 до 2 мм рт. ст., животных выдерживали при этом низком давлении 210 сек. После рекомпрессии, производившейся постепенно, шимпанзе поправлялись и были способны выполнять сложные задания, ко-

торым их прежде обучили. Повторные эксперименты неизменно давали те же результаты. Это свидетельствует о том, что человек тоже способен переносить экстремально низкие давления лучше, чем мы предполагаем. Вполне вероятно, что космонавта, находящегося за пределами космического корабля, можно будет спасти, если его скафандр неожиданно получит повреждения и в нем вследствие утечки начнет резко понижаться давление воздуха или кислорода.

Самая большая опасность при взрывной декомпрессии возникает в том случае, если космический корабль с атмосферой чистого кислорода, находящегося под давлением 0,35 атм, получит пробой от метеорита. При этом расплавленный металл с наружных поверхностей корабля попадет в кабину и загорится, вспышка его будет в десятки раз ярче фотографической лампы-вспышки, а температура на какое-то мгновение поднимется до 800° С. Из приведенного на стр. 52 графика видно, каким «резервным временем» располагает космонавт (до того как он потеряет сознание) при наступлении взрывной декомпрессии.

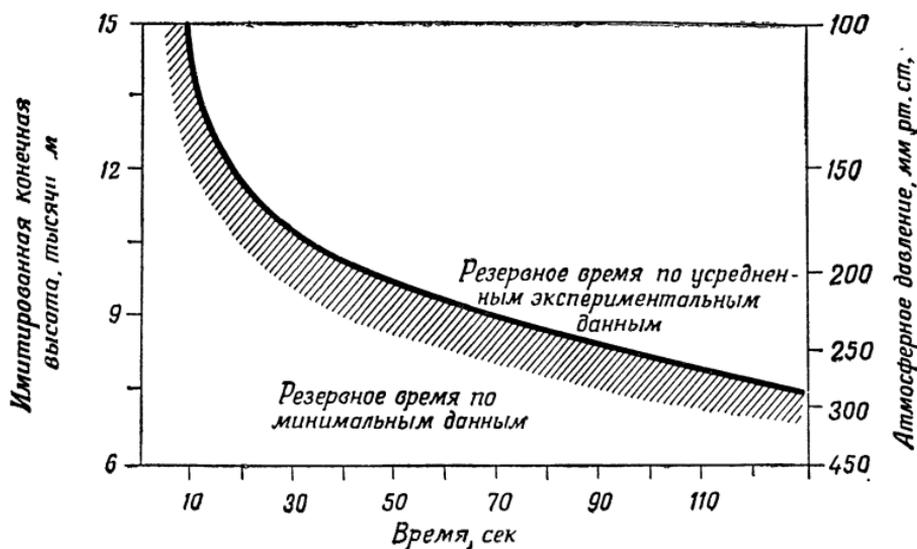
Магнитные поля

Одним из наименее изученных вопросов, связанных с космическими полетами, является стресс, который вызывают сильные магнитные поля. В этой области биофизиками проведено еще очень мало исследований, однако и в СССР, и в США после 1960 года темпы работ в этом направлении увеличились.

Эксперименты с животными в магнитных полях, более сильных или, наоборот, более слабых, чем магнитное поле Земли, дали результаты, которые почти невозможно обобщить. Так, у мышей, выросших в магнитном поле, напряженность которого в 5000 раз превышала напряженность магнитного поля Земли и изменялась в зависимости от времени и места от 0,03 до 0,4 эрстед, наблюдали увеличение числа белых кровяных телец, исчезновение раковых образований (опухолей) и ослабление полового инстинкта. Потомство, рожденное в этом магнитном поле, умирало через несколько дней. Мыши-самцы, не достигшие половой зрелости, при воздействии такого магнитного поля тоже погибали. Взрослые же мыши-самцы в тех же условиях выживали. В другом эксперименте постоянное магнитное поле

напряженностью 2000 эрстед оказывало целебное действие на ожоги у кроликов, которых на протяжении 10 дней трижды в день подвергали воздействию магнитного поля.

В магнитном поле напряженностью 140 000 эрстед значительно уменьшается скорость деления клеток в яйцах



Резервное время, которым располагает космонавт при разгерметизации кабины космического корабля.

морских ежей, и в то же время оно заметно не влияет на двигательную активность мышей или на период жизни плодовых мушек. Морские водоросли типа хлореллы в магнитном поле, напряженность которого изменяется от 4000 до 20 000 эрстед, растут на 106—138% быстрее, чем контрольные экземпляры. В магнитном поле напряженностью 70 000 эрстед частота сердечных сокращений у обезьян уменьшается с 300 до 220 ударов в минуту. Под влиянием магнитных полей, приблизительно равных по напряженности полям на поверхности Луны, у пары мышей наблюдалось поедание приплода, а у самки происходили частые самопроизвольные выкидыши.

Советские ученые в разное время сообщали, что сильные магнитные поля ослабляют память, изменяют зрительные образы, возникающие у человека под влиянием гипноза, вызывают полусонное состояние, замедляют «волновую» деятельность мозга и ослабляют реакцию на бсль.

Приводились данные о том, что мозг, отключенный от всех нервных связей с органами чувств, сильнее реагирует на магнитное поле, чем мозг с неперерезанными нервными связями. По мнению ученых, это свидетельствует о непосредственном воздействии магнитного поля на структуру и ткани мозга.

Несмотря на столь разнообразные результаты наблюдений и экспериментальные данные о влиянии магнитного поля на человеческий организм, известно лишь одно: находящийся в магнитном поле человек при повороте головы видит *мерцающую или бесцветную вспышку*. Физиологический механизм этого явления еще полностью не выяснен, но, по-видимому, оно безвредно для организма.

Таким образом, воздействие магнитных полей на человека является еще малоисследованным фактором космического полета. Поскольку в будущем сильные магнитные поля предполагается использовать для защиты космических кораблей от радиации и метеоритных частиц, и особенно в связи с использованием магнитогидродинамических двигателей, исследования в этой области биофизики представляются очень важными.

Ионизированный воздух

Ионизированный воздух является тоже малоисследованным фактором в экологии космического корабля. И хотя влияние ионизированного воздуха на человеческий организм почти не исследовалось, вполне определенно можно сказать, что такое влияние существует. Так, например, было замечено, что если в воздухе имеются отрицательные ионы, то работоспособность человека повышается и улучшается самочувствие; обратное происходит в среде, содержащей положительные ионы. У людей, принимавших участие в опытах по воздействию воздуха с отрицательной ионизацией, было бодрое настроение, в то время как в положительно ионизированном воздухе у них наступало состояние депрессии.

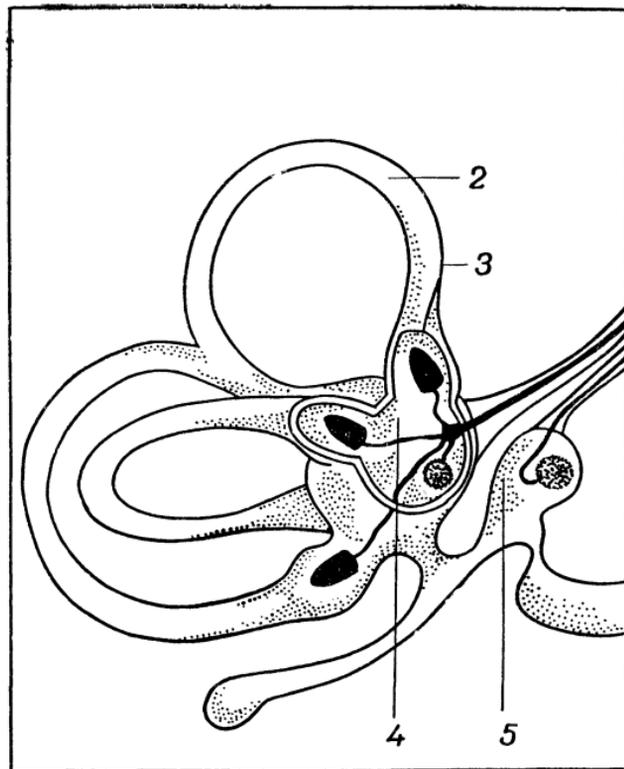
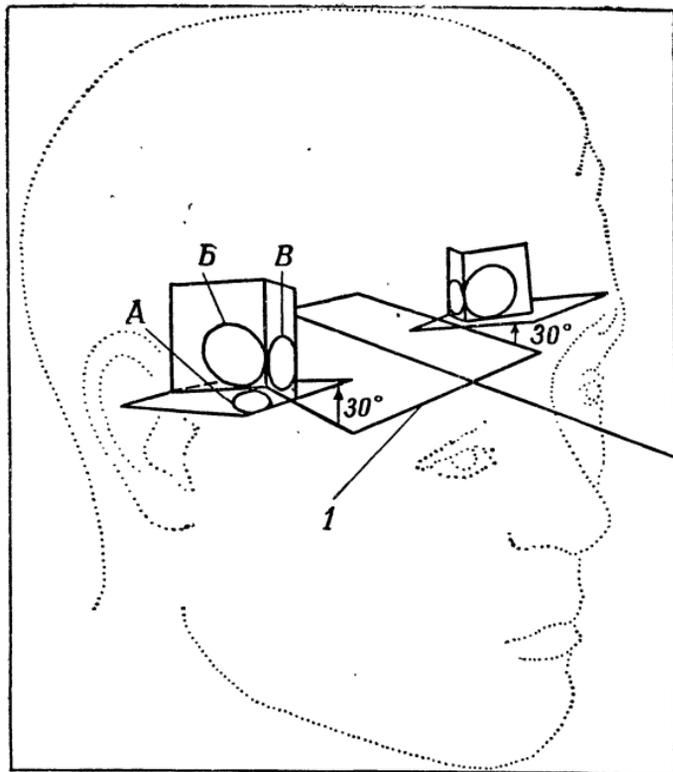
В космическом корабле космонавта окружает небольшой замкнутый объем воздуха; радиация и имеющееся на борту электрическое оборудование являются источниками его ионизации. От полярности этой ионизации зависит полезное или, наоборот, вредное воздействие оказывает на космонавта воздух в кабине. Так как кислород обычно об-

разует отрицательно заряженные ионы, то ионизация в атмосфере чистого кислорода будет оказывать благотворное воздействие. Однако образуемые углекислым газом положительные ионы могут свести его на нет. Во всех случаях изменения в состоянии испытуемых не обнаруживали до тех пор, пока концентрация ионов не достигала исключительно большой величины, составляющей несколько миллионов ионов в одном кубическом сантиметре. Эксперименты по влиянию ионизированного воздуха на человека проводить очень трудно, так как весьма сложно получать в непосредственной близости к нему такие высокие концентрации ионов.

Невесомость

До недавнего времени невесомость считали очень серьезной опасностью, угрожающей человеку в космическом полете. Однако сейчас установлено, что космонавт к этому состоянию адаптируется. Перед первыми пилотируемыми полетами в космос ожидали, что в условиях невесомости у космонавта наступят самые разнообразные расстройства. Предполагали, что в числе этих расстройств будет образование язв, размягчение костей и потеря веса, снижение мышечного тонуса, развитие легочных инфекций, морская болезнь, нарушение системы ориентации, образование камней в почках, возникновение синуситов и обезвоживание организма, развитие ортостатического коллапса («ленивое сердце»), а также потеря аппетита. Однако советские и американские космонавты во время полетов, длившихся до 14 суток, получили в той или иной форме лишь немногие из этих расстройств.

Особенно большие опасения вызывало предположение, что в условиях невесомости космонавт потеряет способность к ориентации, так как его вестибулярному аппарату придется функционировать в отсутствие гравитационного поля. Вестибулярный аппарат — сложная биологическая система (см. схематическое изображение). Она состоит из трех полукружных каналов и отолитовых органов, которые часто сравнивают с инерциальной системой стабилизации космического корабля или по крайней мере с его стабилизированной платформой. Три полукружных канала, расположенные во взаимно перпендикулярных плоскостях, являются рецепторами угловых ускорений. Овальный и круглый мешочки, расположенные приблизительно под



Основным органом системы пространственной ориентации человека является вестибулярный аппарат внутреннего уха. Полукружные каналы *A, B, B* (слева) дают человеку ощущение угловых ускорений относительно трех взаимно перпендикулярных осей. Овальный и круглый мешочки (справа) воспринимают линейные ускорения. Нервные сигналы от этих органов позволяют головному мозгу сохранять пространственную ориентацию.

1 — горизонтальная плоскость; *2* — полукружный канал; *3* — ампула; *4* — овальный мешочек; *5* — круглый мешочек.

прямым углом относительно друг друга, позволяют воспринимать линейные ускорения.

Нервные сигналы, вырабатываемые в результате стимуляции этого органа, суммируются в центральной нервной системе с сигналами, вырабатываемыми проприорецепторами, и таким образом сообщают человеку информацию о положении его конечностей, шеи и туловища в пространстве. Суммируются также сигналы, поступающие от органа зрения, и сигналы, вырабатываемые тактильными рецепторами кожи. Ушной лабиринт, глаза и систему проприорецепторов часто называют «триадой ориентации».

У космонавтов наблюдались лишь некоторые расстройства способности к ориентации, и только Г. С. Титов («Восток-2») был близок к морской болезни. У космонавтов Б. Б. Егорова и К. П. Феоктистова («Восход-1») на протяжении большей части полета было ощущение, что они находятся в положении «вверх ногами». Они испытывали также небольшое головокружение как при быстрых, так и при медленных поворотах головы. У Б. Б. Егорова к этому добавились потеря аппетита и неприятное ощущение в области живота, которое достигло максимума на седьмом часу полета. Однако ни один из космонавтов не потерял трудоспособности. Командир корабля «Восход-1» В. М. Комаров не испытывал никаких неприятных или болезненных влияний невесомости. По-видимому, в адаптации космонавта к условиям невесомости большую роль играет тренировка: В. М. Комаров имел за плечами несколько лет специальных тренировок, в то время как Б. Б. Егоров и К. П. Феоктистов тренировались лишь несколько месяцев. Очень важно, что не нарушалась способность к ориентации и у космонавтов, вышедших в открытый космос.

Гораздо опаснее, чем потеря способности к ориентации, влияние долговременной невесомости на сердечно-сосудистую систему космонавтов, которая ослабевает и теряет свой мышечный тонус. Действие невесомости отчетливо проявилось даже во время сравнительно непродолжительных полетов по программе «Меркурий». Так, вышедшего после приземления корабля «Фейт-7» космонавта Г. Купера заметно шатало. Причиной этого была ортостатическая гипотензия* и застой крови в ногах. Чтобы определить сте-

* Падение кровяного давления при перемещении человека из горизонтального или сидячего положения в вертикальное. — *Прим. ред.*

пень этого расстройства, в программу пилотируемых полетов «Джеминай» были включены соответствующие обследования. До и после полетов космонавтов обследовали на специально разработанном «наклонном столе». Исследования космонавтов, пробывших в состоянии невесомости 4, 8 и 14 суток, позволили установить, что сердечно-сосудистая система снова адаптируется к привычным условиям земной гравитации в течение 48—50 час. Испытания на велоэргометре также показали, что после 14-дневного полета на «Джеминай-7» работоспособность командира корабля Ф. Бормана снизилась на 19%, а второго пилота Дж. Ловелла — на 26%. Аналогичные симптомы зарегистрированы и у экипажа корабля «Восход-1».

Во время космических полетов отмечали также ряд второстепенных симптомов влияния невесомости. Так, несколько космонавтов, участвовавших в полетах по программе «Джеминай», сообщали о том, что в первые сутки полета они ощущали тяжесть в голове. Это ощущение было аналогично тому, которое испытывают гимнасты, повиснув на трапеции вниз головой, однако покраснения лица и глаз и пульсации крови в висках космонавты не наблюдали. Ощущение тяжести в голове продолжалось около восьми часов и затем пропадало. Причины этого явления еще полностью не выяснены, однако специалисты-медики полагают, что оно является следствием скопления крови в области грудной клетки, когда происходит перестройка системы кровообращения и адаптация ее к условиям невесомости.

Во время пребывания в условиях невесомости и американские и советские космонавты похудели. Потеря в весе составляла от 2 до 6% общего веса тела и, по-видимому, не зависела от продолжительности действия невесомости. Так, во время 14-дневного полета «Джеминай-7» космонавт Ф. Борман потерял 6,2% своего веса, а космонавт С. Карпентер во время полета на корабле-спутнике «Меркурий-7», длившегося всего лишь 5 час, потерял 3,9% своего веса. Аналогично этому советский космонавт В. Ф. Быковский во время пятидневного полета на корабле «Восток-5» потерял 3,6% своего веса. Очевидно, эти потери в весе не являются простым следствием обезвоживания организма; у большинства космонавтов вес восстанавливался в течение 24 час после окончания полета. Такие потери в весе могут быть вызваны изменением объема крови вследствие уменьшения содержания воды в плазме.

Под влиянием невесомости происходит также уменьшение содержания в костях кальция и других минеральных веществ. Измерить эти потери трудно, но чтобы хоть приблизительно оценить их, до полета и после него делают рентгенограммы, которые затем сравнивают с помощью денситометра. У советских и американских космонавтов наблюдалось также уменьшение общего объема крови, плазмы и количества и массы красных кровяных шариков (эритроцитов). Особенное недоумение вызывает уменьшение общей массы эритроцитов. Оно может быть вызвано влиянием невесомости, но в такой же мере может происходить и от воздействия гипоксии, диеты, а также неподвижности космонавта во время космического полета. Возможно, это является результатом воздействия нескольких из указанных факторов.

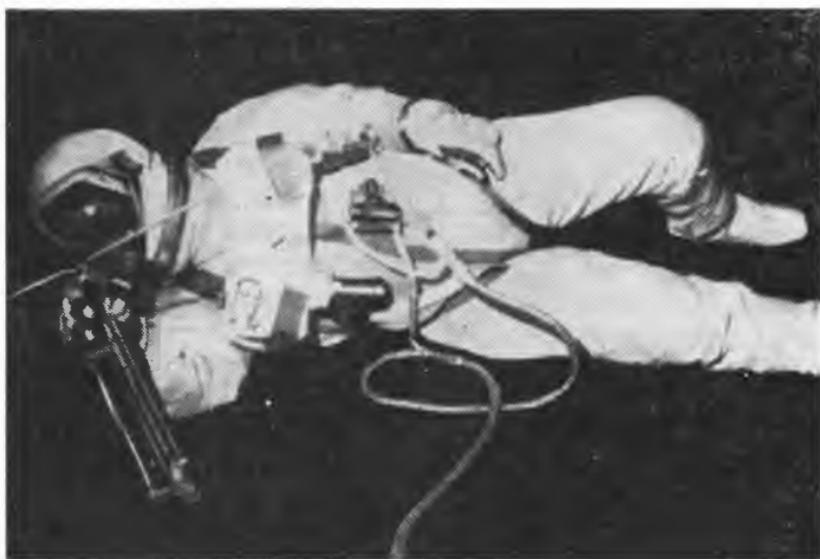
Располагая данными о деминерализации костей и ослаблении сердечно-сосудистой системы в условиях невесомости, ученые установили, как необходима космонавтам во время космического полета физическая тренировка. При полетах «Джеминай» космонавты пользовались для этой цели эспандером. В частности, во время 14-дневного полета «Джеминай-7» космонавты ежедневно в течение 10 мин использовали эспандер для тренировки рук и ног. Кроме того, они делали изометрическую гимнастику для поддержания тонуса мышц. Подобные простые устройства можно с успехом применять и на небольших космических кораблях. Чтобы экипаж космического корабля находился всегда в форме, на орбитальных станциях предполагается сооружать специальную центрифугу.

Можно и всему космическому кораблю сообщить небольшое вращательное движение, превратив его тем самым в некое подобие центрифуги, чтобы на космонавтов действовала искусственная частичная гравитация. Результаты исследований показывают, что для этих целей достаточно создать гравитацию всего лишь в 0,33 g. Однако при использовании эффекта вращения возникает сила Кориолиса, под действием которой руки и ноги космонавта движутся не в тех направлениях, в каких нужно. Такое нарушение координации движения проявляется особенно сильно, когда космонавт перемещается к центру или от центра вращения. Величина силы Кориолиса рассчитывается по формуле

$$F_{\text{кор}} = 2V \left(\frac{W + n}{Gr} \right)^{1/2},$$

где V — скорость передвижения космонавта;
 W — его вес;
 n — ускорение центрифуги, выраженное в единицах g ;
 G — гравитационная постоянная;
 r — радиус вращения платформы или станции.

Было предложено несколько способов создания в космическом корабле искусственной гравитации, один из них — использование магнитных ботинок, для передвижения по стальному полу. Эксперименты, проведенные в условиях кратковременной невесомости, которую создавали в самолете, летящем по баллистической кривой, показали, что использование таких ботинок вполне реально. Однако космонавты в таких ботинках передвигаются медленно и неестественно, и сами ботинки очень неудобны. Предполагается также использовать небольшие ручные реактивные двигатели, аналогичные тому, который применял космонавт Э. Уайт на «Джеминай-4» (см. снимок). Правда, такие двигатели трудно использовать на небольших космических станциях, да и просто непрактично применять их при передвижении на небольшие расстояния. Исследовалась и возможность использования ботинок с реактивными



Находясь в открытом космосе, американский космонавт Э. Уайт пользуется ручным реактивным двигателем.

двигателями. Но применение всех этих небольших реактивных двигателей требует сложного оборудования, поэтому для передвижения в условиях невесомости космонавту, вероятно, пока придется пользоваться тросами и поручнями.

В заключение можно сказать, что в условиях космического полета адаптивные изменения происходят, по-видимому, только в сердечно-сосудистой, кроветворной и мышечно-скелетной системах человека. Ни одно из этих изменений, вероятно, не достигает значительной величины за двухнедельный период. Поэтому специалисты в области космической медицины считают, что данные по физиологии человека, полученные во время осуществленных до настоящего времени космических полетов, можно считать справедливыми и для полетов с продолжительностью до 30 суток, во время которых, как можно надеяться, условия космоса не окажут вредного воздействия на организм человека. При подготовке более длительных полетов в космос понадобится значительно больший объем информации. Эту информацию легче всего получить на орбитальных космических станциях с многочисленным экипажем космонавтов, за которыми космонавты-медики смогут вести наблюдения в течение месяцев. И это, вероятно, будет следующим после исследования Луны шагом в американской и советской космических программах.

Как опасно быть человеком

В предыдущей главе мы рассмотрели, какие физиологические сдвиги возникают у человека во время космического полета. Но общая проблема стрессов, характерных для космического полета, гораздо сложнее из-за биологической лабильности человеческого организма, особенно когда вопрос касается способности человека переносить воздействия скорее психологического, нежели физиологического характера. Сегодня мы можем с определенной степенью уверенности определить, какие перегрузки может вынести человек при ускорении, но мы не можем столь же уверенно предсказать, как долго он может выносить изоляцию и пребывание в очень ограниченном пространстве кабины космического корабля.

Психофизиологический стресс

В общих чертах можно сказать, что физиологи рассматривают влияние определенных стрессов на те или иные подсистемы организма человека. Психологи же изучают влияние на поведение человека всего комплекса воздействий, вызываемых окружающей средой. Поэтому для описания стрессов, характерных для космического полета, очень удобно пользоваться термином «психофизиологические стрессы», особенно в тех случаях, когда эти стрессы трудно с определенностью отнести к категории чисто физиологических или чисто психологических. Стрессовое состояние у космонавтов вызывают такие факторы космического полета, как ограниченность движений в замкнутом объеме кабины, дыхание чистым кислородом при давлении 0,35 атм, шумы, возникающие при запуске корабля, невесомость, необходимость заставить себя в определенные часы спать или быть в состоянии готовности и т. д. Такое раз-

нообразии факторов и объясняет, почему трудно разграничивать физиологические и психологические стрессы космического полета, особенно когда многие из этих факторов действуют одновременно. В физиологии и психологии термин «стресс» часто используют, говоря либо об условиях окружающей среды, воздействующих на организм человека, либо об изменениях в организме при воздействии на него этих условий. Однако последнее время среди психологов стало принятым обозначать термином *стрессор* само воздействие — причину, а термином *стресс* — следствие этого воздействия, положение или состояние, вызванное стрессором. Хотя эти термины и могут облегчить описание процесса, однако они не помогают определить ни причину его, ни ее следствие, то есть не дают сведений, очень важных для предсказания того, какое влияние окажут стрессоры на состояние космонавта.

Согласно механической, но наглядной модели, человеческий организм можно представить в виде системы с входами и выходами энергии и информации. Информацию на входе можно рассматривать как вид закодированной входной энергии, которую может декодировать эта система (человек). Информация же на выходе — это форма энергии, которую могут декодировать другие, внешние по отношению к человеку системы. Система (человек) старается поддерживать в неизменном состоянии многие свои параметры с помощью механизмов гомеостаза, например с помощью системы терморегуляции. Нарушающие состояние гомеостаза сигналы на входе (с регулированием которых не справляются его механизмы) являются стрессорами, а изменения на выходе системы, свидетельствующие о том, что пришли в действие механизмы компенсации, можно определить как стрессы.

Пользуясь этой моделью, психологи могут изучать картину поведения космонавта в необычных для него условиях, рассматривая энергетические и информационные изменения на входе и выходе системы. Таким образом, по крайней мере косвенным путем они могут по симптомам стресса делать выводы и о самих стрессорах.

Для определения психофизиологического стресса используют перцепторные, двигательные и познавательные тесты, а также тесты для эмоциональных реакций. Однако для проведения опытов с использованием большинства из этих тестов необходимо активное личное общение психо-

лога с испытываемым. В космическом корабле слишком тесно, чтобы принять для этого еще одного пассажира. Правда, на советском корабле «Восток-1» одним из членов экипажа был врач и космонавты выполняли тесты по координации движений, используя при этом специальный прибор «координограф», описанный в главе VI. Психолог, находящийся на Земле, должен пользоваться другими способами, чтобы делать заключения о стрессорах космического полета, даже если он не может их определить с полной уверенностью. Для этого он использует данные биотелеметрии о частоте пульса и дыхания, давлении крови, об изменениях электрического сопротивления кожи, электроэнцефалограмм, о движении глаз и данные испытаний точности работы руками (например, проба почерка, рисование). Советские и американские специалисты-медики при оценке состояния экипажей кораблей серии «Восток», «Меркурий» и «Джеминай» использовали такие данные. Хорошим показателем стресса является частота пульса, что видно из приведенной ниже таблицы, в которой сравниваются нормальная частота пульса космонавтов и частота пульса во время запуска космического корабля. Кроме того, о силе стресса, возникающего во время космического полета, можно судить по результатам биохимического анализа крови и мочи. Например, у космонавтов, летавших на кораблях «Джеминай-7» и «Джеминай-9», делали анализы мочи

ПУЛЬС КОСМОНАВТОВ ДО И ВО ВРЕМЯ ЗАПУСКА КОСМИЧЕСКОГО КОРАБЛЯ

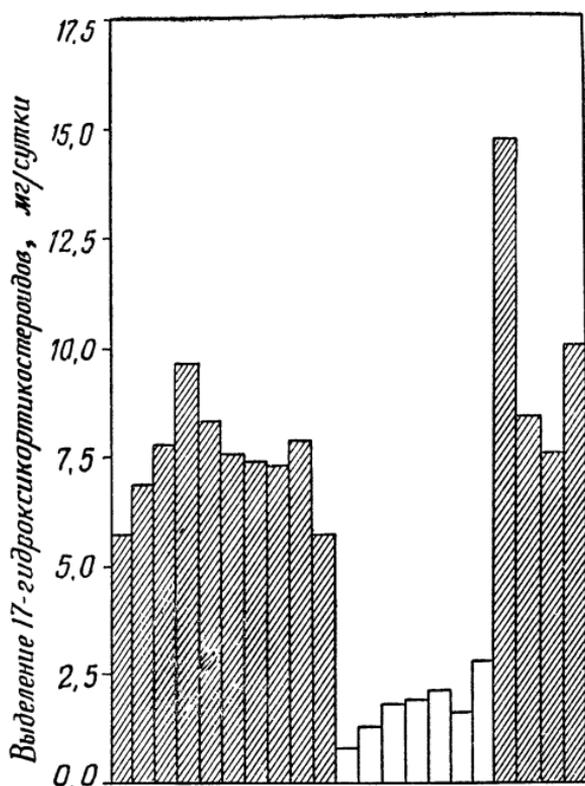
Космонавт	Частота пульса в ударах в минуту	
	до запуска	во время запуска
Ю. А. Гагарин, «Восток-1»	64*	120
Г. С. Титов, «Восток-2»	69*	112
А. Г. Николаев, «Восток-3»	64*	119
П. Р. Попович, «Восток-4»	58*	120
Дж. Гленн, «Меркурий 6»	68**	114
С. Карпентер, «Меркурий-7»	65**	96
У. Ширра, «Меркурий-8»	64**	112
Г. Купер, «Меркурий 9»	76**	147***

* За 8 дней до запуска

** Утром в день запуска

*** В момент прекращения работы двигателей.

на содержание гормонов катехоламинов (показатель быстрой реакции на стресс) и 17-гидроокортикостероидов (показатель продолжительности реакции на стресс). Результаты определения катехоламинов были неубедительными, но анализ на содержание 17-гидроокортикостероидов показал с полной очевидностью снижение уровня содержания этого гормона во время полета (см. график).



Результаты анализов мочи командира корабля «Джеминай-7» до полета (слева), во время полета (в центре) и после полета (справа). Во время полета содержание 17-гидроокортикостероидов заметно уменьшалось, что указывает на отсутствие стрессов, вызывающих значительное выделение этого гормона.

Внешне это, казалось бы, указывает на общий дефицит воздействий (стрессоров), под влиянием которых вырабатывается этот гормон*. Но в послеполетный период его со-

* Это можно объяснить и развитием запредельного торможения. — Прим. ред.

держание увеличивается, что вызвано, вероятно, стрессом возвращения космического корабля в плотные слои атмосферы.

Таким образом, с помощью имеющихся в распоряжении психологов методов мы можем только приблизительно анализировать результаты воздействия различных условий космического полета. Однако даже та небольшая информация, которой мы располагаем, позволяет считать, что опасность многих психофизиологических стрессоров, представлявшихся как серьезная угроза для человека в космосе, преувеличена, по крайней мере на современном этапе пилотируемых полетов в космос.

Изоляция и сенсорный голод

Раньше считали, что при полете в космос особую угрозу для человека представляют его изолированность и сенсорный голод (депривация. — *Ред.*) — скудность стимулирующих воздействий на органы чувств. Ведь космонавт будет находиться в одиночестве в ограниченном объеме кабины космического корабля, а связь с другими людьми будет поддерживаться лишь с помощью радио. Совместное воздействие изоляции и ограниченного объема кабины при дефиците сенсорных ощущений может вызвать у космонавтов серьезные психические расстройства. Какое-то представление о субъективных ощущениях человека во время изоляции в ограниченном замкнутом объеме дают книги адмирала Р. Е. Берда, С. Бурнея, генерала У. Ф. Дина, очень живо описывающие влияние на человека социальной (общественной) и культурной изоляции. На эти книги ссылаются как на источники, которые могут иметь какое-то отношение к оценке состояния космонавтов. Проведенные в пятидесятые годы исследования подкрепили ранние представления об этой стороне условий космического полета.

Самой драматической из них была серия экспериментов, проведенных в университете Макгейла. Участников экспериментов максимально изолировали от раздражителей органов чувств на период от 24 до 72 час. На глаза им были надеты полупрозрачные очки, а на руки — перчатки и картонные цилиндры; испытуемые лежали на койках в помещении со звуконепроницаемыми стенками. У всех у них наблюдался бред, они испытывали головокружение, голов-

ную боль, ощущение, что плывут куда-то, и галлюцинации. Аналогичное состояние испытали участники опытов, проведенных в Национальном институте психиатрии (штат Мэриленд). Испытуемые находились в состоянии нейтральной плавучести в воде с температурой 35° С. Более того, во время опытов в имитаторе кабины космического корабля в Школе авиационной медицины ВВС США испытуемый тоже бредил, у него появлялись галлюцинации, несмотря на то что он не был лишен сенсорных раздражителей. Однако ни один из этих симптомов не возникал у космонавтов односторонних космических кораблей «Меркурий» и «Восток», так как, хотя эти космонавты и были изолированы и находились в ограниченном объеме космической кабины, однако у них были некоторые сенсорные раздражители. Кроме того, эти полеты были сравнительно непродолжительными, а космонавты во время них были очень целеустремленными, программа полетов предусматривала большую занятость экипажа.

Некоторые психологи также полагали, что первые космонавты будут испытывать ощущение отрешенности, о котором часто рассказывают пилоты реактивных высотных самолетов и воздухоплаватели. Это ощущение возникает, когда летчик в одиночестве летит на очень большой высоте, находясь в состоянии минимальной активности. Ему кажется, что обрывается его психологическая связь с Землей. Обычно пилоты неохотно говорят об этом состоянии из-за его личного, интимного характера и, характеризуя его, употребляют выражение вроде «ближе к богу», «чувствовал себя властелином вселенной» или «словно был в другом мире». Один испытатель-воздухоплаватель сказал, что у него было такое ощущение, будто он «принадлежит скорее космическому пространству, которое находилось у него над головой, нежели Земле, которая была внизу». У человека в таких условиях, очевидно, обостряются ощущения одиночества, своей отрешенности от остального мира, ожидание чего-то необычного, а иногда наблюдается даже повышенно-радостное настроение (эйфория). Можно представить себе, к каким последствиям приведет пребывание космонавтов в таком состоянии в аварийной ситуации или какой-либо критической фазе космического полета.

Ни об одном из таких случаев в первом десятилетии полетов человека в космос не сообщали ни американские, ни советские космонавты. Однако следует помнить, что эти

полеты были лишь околоземными орбитальными полетами и что у космонавтов было мало времени, свободного от выполнения своих обязанностей по управлению космическим кораблем или по проведению научных экспериментов*.

Однако в будущем во время межпланетных полетов, когда дальность их будет необычайно большой, а обязанности космонавтов однообразными и привычными, летящие в одиночку или небольшими группами люди, может быть, и будут испытывать подобные психические отклонения. По словам известного американского психолога Ф. Соломона, «сознание, лишенное воздействий сигналов от сенсорных раздражителей, как бы пущено по течению и его влечет неумолимо в Саргассово море простейшего состояния, где нет понятий последовательности, количества, направлений, рациональности, где кружатся в водовороте и одурманивают чувства яркие многоцветные галлюцинации».

Биологические часы

Человеку, как и всем живым существам и растениям на Земле, свойственны внутренние физиологические ритмы, которые определяются периодом суток, длящихся на его родной планете 24 час. Существование этих ритмов было подмечено еще в IV веке до н. э. Андрофен, сопровождавший Александра Македонского, наблюдал, как в течение дня поднимаются и опускаются листья тамаринда. Эти периодические изменения назвали *суточными ритмами*, они очень важны для всех живых существ на Земле. Типичными суточными ритмами у человека являются частота деления клеток, частота пульса и дыхания, потребление кислорода, перистальтика кишечника, работа желез, а также периоды сна и бодрствования. Уже более ста лет врачам известно, что у человека в течение суток меняется температура тела: рано утром она самая низкая, а к вечеру повышается. Строгая временная последовательность физиологических функций отмечена для всех уровней организа-

* Важное значение для длительных полетов имеет эксперимент, проведенный в Советском Союзе (1968—1969 гг.), когда трое испытуемых провели год в изолированной гермокамере. В этом эксперименте было получено много важных данных.— *Прим. ред.*

пии — от биохимических процессов в каждой клетке человеческого тела до сложных реакций всего организма. Как показано экспериментальным путем, в основе суточных ритмов лежат эндогенные, самоподдерживающиеся колебания. Образно говоря, организм человека имеет внутренние самозаводящиеся и полностью автономные «часы», или, если использовать термин из области электроники, «осцилляторы», то есть генераторы колебаний с периодом, равным 24 час. Эти осцилляторы находятся в определенных фазовых соотношениях с изменениями физических условий окружающей среды. Физиологи полагают, что ход этих биологических часов устанавливается под влиянием некоторых из этих изменений. К таким наиболее хорошо известным изменениям условий окружающей среды относятся смена дня и ночи, а также изменения температуры. От «установки» часов зависит «программа» деятельности человека в течение суток с гарантией того, что к нему в определенное время придут чувство голода, желание спать и т. д. Таким образом, работой физиологических систем человека управляет какой-то внутренний регулятор — метроном, который установлен по местному времени. Физиологический механизм этого «прибора» остается пока тайной и не может быть в настоящее время полностью объяснен ни биохимическими, ни биологическими процессами.

Мы знаем, что суточные ритмы сохраняются даже у исследователей Арктики и Антарктики, где солнце в летние месяцы не опускается за горизонт. Тщательно проведенные эксперименты, во время которых освещенность, температуру, влажность и атмосферное давление окружающей среды поддерживали на строго фиксированных уровнях, показывают, что период суточных ритмов на протяжении ряда дней и месяцев несколько отклонялся от обычного (24 час). В то же время периоды бодрствования и сна можно изменять, искусственно меняя длительность ночного и дневного освещения, но в сумме их период все-таки остается равным 24 час.

Интересно отметить, что у новорожденных детей суточные ритмы сна или изменения температуры тела отсутствуют. Их периодичность устанавливается у детей только к шестимесячному возрасту. Вероятно, ребенок рождается со «свободно идущими» биологическими часами, ход которых начинает устанавливаться в течение первых месяцев жизни под влиянием колебаний освещенности, а также других,

менее явных периодических изменений физических условий окружающей среды.

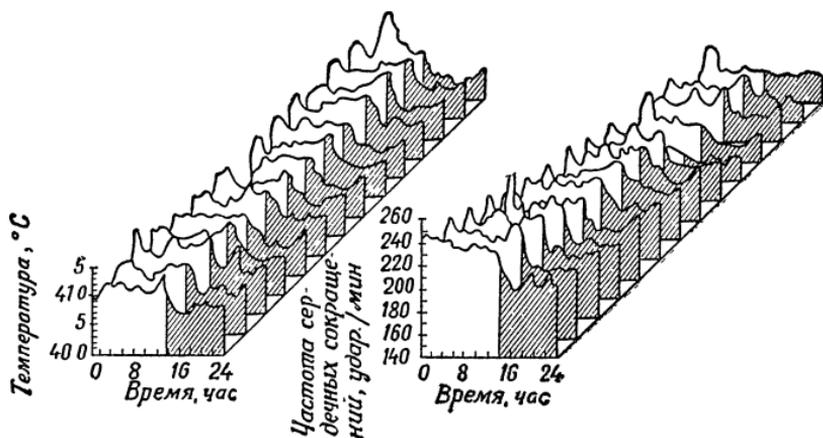
Что же происходит с биологическими ритмами, когда человек быстро перемещается из одного временного пояса в другой? В наше время это часто случается с пассажирами реактивных самолетов и в той же, если не в большей, мере, касается путешественников в космос. Тщательно разработанный сложный эксперимент на международных авиационных линиях провел Дж. Хайти (Делавэрский университет). У участников эксперимента измеряли ректальную температуру, потерю влаги организмом в результате потовыделения, частоту сердечных сокращений и дыхания, время реакций на различные сигналы, время принятия решения и степень утомления, то есть измеряли сдвиги как физиологических, так и психологических функций.

Измерения проводились за неделю до полета, в течение недели после прибытия в пункт назначения и в течение двух и более недель после возвращения. Полеты совершались из Оклахомы на запад, в Манилу, и на восток, в Рим. Был совершен также контрольный полет в направлении север — юг, из Вашингтона в Сантьяго, чтобы убедиться в том, что физиологические и психологические сдвиги, наблюдаемые во время полетов в направлениях запад — восток и восток — запад, были вызваны не только условиями самого перелета.

Несмотря на значительные различия в реакциях людей на условия полета, было установлено, что сдвиги по фазе во всех физиологических параметрах происходят только при полетах в направлениях запад — восток и восток — запад. Вообще же постоянные изменения всех физиологических параметров были не столь явно выражены, как сдвиги в физиологических ритмах, но тем не менее эти изменения наблюдались. Кроме того, период времени, который был необходим для восстановления нормальных ритмов, зависел от направления полета. При полетах на восток это время было меньшим, чем при полетах на запад. Было отмечено, что степень нарушения физиологических ритмов также находилась в какой-то связи с направлением полета, однако эта аномалия могла быть связана и с индивидуальными различиями участников эксперимента.

Этот научный эксперимент наглядно показал, что испытывают на себе пассажиры воздушных межконтинентальных линий, не подозревающие о существовании

физиологических ритмов. После прибытия на место назначения они в течение нескольких дней обычно испытывают чувство голода в неподходящее для еды время, не спят ночью и бывают сонными днем. Кажется, что их умственные способности находятся на грани расстройств, они могут часто ошибаться. Поэтому деловым людям, и особенно государственным деятелям, следовало бы вылетать на другой континент приблизительно за неделю до участия в

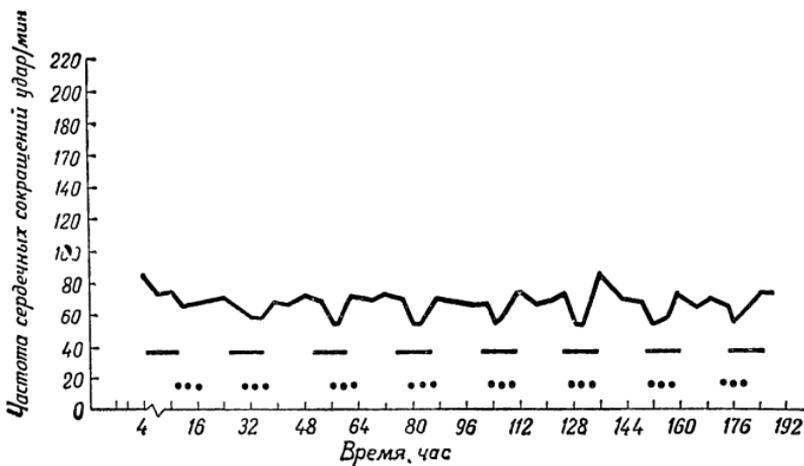


Графики, иллюстрирующие явление суточных ритмов, или «биологических часов», у обезьян. Изменения в температуре тела и частоте сердечных сокращений у обезьяны на протяжении двух недель происходили приблизительно в одно и то же время суток. На обеих диаграммах штриховкой обозначены периоды, соответствующие темному времени суток.

важных совещаниях или конференциях, чтобы их биологические часы установились по новому для них местному времени.

Мы не знаем, может ли суточный ритм человека расстраиваться полностью, и если да, то какую степень психофизиологического стресса будет вызывать у человека такая ситуация. Если периодичность жизненных функций человека жестко связана со сменой суток на Земле, то что случится с космонавтами в глубоком космосе, где физическая среда не характеризуется такими понятиями, как день и ночь, и нормальными значениями гравитации, влажности, температуры или атмосферного давления и где есть постоянно меняющиеся радиация и потоки метеоритов, а также магнитные поля? Будут ли их биологические часы еще

долго настроены по земному времени или они полностью откажут? Этого мы пока не знаем. Не знаем мы также и того, смогут ли космонавты, высадившиеся на Марсе после 250 дней пути, согласовать ритм своих биологических часов с ритмом времени новой планеты (сутки на Марсе делятся *24 час 37 мин*). В первое десятилетие пилотируемых космических полетов космонавты не испытывали больших сдвигов в своих суточных ритмах и их биологические часы



Во время орбитальных полетов «биологические часы» космонавтов остаются согласованными с местным временем космодрома. Как видно из приведенного графика (ломаная линия), средняя частота сердечных сокращений космонавта Дж. Ловелла («Джеминай-7») падала в периоды, соответствующие ночному времени на мысе Кеннеди, независимо от того, над каким районом земного шара в это время находился корабль. Периоды сна космонавта (показаны точками) также совпадали с ночными часами на мысе Кеннеди (сплошные отрезки).

согласовывались с привычным местным временем. Это ясно видно из помещенного выше графика, на котором приведена частота сердечных сокращений космонавта Дж. Ловелла («Джеминай-7») после запуска корабля. Черные штрихи соответствуют ночному времени на мысе Кеннеди. Как видно, частота сердечных сокращений космонавта регулярно уменьшалась в ночное для мыса Кеннеди время, независимо от того, над какой областью земного шара в это время пролетал космический корабль и был ли он в это время в освещенной или теневой зоне. Таким образом, в результате обсуждения проблемы физиологических ритмов

и биологических часов в связи с будущими космическими полетами возникает больше вопросов, чем существует ответов. Однако эту проблему необходимо решить, и она будет решаться на борту орбитальных космических станций, обращающихся продолжительное время вокруг Земли. Создание таких станций последует после первых высадок человека на Луну.

Фармакология в космосе

Еще в 1929 году один из пионеров космонавтики, немецкий инженер Г. Оберт, рассматривая задачи космической фармакологии, указал, что во время космического полета, вероятно, потребуется скополамин, чтобы предупредить «космическую болезнь», связанную с пребыванием в условиях невесомости. В будущем, когда создадут большие космические станции, с которых космические корабли будут стартовать к другим планетам, в составе многочисленного экипажа этих станций будет, конечно, и фармаколог.

Какова же роль лекарств в космической медицине? Сам характер полетов в космос кораблей с человеком на борту говорит о том, что в космосе необходимы как профилактические, так и терапевтические лекарственные препараты. Особенно необходимы они во время очень продолжительных полетов.

В прошлых космических полетах лекарства сыграли свою важную роль, о которой, правда, очень мало писали в печати. Космонавты кораблей «Меркурий», «Восток», «Джеминай» и «Аполлон» брали с собой в орбитальные полеты целый набор медикаментов и использовали их в случае необходимости. Американские космонавты имели болеутоляющие и тонизирующие средства. В аптечках экипажей кораблей «Джеминай» были возбуждающие средства и препараты, снимающие боль, антибиотики, слабительные средства, глазные капли, а также таблетки от морской болезни и расстройства желудка (см. таблицу). Аналогичная аптечка была создана и для экипажей кораблей «Аполлон» (фото на стр. 75).

К числу использованных космонавтами лекарств относятся гидрохлорид дифеноксилата для подавления «движений кишечника» и сульфат декстроамфетамина для поднятия общего тонуса космонавта перед вхождением космического корабля в плотные слои атмосферы. Для снятия го-

ловной боли, а также мышечного утомления космонавты принимали перед сном аспирин. Иногда возникала необходимость использовать лекарства, устраняющие «застой» в носоглотке. Средства от морской болезни американские космонавты использовали лишь однажды. Это было во время выполнения программы «Джеминай», когда космонавт страдал от морской болезни после приводнения в Атлантическом океане, так как его хорошо приспособленный для космических полетов корабль, как оказалось, очень плохо держался на волне.

Большую исследовательскую работу по применению лекарственных препаратов в космосе провели советские ученые. В частности, советские ученые проявили особый интерес к препаратам против перегрузок при ускорениях, хотя в космическом корабле имеются механические приспособления для ослабления действия этих перегрузок. Такие лекарства будут, конечно, полезны космонавтам во время торможения корабля в плотных слоях атмосферы, так как этому предшествует длительный период пребывания в условиях невесомости, ослабляющий, как известно, тонус мышц и сердечно-сосудистой системы. Следует отметить, что некоторые из препаратов, наиболее эффективно защищающих от радиации, по-видимому, снижают выносливость человека к воздействию ускорений и вибрации. Таким образом, их употребление выдвигает ряд новых проблем.

В космических полетах предполагается использовать препарат, повышающий выносливость человека к недостатку кислорода. В качестве такого средства, вероятно, будут использованы успокаивающие лекарства, которые уменьшают потребность тканей в кислороде, в сочетании со стимуляторами центральной нервной и сердечно-сосудистой систем.

Проблема космической фармакологии в целом еще не ясна. Пока мы не знаем, будет ли человек реагировать на лекарства и использовать их в космосе так же, как и на Земле. Например, имеются данные о том, что небольшие дозы глюкозидов, возбуждающих сердечную деятельность, и наркотиков могут быть токсичными, если космонавт будет принимать их после продолжительного периода гипоксии, или перегрузок при ускорениях. Кроме того, эти препараты, по-видимому, понижают чувствительность организма к таким стимуляторам, как кофеин. Аналогично этому радиация ослабляет реакцию человека на наркотики и

БОРТОВАЯ АПТЕЧКА КОРАБЛЯ «ДЖЕМИНАЙ»

Наименование лекарственного препарата	Доза и упаковка	Показания к применению или назначение препарата	Количество упаковок
Cyclizine hydrochloride	Таблетки по 50 мг	Двигательные расстройства	8
Dextro-amphetamine sulfate	Таблетки по 5 мг	Тонизирующее средство	8
Aspirin, phenacetin, caffeine	Таблетки	Болеутоляющее	16
Meperidine hydrochloride	Таблетки по 100 мг	Болеутоляющее	4
Tripolidine hydrochloride	Таблетки по 2,5 мг	Слабительные	16
Pseudoephedrine hydrochloride	Таблетки по 60 мг		
Diphenoxylate hydrochloride	Таблетки по 2,5 мг	Расстройство желудка	16
Atropine sulfate	Таблетки по 0,25 мг		
Tetracycline hydrochloride	Таблетки по 250 мг	Антибиотик	16
Methylcellulose solution	Капельница 15 мл	Глазные капли	1
Cyclizine hydrochloride (Parenteral)	Шприц-тюбик 0,9 мл, 45 мг	Двигательные расстройства	2
Meperidine hydrochloride (Parenteral)	Шприц-тюбик 0,9 мл, 90 мг	Болеутоляющее	2

препараты, суживающие кровеносные сосуды, например на адреналин. Когда мы хотим предсказать действие лекарства на организм человека в условиях космического полета, не следует забывать и о синергизме, о котором говорилось в главе II.



Бортовая аптечка корабля «Аполлон» с набором препаратов для оказания неотложной медицинской помощи космонавтам. В ее набор входят терапевтические и болеутоляющие лекарства, а также препараты, предупреждающие и снимающие нарушения двигательного аппарата.

В заключение можно добавить, что на будущих космических кораблях или станциях будут использоваться различные фармакологические средства, такие, как антибиотики и сульфопрепараты, для лечения обычных болезней, которые могут возникнуть у космонавта спустя недели или месяцы после начала полета. Понадобятся также и другие лекарства, например антигистамины. Все лекарства для космонавтов, вероятно, должны быть в виде таблеток или инъекций, которые можно было бы вводить автоматически. Порошки, микстуры и мази в условиях невесомости использовать непрактично.

Гипноз в космосе

Гипноз предлагается использовать в космосе в качестве возможной замены определенного типа лекарств, главным образом тех, которые могут применяться для предотвраще-

ния физиологических стрессов. Гипноз можно применять в следующих случаях:

- при отборе кандидатов в космонавты;
- при тренировках космонавтов для создания у них иллюзии реальности обстановки;
- с целью сосредоточить внимание космонавтов на выполнении наиболее важных заданий во время психофизиологического стресса;
- для снижения интенсивности процессов метаболизма в организме космонавтов, что в свою очередь приведет к снижению потребности в кислороде, пище и воде;
- для снятия у космонавта чувства страха и беспокойства во время очень продолжительных полетов;
- чтобы занять космонавтов в свободное от выполнения установленных обязанностей время и создать у них иллюзию стимулов;
- при необходимости сохранять неудобную позу на протяжении длительных периодов времени.

Необходимо учить космонавтов самогипнозу, чтобы они могли засыпать по расписанию и просыпаться хорошо отдохнувшими.

Поскольку гипноз не вызывает вредных побочных явлений и не превращается в пагубную привычку, то существует много доводов в пользу его применения. Кроме того, в противоположность действию многих лекарств гипнотическое состояние наступает сразу, без всякой задержки во времени. Эксперименты показали, что некоторые препараты, по-видимому, повышают восприимчивость человека к гипнозу. Если это подтвердится, то такие лекарства необходимо будет включать в аптечку будущих космических кораблей.

Советские ученые предлагают в качестве усыпляющего средства вместо гипноза использовать электросон. Состояние сна наступает у человека при воздействии на его центральную нервную систему электрического тока определенной силы. Считают, что электросон — отличное средство для отдыха: один час электросна эквивалентен четырем часам обычного сна. Более фантастично предложение воздействовать электрическим током на «центр удовольствия» в мозгу космонавта (если такой центр у него существует, как у кошек и у других животных), чтобы усиливать или, наоборот, подавлять соответствующие эмоции.

Возможность реального применения гипноза и электро-

терапии в будущих космических полетах еще весьма проблематична. Однако этот вопрос заслуживает серьезного научного исследования.

Гипотермия и анабиоз

Специалисты в области космической медицины полагают, что в будущем при продолжительных космических полетах для космонавтов будут применяться гипотермия (то есть сильное понижение температуры тела) и анабиоз — состояние, напоминающее зимнюю спячку животных. Впервые эту идею выдвинул английский ученый А. Смит. На современном этапе развития пилотируемых полетов в космос может показаться, что такое предположение граничит с научной фантастикой, в связи с чем эту идею рассматривают лишь как один из теоретически возможных вариантов решения волнующих проблем будущих путешествий в космосе, длящихся месяцы и годы.

У человека в состоянии гипотермии сильно понижается обмен веществ (метаболизм). Организму требуется меньше энергии, а следовательно, и меньше пищи. Когда температура тела понижается, все функции человеческого организма замедляются. Уменьшается число сердечных сокращений, а также частота дыхания, поскольку тканям тела требуется меньше кислорода. При температуре тела 30°C обменные процессы замедляются на 50%, при 25°C скорость обмена веществ уменьшается до 25%. Если температура тела человека будет падать по линейному закону, то метаболизм при этом будет уменьшаться по экспоненциальному закону. Можно представить себе, какие это даст преимущества, если учесть, что для 250-дневного путешествия на Марс каждому члену экипажа космического корабля потребуется около 1200 кг пищи, кислорода, воды и средств удаления углекислого газа.

О том, как вызывать у человека состояние гипотермии и как она действует на его физиологию, мы знаем совсем немного. Метод гипотермии применяется в клинической хирургии. Если результаты экспериментов над животными в данном случае можно перенести на человека, то следует считать, что гипотермия имеет определенные достоинства, которые указывают на перспективность ее использования в продолжительных космических полетах. Так, мышцы, на-

ходящиеся в состоянии гипотермии при температуре тела 5°C , переносят дозу радиации, которая в несколько раз превышает смертельную для них дозу при нормальной температуре тела. Аналогичным образом животные с сильно пониженной температурой тела могут переносить перегрузки, возникающие при ускорении, которые во много раз превышают предельно допустимые перегрузки при нормальной температуре. Кроме того, в состоянии гипотермии, длящемся в течение очень продолжительных периодов времени, вероятно, замедлится процесс старения организма — бесспорно ценное качество для космонавта, летящего к дальним планетам солнечной системы.

С другой стороны, гипотермия связана с определенным риском для организма человека, а ее создание и поддержание в условиях космического полета является очень сложной технической задачей. При температуре тела 10°C сердце человека начинает фибриллировать, или конвульсивно подергиваться. Кровь при температуре тела ниже 20°C становится чересчур вязкой, и нормальное кровообращение прекращается; при 28°C нарушается дыхание, а при снижении температуры еще на несколько градусов человек уже не способен совершать произвольные движения и реагировать на команды. Кроме этих физиологических осложнений, существуют и другие проблемы, в основном технического характера, например проблема использования аппаратов для искусственного дыхания и устройств для периодического выведения человека из состояния гипотермии. Последнее совершенно необходимо для восстановления запасов жизненной энергии и введения в организм питательных веществ. И все это помимо того сложного оборудования, которое требуется для поддержания человека в состоянии гипотермии!

Анабиоз, как и гипотермию, тоже считают возможным средством борьбы против стрессов, возникающих при космическом полете. Но поскольку еще не понят его биологический механизм, пока бесполезно рассуждать о способах, которыми можно вызвать у человека это состояние. Предположить, что анабиозом управляют железы внутренней секреции и что нам нужно только обнаружить в организме человека соответствующий гормон, значит выдать желаемое за действительное, так как эта гипотеза не имеет под собой научной основы. Однако многие проблемы, связанные с гипотермией, можно было бы разрешить, если бы

космонавт находился в состоянии, подобном зимней спячке животных. К этим проблемам относятся, например, изменения в сердечном ритме. Но человек не способен к зимней спячке, и мы просто не знаем, может ли он адаптироваться к понижению температуры внутренних органов до 5° С. Не знаем мы также и того, приведет ли это к уменьшению потребления человеком кислорода до 3—8% обычного количества, как это происходит, например у медведя.

Сторонники использования гипотермии и анабиоза в космических полетах упускают, помимо всего прочего, один важный момент. В состоянии гипотермии или анабиоза космонавт перестает функционировать как звено системы человек — машина, которую в настоящее время в теории пилотируемых космических полетов рассматривают как самый важный элемент. Космонавт и оборудование, необходимое для поддержания его в состоянии анабиоза, представляют собой мертвый груз для космического корабля. Системы наведения, управления и технического обслуживания корабля в этом случае должны быть полностью автоматизированы. Вероятно, в подобной ситуации единственно возможный вариант заключается в том, что в состоянии гипотермии или анабиоза будут находиться несколько членов экипажа космического корабля, а остальные в это время будут заботиться о них и их оборудовании, а также о самом космическом корабле. Таким образом увеличение веса космического корабля, связанное с пребыванием космонавтов в состоянии гипотермии или анабиоза, в лучшем случае сведет на нет все вышеупомянутые преимущества.

Отбор космонавтов

В США, прежде чем отобрать первых космонавтов, физиологи и психиатры обсудили все многочисленные физические и индивидуальные особенности, которыми должен обладать идеальный кандидат в космонавты. Шутники говорили, что идеальный космонавт должен быть либо шизоидом, йогом, эскимосом, автомобильным гонщиком, жокеем или легкомысленной женщиной, либо человеком, у которого так много забот, связанных с работой и семьей, что еще одна забота уже не имеет для него никакого значения.

Действительно, при отборе первых космонавтов как в СССР, так и в США пришлось столкнуться со значительными трудностями. Было совершенно очевидно, что космо-

навтов следует выбирать среди пилотов реактивной авиации. В их пользу говорили и высокое летное мастерство, и быстрота реакции, и целеустремленность, и сила воли, и отличное здоровье. Справедливости ради следует отметить, что умение управлять летательным аппаратом с использованием его аэродинамических качеств и реактивных двигателей с регулируемой тягой само по себе еще не гарантирует успеха в маневрировании космическим кораблем в космическом пространстве, поскольку там некоторые навыки становятся бесполезными, а законы аэродинамики перестают действовать. Тем не менее сходство между самолетом и космическим кораблем весьма велико, и поэтому первых советских и американских космонавтов выбрали именно среди летчиков.

Космонавт для полетов по программе «Меркурий» должен был удовлетворять следующим требованиям:

- 1) быть моложе 40 лет;
- 2) иметь рост не более 180 см;
- 3) иметь отличное здоровье;
- 4) иметь ученую степень не ниже бакалавра *;
- 5) окончить школу пилотов-испытателей;
- 6) иметь не менее 1500 летных часов;
- 7) иметь квалификацию пилота реактивной авиации;
- 8) быть гражданином США.

По мере расширения американских космических программ эти требования к кандидатам в космонавты снижались. Так, максимальный рост космонавта увеличили до 182 см, поскольку увеличились размеры космических кораблей. Сняли также требование об окончании кандидатами в космонавты школы пилотов-испытателей. Это произошло после того, как в США и СССР в экипажи космических кораблей стали включать ученых, поскольку маловероятно, чтобы среди пилотов реактивной авиации можно было найти людей с необходимыми специальными знаниями. Затем совсем отказались от требования, чтобы кандидат в космонавты был пилотом реактивной авиации, хотя все отобранные кандидаты должны были в дальнейшем проходить курс обучения, который проходят пилоты. Были также несколько снижены требования к физической подготовке кандидатов в космонавты, так как ученые обычно не имеют такого отличного здоровья, как военные, находящиеся под строгим медицинским контролем.

* Соответствует высшему образованию в СССР. — Прим. ред.



Кандидаты в космонавты проводят много часов в полном одиночестве. Таким образом определяют их реакцию на изоляцию от внешних раздражителей. Советский космонавт П. Р. Полович, который стал пилотом космического корабля «Восток-4», легко выдержал это испытание.

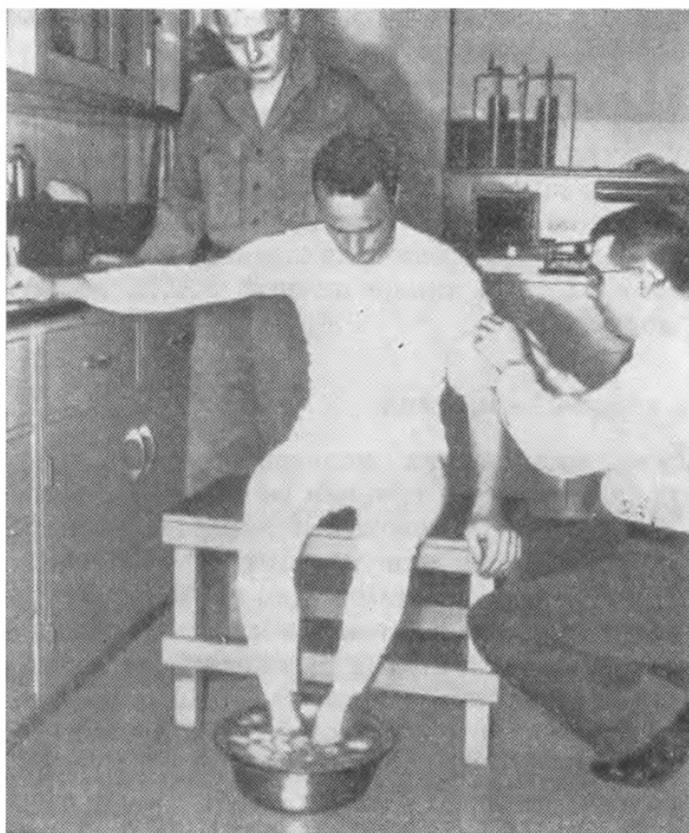
Тесты и методика, использованные при отборе космонавтов по программе «Меркурий», дают достаточное представление о разнообразии и глубине обследований, которые проводят при отборе кандидатов в космонавты. В эти 40 тестов входят: тесты по проверке физической подготовки, когда кандидат в космонавты в течение 5 мин в такт с ударами метронома поднимается на платформу полуметровой высоты и спускается с нее; тесты по проверке силы воли и выносливости, когда человек в течение 7 мин держит обе ступни в воде со льдом; многочисленные тесты по проверке различных способностей человека, в том числе его типологических индивидуальных особенностей.

Перед проведением этих напряженных испытаний по проверке физической подготовки и умственных способностей всех кандидатов в космонавты подвергли тщательному медицинскому обследованию. Эти обследования начали прежде всего с изучения всех данных анамнеза, потом провели лабораторные гематологические исследования, анализы мочи и кала, исследование желудочного сока, сняли электроэнцефалограммы, электрокардиограммы, баллисто-



В США кандидатам в космонавты предлагают психологические тесты. Вы видите на снимке американского космонавта Дж. Янга, который прошел эти испытания и стал пилотом космического корабля «Джемини-3» (первого пилотируемого космического корабля этой серии), отвечающим на стандартные тесты.

кардиограммы, рентгенограммы грудной клетки, толстой кишки, придаточных пазух носа, пояснично-крестцового отдела позвоночника, желудка и пищевода, а также зубов. Были проведены обширные офтальмологические обследования (около 60 различных измерений в десяти участках глаза), а также оториноларингологические исследования с применением тепловой пробы для определения чувствительности лабиринта. Кроме того, кардиологи исследовали сердце каждого кандидата в космонавты и сосудистую систему методами фонокардиографии и специальной векторкардиографии. Определяли жизненную емкость и дыхательный объем легких, а также удельный вес тела. Во время специальных испытаний в Лос-Аламосской научной лаборатории у каждого кандидата в космонавты определяли обезжиренную массу тела и общее количество инкорпорированных радиоактивных веществ. Кроме проверки физической подготовленности и психологического обследования,



Для проверки выносливости и силы воли кандидата в космонавты проводится испытание, во время которого человек в течение 7 мин держит ступни ног в воде со льдом. Изображенный на снимке С. Карпентер успешно прошел и это испытание и стал участником программы «Меркурий».

Все кандидаты в космонавты прошли серию испытаний на воздействие специальных стрессов, в том числе пребывание в течение трех часов в темном помещении с звуконепроницаемыми стенами и двухчасовое пребывание в тепловой камере с температурой воздуха 50°C . Каждый кандидат обследовался на центрифуге до появления черной пелены перед глазами и в конечном счете до потери сознания, подвергался с завязанными глазами вибрации на специальном стенде с заданием не потерять при этом равновесие. Кандидатам в космонавты предлагали также складывать ко-

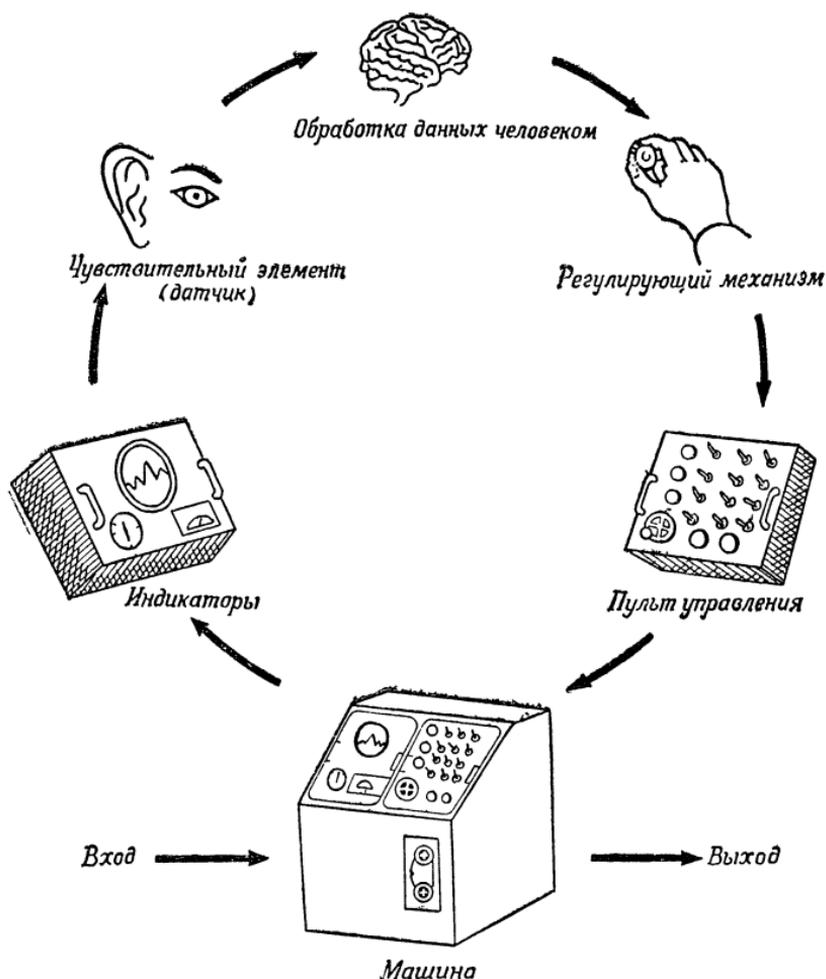
лонки цифр, в то время как в нескольких метрах от них ревели сирена с силой звука 145 дб*.

Хотя в США после отбора первых семи космонавтов от некоторых из этих тестов отказались, при обследованиях, которые сегодня проходят кандидаты в космонавты, используются самые сложные и точные медицинские и психологические методы. Они превосходят даже те испытания, которым подвергают пилотов ВВС и гражданского воздушного флота, а также личный состав атомных подводных лодок.

Система человек — машина

Характер космических полетов требует тщательного рассмотрения вопроса о том, как во время полета распределяются роли между человеком и техническими системами космического корабля или системами, обеспечивающими человеку условия, необходимые для его жизнедеятельности (их принято называть системами жизнеобеспечения). Эти системы и космонавта нельзя рассматривать отдельно друг от друга, так как человек в космическом корабле — это не просто пассажир, которого корабль перевозит из одного места в другое. Поэтому при разработке программ космических полетов принято рассматривать систему человек — машина. Такой подход помогает конструкторам определить роль каждого звена этой системы и создать в итоге оптимальную конструкцию космического корабля. Хорошее определение понятия системы человек — машина дал Э. Маккормик, который говорит, что «систему человек — машина можно определить как сочетание одного или нескольких людей с одним или несколькими компонентами оборудования, взаимодействующими друг с другом таким образом, чтобы система, получая сигналы на входе, вырабатывала требуемые в конкретных условиях окружающей среды выходные сигналы». Такое определение понятия «человек — машина» позволяет легко увидеть то общее, что есть в сочетаниях автомобиль — водитель, самолет — экипаж, пишущая машинка — машинистка, а также космический корабль — космонавт.

* Медицинский отбор советских космонавтов осуществляется по другой программе с применением несколько иных тестов и методов. — *Прим. ред.*



На рисунке схематически представлена система человек — машина. Машина, получив входные данные, поставляет человеку информацию, которую он воспринимает и интерпретирует, используя для этого в качестве устройства для обработки данных свой мозг. Далее человек производит необходимую установку органов управления машиной, чтобы изменить ее выходные данные. Таким образом, человек и машина образуют единую систему, в которой используются возможности каждого из них.

Система человек — машина может представлять собой незамкнутый или замкнутый контур. В первом случае человек только включает систему и, образно говоря, отходит в сторону, так как функции его на этом заканчиваются. Примером такой системы с незамкнутым контуром является система орудие — артиллерист, в которой человек тща-

тельно производит расчет всех поступающих к нему данных и выдает параметры, необходимые для паведения орудия (например, величины угла прицеливания и угла вертикальной наводки). После выстрела человек не в силах уже изменить ни траекторию полета снаряда, ни место его падения. Примером системы с замкнутым контуром является система космический корабль — космонавт, в которой человек и корабль постоянно взаимодействуют для того, чтобы получать необходимые результаты. Если, например, скорость вращения корабля изменяется в нежелательную сторону или становится просто опасной, космонавт включает соответствующую систему торможения, прекращающую или уменьшающую вращение корабля вокруг той или иной оси. При этом он следит за показаниями приборов, указывающих на то, что вращение корабля прекратилось или уменьшилось до приемлемой величины. В системах с замкнутым контуром человек обычно выполняет функции чувствительного элемента (датчика), устройства для обработки полученной информации и регулятора, в то время как машина поставляет ему информацию для принятия решения. Машина также обеспечивает усиление выходных мощностей. Схема такой системы приведена на рисунке, помещенном на стр. 85.

* * *

Чтобы наилучшим образом, целесообразно распределить между человеком и машиной задачи, стоящие перед всей системой космический корабль — космонавт, нужно иметь представление о возможностях человека и машины и об их сильных и слабых сторонах. Так, человек способен выделять полезные сигналы на фоне помех (например, шумов), в то время как машина это делает плохо. С другой стороны, человек обладает замедленной реакцией (между раздражением и ответным действием человека проходит некоторый период времени), машина же почти мгновенно реагирует на поступающие к ней сигналы. Очевидно, что, прежде чем конструировать космический корабль, необходимо до мельчайших подробностей четко разграничить задачи, которые должен выполнять космонавт, с одной стороны, и система космического корабля — с другой.

По-видимому, человек не может идеально выполнять многие работы на космическом корабле, но зато он действительно обладает рядом весьма чувствительных элемен-

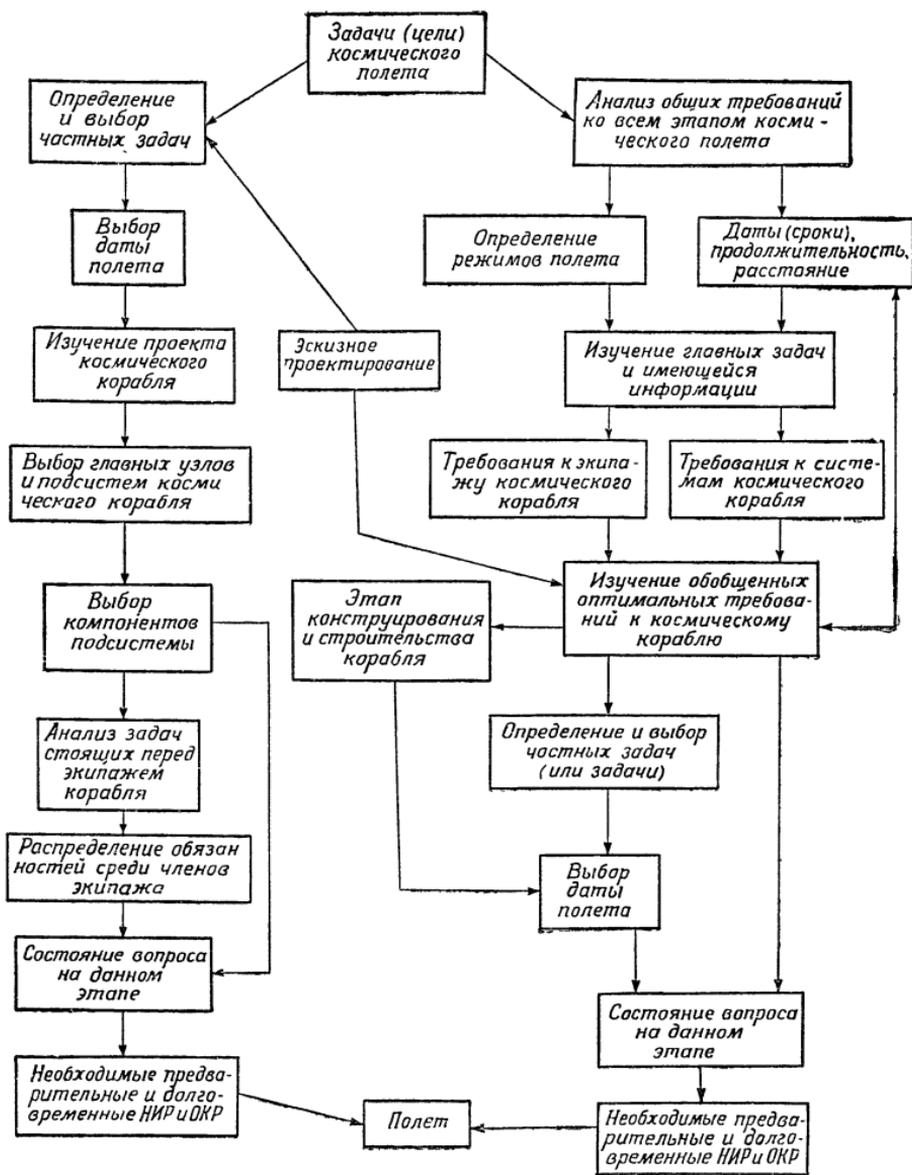
**ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ ЧЕЛОВЕКА И МАШИНЫ
В СИСТЕМЕ ЧЕЛОВЕК — МАШИНА**

Человек	Машина
Может воспринимать не запрограммированные заранее данные и сообщать о неожиданных явлениях и событиях	Не может обнаруживать и воспринимать явления, не входящие в число тех, на которые она рассчитана при конструировании
На работоспособность не влияют помехи электромагнитного характера	Можно полностью вывести из строя или ухудшить работу с помощью электромагнитных помех, особенно в диапазоне радиочастот
На фоне шумов способен выделять полезные сигналы	Конструирование машины, способной выделять полезные сигналы на фоне шумов, сопряжено с большими трудностями
Относительно медленно и неточно производит математические операции	Очень быстро и с большой точностью производит математические расчеты
Большой объем памяти и длительное время хранения информации с различной скоростью ее воспроизведения (выдачи)	Ограниченный объем памяти и непродолжительное хранение информации с большой скоростью ее воспроизведения (выдачи)
Работоспособность ухудшается со временем; для сохранения оптимальной работоспособности необходим отдых	Рабочие характеристики не зависят от времени; требуется периодический осмотр и технический уход
Чувствителен к действию различных стрессоров космического полета и космических условий	Может быть сконструирована для оптимальной работы при воздействии большинства факторов космического пространства
Обладает малым весом и «энергопотреблением»	Возрастание веса с ростом сложности задач и требований надежности, умеренное потребление энергии
Эмоционален, легко устает, индивидуально неповторим	Лишена чувств Может быть воспроизведена

Человек	Машина
Обладает большим «сроком службы», но требует продолжительного обучения и тренировки	Конструируется и изготавливается в зависимости от назначения
Может оперировать как субъективными, так и объективными данными	Может обрабатывать только ту информацию, на которую рассчитана
Реагирует на раздражители со значительной задержкой во времени	Реагирует на сигналы почти мгновенно

тов, «смонтированных» в очень малом объеме. Его глаза, например, несмотря на чувствительность лишь к видимому участку спектра электромагнитных колебаний, могут ясно воспринимать объемное многоцветное изображение в поле зрения, охватывающем приблизительно 180° по горизонтали и 130° по вертикали. Все предметы, лежащие в этом поле зрения, находятся в фокусе, если они отстоят от глаза на расстоянии от нескольких сантиметров до бесконечности, даже в тех случаях, когда их освещенность изменяется в миллионы раз. Было бы исключительно трудно получить столь высокие и многосторонние качества подобного анализатора, используя оптическую систему на фотоэлементах.

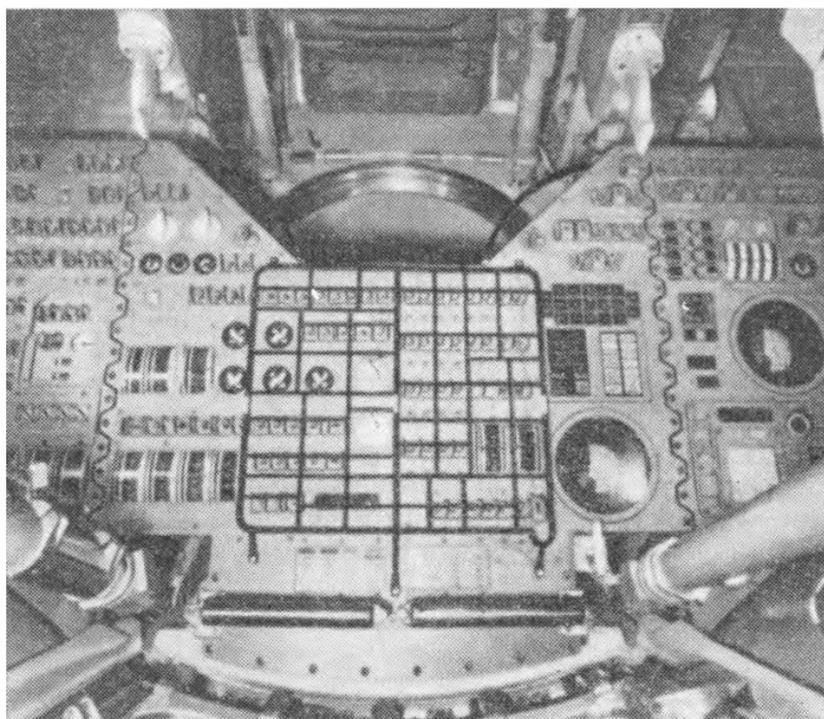
Поскольку человек обладает множеством таких качеств, которые легко перестраиваются и приспособляются к изменяющимся условиям, то очевидно, что на космическом корабле именно он должен производить наблюдения и описывать их, быть оператором и принимать решения. Таким образом, ему целесообразно поручать выполнение следующих заданий: производить точную регулировку и настройку органов управления, работать с аппаратурой для научных исследований и фиксировать полученные им объективные и субъективные данные, на основе полученного опыта вносить изменения в программу действий, а также производить ремонт и техническое обслуживание оборудования,



При подготовке космического полета взаимодействие человека и машины в системе человек — машина подвергается анализу, что является одной из основных задач планирования системы.

предназначенного для выполнения задач, лежащих за пределами физических и умственных способностей человека. Наконец, необходимо рассмотреть вопрос о возможностях

повышения надежности работы всей системы человек — машина путем дублирования ее компонентов. Обнаружив слабые места технической системы, мы можем повысить ее надежность путем введения в нее дополнительных схем и механических электронных и прочих узлов или деталей. Если один из узлов выйдет из строя, то другой будет продолжать работать, вероятность же того, что они оба одновременно выйдут из строя, станет гораздо меньше. Точно так же можно ввести в состав экипажа космического корабля дополнительного космонавта. Система человек — машина от этого тоже выиграет, поскольку каждый космонавт внесет в выполнение поставленной задачи свою долю знаний и



В системе человек — машина чрезвычайно важна правильная и логичная сгруппированность органов управления и индикаторных устройств. Сотни часов были затрачены на исследования и опытно-конструкторские работы по оптимизации размещения приборов на панели управления в кабине корабля «Аполлон», которая изображена на фотографии. Специальная решетка защищает тумблеры в центральной части панели от случайного переключения при выходе космонавта через люк из кабины для выполнения заданий за пределами корабля.

опыта. Иначе говоря, одна голова хорошо, а две лучше, особенно в космическом корабле. Такой метод дублирования может быть развит и дальше для гарантии успеха очень продолжительных космических полетов, например к Марсу. В сторону далеких планет следует запускать не один, а несколько кораблей, с тем чтобы долетел хотя бы один из них, подобно тому как из трех кораблей Колумба, «Нинья» «Пинта» и «Санта-Мария», путившихся в XV веке в первое плавание к Новому Свету, благополучно вернулись только два.

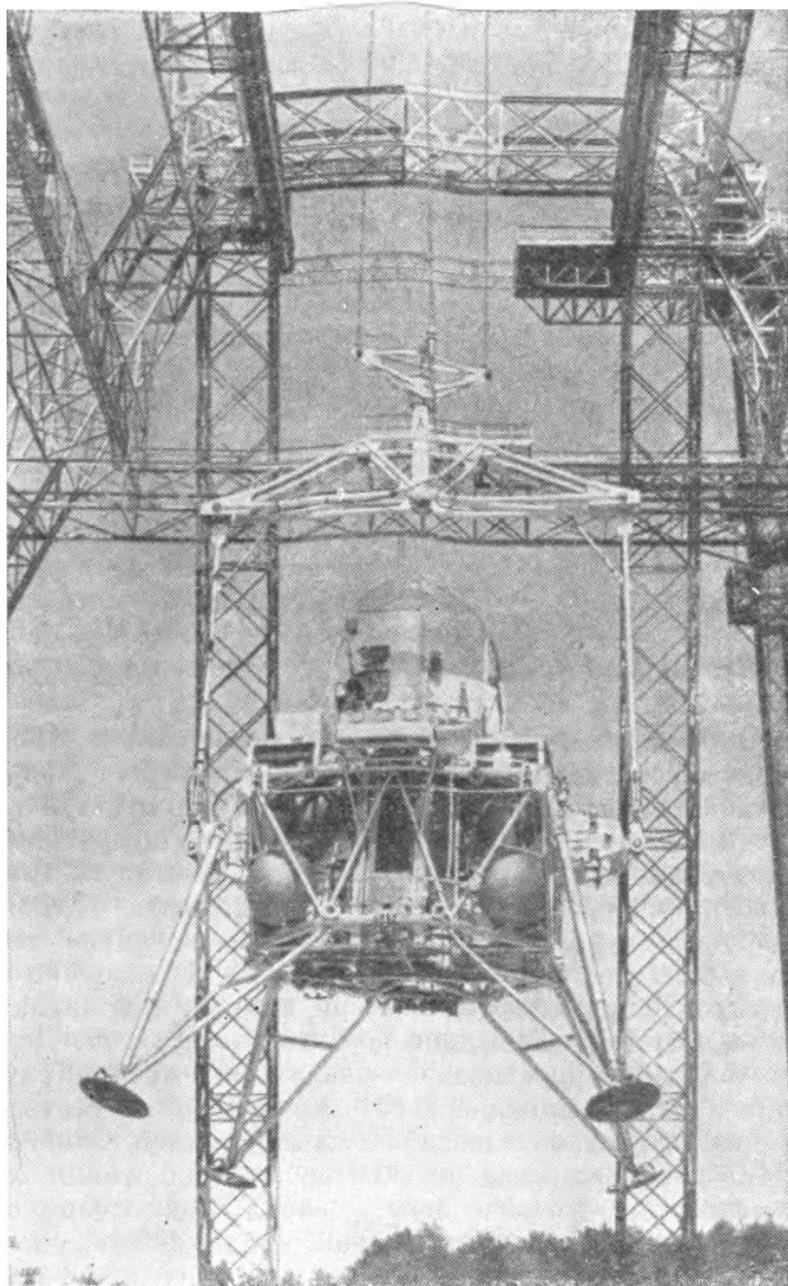
Имитация космического полета

Еще задолго до того, как отправиться в бездну космоса, космонавт в значительной степени знаком с условиями полета благодаря имитации их на Земле. Создание на Земле условий, близких к условиям космического пространства и космического полета, является важной стороной астронавтики.

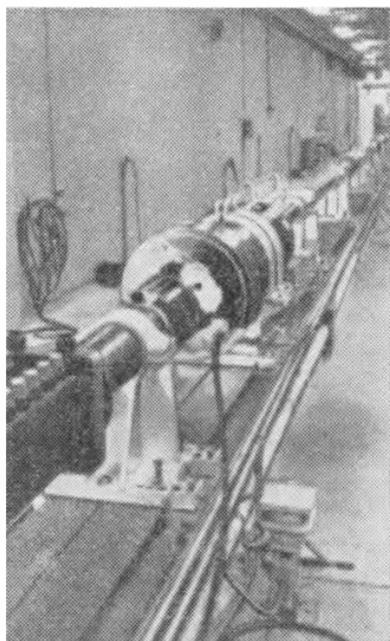
Для чего имитируют условия космического полета?

Ответ на этот вопрос очень прост. Имитировать условия космического полета необходимо для испытания материалов и оборудования, для проверки правильности их подбора и расчета и определения их пригодности для космоса, а также для тренировки людей, которые будут участвовать в космическом полете. Имитаторы условий космического полета очень разнообразны по своим размерам: это может быть и барокамера высотой 36 м, в которой испытывают целые космические корабли в Центре пилотируемых космических кораблей в Хьюстоне (штат Техас), и «водородная пушка» в Исследовательском центре НАСА в Эймсе (штат Айова), которая представляет собой особую конструкцию аэродинамической трубы (фото на стр. 94). В последней поток водорода со скоростью 48 000 км/час обтекает макет космического корабля. Таким способом можно имитировать условия вхождения космического корабля в атмосферу некоторых планет, таких, как Марс и Юпитер. Эту пушку можно использовать и для изучения того, как влияет на различные материалы бомбардировка микрометеоритными частицами.

Огромное количество имитаторов различного типа позволяет с определенной степенью точности воспроизводить



Установка для исследования проблем прилунения в Научно-исследовательском центре Лэнгли, позволяющая имитировать лунное притяжение, которое составляет шестую часть земного притяжения. С помощью этой установки космонавты учатся маневрировать макетом лунного модуля корабля «Аполлон».



Водородная пушка — аэродинамическая труба, в которой поток водорода несетя со скоростью 48 000 км/час. С помощью этой установки можно имитировать условия вхождения космического корабля в атмосферу различных планет, а также бомбардировку образцов материалов микрометеоритными частицами.

отдельные параметры космического пространства. Однако нет такого устройства, в котором можно было бы полностью имитировать сразу все условия космического пространства. Нетрудно понять, почему такой имитатор невозможен в действительности, да и просто не нужен. Можно ли, например, сознательно облучить космонавта дозой радиации, которая возможна в космосе, предельно сократив таким образом допустимую для человека дозу? Невозможно также построить большую барокамеру, создав в ней характерное для космоса разрежение до $1 \cdot 10^{-16}$ мм рт. ст. До сих пор в таких больших камерах удавалось в лучшем случае создать давление порядка $1 \cdot 10^{-6}$ мм рт. ст., что соответствует приблизительно высоте 330 км над Землей. Однако такое разрежение вполне достаточно для испытаний большинства узлов космического корабля. Ряд ограничений накладывается основными законами физики. Так, условия невесомости, за исключением очень коротких промежутков времени (объяснение этому будет дано ниже), невозможно создать в гравитационном поле Земли.

В заключение можно сказать, что имитаторы космических условий позволяют экономить время и средства при разработке космических кораблей, скафандров и стартовых

двигателей. Они также знакомят космонавтов с динамикой и условиями будущих полетов и дают им возможность отправляться в эти полеты хорошо тренированными и на надежно работающих кораблях.

Камеры — имитаторы условий космического пространства

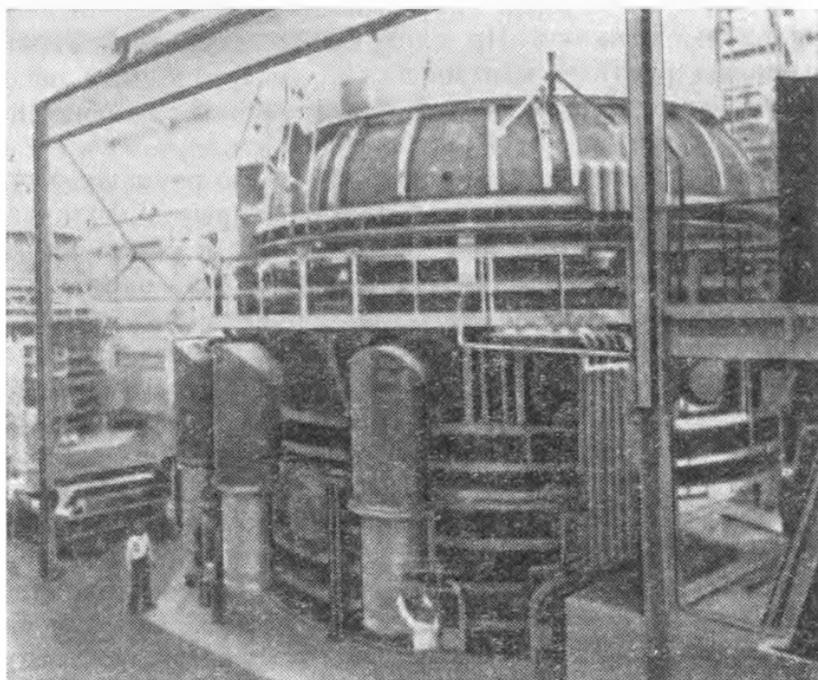
Обычно в вакуумных камерах для исследования, разработки и испытания материалов и оборудования, кроме низкого давления, имитируются также условия освещенности и температуры, с которыми испытываемый объект встретится в космосе; эти камеры обычно называют *камерами — имитаторами условий космического пространства*.

Невозможно создать в такой камере требуемый вакуум с помощью механических насосов, как правило, используемых в физических лабораториях. Чаще всего воздух из камер откачивают последовательно ступенями или покаскадно. Механическими насосами производят лишь первоначальную откачку. На следующих ступенях откачки применяют ртутные или масляные диффузионные насосы и криогенные насосы. Только такие насосы способны поддерживать в камере необходимый вакуум.

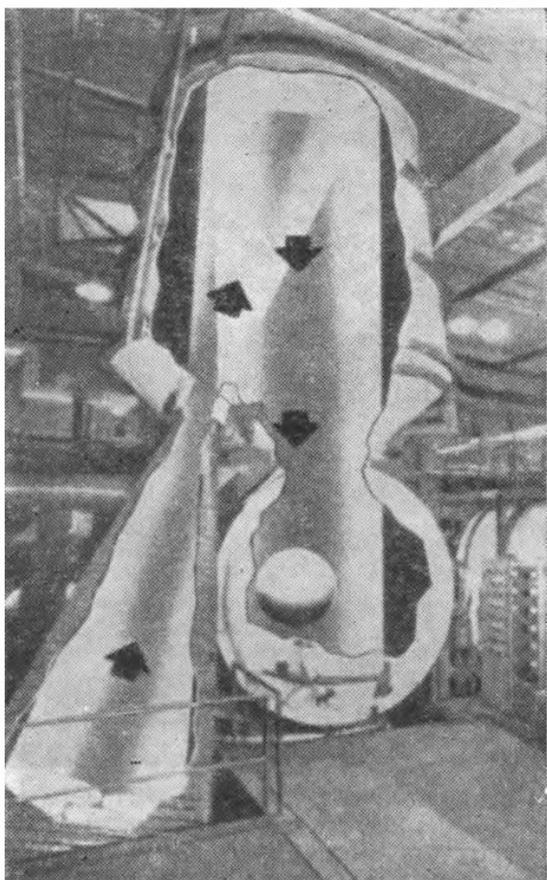
Солнечный свет имитируют с помощью ртутных, ксеноновых или дуговых угольных ламп, которые обычно устанавливаются снаружи, вне камеры. Свет и тепло от этих источников посредством системы отражателей направляются на кварцевые окна камеры, пройдя сквозь них, попадают на систему зеркал и линз, установленную уже внутри камеры, и фокусируются и направляются ею на испытываемый образец. Некоторые большие камеры имеют внутреннюю систему освещения. Для создания условий низких температур, которым в космосе может подвергнуться объект, не освещенный солнечным светом, стенки камеры имеют панели или змеевики, охлаждаемые протекающим жидким азотом. Таким образом в камере можно поддерживать температуру — 200° С. В США такие камеры сыграли важную роль в разработке и испытании пилотируемых и непилотируемых космических кораблей. Типичной камерой для испытания непилотируемых космических кораблей является камера в Годдардовском центре космических полетов в Гринбелте, штат Мэриленд (фото на стр. 96). Она имеет диаметр 10,6 м и высоту 18,2 м, в ней

можно создавать и поддерживать вакуум $1 \cdot 10^{-10}$ мм рт. ст. Система из 127 ртутно-ксеноновых ламп и рефлекторов, которые фокусируют излучение этих ламп в пучок, проходящий далее через четыре кварцевые линзы, точно имитирует видимую, а также ультрафиолетовую и инфракрасную части спектра солнечного излучения. Эти лампы расположены на съемной крышке, которая позволяет поместить в камеру космический корабль или какие-то узлы, предназначенные для испытаний. Человек, входящий в камеру при включенных лампах (камера еще не вакуумирована), должен быть одет в специальный алюминизированный защитный костюм, отражающий тепловые лучи, и иметь на лице маску с фильтром, не пропускающим озон, который образуется в камере под действием ультрафиолетового излучения.

Более глубокий вакуум для испытания систем и подсистем пилотируемых и непилотируемых космических кораб-

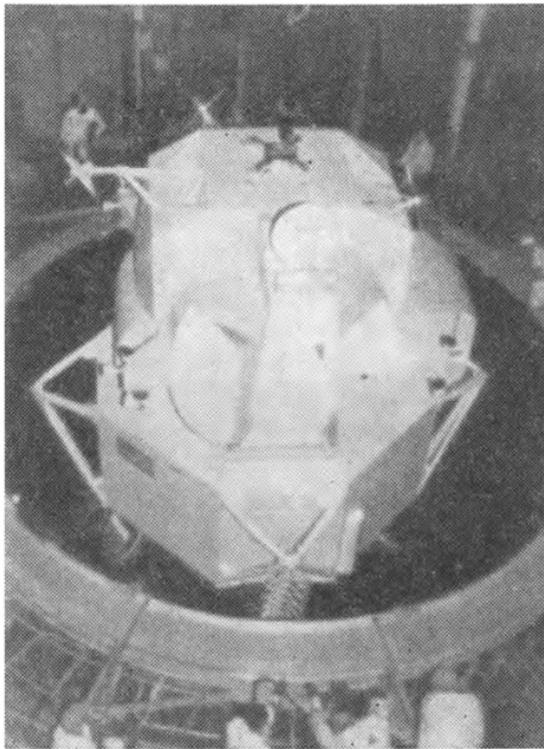


Термобарокамера в Годдардовском центре космических полетов в Гринбелте, штат Мэриленд, воспроизводящая космический вакуум и температурные условия, в которых находятся космические зонды и искусственные спутники.



Искусственный солнечный свет направляется в барокамеры с помощью системы линз и зеркал. На снимке изображена система ксеноновых ламп мощностью 20 *квт* для имитации солнечного излучения внутри барокамеры с давлением, соответствующим давлению атмосферы на высоте 650 *км* над поверхностью Земли.

лей, а также небольших искусственных спутников Земли можно создать в камерах меньших размеров. Камера такого типа сооружена в Арнольдском научно-исследовательском центре ВВС в Туллахоме, штат Теннесси. В этой камере (ее высота тоже 10,6 *м*) можно понизить давление до уровня, соответствующего высоте 640 *км* над уровнем моря. Принцип ее работы показан на рисунке, помещенном выше. В камере Научно-исследовательского центра космических исследований в Хантингтон-Бич, штат Калифорния, имеющей объем 2,24 *м*³, создают вакуум $1 \cdot 10^{-12}$ *мм рт. ст.*



Барокамера в Научно-исследовательском центре разработки пилотируемых космических кораблей в Хьюстоне, штат Техас, в которой в условиях вакуума, соответствующих высоте 350 км над поверхностью Земли, испытывают корабли серии «Аполлон» вместе с экипажем.

Камеры для испытаний космического корабля с участием человека, по существу, имеют ту же конструкцию и работают так же, как и камеры для испытаний без участия человека. Только в камерах, где испытания проводятся с участием человека, предусмотрена быстрая разгерметизация на тот случай, если возникнет аварийная ситуация. Такого типа камеры имеются в Научно-исследовательском центре разработки пилотируемых космических кораблей в Хьюстоне, штат Техас. В одной из них, сделанной из нержавеющей стали и имеющей высоту 36,5 м и диаметр 19,7 м, проводятся испытания командного и лунного модулей кораблей серии «Аполлон». В ней можно поместить космический корабль высотой до 30 м и диаметром до 7,6 м. Космические корабли помещают в камеру через 12-метро-

вые двери-стенку, а люди попадают в нее через четыре шлюза; в двух из них поддерживается нормальное давление, а в остальных — более низкое. Дуговые лампы в потолке и стены с криогенным охлаждением позволяют создавать в камере температурный режим в диапазоне от -180 до $+125^{\circ}\text{C}$, что характерно для поверхности Луны. Давление в камере может снижаться до 10^{-7} мм рт. ст.

Другая камера имеет высоту 13 м и диаметр 10,6 м и используется в основном для испытания снаряжения, обеспечивающего выход и пребывание космонавта в открытом космосе, и для температурных испытаний лунного модуля корабля «Аполлон» с участием человека. Камера может вместить аппарат высотой 8,2 м и диаметром 4 м. Доступ в камеру осуществляется через съемную крышку и двойной шлюз с нормальным давлением. Дуговые угольные лампы в потолке камеры имитируют солнечную радиацию, а охлаждаемые стенки позволяют создать температурные условия космического пространства. В камере можно поддерживать давление до $1 \cdot 10^{-6}$ мм рт. ст.

В случае если возникнет аварийная ситуация, обе камеры можно быстро разгерметизировать. В течение 30 сек давление в них можно поднять от предельно низкого до 0,4 атм, а в течение следующих 60 сек — до нормального давления на уровне моря. В специальном помещении имеются дефибриллятор, электростимулятор сердечной деятельности и другая реанимационная аппаратура, а также запас кислорода и другое оборудование для оказания помощи людям, случайно получившим декомпрессионные расстройства во время экспериментов в камерах.

В двух других камерах Хьюстонского научно-исследовательского центра разработки пилотируемых космических кораблей проводят испытания космических скафандров и ранцевых систем жизнеобеспечения, а также тренировку космонавтов в имитированных условиях работы за пределами космического корабля и в условиях разгерметизации кабины. Одна из этих камер, загружаемая сверху, высотой 6,7 м и диаметром 6,0 м, имеет воздушный шлюз, состоящий из двух помещений длиной 6,0 м и диаметром 3,0 м, который предназначен для входа в камеру людей и проведения экспериментов. В камере обычно создают давление, соответствующее высоте 70 км над уровнем моря, которое в течение 14 сек может быть поднято до давления на уров-

не моря. В другой камере такого же размера обычно создают давление, соответствующее высоте 45 км над уровнем моря. Ее также можно очень быстро разгерметизировать.

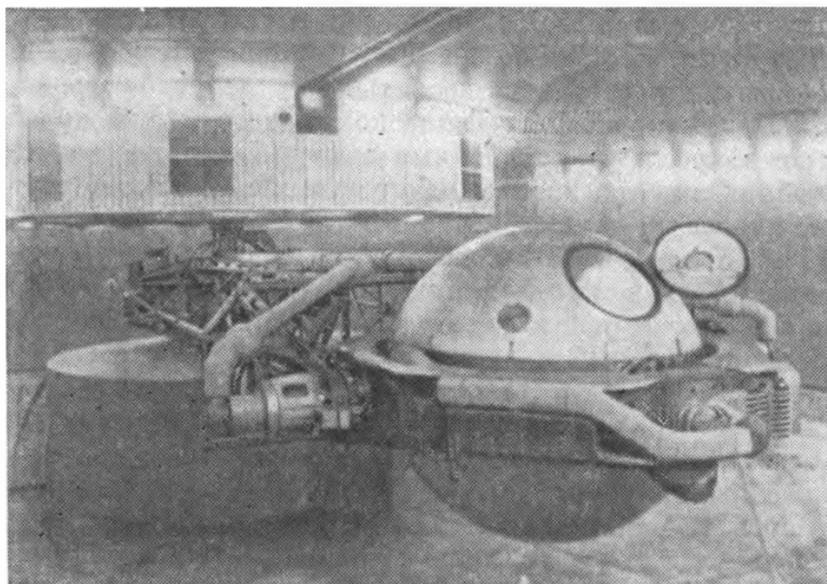
Имитаторы перегрузок

Чтобы освоиться с перегрузками, возникающими при ускорениях во время полета космического корабля при его запуске и отделении ступеней, космонавты проходят тренировку на огромных центрифугах. Эти центрифуги используют также для испытания важных узлов и систем космического корабля, чтобы убедиться в том, что они могут вынести такие перегрузки. Для испытания узлов космического корабля можно также использовать имитатор линейных ускорений или катящиеся по рельсам тележки с ракетными двигателями. Для тренировок космонавтов такие тележки имеют ограниченное применение, однако их используют для изучения воздействия на человека перегрузок ускорения и торможения.

Во время запуска космического корабля на его системы и устройства действует целый ряд факторов — шумы, ускорение, аэродинамические нагрузки и вибрация, которые могут вывести из строя отдельные узлы или системы корабля. Поэтому в Годдардовском центре космических полетов была построена специальная установка для моделирования условий участка разгона при полете космического корабля. С помощью этой установки производят испытания систем корабля на все воздействия, возникающие во время запуска. Установка представляет собой центрифугу с плечом 17,5 м, на конце которого находится вакуумная камера с вибростендом и генератором шума. Такая установка позволяет испытывать системы корабля в условиях вакуума при перегрузках ускорения до 23 g и одновременном воздействии вибрации и различной силы шумов. На ней проводят испытания непилотируемых искусственных спутников Земли, таких, как Орбитальная геофизическая обсерватория.

Впервые в клинической практике центрифугу использовали для лечения людей с психическими расстройствами. Еще в 1807 году в одном из берлинских госпиталей для этой цели применяли центрифугу с плечом 1,8 м, создававшую перегрузки ускорения до 5 g, что давало, как утверждали, положительные результаты.

В наше время центрифуги используют для тренировки космонавтов к воздействиям стрессоров, которые они будут



Центрифуга в Научно-исследовательском центре разработки пилотируемых космических кораблей в Хьюстоне, штат Техас, создающая перегрузки ускорения до $30 g$ при скорости нарастания перегрузок $7,5 g/сек$. В таких центрифугах космонавты учатся переносить перегрузки, возникающие при ускорении космического корабля.

испытывать во время запуска космического корабля (о них говорилось в главе II). Космонавты кораблей «Аполлон» в течение 40 недель, предшествовавших запуску, проводили в центрифуге до 10 час.

На помещенном выше снимке изображена центрифуга, установленная в Хьюстонском научно-исследовательском центре разработки пилотируемых космических кораблей. Она имеет плечо 15 м и создает перегрузки ускорения до $30 g$ при скорости нарастания этих перегрузок $7,5 g/сек$. Находящаяся на конце плеча кабина диаметром 3,6 м и объемом $14 м^3$ весит 3624 кг и вмещает троих космонавтов в скафандрах. Давление в кабине можно изменять в пределах от 1 до $0,35 атм$, относительную влажность — от 40 до 60% и температуру — от 10 до $100^{\circ}C$. Кабина установлена таким образом, что имеет три степени свободы, благодаря чему возможно создание перегрузок, действующих на космонавтов в различных направлениях. Изменяя угловые скорости вращения центрифуги, можно получать такие же ускорения, которые возникают при запуске корабля в мо-

мент отделения первой ступени, при работе двигателей второй ступени, а также во время ее отделения и работы двигателей третьей ступени ракеты. Внутреннее устройство кабины имитирует устройство командного отсека корабля с тремя креслами и рабочими местами для космонавтов. В кабине имеется также оборудование биотелеметрии и телевизионные камеры.

Имитаторы линейных ускорений впервые были использованы в авиационно-медицинских исследованиях в Германии в начале второй мировой войны в Институте авиационной медицины ВВС в Адлерсхофе (недалеко от Берлина). В этом имитаторе тележка передвигалась под действием силы тяжести. Длина пути пробега тележки составляла 12,6 м. После войны во многих странах были построены имитаторы линейных ускорений, в которых ускорение придавалось тележкам с помощью ракетных двигателей. Их использовали для того, чтобы исследовать влияние перегрузок на человека и материалы. Поскольку в такого типа установках длина участка разгона или торможения ограничена, то в настоящее время их используют лишь в тех случаях, когда требуется изучить влияние перегрузок при очень высоких скоростях их нарастания в течение коротких промежутков времени. Они являются также отличным средством изучения действия перегрузок торможения, возникающих, например, при вхождении космического корабля в плотные слои атмосферы при его возвращении из космического путешествия.

Самый длинный путь разгона имеет имитатор такого типа на Холломанской базе ВВС США, штат Нью-Мексико. Дорожка разгона или торможения этой установки длиной 10,7 км состоит из двойных рельсов, лежащих на бетонном основании. Между рельсами тянутся с перерывами желоба с водой, которые позволяют на различных участках торможения уменьшать скорость тележки, доводя ее до полной остановки. Эту установку используют в основном для испытания узлов и блоков, однако ее можно приспособить и для испытаний с участием человека. При использовании тележки с ракетным двигателем на твердом топливе обычно получают скорость порядка 3630 км/час.

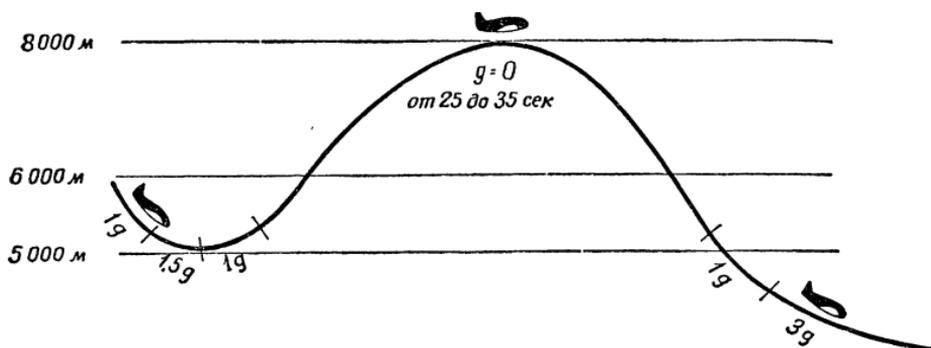
Первые исследования того, как влияют на человеческий организм перегрузки ускорений и торможений, были проведены в 1954 году в Холломане полковником П. Стэпом. Свои опыты он ставил на начальном однокилометровом

участке испытательной дорожки, общая длина которой 10,7 км. Используя тележку с ракетным двигателем, имевшим тягу 2038 кг, он разогнался до скорости 0,9 М (М — число Маха), что превышает скорость пули калибра 0,45, догнав и перегнав летевший над ним реактивный самолет. После этого он в течение 1,4 сек погасил скорость до полной остановки, испытав при этом перегрузки 35—40 g, которые нарастали со скоростью 600 g/сек. При этом он получил всего лишь кровоизлияние в глаза, а также временную блокаду гортани, носовых проходов и пазух носа. Его эксперимент, а также опыты с животными (шимпанзе, свиньями и медведями) дали много полезной информации, которая была использована при конструировании пилотируемых космических кораблей.

Имитация невесомости

Все мы в той или иной степени испытали когда-нибудь в своей жизни кратковременное состояние невесомости. Например, на аттракционах в парках, когда переваливали через вершину подъема, или во время спуска в скоростном лифте, когда наши ноги на какой-то миг отрывались от пола. В поле земного тяготения ощущение невесомости можно испытать только во время свободного падения или создав на очень короткий промежуток времени силу, противодействующую силе земного притяжения. Еще в 1935 году в Германии Дирингсхофен испытал в течение 8 сек состояние невесомости в самолете, пикирующем с большой высоты, когда двигатель использовался только для преодоления лобового сопротивления. В 1950 году Хейнц и Хабер в Школе авиационно-космической медицины ВВС США предложили другой вариант этого метода имитации невесомости. Как показано на помещенном ниже рисунке, самолет быстро пикирует, а затем выравнивается и летит вверх по параболе: на первой половине кривой он испытывает постоянное вертикальное торможение 1 g, а на второй происходит его свободное падение. В соответствующим образом переоборудованном для таких экспериментов самолете KC-135 в течение приблизительно 25 сек можно создавать условия невесомости с точностью около $\pm 0,01$ g, зависящей от квалификации пилота и метеорологических условий. В Советском Союзе для этих же целей используют самолет ТУ-104.

Такой способ имитации условий невесомости можно использовать для тренировки космонавтов, и его действительно широко применяли для этой цели в первых советских и американских программах пилотируемых космических полетов, а иногда его используют и сейчас. Внутри большого самолета помещают макет космического корабля, и космонавт учится входить и выходить из него, есть и пить в условиях невесомости, а также выполнять специаль-



Имитация условий невесомости при полете самолета по баллистической кривой. Свободное падение происходит на участке кривой, где g равно нулю, и продолжается 25—35 сек.

ные работы, которые ему предстоят во время пребывания за пределами космического корабля, как это показано на снимке (стр. 105). Однако такая обстановка не совсем соответствует условиям космоса вследствие сравнительной кратковременности периода невесомости, а также из-за того, что до и после состояния кратковременной невесомости космонавт испытывает действие ускорения от 1 до 3 g . При тренировках американских космонавтов на адаптацию к условиям невесомости каждый вылет происходил по сорока таким параболам. В общей сложности они находились в условиях невесомости в течение 10 час.

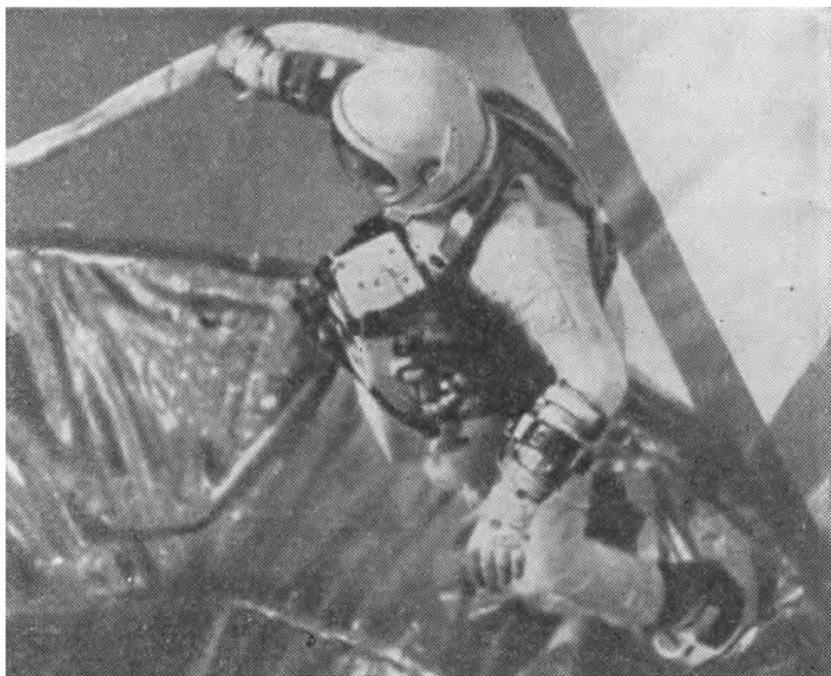
С 1966 года американские космонавты начали тренироваться в специальных «бассейнах невесомости». Несмотря на сопротивление, которое возникает при движении тела в жидкости, методы нейтральной плавучести, создаваемой погружением в воду, позволяют ознакомить космонавтов с динамикой человеческого тела, имеющего три степени свободы (фото на стр. 106). Космонавты, тренировавшиеся до



Советский космонавт во время тренировки на адаптацию к условиям невесомости в самолете, летящем по траектории, изображенной на предыдущем рисунке.

полетов в космос в таких бассейнах невесомости, дают этому виду тренировок высокую оценку. Космонавт Э. Олдрин, сравнивая задания, выполнявшиеся им во время тренировок в бассейне, с заданиями, которые ему пришлось выполнять позже в космосе, утверждает, что «подводная имитация невесомости имеет значительные преимущества перед имитацией невесомости в самолете, так как в условиях бассейна мы можем последовательно осуществлять все операции, которые потом производим при выполнении заданий в космосе, и можем проверить весь план полета или по крайней мере ту его часть, которая связана с выходом из космического корабля».

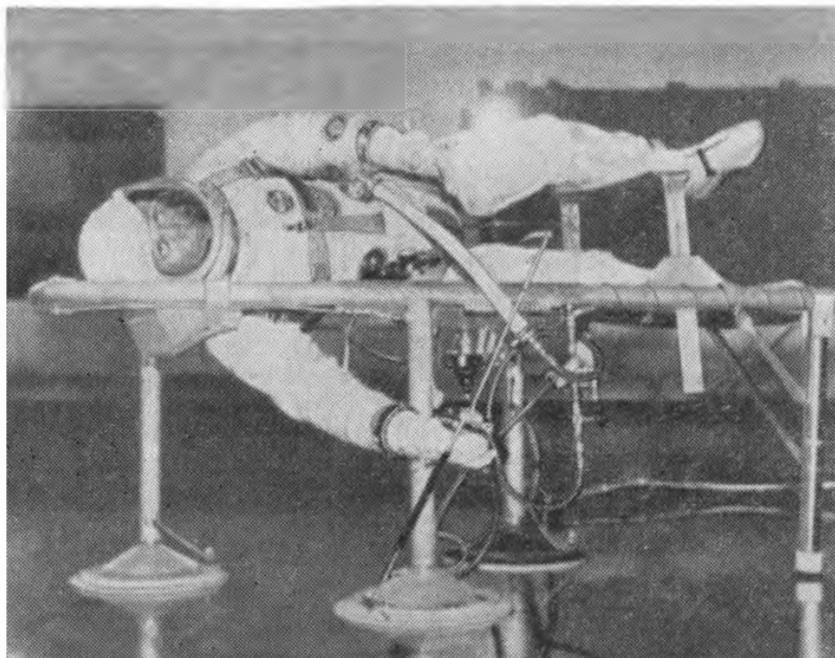
При тренировках в «бассейнах невесомости» необходимо, чтобы космонавт был в том же скафандре и использовал то же оборудование, с которыми он будет работать во время космического полета. Для правильного воспроизведения динамики движений важно также, чтобы космонавт был соответствующим образом нагружен балластом. Экспе-



Космонавт Э. Олдрин во время тренировки на адаптацию к условиям невесомости, проводимой в бассейне с водой.

рименты, проведенные в Научно-исследовательском центре ВМС США в Джонсвилле, штат Пенсильвания, показали, что если воду в бассейне заменить жидкостью на основе полидиметилсилоксана (кремнийорганическое соединение, входящее в состав кремов для кожи и косметических средств), то космонавты могут оставаться в состоянии нейтральной плавучести в течение нескольких дней или, может быть, даже недель. Такой бассейн невесомости будет особенно полезен для тренировок космонавтов перед полетами на космических станциях без искусственной гравитации.

В какой-то мере невесомость можно имитировать и парением в воздухе. В этом случае космонавт может стать невесомым «в одном измерении». На снимке, помещенном на стр. 107, показано, как космонавт М. Коллинз, закрепленный в раме, опоры которой находятся на воздушной подушке, обучается действовать ручной маневровой установкой (пистолетом). Так как благодаря воздушной подушке трение между полом и рамой практически отсутствует, харак-

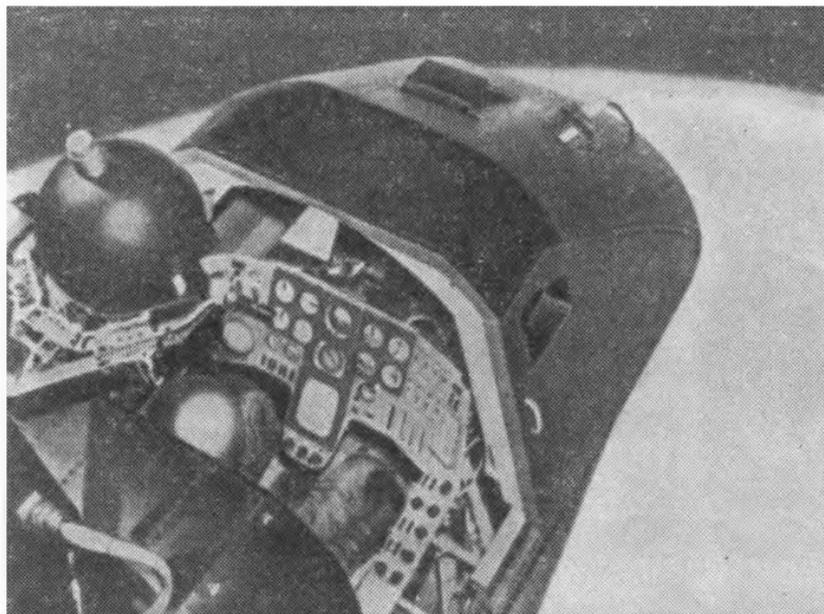


Имитация невесомости в горизонтальной плоскости. Космонавт М. Коллинз тренируется в пользовании ручной маневровой установкой для передвижения в космосе. Тренажер представляет собой подвеску в раме с тремя опорами на воздушной подушке.

тер движений космонавта, правда, только в горизонтальной плоскости, в какой-то мере соответствует особенностям передвижения в космосе.

Тренажеры для космонавтов

В наземных условиях нельзя всесторонне и полностью имитировать условия космического полета, поэтому в период подготовки к полету космонавтам необходимо пройти обучение и тренировку на целом ряде специальных устройств, называемых тренажерами. По принципу крепления, то есть в зависимости от того, закреплены ли они неподвижно или могут перемещаться, тренажеры делятся на статические и динамические. Кроме того, по своему назначению их можно разбить на три группы. К первой группе относятся тренажеры, которые предназначены для того, чтобы ознакомить космонавтов с работой основных систем космического корабля; ко второй — тренажеры, зна-



Имитатор кабины космического корабля, перемещающийся относительно звезд и линии земного горизонта, изображение которых проецируется на сферическом экране, чтобы создать космонавту ощущение полета в космическом пространстве.

команды космонавта с задачами, которые ему предстоит выполнять, и помогающие ему получить соответствующий опыт в их выполнении, и, наконец, третья группа — это имитаторы полета, на которых экипаж корабля тренируется в выполнении всего комплекса заданий, рассчитанных на данный полет.

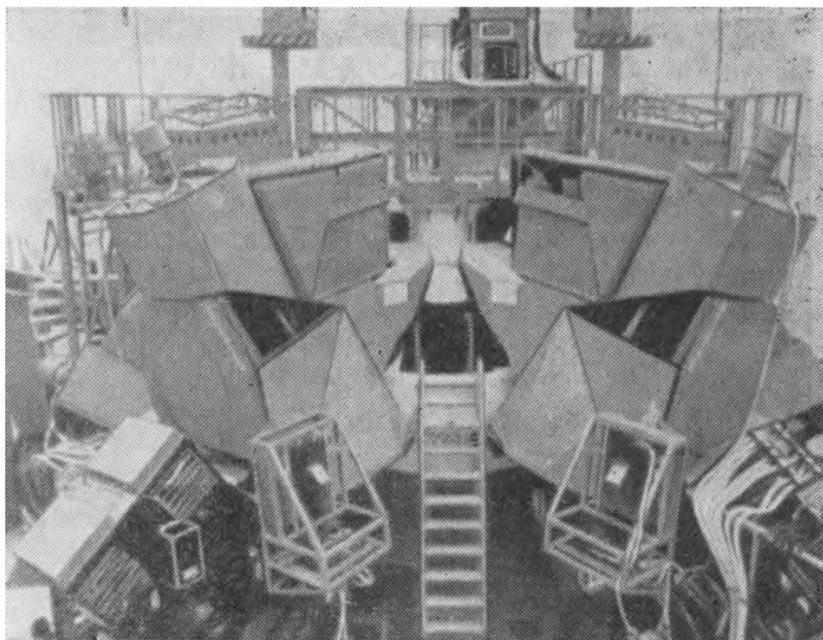
Тренажеры первой группы — это статические устройства, практически представляющие собой не что иное, как искусно сделанные учебные пособия, необходимые для того, чтобы космонавты отчетливо представляли себе все системы космического корабля. Такие тренажеры особенно эффективны в обучении космонавтов работе с электрической и топливной системами, а также с системами жизнеобеспечения, управления и навигации космического корабля.

Тренажеры второй группы — это либо статические, либо динамические устройства, которые могут быть сравнительно простыми или очень сложными в зависимости от

характера работы, для которой они предназначены. Типичным статическим тренажером такого типа является макет, снимок которого помещен на стр. 108. На нем космонавт тренируется в ручном управлении космическим кораблем. Динамические тренажеры второй группы — устройства более сложные. На них отрабатывается, например, техника стыковки с другим космическим кораблем. Такой тренажер использовали во время подготовки полетов по программе «Джеминай», затем переконструировали для обучения космонавтов по программе «Аполлон». Он представляет собой макет космического корабля, парящий на воздушной подушке и имеющий четыре степени свободы. Положение его в пространстве изменяется с помощью реактивных двигателей, включаемых пилотом. Космический летательный аппарат, с которым предстоит стыковка, имеет две степени свободы, его перемещениями в пространстве управляет счетно-решающее устройство в соответствии с сигналами управления и перемещением космического корабля. Тренажер находится в темном помещении, где яркие лампы освещают только космический летательный аппарат, с которым предстоит стыковка, как это будет в космическом пространстве. Относительные перемещения космического корабля и космического летательного аппарата, с которым предстоит стыковка, контролируют счетно-решающие устройства.

Тренажеры, относящиеся к третьей группе, являются статическими устройствами. Такой тренажер для программы «Аполлон» показан на стр. 110. Подобные устройства есть как в Хьюстонском научно-исследовательском центре разработки пилотируемых космических кораблей, так и в центре космических исследований на мысе Кеннеди.

В окружении приборов и проекторов виден макет командного отсека корабля «Аполлон», внутренняя часть которого точно дублирует внутреннее устройство настоящего корабля. Команда космонавтов тренируется в выполнении связанных с полетом заданий в имитированной космической обстановке. Генерируются шумы, которые будут при запуске корабля. Кинопроекторы и система зеркал воссоздают виды Земли, Луны и картину звездного неба и их изменения по мере того, как корабль движется по своей гипотетической траектории. Приборы на панели управления дают космонавтам необходимую информацию. Показания приборов регулируются счетно-решающим устройством.



Установка, имитирующая все фазы космического полета. В окружении приборов и проекторов виден макет командного отсека корабля «Аполлон».

вом, которое сравнивает их с заданными и вносит в эти показания соответствующие изменения. С помощью этого счетно-решающего устройства инструктор может имитировать возникновение аварийных ситуаций, чтобы определить, как подготовлены к этому космонавты и правильные ли решения они будут принимать, стараясь ликвидировать аварийную обстановку.

Такой тренажер необходим для обучения не только космонавтов, но и операторов наземного центра управления полетом. Во время обучения космонавтов на этом тренажере операторы, под контролем которых находятся различные пульта управления и которые должны руководить полетами, также тренируются в выполнении своих сложных задач.

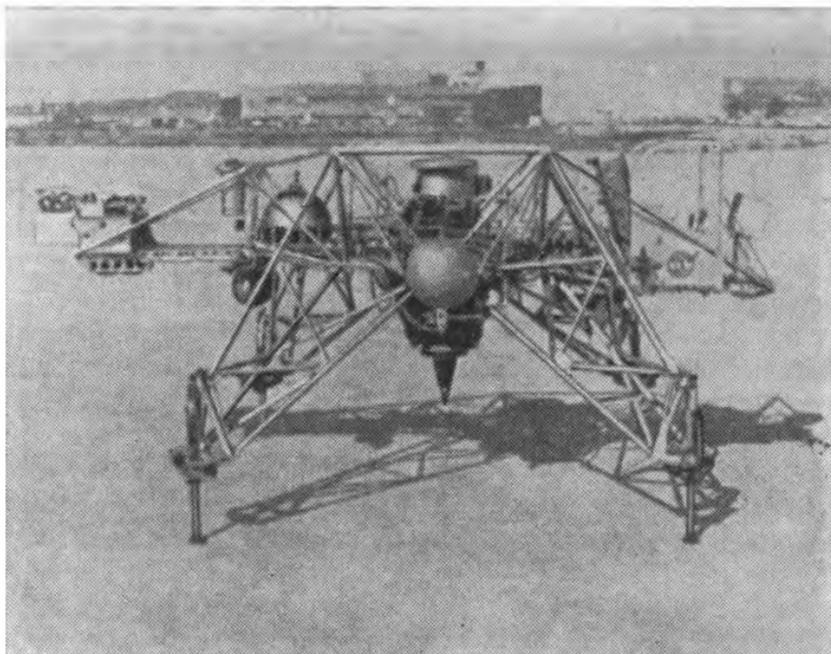
Новые оборудование и техника часто требуют разработки специальных тренажеров. Так произошло с ручной маневровой установкой (портативный ручной ракетный двигатель), которая предназначена для передвижения космонавтов, находящихся за пределами космического корабля

в открытом космосе. Чтобы создать близкую к реальным условиям картину движений космонавта при использовании такого устройства, специально был разработан очень сложный динамический тренажер. Он состоит из шара диаметром 6 м, на поверхность которого проецируют вид звездного неба или Земли (без подробностей рельефа). Космонавт с макетом ручной маневровой установки находится на подвижном стенде, помещенном в центре этой сферы. Стенд позволяет космонавту поворачиваться в ответ на включение маневровой установки. С помощью этого тренажера разрабатывается техника передвижения с маневровой установкой подобного типа и проводится соответствующая тренировка космонавтов.

Особенно сложные имитаторы используются для освоения работ в гравитационном поле Луны, которое составляет только $\frac{1}{6}$ часть земного притяжения. Это и устройства, дающие космонавту ощущение парения над поверхностью Луны в лунной кабине, и наклонная дорожка — тредбан, на которой космонавт учится передвигаться в условиях пониженной гравитации.

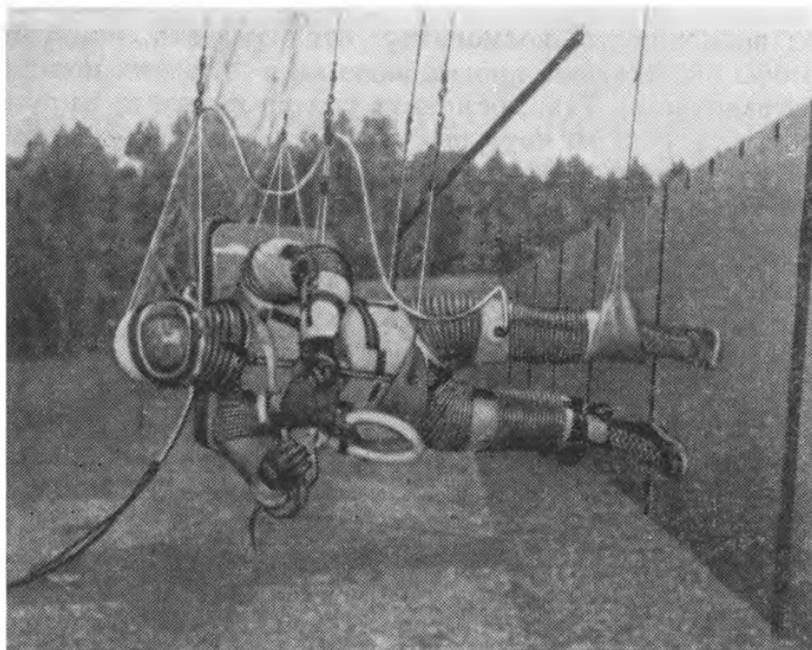
Прежде чем прилуниться, пилот парит в лунной кабине над выбранным местом посадки, маневрируя, чтобы лучше разглядеть, нет ли каких-либо препятствий к прилунению. Воспроизвести этот маневр и окончательную посадку в условиях земной гравитации очень трудно. Однако это можно сделать с помощью специально сконструированного летательного аппарата, изображенного на стр. 93, который является частью комплекса для исследования проблем прилунения в Научно-исследовательском центре Лэнгли в Темптоне, штат Виргиния.

Этот тренажер имеет 76 м в высоту и 122 м в длину. Небольшой летательный аппарат подвешен на тросах, создающих вертикальную подъемную силу, которая составляет $\frac{5}{6}$ веса аппарата. Снизу тросы прикреплены к подъемнику, управляемому с помощью сервомеханизмов и находящемуся прямо под мостовой фермой (между нею и кабиной аппарата). Этот подъемник в свою очередь управляется динамометрическими датчиками в каждой опорной стойке. Подвешенный и сбалансированный таким образом аппарат может перемещаться вперед-назад на 122 м, в сторону на 15 м и вверх-вниз на 55 м. Его приводят в движение небольшие реактивные двигатели, аналогичные тем, которые имеются в лунном модуле. Одна из модификаций



Летательный аппарат, с помощью которого космонавты тренируются в посадке на поверхность Луны. Он ведет себя так, словно его вес составляет $\frac{1}{6}$ действительного веса. Правильное положение аппарата в воздухе обеспечивается 16 реактивными двигателями.

этого аппарата, позволяющего осуществлять «свободный полет», показана на помещенном выше снимке. Он весит 1812 кг. В центральной части аппарата на карданном подвесе установлен реактивный двигатель с тягой 1900 кг, которая всегда направлена вверх и снимает $\frac{5}{6}$ веса аппарата. Кроме того, имеются два ракетных двигателя с регулируемой тягой до 226 кг, а также четыре связки из четырех небольших реактивных двигателей системы управления, разнесенных на 90° вокруг центра тяжести аппарата и обеспечивающих управление его положением и движением в горизонтальной плоскости. Пилот сидит в открытой кабине, находящейся справа. В последующих (более поздних) вариантах этого аппарата космонавт будет находиться в кабине, полностью соответствующей реальной кабине лунного модуля. Перед началом работы с этим тренажером космонавты в течение трех недель учатся летать на обычных вертолетах и проводят 15 час в статическом тренажере, подробно изучая все системы аппарата.



Ходьба по лунной поверхности — трудная задача для космонавта, весящего на Луне в 6 раз меньше, чем на Земле. Подготовить к такой ходьбе помогает стенд лунной гравитации Научно-исследовательского центра Лэнгли, на котором космонавт, подвешенный с помощью системы строп, передвигается по наклонной плоскости, в то время как давление на его подошвы составляет $\frac{1}{6}$ обычного.

На поверхности Луны космонавт столкнется с трудностями передвижения в условиях гравитации $\frac{1}{6} g$. Наклонный тредбан, показанный выше, находится под некоторым углом к вертикали. Космонавт подвешен на стропах, которые спускаются с подъемного крана и снимают $\frac{5}{6}$ его веса. Благодаря такому устройству давление на подошвы ботинок космонавта составляет лишь $\frac{1}{6}$ того давления, которое он обычно ощущает. На этом тредбанае космонавт может свободно ходить, бегать и прыгать, что в условиях гравитации $\frac{1}{6} g$ гораздо труднее, чем это можно себе представить.

Тот же принцип лежит в основе тренажера, изображенного на снимке, приведенном на стр. 114. Установленная в карданном подвесе рама с привязной системой подвешена к подъемному крану таким образом, чтобы снимать $\frac{5}{6}$ нормального веса космонавта, позволяя ему относительно легко передвигаться в ограниченной зоне. Такой тренажер

дает возможность космонавту отрабатывать наилучшие способы выполнения многих заданий в условиях пониженной гравитации. Так, космонавт учится вылезать из лунного кратера, склоны которого усыпаны камнями — осколками горных пород. Этот имитатор в сочетании с моделью лунного грунта в Хьюстонском центре особенно полезен



Специальная подвесная система, которая обеспечивает космонавту три степени свободы и снимает $\frac{5}{6}$ его веса, позволяя тренироваться в ходьбе по имитированному лунному грунту.

для тренировок в ходьбе по лунной поверхности в скаффандрах.

В заключение можно сказать, что космонавт на протяжении месяцев тренировок, предшествующих космическому полету, использует много имитаторов и тренажеров различных типов, с помощью которых он знакомится с условиями космического полета. После окончания каждого полета достоинства и недостатки каждого устройства рассматривают в свете опыта, полученного космонавтами в полете. Одни, не оправдавшие себя, имитаторы и тренажеры идут, как говорится, на слом, другие совершенствуются, а вместе с ними совершенствуется и весь процесс разработки имитаторов и тренажеров космического полета для обучения космонавтов.

Жизнеобеспечение в космосе

Проблема создания в космическом корабле необходимых для жизни условий чрезвычайно сложна. Решить ее можно только совместными усилиями ученых и инженеров различных специальностей, в работе которых до начала космической эры практически было мало точек соприкосновения. Это биологи, физиологи, врачи, химики, физики и инженеры в области электротехники и механики. Сегодня представители этих профессий работают совместно над созданием сложных систем жизнеобеспечения, которые позволяют человеку покинуть привычную для него среду на поверхности Земли и полететь в космос.

При разработке системы жизнеобеспечения уделяется внимание как биологическим, так и чисто инженерным вопросам. Самым важным соображением при этом является продолжительность полета, для которого предназначен проектируемый космический корабль. Кроме этого, можно перечислить несколько чисто физиологических факторов, которые служат отправной точкой для выявления основных характеристик конструкции. К ним относятся интенсивность обмена веществ экипажа космического корабля, скорость поглощения кислорода, скорость выделения углекислого газа, количество необходимой воды, а также температура и влажность окружающей среды и допустимый уровень ее загрязнения.

С этими параметрами тесно связаны и такие моменты, как численность экипажа космического корабля, возможность перезарядки систем жизнеобеспечения во время полета, наличие источников питания, число планируемых выходов космонавтов из космического корабля и количество необходимых запасов. Исходя из этого, рассмотрим два основных типа систем жизнеобеспечения: незамкнутую и полужамкнутую.

Системы жизнеобеспечения незамкнутого типа

Первые системы жизнеобеспечения (СЖО) незамкнутого типа использовали в конце сороковых — начале пятидесятых годов, когда высотные воздушные шары и ракеты-зонды с мелкими позвоночными животными и другими биологическими объектами запускали в стратосферу. Эти СЖО имели, по существу, только источник сжатого воздуха и не содержали (или имели в очень небольших количествах) запасов воды и пищи. Систем регенерации продуктов жизнедеятельности или их сбора и хранения не было вовсе. Типичным примером такой системы является СЖО для обезьянки Гордо, которая в декабре 1958 года совершила полет в космос по баллистической кривой, находясь в головном конусе ракеты «Юпитер». Кабина ее представляла собой цилиндр диаметром 35 и длиной 25 см. Весь блок СЖО со вспомогательным оборудованием и обезьянкой весил всего 13,4 кг. Теплоизоляция создавалась слоями металлической фольги и стекловолокна. Углекислый газ поглощался брикетом из смеси гидроокисей кальция и бария. Водяные пары улавливались пористым поглотителем. Источником воздуха для дыхания был сжатый кислород из баллона; запасов пищи и воды не было. Обезьяну привязывали к сиденью, напоминавшему кресла, позднее использованные на кораблях серии «Меркурий». Вся «система» удаления экскрементов состояла из пленки, которой была обернута обезьяна.

В дальнейшем совершенствовании СЖО незамкнутого типа для животных не было никакой необходимости. Правда, СЖО, сконструированные для первых орбитальных полетов с животными на борту (полеты собак Лайки, Белки, Стрелки и Звездочки в Советском Союзе, а также шимпанзе Эноса в США), представляли собой шаг вперед по пути создания более сложных систем жизнеобеспечения, но их разрабатывали главным образом для того, чтобы поддерживать жизнь этих животных до тех пор, пока не будут собраны и переданы на Землю важные физиологические данные. Эти СЖО никто не думал приспособлять для человека.

Системы жизнеобеспечения полузамкнутого типа

Прежде чем приступить к описанию СЖО полузамкнутого типа, целесообразно снова вернуться к рассмотрению основных биологических параметров, с учетом которых они разрабатываются. Однако следует помнить, что это номинальные величины, которые необходимо корректировать в соответствии с полученным опытом и требуемыми коэффициентом безопасности и резервирования.

Исходя из этого можно сделать вывод, что СЖО полузамкнутого типа должна работать таким образом, чтобы удовлетворять следующим минимальным потребностям космонавтов (в кг/чел-день):

Кислород для дыхания	0,906
Питьевая вода	3,624
Вода для личной гигиены космонавтов	5,436
Пища	0,589

СЖО должна также удалять или перерабатывать следующие продукты жизнедеятельности космонавтов (в кг/чел-день):

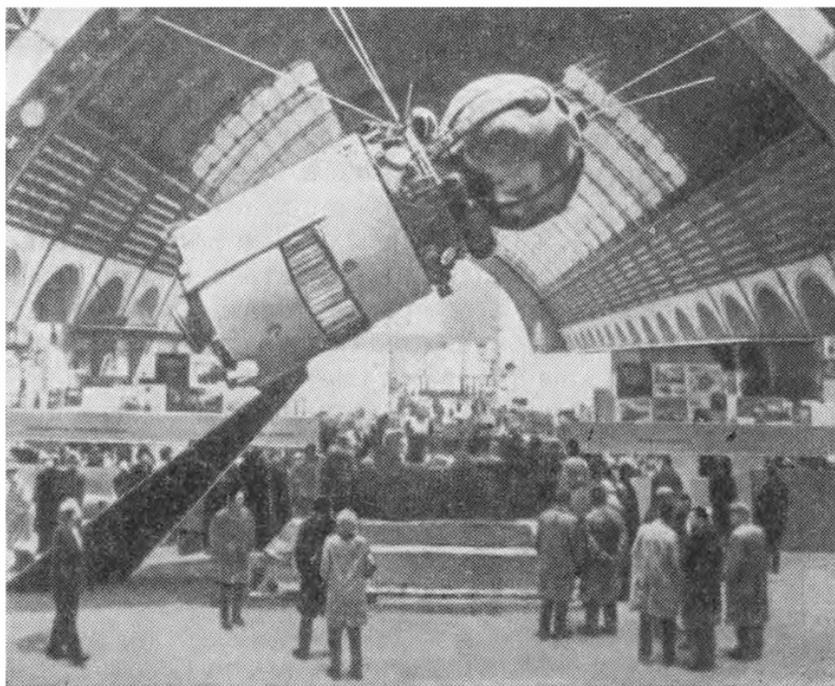
Углекислый газ	1,019
Водяные пары (содержатся в поте и выдыхаемом воздухе)	2,491
Грязная вода после умывания	5,436
Моча	1,450
Фекальные массы	0,158
Метаболическое тепло	12 000 БТЕ/чел-день*

Зная, сколько человек будет в экипаже космического корабля, можно подсчитать количество продуктов, необходимых для обеспечения нормальной жизнедеятельности экипажа во время космического полета.

После рассмотрения этих биологических вопросов остается решить вопросы, которые относятся в основном к обычным инженерно-технологическим проблемам.

СЖО полузамкнутого типа можно рассматривать как группу связанных друг с другом подсистем, каждая из которых выполняет определенную задачу. Такие СЖО при-

* БТЕ — британская тепловая единица; 1 БТЕ = 251,98 кал. — Прим. ред.



Двигательный отсек кораблей «Восток» и «Восход» вместе с присоединенным к нему командным отсеком корабля «Восток». Тормозной ракетный двигатель и радиатор со створками находятся внутри двигательного отсека.

менялись на кораблях «Восток», «Меркурий», «Джемини». Простоты ради можно сказать, что СЖО состоит из четырех основных подсистем:

- 1) кондиционирования воздуха;
- 2) обеспечения водой;
- 3) обработки продуктов жизнедеятельности космонавтов;
- 4) терморегуляции (обеспечение нормальных температурных условий).

В подсистему кондиционирования воздуха входят запасы кислорода или смеси газов для дыхания, оборудование для их циркуляции (вентиляционное оборудование), а также устройства для очистки и обработки газовых смесей (удаление запахов, углекислого газа, твердых частиц и других загрязнений, а также поддержание необходимых влажности, температуры и давления). Подсистемы обеспечения водой и обработки продуктов жизнедеятельности космонав-

тов снабжают космонавтов питьевой водой и водой для личной гигиены, а также обрабатывают и хранят в качестве отходов продукты их жизнедеятельности. Подсистема терморегуляции поддерживает в кабине космического корабля оптимальную, заранее выбранную температуру. Как эти подсистемы связаны друг с другом, хорошо видно из блок-схемы СЖО командного модуля корабля «Аполлон», приведенной на стр. 128. В очень ограниченном объеме кабины компоненты этой СЖО занимают объем всего лишь $0,25 \text{ м}^3$.

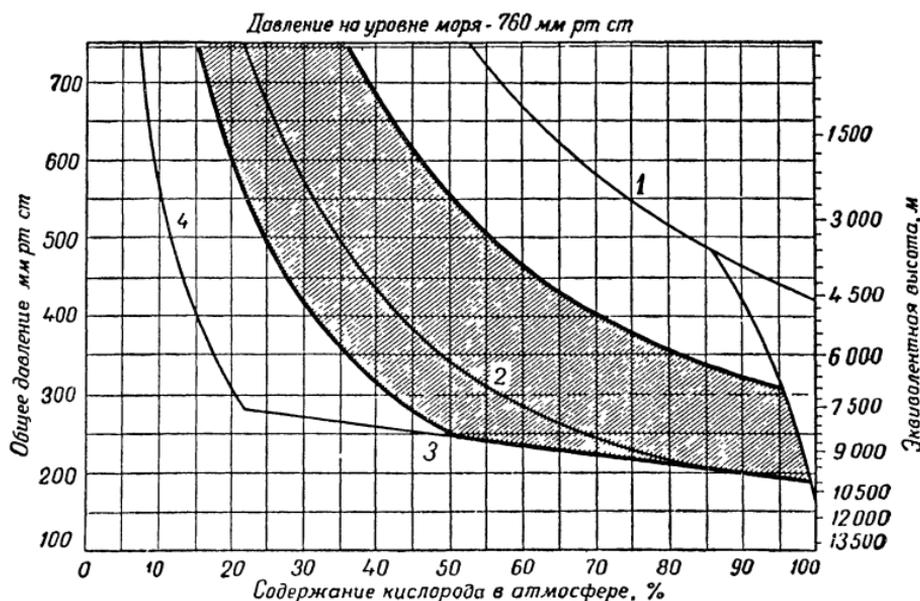
Подсистема кондиционирования воздуха

Вес космического корабля в значительной мере зависит от величины атмосферного давления в его обитаемых отсеках. В общих чертах можно сказать, что чем больше разность давлений внутри и снаружи космического корабля, тем толще и прочнее должна быть его конструкция. Однако при сравнительно низком давлении внутри корабля — а оно обычно составляет $0,35—0,50 \text{ атм}$ — общий вес корабля будет определяться другими нагрузками на элементы конструкции. К ним относятся: лобовое сопротивление при максимальном динамическом давлении, перегрузки при ускорении, ударные нагрузки и нагрузки, связанные с работой ракет системы аварийного покидания корабля на стартовой участке и системы спасения на парашютах. Таким образом, если вес не является ограничивающим фактором благодаря очень мощным ракетам-носителям, то в космическом корабле можно использовать более высокое атмосферное давление. Такие благоприятные условия позволяют на советских космических кораблях создавать внутри корабля давление, равное 1 атм .

В США на раннем этапе разработки космических кораблей требование ограничения веса корабля диктовало необходимость поддержания в кабине давления меньше 1 атм . Однако из-за опасности возникновения дисбаризма при таком давлении нельзя использовать воздух. Наилучшей заменой воздуха является в этом случае чистый кислород при давлении $0,35 \text{ атм}$. При таком давлении уменьшается вероятность наступления ателектазов (неполного расширения легочных альвеол, частичного их слипания). На стр. 120 помещен график, на котором наглядно показаны физиологические факторы, диктующие выбор давления в случае использования атмосферы чистого кис-

лорода. Верхний предел давления, которое можно рассматривать, определяется токсичностью кислорода, а нижний — кислородной недостаточностью.

Каждый вид используемой атмосферы имеет свои недостатки. Чистый кислород при давлениях ниже 1 атм очень опасен в пожарном отношении, так как им насыщаются ткани и другие воспламеняющиеся материалы. Эту опасность можно уменьшить, используя несгораемые или огнеупорные материалы и уделяя при конструировании и изготовлении космических кораблей самое пристальное внимание вопросам техники безопасности, но нельзя ликвидировать полностью. Дополнительная опасность возникает в случае пробоя обшивки космического корабля метеоритом. В этом случае расплавленные и превращенные в пар материалы обшивки попадают в кабину и быстро окисляются. Даже частичное проникновение метеорита в обшивку космического корабля может привести к тому, что в результате ее отслоения и растрескивания в отсеки корабля влетят частицы, которые вызовут обрыв электро-



Влияние кислорода при различном давлении на человеческий организм. Заштрихована зона, в которой не нарушается работоспособность человека.

1 — максимально допустимое давление; 2 — содержание кислорода, эквивалентное условиям на уровне моря; 3 — минимально допустимое общее давление; 4 — минимально допустимое давление при акклиматизации.

проводки или пробой трубопроводов или стенок контейнеров, содержащих горючие материалы, и таким образом вызовут пожар.

Однако с точки зрения борьбы с пожаром условия космического полета имеют определенные преимущества: в условиях невесомости замедляется перенос тепла путем конвекции. Совершенно очевидно, что это справедливо только для условий космического полета, но не для периода запуска корабля. Пожар, возникший на корабле во время полета, можно быстро потушить, если быстро разгерметизировать аварийный отсек, открыв люки, конечно, при условии, что все члены экипажа в это время будут одеты в скафандры.

При использовании в отсеке космического корабля двухгазовой атмосферы с давлением 1 атм существует потенциальная опасность возникновения кессонной болезни, если произойдет утечка газа из отсека или быстрая его разгерметизация. При достаточно большом падении давления окружающей среды любой газ-разбавитель, то есть газ, смешанный с кислородом и, таким образом, содержащийся в крови, в жире или в других тканях человеческого тела, образует пузырьки. При использовании кислородно-азотной смеси может возникнуть еще и опасность вторичной радиации вследствие активации космическими лучами атомов азота. Поэтому на кораблях, предназначенных для полетов к Луне и другим более отдаленным планетам, возможно, в качестве газа-разбавителя будет использоваться гелий.

Предложения использовать в двухгазовой атмосфере вместо азота инертные или благородные газы обсуждались и раньше. Поскольку аргон, криптон и ксенон растворяются в крови лучше азота, то рассматривать их не имело смысла. Гелий на первый взгляд лучше азота или неона, однако физиологические последствия его продолжительного воздействия на человека еще недостаточно изучены, хотя смесь кислорода с гелием используется ныряльщиками на большие глубины, применяют его и в экспериментах при трехнедельном пребывании под водой. Гелий обладает также большей теплопроводностью, чем азот, и, таким образом, в его среде быстрее понижается температура тела. При рассмотрении всех инертных газов можно прийти к выводу, что применительно к СЖО лучшим среди них является неон.

Создание двухгазовых СЖО, очевидно, более сложная инженерно-техническая проблема, чем конструирование одногазовых СЖО*. Двухгазовые СЖО должны иметь устройства для постоянного контроля и регулирования парциального давления обоих газов, чтобы поддерживать нужный состав атмосферы. Хотя инертный газ не вступает в какие-либо химические реакции, избежать его утечки из космического корабля также трудно, как и избежать утечки кислорода. Необходимость пополнения атмосферы отсеков корабля двумя газами еще более увеличивает сложность такой СЖО. При усложнении системы, естественно, уменьшается ее надежность, что всегда вызывает опасения инженеров.

Выбрав газ или газовую смесь, которые используют в СЖО, конструктор рассматривает способы хранения этих газов на борту космического корабля. На выбор способа хранения газа влияет много факторов, однако самым важным из них является продолжительность полета. В настоящее время существуют два способа хранения запасов газа на космическом корабле: под высоким давлением при обычной температуре и при низком или среднем давлении, но при криогенных температурах (-80°C или ниже). Хранение газов под высоким давлением более надежно, однако вес контейнеров при этом получается огромным. Учитывая ограниченные размеры космического корабля, хранение газа в небольших контейнерах под давлением кажется очень привлекательным. Однако существует критическое давление, выше которого газы не сжимаются, да и стенки контейнеров нужно делать чересчур толстыми, чтобы они выдерживали такое давление. Если считать, что оба параметра, и объем и вес, одинаково важны, то в этом случае оптимальным является давление 525 атм. Именно под таким давлением находится газ в баллонах из нержавеющей стали на кораблях серии «Меркурий». Аналогичные баллоны использовались и на советских кораблях «Восток» и «Восход». При спуске лунного модуля корабля «Аполлон» (этап прилунения) использовался один баллон кислорода объемом $0,083\text{ м}^3$ и весом 21,75 кг под давлением 189 атм, а при подъеме модуля с поверхности Луны и выходе его на

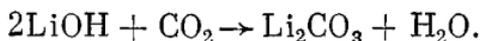
* На советских космических кораблях применяются двухгазовые смеси, давление которых равно одной земной атмосфере.—
Прим. ред.

селеноцентрическую орбиту для встречи с командным модулем — два баллона с давлением 59,5 атм. Кислорода этих трех баллонов было достаточно для четырех повторных герметизаций кабины и шести заправок ранцевых СЖО, что обеспечивало их общее время работы в течение 49,5 час.

Криогенные сосуды позволяют хранить сжиженный газ при меньшем весе контейнера и при более низких рабочих давлениях. Однако подача жидкости в условиях пулевой гравитации усложняет систему, и такие газовые контейнеры особенно чувствительны к теплу.

Для командного модуля корабля «Аполлон» используется кислород из общего источника, предназначенного для СЖО и для электронных систем. Для этого в необитаемом отсеке корабля имеются два сосуда Дьюара, в которых кислород хранится в двухфазном состоянии при температуре -180°C и давлении 63 атм. В каждом сосуде содержится 145 кг чистого кислорода, из которых 104 кг предназначены для СЖО. Сосуды Дьюара имеют настолько хорошую теплоизоляцию, что если налить в них кипящий кофе, то и два года спустя он будет слишком горяч, чтобы его сразу можно было пить. Кислород из этих сосудов используется полностью до вхождения корабля в плотные слои земной атмосферы. Поэтому во время этой фазы космического полета экипаж корабля использует кислород из уравнительного резервуара СЖО, в котором содержится 1,676 кг кислорода, то есть количество, достаточное для снабжения кислородом в течение оклол полусуток и, конечно, более чем достаточное для 35-минутного периода вхождения корабля в плотные слои атмосферы.

Снабжение кабины космического корабля кислородом является только частью тех задач, которые стоят перед подсистемой кондиционирования. Эта подсистема должна также удалять из кабины CO_2 , твердые частицы и другие загрязнения, а также водяные пары. CO_2 можно удалять химическим, механическим или физическим способом. На всех американских космических кораблях используют химический способ удаления CO_2 . Для этого применяют гидроксид лития, которая реагирует с CO_2 и образует карбонат лития и воду:



Обычно 1 кг гидроксид лития поглощает 0,8 кг CO_2 . Этот способ прост по конструктивному оформлению, однако кар-

бонат лития нельзя регенерировать (восстановить снова до гидроокиси лития), так что в космический полет необходимо брать с собой запас гидроокиси лития, который рассчитывается на том основании, что на одного человека на одни сутки полета требуется 1,132 кг этого вещества.

В СЖО командного модуля корабля «Аполлон» имеется металлический патрон, содержащий 1,812 кг гидроокиси лития, слой активированного древесного угля и фильтры из стеклоткани. Фильтры задерживают твердые частицы и не позволяют гидроокиси лития распыляться в окружающий воздух, а уголь поглощает запахи и вредные газы. Одного такого патрона достаточно только для 1,5 человеко-дней космического полета. В СЖО используют два патрона, соединенных параллельно, чтобы один из них можно было заменять, не отключая при этом всю систему. Аналогичный патрон используют в лунном модуле корабля «Аполлон» и заменяют его новым, когда парциальное давление CO_2 достигает 7,6 мм рт. ст.

Другая функция системы кондиционирования — удаление из атмосферы космического корабля излишков водяных паров, так как человек ежедневно выделяет в виде пота и влаги в выдыхаемом воздухе в среднем 2,491 кг воды. Обычно эту воду пазывают в США отходами, но на самом деле это неверно: воду используют в системе охлаждения космического корабля. В командном модуле корабля «Аполлон» используют конденсатор влаги с фитилями, аналогичными тем, которые имеются в керосиновых лампах. Вода проходит по ним под действием капиллярных сил и подводится к холодной пластине, где и конденсируется. Затем вода перекачивается в емкость для хранения. В лунном модуле используется другая система. Две низкоскоростные турбины — сепараторы сообщают проходящему через них газу, содержащему пары воды, тангенциальную скорость; вода конденсируется в конце сепаратора, собирается и по трубкам отводится в резервуар для ее хранения*.

Система кондиционирования удаляет из атмосферы кабины космического корабля также твердые аэрозольные частицы, которые выделяются конструктивными материалами, космической пищей, оборудованием кабины и самими членами экипажа космического корабля. Обычно эти части-

* На советских космических кораблях используются иные системы удаления CO_2 и регулирования влажности. — *Прим. ред.*

цы достаточно велики и эффективно улавливаются с помощью существующих фильтров. Такие фильтры могут задерживать и аэрозольные частицы маленьких размеров (до 0,3 мкм). Поскольку большинство загрязняющих частиц в атмосфере космического корабля имеет размеры 0,35 мкм и больше, то эти фильтры очень эффективны.

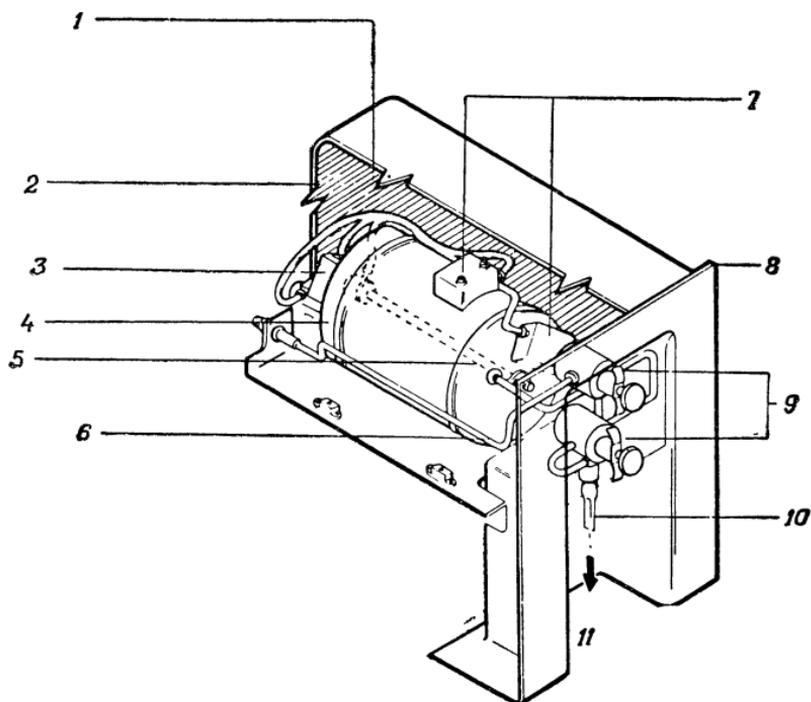
В командном и лунном модулях корабля «Аполлон» крупные частицы задерживаются фильтрами из проволочной сетки с очень мелкими ячейками, а мелкие частицы — фильтрами в патроне гидроокиси лития. На советских космических кораблях имеются два типа фильтров газоочистки: одни задерживают CO_2 и CO , другие — сероводород, аммиак и другие газы. Аэрозольные фильтры в регенеративных и осушительных патронах задерживают твердые аэрозоли, как это делается и на американских космических кораблях.

Подсистема водообеспечения

Эта часть СЖО состоит из системы хранения, подачи и распределения воды в космическом корабле. Как известно, на кораблях «Меркурий», «Джемини», «Восток» и «Восход» вода хранилась в резервуарах, емкость которых была достаточной для предполагаемой продолжительности полетов. Однако после завершения разработки электрических топливных элементов вода в космическом корабле перестала быть столь дефицитной, и ее теперь не берут как мертвый груз.

Питьевую воду для командного модуля корабля «Аполлон» вырабатывают три топливных элемента на 1,42 квт, в которых происходит реакция соединения водорода с кислородом (см. рисунок на стр. 126). Каждый элемент при нормальной нагрузке дает 0,226 кг воды за 1 час. Таким образом, три элемента вместе вырабатывают за каждые 5,5 час около 4 л воды, которая поступает на хранение в резервуар емкостью примерно 15 л. Эта вода, которая намного чище, чем вода в городском водопроводе, безвкусна, потому что в ней нет растворенных солей. В лунном модуле корабля «Аполлон» на стадии прилунения вода подается из одного большого алюминиевого баллона емкостью 165 л, а на этапе выхода его на орбиту встречи — из двух алюминиевых баллонов, содержащих 18 л воды.

В командном модуле корабля «Аполлон» вода из резервуара для хранения поступает в охладитель, где ее температура понижается с 40 до 10° С, а затем — к меньшему промежуточному резервуару для хранения воды, показанному на блок-схеме на стр. 128. В этой системе часть воды



Электрические топливные элементы, снабжающие экипаж корабля «Аполлон» питьевой водой.

1 — трубопроводы; 2 — изоляция; 3 — термостат; 4 — резервуар с горячей водой; 5 — внутренний электронагреватель; 6 — линии распределения холодной воды; 7 — термостаты; 8 — панель крепления (консольный узел); 9 — рукоятки регулировки; 10 — выходной водяной патрубок; 11 — горячая или холодная вода.

хранится в секции холодной воды, остальная часть — в секции горячей воды, где ее температура поддерживается на уровне 80° С. Горячую воду космонавты используют для приготовления пищи, а холодную — для питья и личной гигиены. Если космонавты не успевают использовать воду достаточно быстро, то ее излишки переливаются в резервуар для хранения использованной воды емкостью 26,5 л. Если и этот резервуар в свою очередь переполнится, воду откачивают за борт космического корабля с помощью подсистемы обработки отходов.

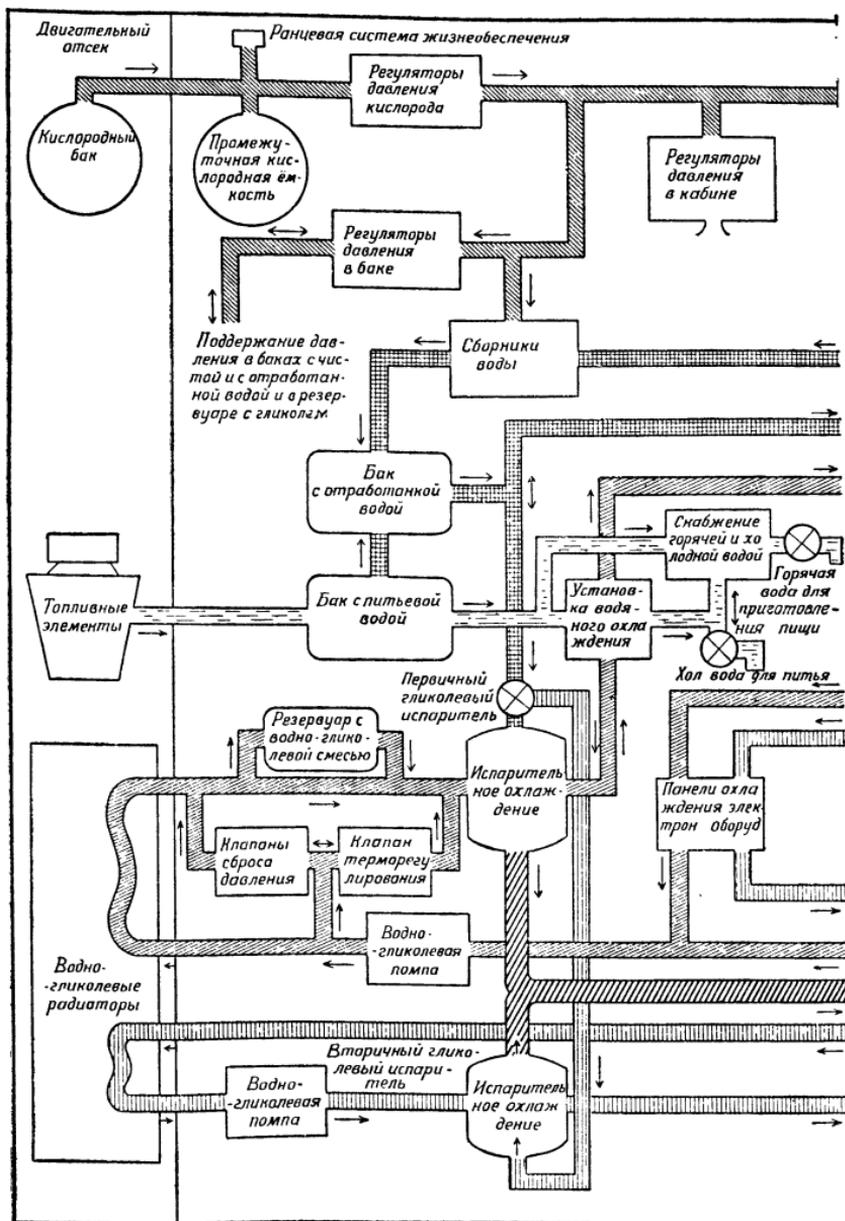
Воду, полученную в результате конденсации водяных паров из атмосферы кабины, в командном модуле космического корабля «Аполлон» используют в системе охлаждения. В этом случае вода поступает в блок испарительно-го охлаждения, в котором она насыщает фитили, сообщающиеся с космическим вакуумом. В эти фитили введены трубки, которые соединяются с обычной системой охлаждения и содержат водно-гликолевую смесь. Под воздействием космического вакуума вода из фитилей мгновенно испаряется, при этом происходит нужное понижение температуры.

Подсистема обработки отходов

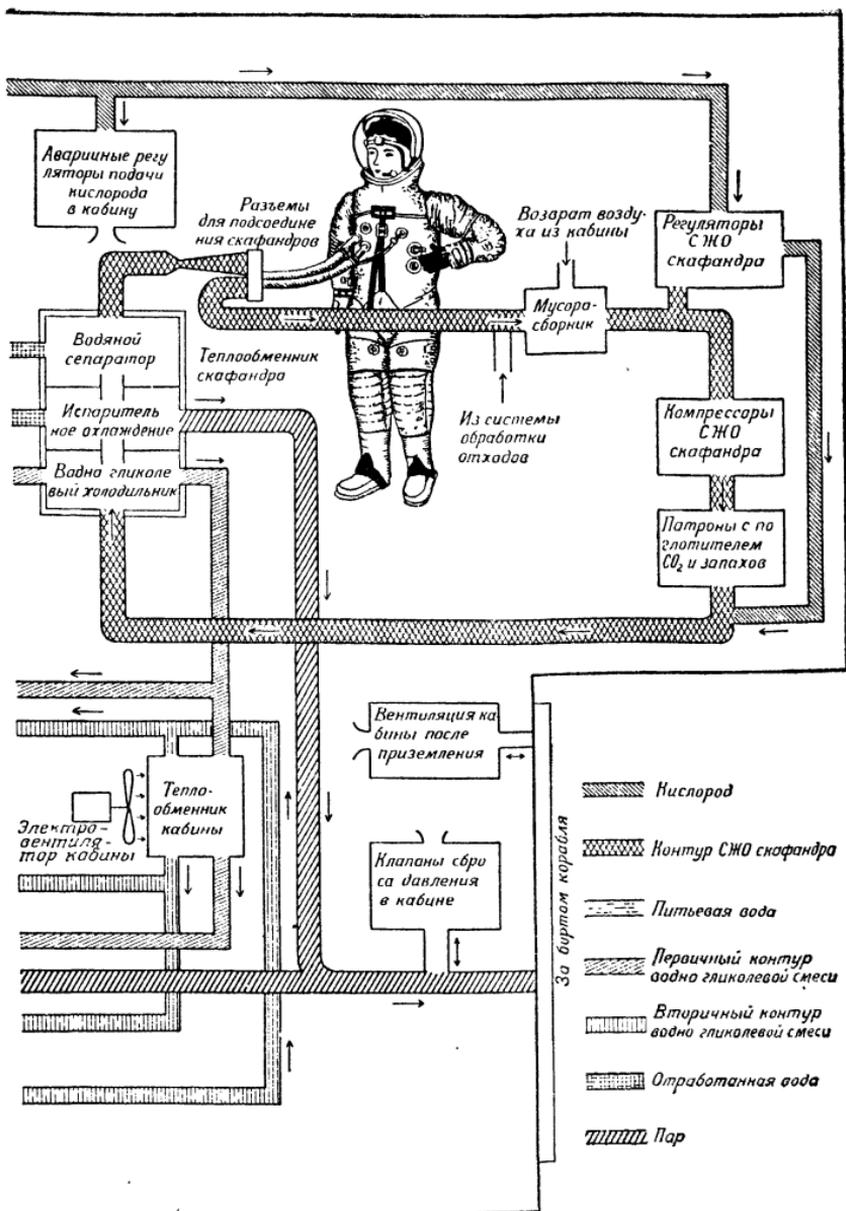
Вначале считали, что на космическом корабле проблему отходов решить очень просто: чем меньше отходов, тем лучше. Однако оказалось, что все же необходимо иметь какую-то систему для сбора, хранения или удаления жидких и твердых отходов — продуктов жизнедеятельности человека, остатков пищи и разного мусора.

Фекальные массы собираются в специальные пластмассовые мешки. Перед использованием мешка в него кладут легкорвущийся пакет с бактерицидным средством. После использования мешок с фекальной массой и туалетной бумагой герметично закрывается и складывается. Бактерицидное средство убивает микроорганизмы, которые вызывали бы гниение и запахи. Если данные, полученные в полетах кораблей «Джеминай», справедливы и для полетов к Луне, то можно предполагать, что космонавты корабля «Аполлон» будут иметь стул один раз в два дня.

Моча сбрасывается прямо за борт космического корабля, где она сначала замораживается, а затем сублимируется, то есть переходит из твердого состояния в парообразное. Для сбора мочи в космическом корабле используют простое устройство, аналогичное больничному мочеприемнику. Естественного давления жидкости в мочевом пузыре достаточно, чтобы через систему трубок и клапанов протолкнуть мочу за борт корабля. Однако такое устройство неприменимо, если космонавт одет в скафандр. В этом случае космонавт использует привязанный к талии специальный мочеприемник. Он представляет собой мешочек из нейлона, покрытого неопреном, с гибким шлангом, подсоединенным к внутреннему концу клапана для сброса мочи;



Упрощенная блок-схема полузамкнутой системы жизнеобеспечения в течение 14 дней; она



космического корабля «Аполлон». Система рассчитана на работу занимает объем 0,25 м³.

клапан находится в скафандре напротив правого бедра космонавта. Этот мешочек можно подсоединять с помощью специального переходника к системе обработки отходов космического корабля и опорожнять.

К остальным отходам относятся остатки пищи, жевательная резинка для очистки зубов и использованные салфетки для личной гигиены космонавтов. Остатки пищи обрабатываются бактерицидным веществом, чтобы убить вызывающие гниение бактерии, и хранятся в герметичных пластмассовых мешочках. Прочий мусор тоже помещается в мешки и хранится аналогичным образом на протяжении всего космического полета.

Подсистема терморегуляции

Создавать и поддерживать в космическом корабле оптимальную температуру гораздо труднее, чем в автомобиле или квартире. В космическом пространстве тепло может передаваться только путем радиации, в то время как на Земле теплопередача может быть еще и конвективной и кондуктивной. А поскольку космический корабль должен отводить тепло в космос, это возможно осуществить только излучением.

На американских космических кораблях температуру внутри кабины поддерживают следующим способом. Жидкость, циркулирующая вокруг источника тепла, поглощает это тепло и переносит его к радиатору, находящемуся на наружной, обращенной в космический вакуум поверхности космического корабля. В обитаемых отсеках кораблей поддерживается температура $20 \pm 2,5^\circ \text{C}$. Электровентилятор с диффузором прогоняет воздух кабины над змеевиком, по которому течет жидкость-теплоноситель. Эта жидкость проходит дальше по трубкам, находящимся с наружной стороны космического корабля.

В командном модуле корабля «Аполлон» электронное оборудование, выделяющее тепло, смонтировано на специальных металлических платах, в которых прорезаны каналы охлаждения. По ним циркулирует смесь воды с этиленгликолем. Эти платы, называемые «холодными платами», являются передатчиками тепла и соединены с теплообменниками космического скафандра и кабины, как показано на блок-схеме, помещенный на стр. 128. Излишки тепла в кабине через «холодную плату» передаются указанной

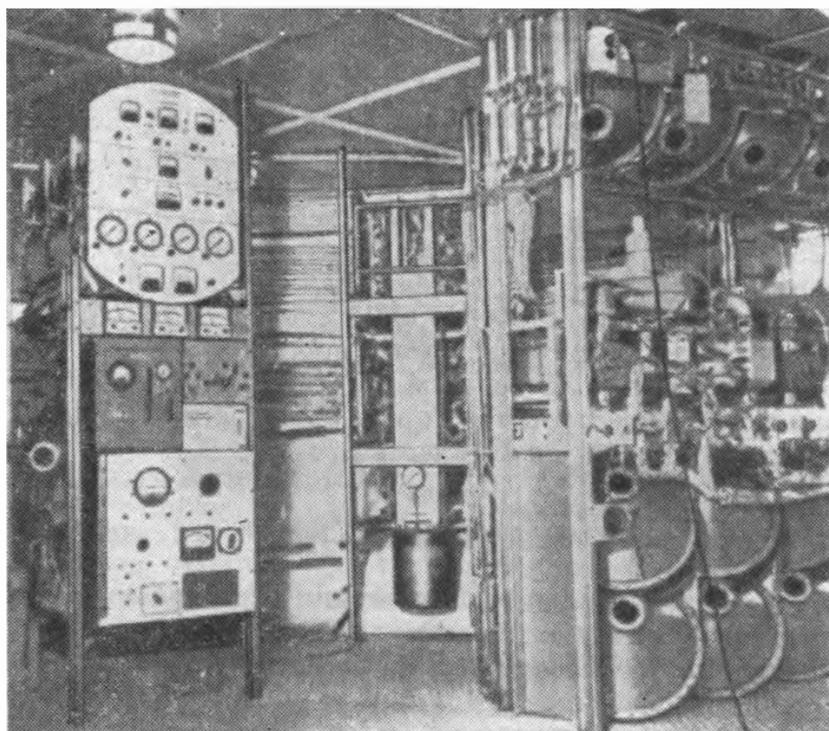
жидкости, которая протекает далее через радиатор, расположенный на обращенной к космосу обшивке модуля. Чтобы радиатор равномерно подвергался воздействию космического вакуума, космический корабль медленно вращается со скоростью 2,5 об/час через каждые 20 час на пути к Луне и через 4 час во время возвращения на Землю. Таким образом, в кабине корабля поддерживается температура $25 \pm 2,5^\circ \text{C}$. Излишнее тепло из атмосферы и от оборудования лунного модуля рассеивается с помощью сублиматора с пористыми пластинами. Это — металлические пластины с микроскопическими порами, через которые просачивается теплая вода; когда она достигает вакуума космического пространства, происходит ее сублимация и за счет этого охлаждение пластин.

Подсистемы регенеративного типа

Для более продолжительных космических полетов СЖО полузамкнутого типа можно значительно улучшить и уменьшить их вес, если часть подсистем сделать регенеративными. На современном этапе развития техники можно регенерировать кислород и воду. При этом достигается следующая экономия в весе:

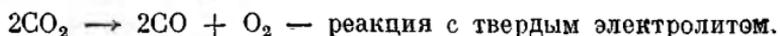
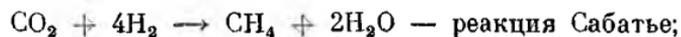
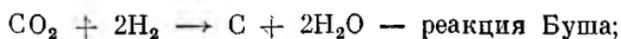
Регенерируемое вещество	Экономия в весе, кг/чел-день
Вода для личной гигиены	5,436
Вода из мочи и пота	2,491
Вода из фекальных масс	0,136
Кислород из углекислого газа	0,725

Продолжительность работы СЖО можно значительно увеличить еще и путем получения кислорода из углекислого газа. Правда, это потребует некоторого увеличения первоначального веса. Однако при использовании более мощных ракет-носителей такие системы, вероятно, будет целесообразно применять как при орбитальных полетах вокруг Земли, так и на лунной поверхности и в межпланетных полетах продолжительностью более 90 дней. Обычно процесс получения кислорода из углекислого газа состоит из нескольких стадий: отделение и концентрация CO_2 , его восстановление, в результате чего получается вода, и далее электролиз воды, дающий O_2 .



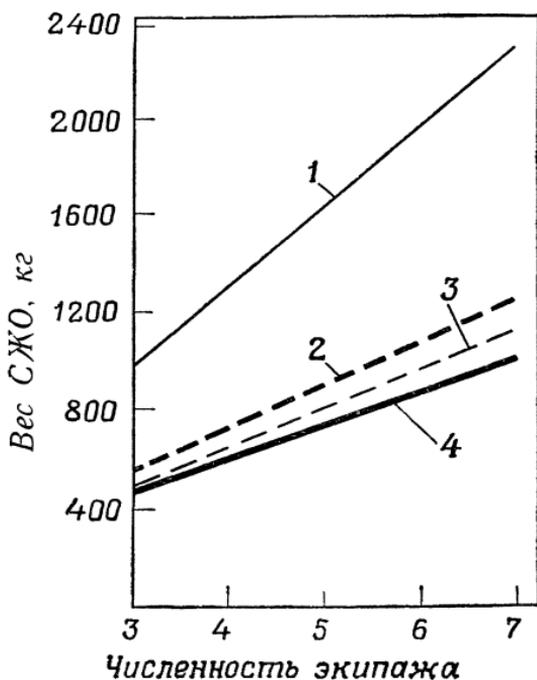
Опытные образцы СЖО с регенеративными подсистемами, подобными изображенной, сейчас разрабатываются и испытываются в США. Слева сверху виден блок электролиза воды.

Собирать и концентрировать CO_2 можно различными способами, в том числе с помощью молекулярных сит, твердых аминов, окисла серебра, путем электродиализа и вымораживания. Собранный CO_2 можно восстанавливать одним из следующих способов:



К этим методам можно также добавить барботирование CO_2 через подвергнутой электролизу расплавленный карбонат какого-либо щелочного металла, в результате чего получается сразу O_2 . Какой выигрыш в весе дает применение каждого из этих методов, видно из приведенного графика-

ка. Однако для протекания всех этих реакций к системе необходимо подводить большое количество тепловой или электрической энергии. Экономичность этих способов повысится с использованием более эффективных источников энергии, таких, как солнечные элементы, а также радиоизотопные и термоионные источники энергии.



Зависимость веса СЖО от численности экипажа и метода регенерации кислорода из углекислого газа. Подсчитайте, как значителен будет выигрыш в весе системы жизнеобеспечения корабля, предназначенного для 600-суточного полета к Марсу.

1 — метод Сабатье; 2 — щелочной метод; 3 — метод Буша; 4 — метод разложения на твердых электролитах.

Полученная вода электролитически разлагается на кислород и водород. Водород можно снова использовать в реакциях Буша или Сабатье. Полученный в результате реакции Сабатье метан можно восстановить до водорода, который далее опять используется в тех же реакциях.

Чтобы очистить кабину космического корабля от таких газов, как метан, водород, сероводород и окись углерода, можно использовать каталитические горелки. Они имеют

фильтры из древесного угля, нагревательные элементы для подогрева воздуха и гопкалитовые патроны (гопкалит — смесь окислов марганца и меди). Воздух из кабины сначала проходит через древесный уголь, не поглощенные им газы следуют дальше через нагревательный элемент, имеющий температуру 400°C , нагреваются и в результате реакции в гопкалите восстанавливаются.

Любая регенеративная система дает те или иные отходы, которые следует собирать, подвергать дальнейшей обработке или хранить. Типичными отходами являются твердый углерод, метан и окись углерода. Это вызывает определенные трудности.

Большой выигрыш в весе дает повторное использование воды. Ведь каждый член экипажа космического корабля является потенциальным источником приблизительно 2,5 л воды в день.

В количество воды, которое надо регенерировать, входит также избыточная влага в атмосфере отсека. Существует несколько способов ее регенерации: высокотемпературная перегонка в вакууме, электродиализ и испарение в воздухе с последующей компрессией (сжатие под давлением) пара. Как и для других регенеративных систем, для осуществления этих процессов требуются затраты значительного количества электроэнергии или тепла. Всестороннее рассмотрение всех методов позволяет заключить, что, по-видимому, наилучшим способом регенерации является перегонка в вакууме. Во время этого процесса вода дистиллируется в вакууме и бактерии и другие летучие загрязнения удаляются в каталитической горелке. Исследования показывают, что для полета шести человек к Марсу потребуется блок весом всего лишь 90,6 кг.

Космические скафандры

Современный космический скафандр был разработан на основе костюма для ныряльщиков, созданного в середине XIX века, и высотного летнего костюма, примитивная модель которого показана на снимке, помещенном на стр. 135. Космический скафандр — это сложное и дорогостоящее устройство, и это легко понять, если ознакомиться с требованиями, предъявленными, например, к скафандру космонавтов корабля «Аполлон». Этот скафандр должен обеспе-



Предшественник современных космических скафандров — высотный скафандр американского летчика Вилли Поста, который он использовал во время полетов в стратосферу в середине 30-х годов.

чивать защиту космонавта от воздействия следующих факторов:

Давление окружающей среды . . .	10^{-10} мм рт. ст.
Гравитация	$1/6 g$
Диапазон температур	$\pm 150^{\circ}\text{C}$ при потоке солнечной энергии 440 БТЕ/ч
Поток микрометеоритов:	
первичный	Скорость 29,8 км/сек, диаметр частиц 0,305 мм, плотность 0,498 г/см ³
вторичный	Скорость 0,198 км/сек, диаметр частиц 2,388 мм, плотность 3,490 г/см ³
Электромагнитное излучение . . .	Интенсивное инфракрасное и ультрафиолетовое излучение, а также излучение в видимом диапазоне



Скафандр для космонавтов кораблей «Меркурий» (1961 год). Металлизированный наружный слой предназначен для отражения тепловых лучей.

Чтобы скафандр для программы «Аполлон» выдерживал все эти воздействия, его изготавливают из высокопрочных синтетических тканей, металла и пластмасс. Наружный слой скафандра защищает космонавта от температурных воздействий и от микрометеоритных частиц. Эта оболочка сделана из огнестойкой ткани (бета-ткань). В наиболее сильно истирающихся местах спереди и сзади сделаны накладки из металлизированной стальной ткани. Между двумя слоями бета-ткани находятся чередующиеся слои бета-маркпзета и алюминизированного

пластика, которые способны поглотить энергию микрометеоритов в случае пробоя ими скафандра и отразить лучистое тепло. Под этим наружным защитным костюмом находятся гермооболочка (гермокостюм) и силовая оболочка — костюм из нейлона, предохраняющий гермооболочку от сильного раздувания при создании в ней давления. Гермооболочка сделана из нейлоновой ткани с неопреновым покрытием. Она выдерживает рабочее давление внутри скафандра 0,245 атм. Под этой оболочкой находится еще один костюм из ткани, который предохраняет кожу космонавта от раздражения и облегчает процесс надевания скафандра. Между этим нижним костюмом и гермооболочкой находится система трубок, которая распределяет потоки кислорода, поступающего в скафандр из системы жизнеобеспечения. Кислород создает в скафандре внутреннее давление и уносит запахи, влагу, тепло и твердые аэрозольные частицы.



Скафандр для космонавтов кораблей «Джеминай» (1965 год). Он обеспечивал космонавтам больший комфорт, чем скафандр для космонавтов кораблей «Меркурий».



Модифицированный скафандр для космонавтов кораблей «Джеминай», специально разработанный для работы за пределами космического корабля. Для этого к основному скафандру добавили оболочки тепловой и микрометеоритной защиты.

В торсовой части скафандра имеется несколько герметичных разъемов, через которые в скафандр поступают кислород, охлажденная вода и проходят электрические провода. Справа вверху на груди находится электрический разъем системы биотелеметрии и радиосвязи. Симметрично ему на левой части груди есть разъем для воды, если в костюме используется жидкостное охлаждение (такой костюм описан ниже). Под этими разъемами расположены два ряда разъемов, через которые подается и выводится кислород. Разъемы справа — для подсоединения к системе жизне-

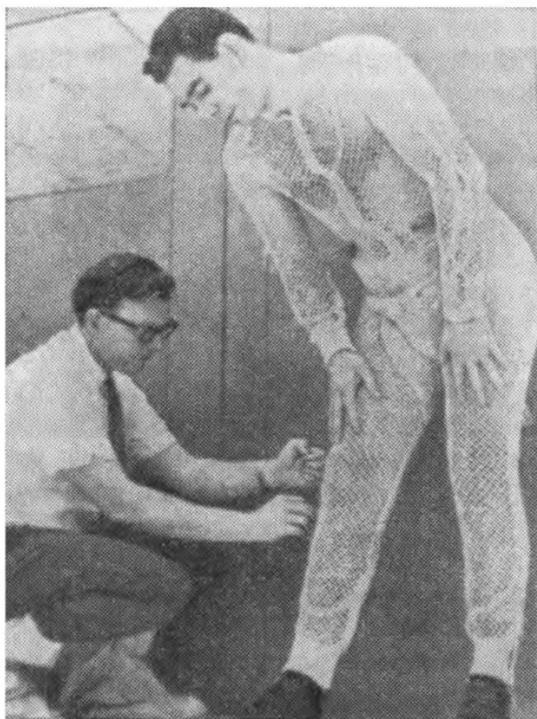


Ранний вариант скафандра для космонавтов кораблей «Аполлон» (1964 год) без ранцевой системы жизнеобеспечения.



Модель скафандра для космонавтов кораблей «Аполлон» (1966 год). При работе за пределами космического корабля поверх скафандра надевают костюм тепловой защиты.

обеспечения кабины космического корабля, слева — для подсоединения к ранцевой автономной системе жизнеобеспечения, о которой пойдет речь ниже. На правом предплечье находится манометр, измеряющий давление в скафандре, на левом — клапан сброса избыточного давления. На правом бедре размещен клапан для подсоединения к мочеприемнику, находящемуся внутри скафандра. Скафандр имеет систему силового подтяга (тросики и блоки между верхней и нижней частями скафандра), позволяющую космонавту наклоняться вперед, несмотря на избыточное давление в скафандре. Без этого приспособления наклоняться просто невозможно. От шеи вниз вдоль позвоночника и да-



Специальное нижнее белье с водяным охлаждением, предназначенное для пребывания космонавтов в открытом космосе и на поверхности Луны. На снимке показана ранняя модель этого костюма, предназначенная для испытаний.

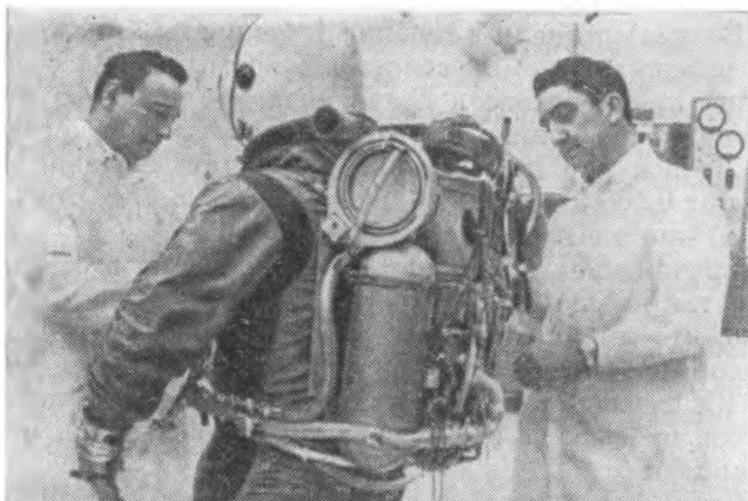
лее через промежность к нижней части живота проходит застежка-молния, закрывающая вход в скафандр.

Под скафандр космонавт надевает легкий цельнокроевый костюм с датчиками для биотелеметрии. Кроме того, под скафандр надевается также специальный костюм водяного охлаждения, первый экземпляр которого был рассчитан на непрерывную эксплуатацию в течение 115 час. Этот костюм применяют для охлаждения космонавта, когда он находится за пределами космического корабля (см. снимок сверху). В этом костюме из нейлонового спандекса имеется система полихлорвиниловых трубок общей длиной около 90 м, по которым непрерывно циркулирует холодная вода, поглощающая выделяемое телом тепло и отводящая его к внешнему холодильнику. Благодаря такому костюму

температура кожи на различных участках тела не выходит за пределы 10—40° С.

Перчатки крепятся к рукавам скафандра по линиям запястий и имеют в этом месте сильфонные шарниры, обеспечивающие достаточную подвижность рук. Они сделаны из нейлона с неопреновым покрытием, что обеспечивает герметичность при давлении, создаваемом в скафандре, и имеют шарнирные сочленения на пальцах. Проволочные стяжки на ладони не дают перчатке раздуваться при избыточном давлении в скафандре. Для обеспечения ловкости работы руками на пальцах перчаток имеются удлинения-захваты, с помощью которых космонавт может поднимать мелкие предметы, например монету. Перчатки отформованы так, что при создании в скафандре избыточного давления кисть в них принимает свое обычное, несколько согнутое положение. Ботинки космонавта составляют одно целое со скафандром и имеют на лодыжках обеспечивающие подвижность шарниры. Подошвы изготовлены из огнестойкой резины на основе фторкаучука.

Шлем космонавта сделан из прозрачного поликарбоната и обладает большой ударной прочностью (первоначально этот материал был использован для чехлов, защищающих от камней уличные фонари). Шлем крепится к скафандру с помощью прижимного защелкивающегося кольца, но в противоположность ранним американским образцам шлемов он не может поворачиваться относительно скафандра. Сферическая форма шлема дает космонавту возможность поворачивать голову в любую сторону. Кислород поступает в шлем со скоростью 162 л/мин, а герморазъем на левой стороне шлема позволяет космонавту в скафандре пить или принимать пищу. Под шлем космонавт надевает шапочку с встроенными в нее наушниками и микрофоном. В затылочной части шлема имеется прокладка из силиконовой резины, которая обеспечивает космонавту комфорт во время отдыха, а также в периоды ускорения или торможения космического корабля. Съёмные смотровые щитки задерживают интенсивный видимый свет и ультрафиолетовое излучение, когда космонавт находится за пределами космического корабля. Чтобы подавать в скафандр кислород и воду, удалять из него углекислый газ и регулировать влажность подскафандрового пространства, космонавт при выходе в открытый космос или на поверхность Луны использует портативную ранцевую систему жизнеобеспече-



Ранцевая система жизнеобеспечения скафандров (без защитного чехла), предназначенная для космонавтов кораблей «Аполлон». Электропровода присоединены к телеметрическим датчикам, проверяющим работу различных узлов этой системы.

ния, модель которой здесь изображена. Она прикрепляется к спинке скафандра и весит 56,625 кг (вес на Земле).

Такая ранцевая система жизнеобеспечения снабжает космонавта кислородом в течение 4 час, то есть в течение времени, достаточного для того, чтобы отойти от лунного корабля на расстояние 1 км и вернуться обратно. В случае возникновения аварийной ситуации аварийный запас кислорода, хранящийся в баллоне в верхней части ранца, обеспечивает космонавта кислородом в течение дополнительных 30 мин. Органы управления и контроля работы этой системы жизнеобеспечения сосредоточены в одном месте — в блоке, находящемся на груди космонавта. На борту лунного корабля имеются запасы кислорода и гидроокиси лития для подзарядки ранцевых систем жизнеобеспечения. Этих запасов достаточно для нахождения космонавта за пределами космического корабля в течение 16 час.

А. А. Леонов, первый космонавт, вышедший в открытый космос, надевал поверх основного скафандра костюм тепловой и противомикрметеоритной защиты из белого нейлона. Скафандр был рассчитан на работу космонавта с энергозатратами 250 ккал/час. Перед выходом А. А. Леонова из корабля («Восход-2») оба космонавта (А. А. Леонов и

П. И. Беляев) дышали в течение 1 час чистым кислородом, чтобы избежать декомпрессионных расстройств (кессонной болезни) при переходе к более низкому давлению в скафандре (по сравнению с давлением в кабине корабля). А. А. Леонову пришлось также уменьшить давление в скафандре от 0,406 атм до приблизительно 0,28 атм, чтобы более свободно двигать руками и ногами.

Американские космонавты, выходявшие в открытый космос, так же как и А. А. Леонов, испытывали усталость от того, что им приходилось «сражаться со скафандром». Это видно по частоте их пульса и дыхания. Так, у космонавта Ю. Сернана («Джеминай-9») при усилиях, которые он делал, надевая на свой скафандр установку для маневрирования в открытом космосе, частота пульса поднялась до 180 ударов в минуту, а частота дыхания — до 40 дыханий в минуту. У космонавта Р. Гордона («Джеминай-11») при выполнении в открытом космосе намеченных заданий частота пульса тоже подскочила до 180 ударов в минуту, а частота дыхания — до 45 дыханий в минуту. Энерготраты обоих космонавтов составляли 3000—3600 БТЕ/час. Это приблизительно соответствует энерготратам борца на ринге. Такие чрезмерные энерготраты привели к тому, что у Ю. Сернана запотело смотровое стекло шлема и он был вынужден прервать работу в открытом космосе и вернуться на корабль. То же самое пришлось сделать и Р. Гордону.

Несмотря на эти трудности, космонавту, не обремененному тяжелым грузом, придется передвигаться по лунной поверхности со скоростью около 300 м/мин. Отрабатывая в бассейнах невесомости и в самолетах, летящих по баллистической траектории, технику выполнения будущих заданий, космонавт может научиться лучше расходовать и распределять свою энергию. Когда на следующем этапе космических исследований пилотируемые космические корабли полетят к более далеким планетам, конструкция космических скафандров изменится в соответствии с новыми требованиями к ним. Устройство таких скафандров рассмотрено в главе VIII.

Космическая пища

В псевдонаучных кинофильмах и фантастических историях о космонавтах вопрос о пище представляется обычно самым простым среди всех прочих проблем: космонавт рас-

полагает неограниченным запасом высокопитательной пищи в виде маленьких пилюль и обедает очень быстро, запивая такие пилюли глотком воды. К сожалению, в настоящее время космонавты не располагают такой пищей, а при современной технологии приготовления пищи пилюли, которые они принимают в научно-фантастических кинофильмах, имели бы размеры теннисных мячей.

С самого начала разработки программ пилотируемых полетов в космос и американские и советские ученые уделяли немного внимания разработке такой формы высококонцентрированного питания. Вместо этого разрабатывались новые методы обработки и упаковки обычной пищи, с тем чтобы она была легкой, питательной, содержала мало грубых, неперевариваемых веществ и по своей структуре, вкусу и цвету была бы как можно ближе к натуральным продуктам питания. Всю сложность этой задачи можно себе представить, лишь зная, в каких условиях механических и тепловых воздействий должна храниться космическая пища. Согласно требованиям, предъявляемым к пище для космонавтов кораблей «Аполлон», она должна оставаться неизменной в следующих условиях:

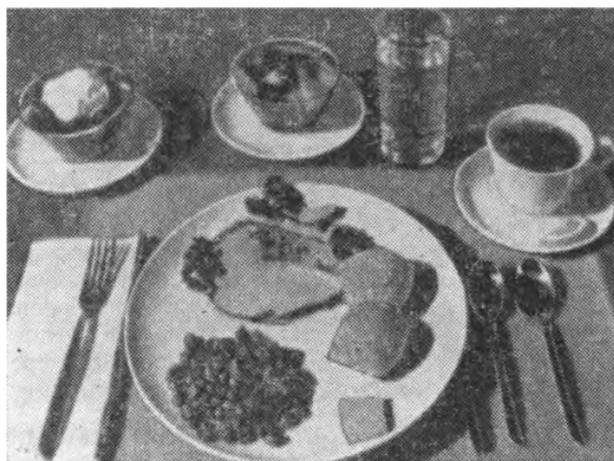
Температура	от -5 до $+60^{\circ}\text{C}$
Давление	$1,4 \div 7 \cdot 10^{-10}$ атм
Относительная влажность	$30 \div 90\%$
Состав атмосферы	Чистый кислород
Акустические шумы	135 дб, частота $35 \div 4800$ гц
Ускорение	Равномерное нарастание от 1 до $7,25$ g в течение 326 сек
Гравитация	Близкая к невесомости в течение продолжительного периода времени

В США и СССР разработали космическую пищу, которая удовлетворяет этим столь суровым требованиям и имеет в среднем следующий состав: 17% белка, 32% жиров и 51% углеводов. Американские космонавты получают в своем рационе $2800-3200$ ккал на человека в день. Советские космонавты получают приблизительно такое же количество продуктов, но для полетов, в которых планируется выход из космического корабля, суточная калорийность питания повышается до 3600 ккал.

Космическую пищу готовят главным образом методом сублимационного обезвоживания. Этот способ обработки пищи в настоящее время в ограниченных масштабах



Космонавты берут с собой продукты, подвергнутые сублимационному обезвоживанию. Перед употреблением к ним необходимо добавить воду и хорошо перемешать (фото сверху, слева). Использование такой «космической пищи» дает выигрыш в весе и объеме.



Космическая пища, которую употребляет космонавт на фото сверху, сырая, эквивалентна по питательности пище, изображенной на фото внизу.

применяется в странах Европы и Америки. Он прост как в теории, так и на практике. Космическая пища должна быть легкой и не требовать охлаждения при хранении. Большую часть натуральной пищи по весу составляет вода. Так, вода составляет $\frac{9}{10}$ веса овощей и фруктов и $\frac{4}{5}$ ве-

са мяса и рыбы. Если удалить воду, то вес продуктов питания будет значительно уменьшен, а простое добавление воды в такую пищу делает ее съедобной. Так как с использованием на борту космического корабля топливных элементов появилось относительное изобилие воды, то в настоящее время нет необходимости брать с собой в космический полет дополнительное количество воды специально для приготовления пищи.

Пищу, которая должна быть подвергнута сублимации вымораживанием, сначала подвергают кулинарной обработке, после чего быстро замораживают в жидком газе (обычно в жидком азоте). Затем ее делят на порции и помещают в вакуумную камеру. Давление в этой камере поддерживают обычно на уровне *1,5 мм рт. ст.* или даже ниже, а температуру медленно повышают до $50-60^{\circ}\text{C}$. При этом лед из замороженной пищи сублимируется, то есть переходит в пар, минуя промежуточную жидкую фазу, — пища обезвоживается. Таким образом вода удаляется из продуктов питания, которые остаются при этом неповрежденными и с неизменным химическим составом. Этим способом можно снизить вес пищи на 70%. Поскольку на борту корабля «Аполлон» для хранения пищи отводится пространство объемом всего лишь $0,1\text{ м}^3$, то такой выигрыш в объеме продуктов питания кажется особенно привлекательным. Всего лишь $0,589\text{ кг}$ такой сублимированной пищи будет достаточно для одного космонавта в течение суток.

Киборг*

Теоретически существует возможность замены полузамкнутой системы жизнеобеспечения, регенеративных подсистем и сублимированной космической пищи. Это радикальная замена, и тем не менее она технически осуществима путем создания соответствующего кибернетического организма — киборга. Говоря словами М. Клайнса, который совместно с Н. С. Клином разрабатывает эту идею, киборг — «совокупность экзогенных компонентов, расширяющих пределы функции саморегулирования организма, что-

* Автор в самом общем виде затрагивает весьма сложный вопрос искусственного введения в организм регулирующих технических систем. Над этим в настоящее время только начинают работать ученые. — *Прим. ред.*

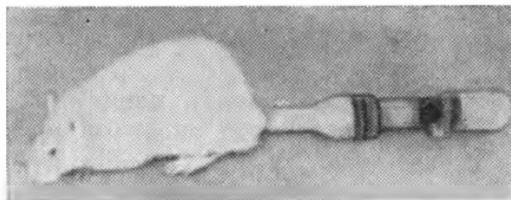
бы адаптировать его к новым условиям окружающей среды». Киборг — детище техники и биологии, которых соединила космонавтика. «Экзогенные компоненты» — это химические и электромеханические устройства, которые введены в тело человека, подсоединены к его системе гомеостаза и функционируют автоматически как ее часть. Новые окружающие условия в данном случае — это поверхность планет, вакуум глубокого космоса и др.

Являясь предельно усовершенствованным вариантом разработки систем человек — машина, киборг идеально подходит для космических исследований, поскольку он может адаптироваться к самым разнообразным новым условиям окружающей среды и в то же время сохранять свойства земного организма. Другими словами, человек модифицируется механически и химически, чтобы функционировать в совершенно необычных и не приспособленных для жизни физических условиях, например атмосферы Венеры или Юпитера. После окончания космического полета он снова может ремодифицироваться, вернуться к своей первоначальной форме и функционировать по-прежнему. Клайнс и Клин считают, что создание на космическом корабле земного микроклимата, как это описано в главе VIII, является временным и не наилучшим способом поддержания жизни человека в космосе. Эти ученые разрабатывают некое подобие системы жизнеобеспечения для рыб, позволяющей последним жить на суше в результате того, что их жабры снабжаются водой из перезаряжаемого источника воды. Чтобы стать истинным обитателем космоса, человек должен жить в космосе без какого-либо ограниченного, как любая модель, воспроизведения тех атмосферных условий, в которых происходила эволюция человека на Земле.

Идея киборга ближе к технической реализации, чем мы, может быть, думаем. В Центральном институте усовершенствования врачей в СССР несколько лет назад в опытах на собаках успешно заменили седалищные и блуждающие нервы тонкими танталовыми проволочками. В 1967 году в Кейптауне Кристиан Бернارد впервые осуществил пересадку сердца у человека. В странах Европы и Америки ученые успешно работают над созданием внутреннего искусственного сердца. В медицинской практике стало обычным применение таких биохимически инертных пластмасс и металлов, как тефлон, титан, сплавы хрома с кобальтом и нержавеющей сталь, для создания искусственных кла-

панов сердца, сухожилий, кровеносных сосудов, трахей, пищевода и костных суставов. Только в США 250 000 человек имеют в своем теле части различных органов, изготовленные из кремнийорганических соединений.

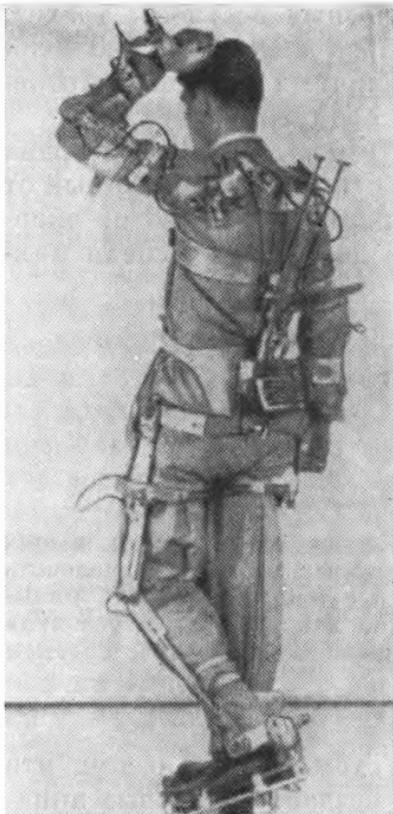
Для обеспечения нормальной работы «чужого» сердца в тело человека вживляют электростимулятор, питаемый от батареи, которую можно подзаряжать без проводов энергией радиоволн коротковолнового диапазона. Успехи мик-



Мышь с капсулой-насосом Роузе. Существуют гораздо меньших размеров микронасосы, с помощью которых в организм человека можно медленно вводить лекарственные препараты очень малыми дозами. Такого типа насосы можно использовать в условиях космического полета, исключив благодаря им громоздкие системы жизнеобеспечения.

роминиатюризации электронных схем говорят о том, что практически вполне осуществимо создание слуховых аппаратов, которые целиком помещаются в ухе. Такие микроминиатюрные схемы можно использовать и в усилителях для киборга.

Примером устройств, которые можно использовать, чтобы химическим путем регулировать физиологические функции киборга, является капсула-насос Роузе. В ней используется осмотическое давление, чтобы очень медленно и очень маленькими дозами вводить в организм лекарства. Например, с помощью этой капсулы можно в течение 200 дней вводить в организм лекарства со скоростью 0,01 мл в день (см. фото вверху). Такого типа устройства можно вживлять в организм (имплантировать). Например, такие капсулы вместе с соответствующими чувствительными элементами (датчиками) и цепью обратной связи в микроминиатюрном исполнении можно ввести в систему автономной регуляции организма. Результаты измерения с помощью датчиков систолического кровяного давления сравниваются с определенной заданной величиной, и полученная разность используется, чтобы регули-



Экспериментальный экзоскелетон, помогающий человеку поднимать очень тяжелые грузы и снимающий, таким образом, со скелетной системы большие нагрузки, возможные в условиях повышенной (по сравнению с земной) гравитации на других планетах.

ровать введение в кровеносную систему сосудорасширяющего препарата. Аналогично этому с помощью датчика дозы облучения можно регулировать введение противолучевых препаратов.

Предположим, что продолжительное пребывание в условиях невесомости вызывает у космонавта чрезмерную потерю способности ориентироваться. В таком случае ве-

роятно, у него можно отсоединить ушной лабиринт или заполнить полукружные каналы буферным веществом.

Чтобы поддерживать в организме человека необходимый водный баланс, киборг может перерабатывать мочу, прогоняя ее через устройство, которое будет превращать мочу в углекислый газ и аммиак и возвращать воду в кровеносную систему. Сегодня врачи применяют такие внутренние шунты, как шунт Холтера, для лечения больных водянкой мозга. Этот шунт отводит лишнюю жидкость из мозга человека прямо в правое предсердие. Чтобы вводить кислород непосредственно в кровь, можно использовать какие-либо препараты или «вмонтированные» непосредственно в тело человека устройства, которые расщепляют углекислый газ на кислород и углерод. При использовании такой системы отпадает необходимость в легких.

На планетах с большей, чем на Земле, силой гравитации, например на Сатурне, человек будет страдать от слабости своей скелетно-мышечной системы. В этом случае

ему может помочь металлический или пластмассовый экзоскелетон, который расположен снаружи тела человека и питается усиленной энергией миоэлектрических сигналов, вырабатываемых мышцами. В настоящее время в США разрабатывают экзоскелетоны, которые можно приспособить для киборга. Модель такого экзоскелетона изображена на стр. 148.

В ряде стран в последней стадии разработки находятся питаемые электроэнергией искусственные конечности. Югославский ученый Р. Томовик и его сотрудники сконструировали протез руки с питанием от батареи и с системой обратной связи, которая работает так точно, что человек может поднимать этой рукой стакан из тонкого стекла, не ломая его. Советские ученые В. С. Гурфинкель и А. Е. Кобринский разработали аналогичный протез руки, с помощью которого человек может переносить легкие сосуды или поднимать предметы весом до 4 кг. В СССР в Центральном научно-исследовательском институте протезирования и протезной промышленности разработаны протезы рук, питаемые миоэлектричеством с напряжением всего лишь 100 мкв.

Все эти достижения протезирования и хирургии, а также все возрастающий интерес к инженерной биологии говорят о том, насколько мы в действительности близки ко многим из тех методов, которые необходимы для создания киборга как средства адаптации человека с его уникальным мозгом и способностями к непривычным условиям планет, лежащих за пределами солнечной системы.

СВЯЗЬ С КОСМОНАВТОМ

Во время запуска пилотируемого космического корабля центр управления полетами переполнен специалистами и инженерами. Находясь у пультов, они следят за показаниями сотен контрольно-измерительных приборов. Их глаза прикованы к панелям, которые сообщают информацию о состоянии многочисленных систем и подсистем пусковой установки, космического корабля, наземного оборудования и самих космонавтов. Вся эта информация посредством *телеметрии* передается со скоростью света сначала с космодрома, находящегося за многие километры от них, а потом, после запуска космического корабля, из космоса.

Слово «телеметрия» произошло от греческих *tōle* — вдаль, далеко и *metreo* — мерю и обозначает раздел науки о передаче на расстоянии недоступных для непосредственных измерений данных к месту, где они могут быть восприняты. Если речь идет о космической телеметрии, это значит, что необходимые данные о космическом летательном аппарате поступают не только тогда, когда корабль стоит на стартовой площадке, но и на протяжении всего полета, когда корабль может находиться за миллионы километров от Земли и от места наблюдения за полетом.

Однако телеметрия не является результатом развития космических исследований. Она существовала еще до изобретения радиолампы, которая сделала возможным развитие электроники. Еще в 1885 году в США были опубликованы патенты на телеметрическую систему, основанную на передаче электрических сигналов по проводам, а в 1912 году такая система была создана в Чикаго. В середине 30-х годов успехи радиотехники позволили устанавливать на радиозондах телеметрические системы для измерения температуры, влажности и давления нижних слоев атмосферы.

Биотелеметрия, с помощью которой осуществляется ди-

станционное измерение физиологических параметров живых организмов, тоже родилась до начала космической эры. Электрокардиология человеческого сердца была впервые введена в 1887 году А. Д. Уокером, а в 1906 году У. Эйтхоузен передал электрокардиограмму из больницы в лабораторию, находящуюся от нее на расстоянии 1,5 км, по проводам. К 1910 году был изобретен стетоскоп, который передавал по проводам тоны сердца на расстоянии до 1600 км. Однако можно считать, что начало современной биотелеметрии заложили эксперименты, подобные экспериментам, проведенным ВВС Швейцарии в 1952 году. Суть этих экспериментов заключалась в том, что во время полета группы реактивных истребителей у каждого пилота снималась электрокардиограмма, которая передавалась на наземный пункт, отражая действие на сердце перегрузок и перепадов атмосферного давления.

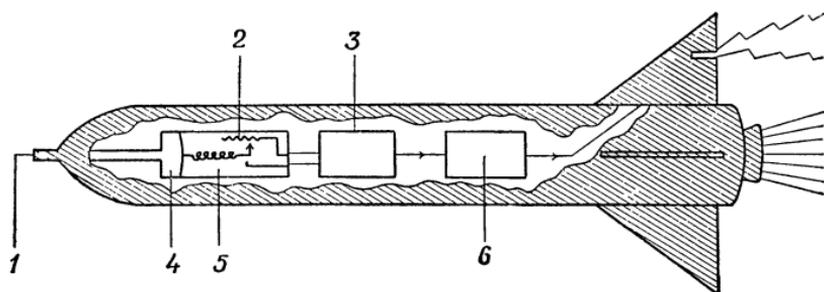
Чтобы лучше понять и оценить сложность сбора и передачи на Землю физиологических данных о космонавтах и о работе систем их жизнеобеспечения, кратко рассмотрим основы телеметрии.

Основы телеметрии

Система телеметрии должна воспринимать изменение какого-либо физиологического параметра, преобразовывать его в электрический сигнал, накладывать этот сигнал на несущую радиочастоту и передавать на определенное расстояние радиоприемному устройству. Основные элементы такой системы показаны на приведенной ниже схеме. Воспринимающими элементами системы могут быть различного рода датчики-преобразователи. Например, динамик радиоприемника или телевизора является типичным датчиком для преобразования электрической энергии в механическую, а затем и в энергию звуковой волны. Таким образом, воспринимающий элемент представляет собой устройство, которое преобразует один вид энергии в другой.

Большинство воспринимающих элементов, используемых в космической телеметрии, содержат механические элементы, которые изменяют электрическое сопротивление, емкость или индуктивность электрических цепей, хотя существуют также особые воспринимающие элементы, работа которых основана на пьезоэлектрическом или термоэлектрическом эффекте. С их помощью можно обнаружить

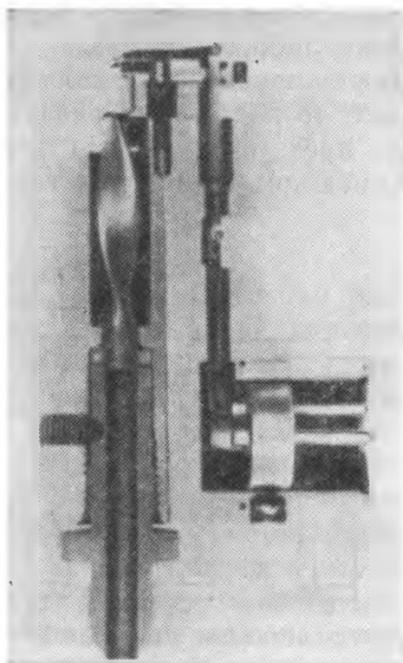
и преобразовать в электрические сигналы вибрацию, давление, напряжение, температуру, деформацию и другие изменения физических параметров. На стр. 153 приведена фотография типичного воспринимающего элемента, используемого для измерения давления по изменению индуктивности. При увеличении давления в трубке она поворачивается по часовой стрелке, в результате чего изменяется



Блок-схема системы телеметрии, обнаруживающей изменения в скорости космического корабля. Воздух, попадая через воздухозаборник (1), оказывает давление на диафрагму (4) датчика (5), что в свою очередь изменяет положение движка потенциометра (2) и, таким образом, частоту генератора поднесущей частоты (3), сигналы которого модулируют несущую частоту ЧМ-передатчика (6). Сигналы последнего передают информацию в эфир. Расположенное на Земле радиоприемное устройство принимает эти сигналы.

индуктивность находящейся ниже катушки. Это изменение индуктивности приводит к изменению частоты генератора поднесущей частоты (ГПЧ), что в свою очередь вызывает модуляцию несущей частоты радиопередатчика. Выходные сигналы большинства воспринимающих элементов, особенно тех, которые используют в биометрии, обычно бывают недостаточно большими, чтобы они могли непосредственно управлять ГПЧ. В таких случаях необходимы промежуточные согласующие устройства. Обычно это усилители постоянного или переменного тока, фазочувствительные модуляторы и прочие преобразователи. Они модулируют сигналы ГПЧ по амплитуде (амплитудная модуляция — АМ), по фазе (фазовая модуляция — ФМ) или, что чаще всего, по частоте (частотная модуляция — ЧМ). Фото используемого в современной биотелеметрии согласующего устройства приведено на стр. 155.

Датчик, используемый для измерения давления по изменению индуктивности.



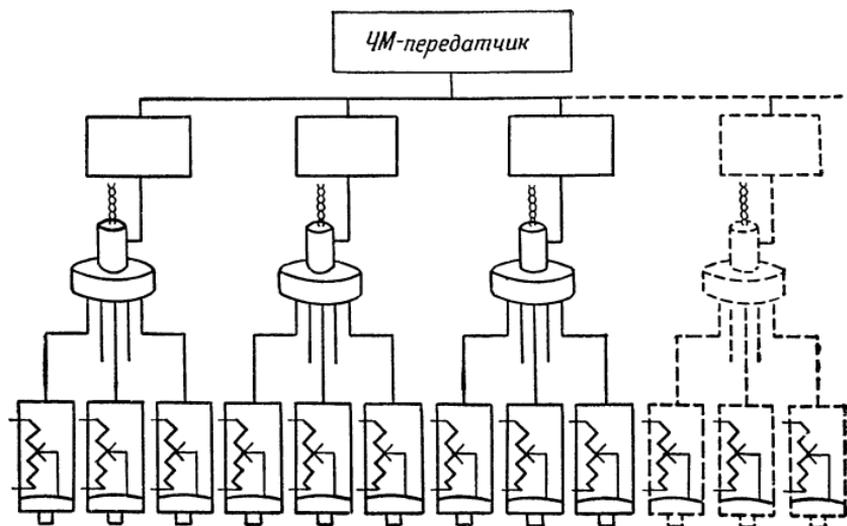
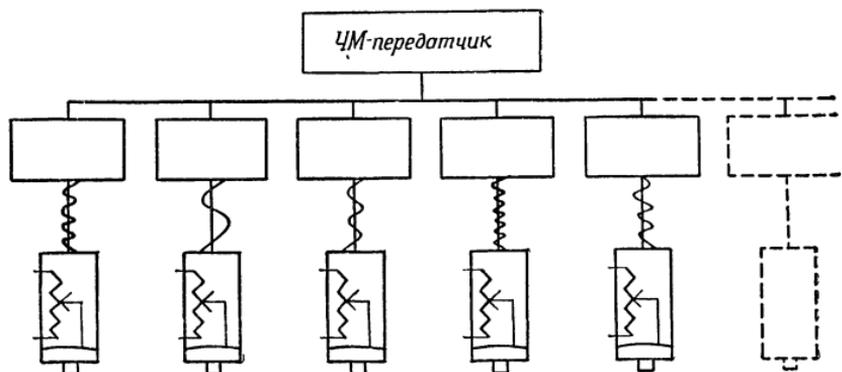
Выходные сигналы ГПЧ в свою очередь модулируют сигналы высокочастотного передатчика. В биотелеметрии обычно принята частотная модуляция. В этих генераторах чаще всего используются контуры с индуктивностями и емкостями, фазосдвигающие схемы с сопротивлениями и емкостями или схемы мультивибраторов. Часто воспринимающий элемент можно включить непосредственно в схему ГПЧ и

таким образом исключить согласующее устройство. Успехи микроминиатюризации и разработка интегральных схем для космических исследований позволяют делать ГПЧ для биотелеметрии размером не больше кусочка сахара.

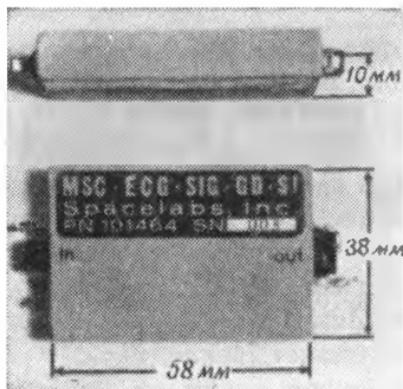
Частота даже самого высокочастотного канала ГПЧ недостаточно высока для эффективной непосредственной радиопередачи сигналов, поэтому для ее повышения приходится использовать высокочастотный радиопередатчик. Выходные сигналы нескольких ГПЧ можно объединять в один сигнал, чтобы не включать в телеметрическую систему по отдельному передатчику для каждого воспринимающего элемента. Высокочастотный радиопередатчик обычно построен по схеме ЧМ-передатчика, стабилизированного кварцем, либо ФМ-передатчика с управлением фазой с помощью кристалла. Перед излучением телеметрического сигнала антенной или антенной решеткой его обычно усиливают с помощью мощного усилителя.

На космическом корабле имеется значительное количество воспринимающих элементов, включая и его двигательную установку, поэтому было бы нерационально передавать сигналы каждого из них по отдельному каналу поднесущей частоты. Число каналов ограничивают путем

разделения выходных сигналов ГПЧ по частоте или по времени либо используют оба способа одновременно. Если нужно передавать относительно небольшое количество данных, то достаточно разделения сигналов по частоте. Если же предстоит передавать сигналы большого числа воспринимающих элементов, то более эффективно разделение во



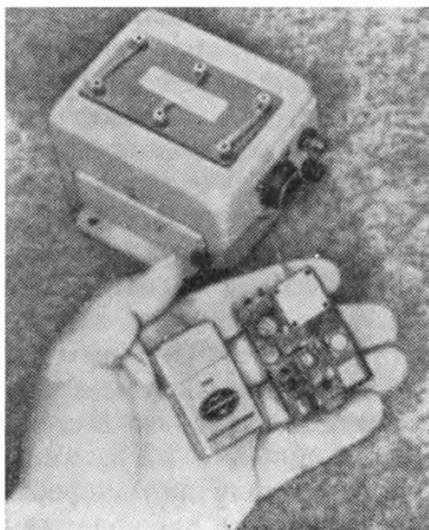
Блок-схемы, иллюстрирующие преимущество телеметрической системы с разделением каналов по времени перед частотным разделением каналов. В системе с разделением по частоте (верхняя схема) сигналы одного датчика (внизу) модулируют один генератор поднесущей частоты (вверху). В системе с разделением по времени (нижняя схема) с каждым генератором поднесущей частоты связано несколько датчиков (внизу), подключаемых к нему попеременно с помощью коммутатора.

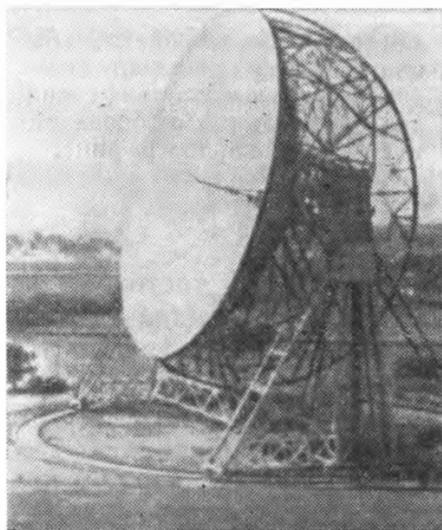


Согласующее устройство, обычно используемое в системе телеметрии для усиления сигналов, получаемых от биодатчиков (электрокардиографии).

время. При частотном разделении сигналов каждый воспринимающий элемент модулирует один ГПЧ, а выходные сигналы всех ГПЧ смешиваются и образуют один сложный полный сигнал, который излучается радиопередатчиком. При разделении по времени с каждым ГПЧ связано несколько воспринимающих элементов и их выходные сигналы подаются к этому ГПЧ по очереди, а не одновременно. Такая выработка производится коммутатором, или роторным переключателем, установленным между воспринимающими элементами и ГПЧ. Этот переключатель может быть либо механическим и работать от электродвигателя, либо электронным на транзисторах и диодах и работать от внешних синхронизирующих импульсов. В космической телеметрии обычно используются переключатели последнего типа, быстродействие которых намного больше. Из блок-схемы, помещенной на

Успехи физики твердого тела позволяют использовать в системах биотелеметрии миниатюрные электронные схемы. Фотография позволяет сравнить размеры согласующего устройства для телеметрического канала измерения кровяного давления космонавтов кораблей «Джемини» (на фото снизу) с согласующим устройством того же назначения более ранней разработки для космонавтов кораблей «Меркурий».





Гигантская антенна, установленная в Джодрэлл Бэнк (Англия). Диаметр ее приемного устройства, способного принимать очень слабые телеметрические сигналы от космического корабля, удаленного на большое расстояние, составляет 76 м.

стр. 154, ясно видно, как много информации можно передать с помощью системы телеметрии, используя разделенные сигналы по времени.

На приемной радиостанции имеются специальные антенны с очень высоким коэффициентом направленности (с высоким усилением), необходимым, чтобы компенсировать затухание сигналов, пришедших от чрезвычайно удаленных от них телеметрических радиопередатчиков. Одна из крупнейших антенн для слежения за космическими летательными аппаратами показана выше. Антенны, подобные этой, вращаются и могут сканировать по углу места (изменять угол наклона), чтобы следить за движущимся объектом. Слабые сигналы, полученные антенной, усиливаются «малошумящими» предусилителями, смонтированными на антенне, и далее по коаксиальному кабелю передаются к приемнику, где они дополнительно усиливаются и детектируются или демодулируются. Эти сигналы поступают далее к спектроанализатору для их визуального наблюдения и в то же время записываются на пленку. Записанные сигналы обрабатывают, пропуская их через ряд полосовых фильтров, которые разделяют полный телеметрический сигнал на его составляющие или на частоты, соответствующие ГПЧ, имеющимся в передатчике. Таким образом, получают информацию о недоступных для непосредственного наблюдения параметрах.

Биотелеметрия в космосе

Биотелеметрия является средством информации и контроля за состоянием космонавтов. Биотелеметрическая система в принципе не отличается от описанной выше телеметрической системы, разница состоит лишь в размерах и степени сложности их компонентов. Датчики для измерения температуры тела космонавта работают точно так же, как и датчики для измерения температуры особо важных электронных компонентов в системе наведения и управления космическим кораблем.

Когда пациент находится на Луне, врач не может пощупать его пульс, посмотреть на цвет кожи, ощутить запах, свидетельствующий о нарушении работы почек, или услышать тоны сердца, предупреждающие об отклонениях от нормы. Но биотелеметрия позволяет судить о физиологическом состоянии космонавта в каждый момент времени, сообщая необходимую для этого информацию о работе его регуляторных механизмов в условиях космического полета. Даже такая обычная процедура, как измерение температуры тела, в условиях космического полета должна производиться телеметрическими способами, как показано на снимке, помещенном на стр. 158.

Вполне понятно, что на борту космического корабля можно разместить лишь ограниченное количество телеметрического оборудования, поэтому необходимо особо рассмотреть вопрос о выборе подлежащих оценке физиологических параметров. На первых этапах космического полета биотелеметрия является только средством непосредственного контроля за состоянием космонавта, поэтому очевидно, что специалист-медик заинтересован в гораздо большем количестве биотелеметрических датчиков, чем конструктор космического корабля. В связи с этим был предложен определенный порядок очередности сбора информации для передачи ее на Землю, учитывающий важность тех или иных данных. Первостепенное значение имеют сведения на каждый момент времени о жизненно важных функциональных способностях космонавта, о его сознании и работоспособности. Следующими по степени важности являются данные, которые позволяют обнаружить и оценить условия, угрожающие непрерывному успешному функционированию и жизни космонавта. Данные третьей степени важ-



Космонавт Д. Ловелл перед 14-дневным полетом на корабле «Джеминай-7» измеряет температуру тела оральным способом с помощью термодатчика.

пости касаются вероятных причин тех или иных нарушений, если таковые имеют место.

Сведения первостепенной важности можно получить из беседы с космонавтом по радио, а также принимая его электрокардиограмму. Второстепенную информацию прогнозирующего характера можно получать только с помощью датчиков телеметрии, которые необходимо иметь в кабине корабля и на самих космонавтах. Информацию третьестепенной важности, которая носит ретроспективный характер, невозможно получить без помощи большого количества приборов, и, по всей вероятности, в любом случае она будет весьма ограниченной.

Поскольку почти за всеми физиологическими функциями, которые интересуют медиков, наблюдающих за состоянием человека, можно следить по изменениям электрических потенциалов или по преобразованию последних в электрические сигналы, для системы биотелеметрии разработан целый ряд различных датчиков. Используя их, а также обычные датчики для измерения различных физических параметров в кабине космического корабля, специалисты-медики могут собрать достаточное количество сведений, относящихся к наиболее важным показателям.

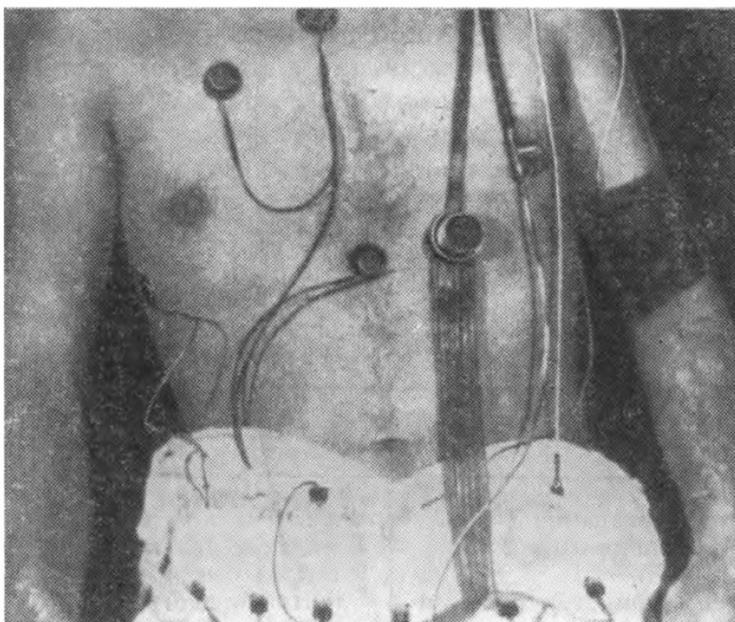
До какой степени космонавты могут быть «оснащены» биодатчиками без ущерба для их работоспособности и ком-

форта, видно из приведенной ниже таблицы, в которой перечислены физиологические параметры, измерявшиеся во время космических полетов по программам «Меркурий», «Восток», «Джеминай» и «Восход». Из этой таблицы видно также, как усложнялась система биотелеметрии на протяжении первых семи лет пилотируемых полетов в космос.

В этом плане представляет интерес полет корабля «Восход-1», поскольку это был первый полет в космос с

БИОТЕЛЕМЕТРИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ, ПОСТУПАВШАЯ С БОРТА СОВЕТСКИХ И АМЕРИКАНСКИХ ПИЛОТИРУЕМЫХ КОСМИЧЕСКИХ КОРАБЛЕЙ

«Меркурий»	«Восток»
<p>Электрокардиограмма 1 Электрокардиограмма 2</p> <p>Дыхание (термистор или импедансная система) Кровяное давление</p> <p>Температура тела (оральная либо ректальная)</p>	<p>Электрокардиограмма в отведении D—S (датчики на боках грудины под мышками) Электрокардиограмма в отведении M—X (датчики на медианной линии грудины)</p> <p>Дыхание (датчик с переменным сопротивлением) Сейсмокардиограмма (вибрация стенки грудины) Электроэнцефалограмма (запись потоков мозга) Электроокулограмма (движение глазных яблок) Гальваническая реакция кожи (изменение ее электрического сопротивления)</p>
«Джеминай»	«Восход»
<p>Электрокардиограмма 1 Электрокардиограмма 2</p> <p>Дыхание Кровяное давление Температура тела (оральный термистор) Фонокардиограмма (тоны сердца) Электроэнцефалограмма</p>	<p>Электрокардиограмма Дыхание Кровяное давление (измерялось вручную) Температура тела (подмышечная впадина)</p> <p>Сейсмокардиограмма Электроэнцефалограмма Электроокулограмма Динамограмма (мышечная сила) Тест по координации движений</p>



Система биодатчиков на теле космонавта. На груди находятся четыре биодатчика ЭКГ, на левой руке — прибор для измерения кровяного давления и микрофон. Согласующие устройства для биодатчиков размещены в карманах костюма космонавта.

врачом на борту корабля — космонавтом Б. Б. Егоровым. В этом полете были использованы два новых вида биотелеметрической аппаратуры. На каждом члене экипажа корабля, в том числе и на самом Б. Б. Егорове, на протяжении всего полета были установлены биодатчики трех типов: для электрокардиографии, сейсмокардиографии и пневмографии (измерение частоты дыхания). Кроме того, для сбора данных по электроэнцефалографии, электроокулографии, динамографии и моторной координации Б. Б. Егоров в определенные моменты времени использовал имевшиеся в его распоряжении соответствующие приборы.

Динамографические данные получали с помощью динамометра и расположенных на плече и предплечье датчиков, которые обнаруживали биопотенциалы мышц. Обычный ручной динамометр был связан с потенциометром. Его показания в момент, соответствующий усилию 23 кг, сопоставлялись с данными о биопотенциале мышц руки, что позволяло судить о степени мышечного напряжения и усталости.

Моторную координацию оценивали с помощью специально разработанного датчика, который фактически определял скорость движения карандаша и угол, образуемый при его перемещении, относительно опорной плоскости. Этот прибор помогает проводить более объективные исследования, чем визуальный анализ почерка космонавта в бортовом журнале.

И советские и американские космонавты носят на теле специальную «сбрую» из ремней, к которым крепятся биодатчики. При этом усилительные и преобразующие устройства помещаются в специальных карманах нижнего белья, как это показано на стр. 160. Биодатчики приклеиваются непосредственно к коже специальной пастой, которая постепенно высыхает, поэтому в снаряжение космонавтов входит небольшой набор, содержащий кожный крем, пасту, лейкопластырь и запасные биодатчики, предназначенные для замены вышедших из строя.

Воспроизведение данных биотелеметрии

Данные, переданные системой биотелеметрии с космического корабля на Землю, воспроизводятся на специальных пультах, которые в США находятся на постах управления Научно-исследовательского центра разработки пилотируемых космических кораблей в Хьюстоне и в Центре управления пуском на мысе Кеннеди.

Когда ракета «Сатурн» вместе с кораблем «Аполлон» находится на пусковой установке на мысе Кеннеди, физиологические данные о трех космонавтах непрерывно передаются по линии связи СВЧ в главный пункт Центра управления пуском, оборудованный контрольно-измерительной аппаратурой, а отсюда по телефону на его контрольный пункт и в Центр разработки пилотируемых космических кораблей в Хьюстоне.

В обоих центрах биотелеметрические данные воспроизводятся несколькими способами. Частота пульса и частота дыхания воспроизводятся в форме цифр на неоновых лампочках, а электрокардиограммы и подобные им сигналы — на экранах осциллографов. На осциллографе воспроизводится информация о состоянии в каждый момент времени системы жизнеобеспечения и скафандров космонавтов. Кроме того, осуществляется запись и печатание всей поступающей информации и изменений в получаемых дан-

ных. Ленточный самописец фиксирует выбранные физиологические данные и параметры микроклимата и среды в кабине космического корабля и в скафандре. Один канал самописца предназначен для отметок сигналов времени, так что записанные данные можно позже сопоставить с реальным или полетным временем. На этом самописце обычно записывают давление в скафандре, парциальное давление углекислого газа в кабине корабля и электрокардиограммы космонавтов.

Пульты биомедицинского контроля устроены так, что их электронное оборудование можно изменять или заменять другим, если во время последующих полетов по программе «Аполлон» понадобится воспроизводить какие-то другие физиологические данные.

Эти пульты в Космическом центре на мысе Кеннеди (они типичны для пультов, используемых в полетах по программе «Аполлон») имеют индивидуальные панели для каждого из трех космонавтов. Каждая панель имеет кардиотахометр для записи частоты пульса и пневмотахометр для записи частоты дыхания. Переключатели позволяют получать показания этих приборов, усредненные для различных периодов времени. Имеются и такие переключатели, с помощью которых медики, ведущие наблюдение, могут устанавливать верхний и нижний пределы показаний этих приборов. Если показания приборов выходят из соответствующих пределов, загорается сигнальная лампочка, чтобы привлечь внимание врача. Помимо всего, врач разговаривает с космонавтами по радио, получая таким образом дополнительные сведения о состоянии экипажа корабля. Это позволяет обнаружить некоторые изменения в их физиологическом состоянии, которые трудно определить с помощью системы биотелеметрии.

Будущее биотелеметрии

Возникшая на раннем этапе полетов в космос потребность в миниатюрных, прочных и точных биодатчиках привела к развитию новых принципов создания этих электронных приборов. Многие из них были действительно разработаны, но, как это ни парадоксально, в будущем они, вероятно, космонавтам не понадобятся. Причина этого достаточно проста. Заключается она в том, что по мере того, как космические полеты будут превращаться во все

более обычное явление нашей жизни, а космические корабли будут становиться все надежнее, отпадет необходимость оснащать их биотелеметрическим оборудованием в таком большом объеме, как это делается сегодня. Например, в состав экипажа орбитальной космической станции обязательно будут включать врача и другой медицинский персонал, так что снабжать биодатчиками каждого члена такого экипажа и загружать связь передачей соответствующих сигналов не будет никакой надобности.

Аналогичным образом нецелесообразно будет снабжать биотелеметрической аппаратурой космонавтов, паходящихся, например, на спутнике Урана, поскольку их телеметрические сигналы бедствия будут приняты на Земле лишь сутки спустя. Даже на значительно меньших расстояниях затраты энергии для обслуживания телеметрического оборудования достигнут ужасающей величины. Так, передача с Марса только электрокардиографических данных для двух космонавтов потребует радиопередатчика мощностью 13 *квт*.

Однако пока наступит время, когда космические исследования достигнут столь высокого уровня, разрабатываемые сегодня датчики и системы биотелеметрии могут быть использованы, особенно если они будут совершенствоваться по мере выявления в полетах их несовершенств и моментов, когда они могут выходить из строя. Отдельные датчики и системы можно будет использовать для сбора физиологических данных в целях чисто медицинских исследований или для того, чтобы их импульсы приводили в действие автоматические сигнальные системы в космическом корабле.

Советские ученые предложили проводить в дальнейшем разработку бесконтактных биодатчиков (для которых не требуется непосредственного контакта с телом человека). В качестве таких датчиков могут быть использованы пряжки, пуговицы, застежки-молнии и другие части одежды космонавта. Они могут питаться энергией миеэлектричества, вырабатываемого мышцами космонавта, или термоэлектричеством, которое генерируется теплом, выделяемым телом космонавта. Как считают ученые, такие датчики могут передавать свои сигналы прямо на бортовое вычислительное устройство, которое будет непрерывно регулировать работу системы жизнеобеспечения космического корабля. Кроме того, импульсы тех же самых датчиков

могут одновременно включать автоматические сигнальные устройства.

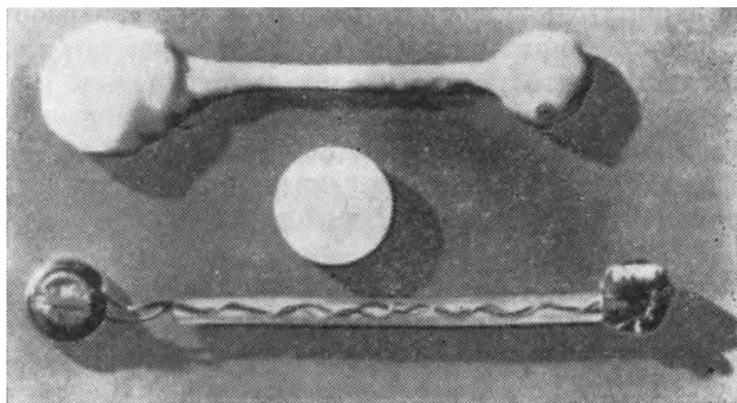
В настоящее время в области биотелеметрии актуальна разработка метода «сжатия» сигналов, позволяющая уменьшить объем передаваемой информации, особенно электрокардиограмм и электроэнцефалограмм. Этот процесс в основном заключается в уменьшении до минимума количества данных, которое достигается исключением излишних выборок сигналов. Отношение общего числа выборок данных к числу действительно используемых называется *коэффициентом сжатия*. Современными методами можно получить коэффициент сжатия 4:1 и 6:1. В дальнейшем можно будет добиться того, что эти коэффициенты для электрокардиограмм, например, составят 200:1 и 1800:1. Применение статистических и оптических методов обработки информации с использованием голограмм и «мыслящих» вычислительных машин, способных распознавать образы, позволит получить почти невероятные коэффициенты сжатия — 10 000:1 и 150 000:1.

Помимо работы над созданием миниатюрных и более эффективных биодатчиков и советские и американские ученые заняты разработкой долгодействующих приборов, которые можно имплантировать в тело человека. Они станут применяться в будущих программах продолжительных пилотируемых космических полетов и освободят космонавта от проводов, привязывающих его к системе биотелеметрии космического корабля. Такие датчики, называемые *эндорадиозондами*, позволяют измерять различные физические параметры, их очень легко приспособить для использования в качестве внутренних термометров, фоно- и пневмокардиографов и даже манометров для измерения кровяного давления.

Эти эндорадиозонды снабжены собственными источниками питания и излучателями радиосигналов. Одни эндорадиозонды имеют источники питания, требующие замены через несколько лет работы. В других эндорадиозондах источники питания можно подзаряжать через слой кожи и мышц, используя высокочастотный источник энергии. Эндорадиозонд последнего типа изображен на снимке (стр. 165) рядом с обычной таблеткой, что позволяет судить о размерах современных датчиков.

Определенные успехи достигнуты в использовании для имплантированных электронных устройств природной

электрической энергии тела человека. Доказано, что биопотенциал человеческого тела можно использовать для питания имплантированного транзисторного электростимулятора сердца. Использование этой энергии для питания эндорадиозондов позволит еще больше уменьшить их размеры, которые и в настоящее время не превышают размера 10-центовой монеты. Удобно применять на практике и



Эндорадиозонд (с защитным пластмассовым покрытием и без него) для измерения давления или температуры. Такие эндорадиозонды являются биодатчиками с автономным источником питания, их можно имплантировать в тело. О размерах этого радиозонда дает представление помещенная на снимке обычная таблетка лекарственного препарата.

другие виды беспроводной биотелеметрии, но эти биодатчики, как и обычные, крепятся к поверхности тела. Типичным биодатчиком такого рода является небольшой ЧМ-радиопередатчик, который непрерывно передает радиосигналы, соответствующие температуре кожи, измеряемой термистором. Кроме термисторного датчика, в этот прибор входят преобразователь, ЧМ-передатчик и источник питания, который использует для подзарядки энергию от бортовой системы. Эти четыре звена объединены в один интегральный блок, имеющий форму пластины толщиной 0,02 мм и площадью 3,12 см². Преимуществами такой системы являются минимальный уровень радиопомех, которые обычно наводятся в соединительных проводах, отсутствие опасности электрического пробоя через систему фиксации

датчиков, большой срок службы; кроме того, эти датчики обеспечивают космонавту большую подвижность. В настоящее время такого рода биодатчики используют для измерения различных физиологических параметров у обитающих на воле, в естественной природной среде, животных.

Итак, мы располагаем технологией, с помощью которой можно создавать очень сложные биотелеметрические системы для будущих космических полетов, однако сегодня неизвестно, будут ли эти системы необходимы. Но даже и при отрицательном ответе на этот вопрос разработка таких систем не является простой потерей времени и средств. Помимо того, что подобные телеметрические системы стимулируют развитие технологии, они расширяют перечень тех достижений авиационно-космической техники, которые, как об этом будет рассказано в следующей главе, с успехом используются человеком на Земле.

Космос — Земле

В 1884 году руководитель патентного ведомства США Генри М. Элсворт был ошеломлен быстротой, с которой росло число изобретений, и пришел к пессимистическому выводу, что должность его просуществует очень недолго, так как, по его мнению, все, что может изобрести ум человека, будет запатентовано в течение нескольких лет. А сегодня, спустя почти век, нас захлестывает поток информации и изобретений, который действительно приводит в изумление. Только в области медицины ежегодно в 6 тыс. периодических изданий на 40 языках печатаются 250 тыс. статей. В США ежегодно публикуется 80 тыс. патентов и миллион технических отчетов.

Большая часть этого потока научно-технической информации вызвана развитием таких больших правительственных программ, как программа авиационно-космических исследований. Чтобы максимально возможное количество новых знаний, полученных в результате авиационно-космических исследований и разработок в области техники, находило применение в национальной экономике. НАСА основала специальное Бюро внедрения техники. Само название бюро говорит о том, что эта организация должна поставлять промышленности информацию о материалах, техническом оснащении, технических процессах и устройствах, разработанных для национальной гражданской программы космических исследований. В настоящее время создано поразительно большое количество приборов, устройств и изделий, которые явились плодами использования в различных некосмических отраслях промышленности тех знаний, которые были получены при авиационно-космических исследованиях. Многие из них можно увидеть, например, в клинике или приемной врача. Кроме технических устройств как таковых, авиационно-космиче-

ская промышленность разработала и применяет новый метод управления, который называется сетевым системным планированием и находит широкое применение за пределами производства космических летательных аппаратов. Этот метод планирования в сочетании с творческой фантазией и искусством инженеров авиационно-космической промышленности открывает новые перспективы и перед медициной, в частности в области проектирования больниц, планирования их работы и управления ими, а также в области медицинских исследований.

Новые инструменты врача

Медицина, как известно, никогда с легкостью не принимала нововведений. Но поскольку медицинский персонал активно участвует в осуществлении программ пилотируемых космических полетов на всех их этапах, то вполне объяснимо, почему эта в основе своей достаточно консервативная область знаний, столь легко заимствует плоды развития такого дерзкого новопришельца в науке, как космонавтика.

Часто попадающие к врачам новые разработки лишь условно можно отнести к области авиационно-космических исследований. В этом случае технология авиационно-космической промышленности играет роль ускорителя передачи информации, без которого весь процесс проходил бы гораздо медленнее. Типичным примером служит появление криохирургии — способа глубокого охлаждения и замораживания костной и мышечной тканей вместо удаления их скальпелем. Первые эксперименты такого рода начались в 60-х годах и с успехом продолжаются.

Благодаря использованию в космических исследованиях многие из криогенных газов становятся коммерчески доступными и для других отраслей промышленности. По мере расширения рынка для таких газов расширяется и ассортимент установок для их производства, транспортировки и хранения. Таким образом, с ростом доступности этих газов и публикаций об их использовании и физических характеристиках увеличивается объем проводимых с их помощью исследований в других отраслях промышленности и в других областях науки.

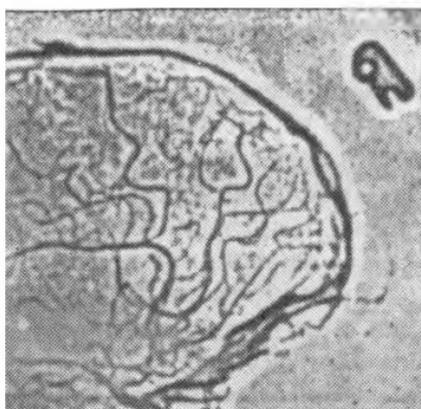
Так, в настоящее время для лечения или смягчения симптомов различных болезней, в частности болезни Пар-

кинсона, врачи используют жидкий азот. В пупковую точку зрительного бугра головного мозга при рентгеноскопическом контроле вводят полую иглу с жидким азотом, чем в течение нескольких минут понижают температуру этой точки мозга до -65°C . Операция производится очень быстро, после чего дрожание головы, конечностей и туловища пациента сразу же прекращается.

Кроме лечения болезни Паркинсона применение методов криохирургии перспективно также при операциях по удалению предстательной железы и определенных форм раковых опухолей, при удалении катаракты, а также при лечении местных воспалительных процессов роговицы, которые могут привести к слепоте.

Токсичность кислорода, обнаруженная в результате исследований в области авиационно-космической медицины, позволила многое понять и общей клинической медицине. Открылась причина так называемых внутритканевых пневмоний у пациентов, продолжительное время дышавших чистым кислородом. Исследование того, как влияет на человека давление окружающей среды, привело, в частности, к использованию камер высокого давления при различных хирургических операциях, а также для лечения заболеваний, вызванных анаэробными бактериями, например возбудителями столбняка (анаэробными называются бактерии, которые могут существовать без свободного кислорода). При повышенном давлении окружающей среды происходит более полное насыщение красных кровяных шариков кислородом, поэтому такие условия благоприятны для проведения операций на сердце. Изъять почку у трупа для последующей ее трансплантации также целесообразнее в условиях повышенного давления.

Определенные успехи в области медицины в некоторых случаях непосредственно связаны с достижениями космической техники. Типичным примером такого прямого влияния может служить новый метод обработки рентгеновских снимков. Чтобы понять суть этого способа, следует вернуться к полету космического корабля «Маринер», который в июле 1965 года пролетел мимо Марса, передав на Землю 20 снимков его поверхности. Инженеры лаборатории по разработке ракетных и реактивных двигателей Калифорнийского технологического института изобрели способ повышения четкости (резкости) этих снимков путем их особой обработки с помощью электронно-вычислитель-



Метод усиления контрастности, первоначально разработанный для расшифровки фотографий Луны, полученных кораблями «Маринер», «Рейнджер» и «Сервейер», в настоящее время применяют и в медицинской рентгенографии. На двух рентгеновских снимках одна и та же часть черепа человека. Левый снимок — до специальной обработки, правый — после обработки, в результате которой проявились кровеносные сосуды, невидимые на левом снимке.

ного устройства. В результате этой обработки со снимков «убирались» искажения, вызванные наведенными при передаче изображений шумами. Позже этот способ использовали при обработке снимков поверхности Луны, сделанных космическими кораблями «Рэйнджер» и «Сервейер».

Далее ввели градацию яркости изображений на снимках, которой соответствовали сигналы разной силы от 0 (что соответствует уровню белого фона) до 63 (черный фон). Каждый снимок развертывался в 600 строк с 600 точками, и каждую точку нумеровали и хранили в системе памяти цифрового вычислительного устройства. Было установлено, что снимки можно сделать более ясными, изменяя контрастность каждой точки и приписывая ей новую величину. Специальное устройство преобразовывало эти величины в новые сигналы напряжения, и в результате печатания строки за строкой получались более четкие фотографии поверхности Марса и Луны.

Используя этот метод при обработке рентгеновских снимков, получили поразительные результаты. На снимках четко проявились ранее неясные кровеносные сосуды (см. фото выше). Благодаря этому врачи могут теперь более точно определять начало ракового заболевания, начало развития болезни сердца и других болезней. Так

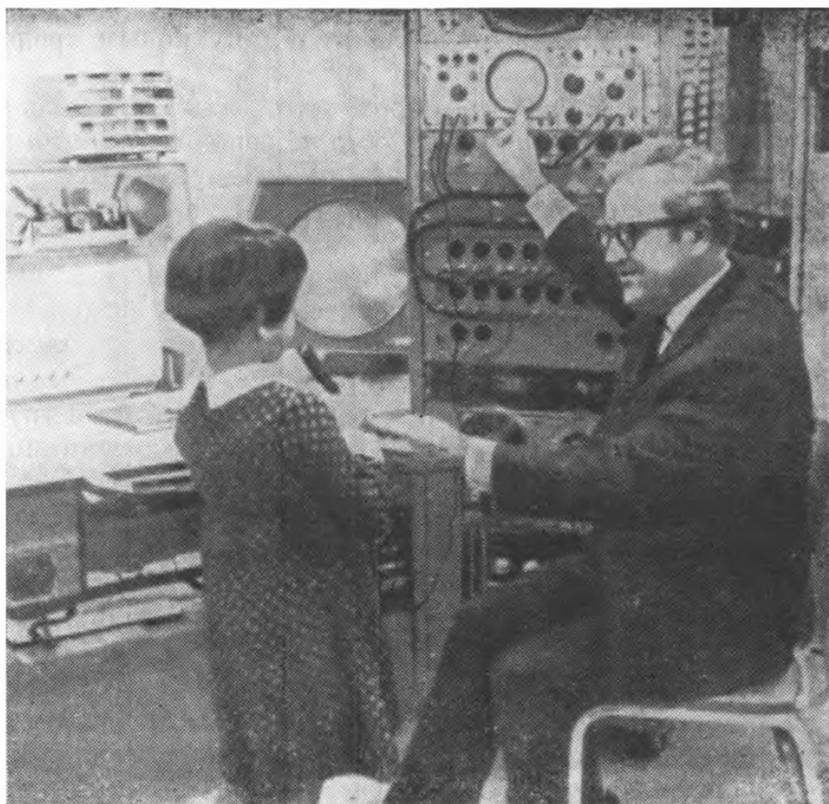
космическая техника вооружила медицину новым средством диагностики.

Другим интересным примером того, как достижения космической техники используют для решения некоторых сложных «земных» медицинских проблем, является устройство для отбора проб воздуха, предназначенное для сбора частиц пыли на больших высотах. Его легко приспособить для исследований загрязнения воздуха в околоземных слоях атмосферы, а также в производственных помещениях. Такого типа прибор рассчитан на улавливание частиц пыли размером больше $0,1$ мкм и особенно полезен для использования в опасных для человека условиях или в труднодоступных местах, так как он может иметь дистанционное управление.

Благодаря заимствованию некоторых достижений космической оптики многие практически слепые люди сейчас обрели зрение, используя очки с растровой оптикой, первоначально разработанной для кинокамер, устанавливаемых на искусственных спутниках Земли.

Много новых приборов врачи получили в результате развития электроники, предусмотренного программами космических исследований. Как уже говорилось, миниатюризация позволила создать малогабаритные, прочные, легкие и надежные узлы радиооборудования для использования в условиях космического полета. Интегральные схемы размером не больше булавочной головки позволяют в настоящее время создавать слуховые аппараты с автономным питанием, которые помещаются в ушной раковине. Отпала необходимость в больших неуклюжих и тяжелых устройствах с проводами, батарейками, микрофонами и динамиками, которые человек вынужден был носить. Слуховой аппарат космического века весит около 3 г, по размеру он чуть больше таблетки аспирина.

Другим детищем миниатюризации электронного оборудования для космических исследований является телевизионная камера, которая крепится в шапочке на голове хирурга. Врачи и студенты, находящиеся в аудитории в другом конце клиники, могут наблюдать все подробности проводимой операции. В тело человека можно ввести миниатюрный объектив телевизионной камеры, который позволит наблюдать, например, за работой клапанов сердца. Электронные приборы больших размеров также применяются в медицине. Так, в процессе поиска способов,



Девятилетняя девочка, глухая от рождения, говоря в микрофон, наблюдает, в каком месте на экране осциллографа появляется соответствующий электрический сигнал. Этот прибор очень ценен для обучения хорошей дикции глухих людей, которые с его помощью могут визуально определять качество произносимых ими звуков. Прибор создан учеными в результате исследований, связанных с подачей голосом команд электронно-вычислительному устройству, находящемуся на борту космического корабля.

пользуясь которыми космонавты могли бы осуществлять маневрирование космическим кораблем, подавая команды голосом, была создана изображенная выше установка. Ее с успехом используют при обучении речи умственно отсталых детей и глухонемых, а также для устранения дефектов речи у заик. Эта установка анализирует звуки речи и на экране осциллографа воспроизводит сигналы, соответствующие отдельным гласным звукам. Глухой человек видит на этом экране отметку, соответствующую произносимому им звуку, и если она находится не в

том месте экрана, где ей полагается быть, то он делает необходимую поправку в своем произношении и добивается его правильности.

Усовершенствованные биодатчики, описанные в предыдущей главе, можно использовать в современных клиниках, и многие из них сейчас проходят испытания. Так, интересен прибор, который первоначально был разработан для наблюдения за частотой пульса и частотой дыхания космонавта. Он состоит из антенны, которая помещается под матрацем или в подушке, усилителя и самописца или осциллографа. Прибор детектирует низкочастотные (в диапазоне до 40 гц) электромагнитные колебания, сопровождающие ток крови через артерии, а также изменения, происходящие в этих электромагнитных колебаниях. Этот прибор, разработка которого находится пока в стадии экспериментов, очень перспективен как инструмент для исследований в области гемодинамики.

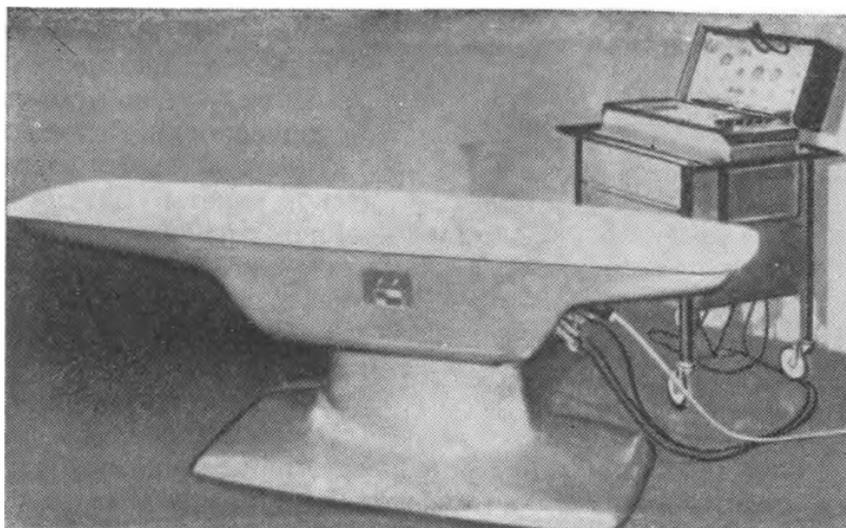
Другим интересным примером того, как специалисты авиационно-космической медицины, совершенствуя системы биотелеметрии, помогают своим коллегам-врачам, является специальный датчик, изобретенный инженерами фирмы «Роял эйркрафт истеблишмент» в Фарнборо, графство Гэмпшир, Великобритания. Врачей Королевской национальной ортопедической клиники интересовало, можно ли разработать какое-либо телеметрическое оборудование, чтобы с его помощью измерять нагрузки, действующие на подагрические тазобедренные суставы. Зная эти нагрузки, ученые могли бы следить за развитием болезни и определять эффективность лечения. Эти данные можно было бы использовать также при конструировании искусственных тазобедренных суставов. Конструкторы в Фарнборо создали обувь, в подошву которой вмонтирован элемент, чувствительный к давлению. При ходьбе в такой обуви в катушке, идущей вокруг подошвы, генерируются сигналы, усиливаемые смонтированной в каблуке миниатюрной телеметрической установкой. Сигналы передаются к антенне, находящейся в конце комнаты.

От датчиков для измерения давления на модели летательных аппаратов при испытании их в аэродинамической трубе произошел миниатюрный приборчик — крошечный манометр для измерения давления в сердце по размеру меньше булавочной головки (диаметр меньше 1,3 мм); его можно ввести в левый желудочек сердца через вену в

паху. Благодаря своей миниатюрности и высокой чувствительности он особенно полезен для обследования детей. Таким образом, врачи могут теперь измерять кровяное давление даже внутри сердца грудного ребенка, что раньше было совершенно невозможно. Поскольку этот зонд очень мал, он при движении к сердцу не причиняет пациенту боли или неудобства. Величина давления крови в сердце в форме электрических сигналов передается по очень тонким проводникам и воспроизводится на экране осциллографа или записывается на бумаге. С помощью этого датчика, достаточно миниатюрного, чтобы проходить через иглу для подкожных инъекций, можно обнаруживать изменения в величине кровяного давления, лежащие в диапазоне 0—200 мм рт. ст., с точностью до 1 мм рт. ст. Пластмассовая оболочка датчика совместима с кровью и во время прохождения по вене не вызывает повреждений.

При разработке средств, которые позволили бы космонавту в аварийной ситуации или в момент высоких перегрузок воздействовать на систему управления космическим кораблем, был изобретен переключатель, срабатывающий от движения глаз. Он состоит из очков, к каждому стеклу которых прикреплены крошечный источник инфракрасного излучения и фотоэлемент. Луч направляется на верхнюю наружную часть глазного яблока. Если человек посмотрит вверх, радужная оболочка глаза пересечет этот луч, что детектирует ток в фотоэлементе, и соответствующий переключатель включается или выключается. От естественного моргания век переключатель не срабатывает. Парализованный больной с помощью подобного управляющего устройства, переводя взгляд определенное число раз слева направо, может включать и выключать радиоприемник или телевизор, регулировать освещение в комнате, открывать и закрывать окна, включать звонок, когда нужна помощь, и даже управлять инвалидным креслом.

Принцип воздушного подшипника, долгое время используемый в акселерометрах и гироскопах систем наведения и управления космических кораблей для уменьшения трения, тоже был использован инженерами авиационно-космической промышленности для применения в медицине. Созданный на его основе баллистокордиограф, например, позволяет производить очень точные исследования динамики сердца. Он представляет собой по существу



Сверхчувствительный точный кардиограф для регистрации движений сердца, смонтированный на медицинском столе с воздушными подшипниками.

платформу на воздушной подушке (см. фото на стр. 175) Воздушная подушка изолирует эту платформу от всех источников вибрации и перемещений, кроме ударов сердца. На высокочувствительные датчики, воспринимающие движение платформы под влиянием работы сердца, не влияют ни проходящий транспорт, ни перевозки тяжелого оборудования в коридорах клиники, ни даже шаги персонала в помещении, где установлен баллистокардиограф.

Воздушный подшипник нашел применение и при создании специальной кровати для больных с тяжелыми ожогами, разработанной в Англии Институтом ортопедии. На такой кровати больной, образно говоря, лежит на воздушной подушке, так что тело его не соприкасается с кроватью и выздоровление ускоряется.

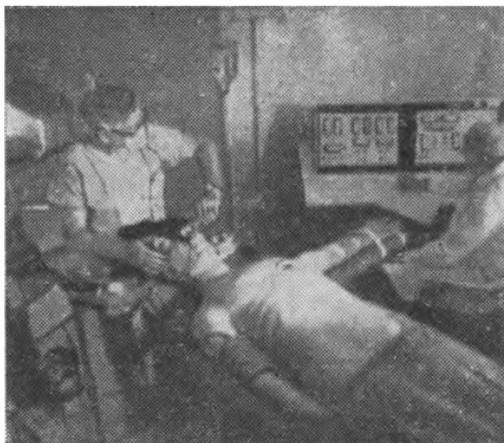
Авиационно-космическая промышленность непрерывно создает все новые и новые материалы, техническое оснащение, электроприборы и детали, которым медики могут найти весьма полезное применение. Так, в процессе изыскания лучшего изоляционного материала для космических кораблей был создан полимерный пластик, который при температуре человеческого тела имеет точно такую же плотность, как и жировые ткани тела человека. Такой

пластик является идеальным набивочным материалом для кровати прикованного к постели больного, поскольку он более равномерно распределяет давление на тело и, таким образом, предотвращает появление пролежней. В поисках способов эвакуации людей, пострадавших во время работы в баках с жидким топливом гигантской ракеты «Сатурн-5», специалисты в области промышленной гигиены так модифицировали стандартные ортопедические носилки, что с их помощью можно иммобилизовать пострадавшего человека и пронести его в таком состоянии через отверстия диаметром 45 см. Эти модифицированные носилки приспособлены для размещения в вертолете или для использования с подъемным краном, чтобы доставить пострадавшего с нефтяной вышки или с небольшого судна, находящегося в море далеко от берега, а также из шахты и из других труднодоступных мест.

Сочетание достижений авиационно-космического материаловедения с новыми методами научных исследований и богатой творческой фантазией позволило создать фантом «искусственного больного», который в значительной мере поможет обучению студентов-медиков. СИМ-1, как его называют, имеет пластмассовые, похожие на человеческие кожные покровы и скелет. Его рот открывается и закрывается, как у человека, и студенты могут обследовать очень похожие на настоящие язык, гортань, трахею, зубы, голосовые связки и бронхи. В этом фантоме также имитируются удары сердца с пульсацией сонной артерии и венозной вены, диафрагма и грудная клетка двигаются, как при дыхании, глаза открываются и закрываются, расширяются и сужаются зрачки. Всеми этими движениями в соответствии с введенным «пациенту» различных лекарственных препаратов управляет счетно-вычислительное устройство.

СИМ-1 используют для обучения студентов и врачей введению в трахею полужесткой трубки, по которой прямо в легкие подается анестезирующий газ. Преподаватель наблюдает за действиями учащихся с помощью специального пульта (см. фото на стр. 177). Этот пульт позволяет преподавателю «задавать» студентам такие ситуации, как спазмы или закрытие гортани у пациента, непроходимость левого или правого бронха, кашель с целью выплюнуть трубку, внезапная остановка сердечного кровообращения и даже рвота. С помощью этого же пульта можно повысить

Управляемый с помощью счетно-решающего устройства «искусственный больной» для обучения студентов.

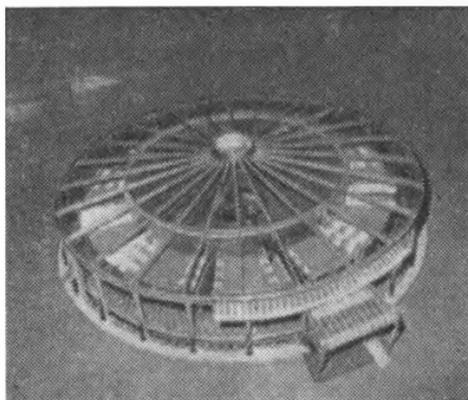


или понизить частоту сердечных сокращений, частоту дыхания и кровяное давление, имитируя угрожающее состояние пациента, которое студенты должны диагностировать, чтобы принять соответствующие меры.

Клиника космического века

При общей тенденции к удорожанию строительства и эксплуатации клиник врачом Хью К. Мак-Гуайром разработан очень экономичный проект госпиталя в Нашвилле, штат Теннесси. Исходя из того, что создание современных клиник составляет проблему скорее техническую, чем архитектурную, этот врач пришел к выводу, что медицина должна использовать технику космического века, если она хочет успешно продолжать выполнение своей извечной миссии — лечить больных всеми доступными ей средствами.

По проекту Мак-Гуайра помещение клиники должно быть круглым. При диаметре помещения 30 м стоящая в центре его медсестра может видеть все 22 палаты. В качестве строительных материалов предлагаются алюминий и панели из пенопласта, то есть материалы, часто используемые в конструкциях космических летательных аппаратов. Конструкционные элементы должны быть стандартизованными и взаимозаменяемыми, что облегчит строительство здания и сделает экономичным уход за ним. Несущие стальные консольные балки, полые внутри, вмещают в себя электрические коммуникации, водопроводную сеть, а



Макет госпиталя в Нашвилле, где наряду с кондиционированием и новыми материалами будут применены биотелеметрия и счетно-решающие устройства. Вверху — общий вид госпиталя, внизу — вид его центральной части.

также трубопроводы системы кондиционирования. Перекрытия делаются из специального звуконепроницаемого кафеля, а полы покрыты бактерицидным полихлорвиниловым пластиком. Так как госпиталь совсем не имеет окон, а количество выходов в нем минимальное, предусматривается постоянная работа централизованной системы кондиционирования, которая будет очищать воздух от обычного и бактериального загрязнения. Поступающий в помещение воздух непрерывно проходит через специальное устройство, сообщаящее частицам пыли электрический заряд, что предупреждает оседание пыли на стенках и полах и облегчает улавливание ее системой фильтров.

В этом госпитале особая роль отводится электронно-вычислительной машине и системе биотелеметрии. Вездесущая ЭВМ будет не только непрерывно следить за различными физиологическими параметрами каждого пациента, о которых ей сообщит централизованная система биотелеметрии, но должна также вести всю медицинскую ста-

тистику, проводить текущую инвентаризацию оборудования, учитывать все виды снабжения и запасы госпиталя, определять оптимальные сроки пополнения этих запасов и даже выписывать счета пациентам, покидающим клинику. В системе биотелеметрии используют миниатюрные узлы с автономным питанием, подобные описанным в главе VI, которые крепятся на теле пациентов и с помощью ЧМ-генератора телеметрируют частоту сердечных сокращений и частоту дыхания. В такой системе биотелеметрии можно использовать и эндорадиозонды, а за пациентами наблюдать с помощью телевизионной установки, передающие камеры которой устанавливаются в каждой палате.

ЭВМ и другое информационное оборудование, в том числе биотелеметрическое, аптека, блок приготовления пищи, приемник телевизионной установки, а также склад для хранения консервированной крови предлагается располагать в центральной части клиники.

Операционная может находиться на любом участке центральной части здания, так как весь госпиталь имеет гораздо лучшие антисептические условия, чем обычные больницы. Достаточно только отделить занавесом места, занятые операционным столом и соответствующим хирургическим оборудованием.

Накладные расходы в этом госпитале будут сокращены за счет использования одноразовых бумажных простыней, наволочек, полотенец, хирургических халатов и перчаток. Таким образом, в госпитале не будет прачечной, которая требует соответствующих расходов. Всю пищу для пациентов будут готовить из специальных, предварительно разделенных на порции, быстро замороженных продуктов, хранящихся в холодильниках. Посуда и столовые приборы тоже будут одноразового использования. Отбросы пищи будут помещать в герметически закрывающиеся пластмассовые мешки для последующего сжигания. Таким образом, госпиталь будет избавлен от дорогостоящей кухни. В общем госпиталь в Нашвилле может работать при отношении численности штата к численности пациентов, равном 1 : 1, в то время как в обычных лечебных учреждениях это отношение, как правило, составляет 3 : 1.

Госпиталь в Нашвилле, в котором используются последние достижения космической науки и техники, является примером идеального решения проблемы снижения стоимости медицинского обслуживания, особенно в небольших

городах с ограниченным медицинским персоналом и в отдаленных или географически изолированных районах слабо развитых стран. Такие учреждения представляют также интерес для организаций гражданской обороны, для вооруженных сил и, наконец, для тех, кто занимается планированием поселений на Луне и на других планетах.

Медицина и искусственные спутники Земли

Сегодня многие врачи, понимающие, что дает и может дать медицине развитие космической науки и техники, предвидят то время, когда использование электронно-вычислительных машин и искусственных спутников связи (ИСЗ) позволит осуществлять глобальную электрокардиографию и электроэнцефалографию населения. Биодатчики на пациентах, живущих в самых отдаленных точках земного шара, с помощью ИСЗ будут передавать физиологические данные ЭВМ в нескольких крупных медицинских центрах, расположенных в разных районах Земли. После того как эти данные с помощью ЭВМ будут проанализированы и интерпретированы, соответствующая информация через посредство тех же ИСЗ поступит к лечащему врачу. Передача всех этих данных будет происходить со скоростью света! Подобного рода эксперимент уже проводился в июле 1967 года. Электрокардиограмма из Тура, Франция, передавалась с помощью ИСЗ в Службу здравоохранения США в Вашингтоне. Расшифровка электрокардиограммы была передана во Францию через 30 сек.

Конечки из Техасского университета так представляет себе будущую международную систему здравоохранения, широко использующую ИСЗ и ЭВМ. Специалист-медик сможет увидеть на экране телевизора пациента, находящегося в другой части света, и прочесть его историю болезни. Используя телевизионную передачу голограмм и трехмерных изображений, а также какого-нибудь рода кинестетическую (дающую ощущение осязания) обратную связь, хирург будущего может оперировать пациента на расстоянии, не находясь с ним в непосредственном контакте. При этом будут применяться устройства с дистанционным управлением типа манипуляторов, которые используются сейчас при работе с радиоактивными веществами.

Системное планирование в медицине

Космические программы — это не обычные проекты, которые можно осуществить, пользуясь соответствующими справочниками или практическим опытом. Они очень сложны и состоят из связанных друг с другом систем, охватывающих как материалы и оборудование, так и людские ресурсы, финансовые средства, факторы времени. Каждой такой системой нужно управлять, чтобы выполнить определенную задачу в определенный момент времени. В авиационно-космической промышленности возник новый метод организации и осуществления программ крупных разработок. Этот метод, применимый как в авиационно-космической, так и в других отраслях промышленности, науки и техники, включая медицину, называется *системным планированием*. Цель его — свести воедино, как бы в одну систему многие отдельные элементы, которые сами по себе часто являются очень сложными системами и которые необходимы для успешного выполнения программы в целом.

Одним из наиболее интересных по своим результатам примеров применения метода системного планирования вне сферы авиационно-космической промышленности является проектирование и планирование работы клиник. Университет провинции Альберта (Канада) обратился к фирме «Томпсон, Рэмо Вулридж корпорейшн» (штат Калифорния, США), специализирующейся на применении новейших методов разработки космических программ, с заказом разработать схему системного планирования для проектирования и постройки медицинского комплекса в составе клиники и колледжа общей стоимостью 100 млн. долларов. Уже в первые четыре месяца системное планирование помогло сэкономить 6 млн. долларов, и предполагается, что в дальнейшем будет сэкономлено еще от 12 до 14 млн. долларов. Инженеры группы системного планирования авиационно-космической промышленности обсудили с медиками, каким требованиям должен удовлетворять новый медицинский центр, и разделили эти требования на две группы: требования необходимые и требования желательные. Были проанализированы маршруты передвижения обслуживающего персонала в течение рабочего дня, а также движение материалов между зданиями и внутри каждого здания. Основываясь главным образом на этих

данных, разработали несколько проектов центра и взвесили все «за» и «против» в свете необходимых и желаемых требований. Был произведен расчет стоимости различных вариантов проекта. Проекты оценили с учетом еще ряда факторов и выбрали лучший. Далее архитекторы проектировали здания центра, основываясь уже на этом наиболее эффективном варианте. Методами системного планирования разрабатывали также порядок таких работ в клинике, как обработка всех лечебных данных и информации, поступающей из лаборатории автоматической диагностики непосредственно в счетно-решающие устройства.

Другие области, которые можно охватить системным планированием в рамках клиники, — это руководство медицинским персоналом и коммерческой частью, планирование обслуживания пациентов и планирование хирургических операций, а также планирование оказания клиникой медицинской помощи населению в целом. Типичным образцом такого применения системного планирования в клинике является составление с помощью счетно-решающего устройства наиболее эффективного графика дежурств большого числа медицинских сестер с учетом таких факторов, как сменная работа, дни недели, в которые предпочитают быть выходными разные сестры, месяцы их отпусков и меняющееся число больных в клинике.

Системное планирование можно применять также в научно-исследовательских работах в области медицины. Одним из первых таких проектов была программа исследования вируса лейкемии в Национальном институте рака, которая оказалась выполненной столь успешно, что аналогичные методы были в дальнейшем использованы при исследованиях, посвященных химиотерапии раковых заболеваний и раку грудной железы. Одна сторона метода системного планирования, использованного в медицине, может показаться на первый взгляд нецелесообразной. Она заключается в ускорении проведения исследований путем дублирования работ, например выполнения одной и той же работы одновременно двумя лабораториями вместо одной или двумя сотрудниками вместо одного. Однако, поскольку воспроизводимость результатов исследования является одним из доказательств их справедливости, гораздо менее эффективно в смысле затрат времени и средств, когда один человек или одна группа проводит эксперимент, а другой человек или другая группа исследователей в это время

ждут его окончания, чтобы в свою очередь начать проверочный эксперимент.

Использование в медицинских исследованиях системного планирования означает, что в данной программе исследований не будет никаких задержек, поскольку каждый предыдущий этап выполнения программы заканчивается точно в то время, когда должен начаться следующий этап. Проведение всех работ координирует один человек — руководитель программы. Рабочие и другие ресурсы используются более эффективно, так как немедленно обнаруживаются слабые участки, и сразу же производится необходимая перестройка в финансировании и оснащении работ оборудованием, а также в обеспечении их людскими резервами.

Перспективы исследования космоса

В течение десятилетия, последовавшего за запуском первого в мире искусственного спутника Земли, космонавтика развивалась семимильными шагами. За эти десять лет, от запуска советского спутника до запуска «Сервейера», техника сделала несравнимо больший скачок, чем за десятилетие, прошедшее между полетами самолета братьев Райт (1903 год) и моноплана Блерио (1913 год). За период с 1957 по 1967 год космонавтика прошла путь от относительно простого первого искусственного спутника, который облетал Землю, передавая сигналы двух радиопередатчиков, до сложного «Сервейера-6», совершившего мягкую посадку на поверхность Луны и пославшего на Землю с помощью системы телеметрии много ценной научной информации о физических свойствах Луны, а также фотографии ее поверхности*. Мы не только узнали много нового о физике и химии космоса, нашей родной планеты и Луны, но и убедились в том — а это более важно для космонавтики, — что человек может в космосе не только существовать, но и активно действовать и работать так же, как в летящем над Землей самолете.

Что нам известно сегодня

Первый в мире пилотируемый космический полет, совершенный Юрием Алексеевичем Гагариным 12 апреля

* С момента выхода книги М. Р. Шарпа новые достижения в освоении космического пространства позволили еще больше расширить круг наших знаний о космосе. Были совершены орбитальные полеты на кораблях «Союз-6», «Союз-7» и «Союз-8», полеты кораблей «Аполлон-11» и «Аполлон-12» с выходом космонавтов на поверхность Луны и, наконец, рекордный по продолжительности 18-суточный орбитальный полет корабля «Союз-9», позволившие исследовать многие вопросы космической медицины. Неоценим вклад в освоение Луны советских автоматических станций «Луна-16» и «Луна-17». — *Прим. ред.*

1961 года, продолжался всего 1 час 48 мин. В последующие шесть лет 28 мужчин и 1 женщина провели в космосе в общей сложности 2525,44 человеко-часов (свыше трех месяцев), совершая облеты вокруг Земли и готовясь к штурму Луны. За три месяца они многое узнали о работе в условиях космического пространства. Они доказали ошибочность многих предсказаний, сделанных в 50-е годы сверхосторожными и скептически настроенными специалистами-медиками, которые упорно настаивали на том, что пребывание в космосе смертельно для человека, а о нормальном его функционировании там тем более не может быть и речи. Машины, утверждали они, проделают эту работу лучше.

Сегодня интересно вспомнить некоторые из этих пессимистических прогнозов, сравнив их с действительностью. В 1967 году Ч. Берри, руководитель Управления медицинских исследований и космических операций Центра разработки пилотируемых космических кораблей в Хьюстоне, в своем докладе на 10-м пленарном заседании Комитета по исследованию космического пространства в Лондоне обобщил весь медицинский материал, собранный во время полетов космических кораблей по программе «Джемпай». К ожидаемым физиологическим эффектам, которые, однако, космонавты во время полетов на себе не испытали, он отнес дисбаризм, нарушение физиологических ритмов, уменьшение выносливости к перегрузкам ускорения, расстройство координации движений и дезориентацию, нарушения в работе сердца, повышение или понижение кровяного давления, послеполетные обмороки, удлинение механической систолы сердца, понижение реакции сердечно-сосудистой системы на физические упражнения, морскую болезнь, потерю способности производить координированные мышечные движения и атрофию мышц, галлюцинации и эйфорию. К появившимся эффектам относятся: сухость кожи и появление перхоти; заложенность носа и хрипота, повышенная частота сердечных сокращений во время ускорений космического корабля и входа его в плотные слои атмосферы при возвращении на Землю, а также во время пребывания космонавтов в открытом космосе; увеличение числа белых и уменьшение массы красных кровяных телец; различные у разных космонавтов потери веса; минимальная декальцинация костной ткани; различная энергетическая потребность и минимальное утомление.

В настоящее время наши знания о функциональных системах человеческого организма, полученные во время орбитальных пилотируемых космических полетов, можно обобщить и свести в следующую таблицу.

Системы или функции	Отмечены ли изменения в связи с космическим полетом	Степень исследования
Нейрологические	Нет	Минимум
Поведенческие	»	»
Сердечно-сосудистые	Да	Обширная
Легочные	Нет	Минимум
Жидкостные (в организме)	Да	Умеренная
Опорно-двигательные	»	»
Обменные энерготраты	Нет	Минимум
Желудочно-кишечные	»	»
Мочеполовые	»	»
Эндокринные	Да	»
Иммунологические	»	»

На первый взгляд может показаться, что в большинстве областей исследования проводились с недостаточной глубиной, но тем не менее было собрано какое-то минимальное количество достоверных данных, которым можно дать обоснованное и логическое объяснение и которые можно экстраполировать. Кроме того, отмеченные во время космических полетов изменения не обязательно должны считаться биологически значимыми только потому, что они являются отклонениями от нормы. Во время полетов по программе «Джемини» продолжительность воздействия на человека факторов космического полета составляла сначала 4, потом 8, а затем 16 дней, то есть время воздействия от полета к полету удваивали. Изучая результаты этих полетов, Ч. Берри пришел к выводу, что при пилотируемых космических полетах продолжительностью до 30 дней никаких особенных медицинских проблем не возникнет. Такой вывод позволил развивать дальше американскую программу полетов к Луне.

Накануне первых полетов к Луне высказывания советских ученых по поводу способности человека работать продолжительное время в условиях космоса были сдержанными. Известные советские специалисты в области космиче-

ской биологии В. В. Парин, Н. Н. Гуровский и В. Н. Правецкий в первом выпуске журнала «Космическая биология и медицина» (1967, № 1) писали: «Можно сказать, что космическая биология и медицина сейчас в состоянии не столько решить, сколько более или менее правильно сформулировать и наметить пути решения основных проблем, необходимых для успешного осуществления длительного космического полета».

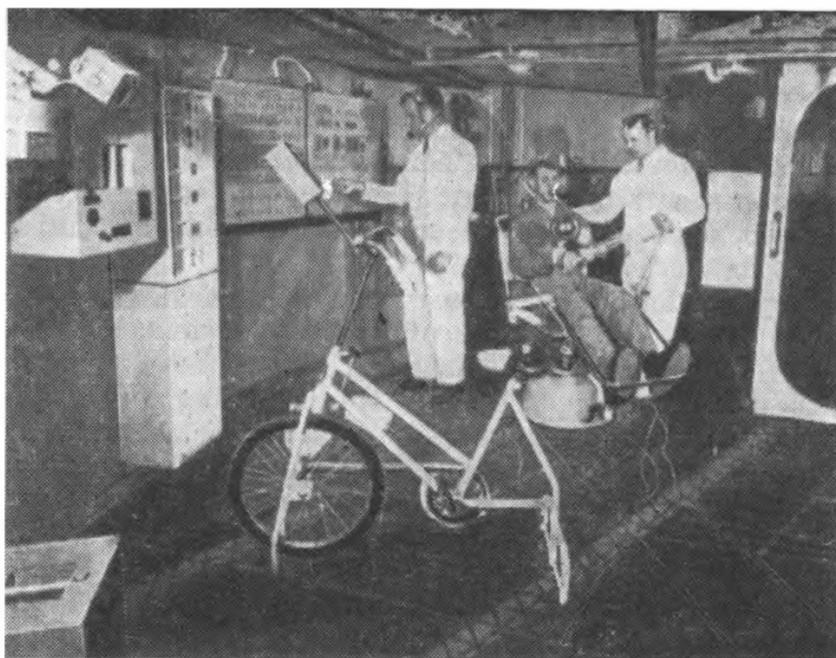
Перечисляя эти проблемы, советские ученые ставят на первое место влияние невесомости и радиации, подчеркивая, что биологические механизмы действия этих факторов во всех аспектах еще не ясны. По справедливому мнению ученых, «без четкого понимания механизмов действия длительной невесомости, без изучения интимных процессов, происходящих при этом в организме, научно обоснованный выбор средств и методов защиты окажется чрезвычайно затруднительным, практически невозможным».

В заключение советские исследователи предлагают, прежде чем принять те или иные решения, расширить эксперименты на Земле и в космосе для определения биологических воздействий на молекулярном и клеточном уровнях.

Что мы будем делать дальше

Предсказывать будущие космические программы — предприятие рискованное. Ни одна страна не сообщает и, вероятно, не будет публиковать в полном объеме конкретные планы на будущее в этой области.

В США такие программы возникают и отменяются в соответствии с «политической целесообразностью». Их финансируют лишь до тех пор, пока они политически привлекательны как внутренние программы, которыми можно заинтересовать народ, особенно перед наступлением выборов. Поэтому планирование на более продолжительный срок в лучшем случае можно осуществлять лишь наудачу. По словам Ч. С. Шелдона II, американского специалиста по космической и транспортной технике, «когда намечаются программы, в действие вступает множество неожиданных обстоятельств, связанных с мнением НАСА, необходимостью завоевать поддержку Бюро финансов при президенте,



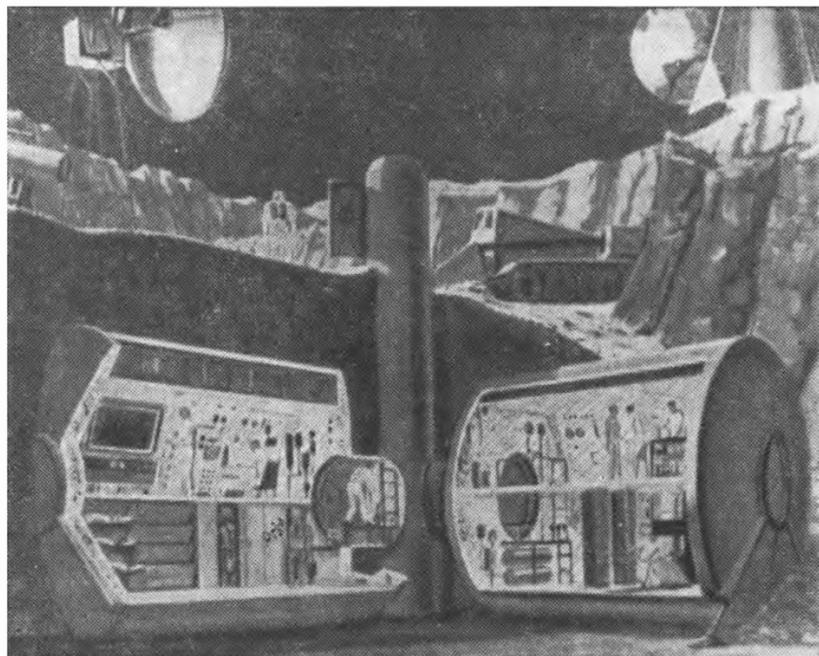
Макет одного из внутренних отсеков орбитальной лаборатории. В качестве ее корпуса предполагают использовать бак для жидкого азота второй ступени ракеты. После опустошения бака космонавты превратят его в космическую станцию.

нежеланием конгресса дать разрешение на выполнение долгосрочных планов без полного рассмотрения важности проблемы».

Советские космонавты после нескольких успешных орбитальных пилотируемых полетов, как стало известно, начали тренироваться в стыковке на орбите космических кораблей. По-видимому, этот опыт может понадобиться как для посадки пилотируемого космического корабля на Луну, так и для сборки больших космических станций на земной орбите.

Если по столь ограниченному предположительным сведениям можно правильно представить себе возможный план освоения человеком космоса в течение двух ближайших десятилетий, то этот план будет следующим:

1968—1975 годы Облеты Луны, за которыми последует высадка человека на Луну и ее ограниченное исследование.



Вероятно, первые на Луне обслуживаемые людьми лаборатории будут «подземными». Защищенные от радиации и микрометеоритов, в них смогут работать ученые самых различных специальностей. Предполагается, что необходимый для жизни кислород будут получать из лунных пород.

1976—1979 годы Многоместные космические станции, обращающиеся вокруг Земли на протяжении относительно продолжительного времени, в течение которого автоматические непилотируемые космические летательные аппараты будут посланы к Марсу и Венере, чтобы совершить на эти планеты мягкую посадку.

1980—1990 годы Облет Марса пилотируемым космическим кораблем, за которым следует высадка человека на эту планету или на два ее естественных спутника с помощью летательного аппарата, подобного тому, который изображен на стр. 192.

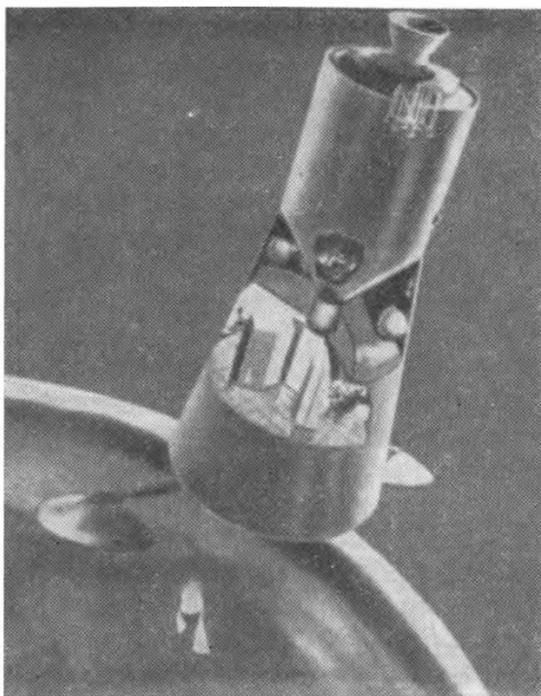
Системы жизнеобеспечения космонавтов во время будущих космических полетов

Независимо от того, когда начнется непосредственное исследование человеком далеких планет, системы жизнеобеспечения (СЖО) пилотируемых космических кораблей должны быть рассчитаны на работу в течение очень продолжительных периодов времени. Современные СЖО способны работать лишь в течение нескольких недель. СЖО больших космических станций и для полетов к Марсу будут значительно отличаться от СЖО современных кораблей типа «Аполлон» и «Союз».

Полузамкнутая СЖО, описанная в главе V, не удовлетворяет требованиям продолжительных полетов в космос. Когда начнется исследование космического пространства за Луной или в районе ближайших планет, просто невозможно будет работать, непрерывно используя запасы продуктов СЖО, взятых на борт корабля. Один из вариантов решения этой проблемы состоит в том, чтобы в какой-то степени дублировать экологическую замкнутую систему, частью которой является на Земле человек. Для исследования глубокого космоса человеку, вероятно, потребуется микроклимат, в основе которого лежит непрерывный материальный и энергетический обмен между животным и растительным миром и круговорот воды. «Сердцем» такой системы является блок фотосинтеза, в котором выделяемый человеком углекислый газ преобразуется в кислород и углерод, являющийся составной частью питательных веществ для растений. Схема такой системы приведена на стр. 192.

Говоря о СЖО замкнутого типа, не следует забывать, что мы имеем в виду только контур движения веществ в такой системе, однако энергетический контур в этом случае, совершенно очевидно, является незамкнутым, и замкнуть его, вероятно, нельзя никаким способом. Таким образом, в то время как вещество в такой СЖО может находиться в состоянии непрерывного внутреннего обмена, энергия для такой системы должна поступать от внешнего источника. На Земле таким источником энергии является Солнце, и оно же, вероятно, может служить источником энергии для замкнутой СЖО космического корабля, по крайней мере при космических путешествиях в пределах солнечной системы.

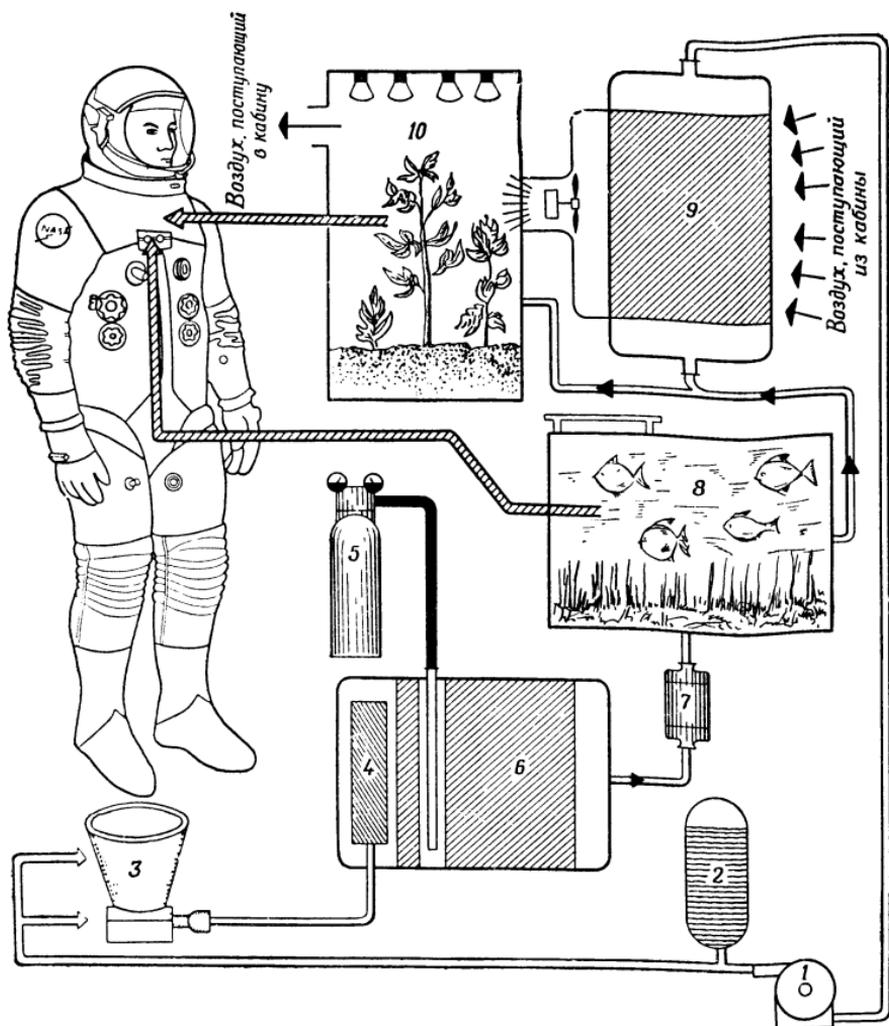
Макет разведочно-го зонда для уточнения условий высадки на поверхность Марса. Высадку людей на поверхность Марса можно ожидать, вероятно, к 1986 году.



Основными узлами экологической системы являются источник энергии, блок фотосинтеза, устройство для обработки отходов жизнедеятельности, блок для обработки воды, регулятор состава атмосферы и блок получения продуктов питания.

Каждый из этих узлов состоит из нескольких подсистем, и все они должны быть связаны друг с другом системой автоматического контроля и регулирования, с тем чтобы, например, постоянно поддерживать в космическом корабле заданную температуру, влажность и давление (в том числе и парциальное давление отдельных газов). Удерживать такую систему в состоянии требуемого динамического равновесия — задача поистине огромной трудности. Чтобы представить себе всю сложность такой системы, рассмотрим только блок фотосинтеза.

Фотосинтезирующий блок является самым критическим элементом системы. В нем часто предлагают использовать колонию морских водорослей, взвешенных в воде. При этом сразу возникает вопрос, какой вид водорослей лучше всего выбрать для этой цели. Существует около 40 000 видов водорослей, но нет необходимости исследовать все виды, поскольку они сильно отличаются друг от



Замкнутая экологическая система, которую предлагают использовать в межпланетных космических полетах. В этой системе насос (1) смешивает воду, поступающую из сборника воды (2), с отходами жизнедеятельности космонавтов, находящимися в резервуаре (3). Эта смесь размельчается в мельнице (4). Далее в смесь вводят кислород (5), и она проходит через фильтр из волокон коры красного дерева (6), в котором бактерии и простейшие микроорганизмы усваивают часть содержащихся в ней питательных веществ. Температура смеси регулируется теплообменником (7). Далее смесь поступает в аквариум с рыбками (8), поедающими вредные в данной экологической системе микроорганизмы. Проходя через мембранный диффузор (9), смесь очищается от токсичных примесей и CO_2 и отделяется от водяных паров. Основная часть воды возвращается в описанный цикл (к насосу); меньшая часть, содержащая неорганические питательные вещества с высокой концентрацией, периодически поступает в оранжерею (10). Водяной пар, очищенный диффузором от бактерий и вирусов, проходит через конденсер (на рисунке не показан) и превращается в воду, пригодную для питья. Растения в оранжерее усваивают углекислый газ и выделяют кислород, который возвращается в кабину. Рыбы и овощи идут в пищу космонавтам.

друга своими размерами. Так, океанские бурые водоросли имеют длину около 60 м, а в стоячих водах обитают одноклеточные микроскопические водоросли. Ввиду ограниченного пространства внутри космического корабля необходимо, конечно, выбрать очень маленькие водоросли. Поэтому до сегодняшнего дня исследования проводят только с одноклеточными водорослями *Chlorella* (а именно *Chlorella pyrenoidosa*), *Scenedesmus*, *Anacystis*, *Synechocystis* и *Synechococcus*.

Другим важным фактором является освещение. Для непрерывного воспроизводства хлореллы, например, необходим свет в диапазоне длин волн 4—7 млн. Å. Электрическая энергия преобразуется в световую с коэффициентом преобразования всего лишь 20%. Максимальный к. п. д., с которым хлорелла преобразует энергию видимого света в клеточную (химическую) энергию, вероятно, составляет 18—22%. Общий к. п. д. системы, в которой используется хлорелла, таким образом, в лучшем случае составляет не более 2%, если рассматривать цепь преобразования электрической энергии в клеточную энергию хлореллы. Надежный источник света в космическом корабле тоже является проблемой. Эксперименты показывают, что для этих целей флуоресцентные источники света лучше ламп накаливания, но потребляемая ими мощность составляет 4—5 кВт на каждого человека. Эту энергию питания можно получить с помощью топливных элементов, а также солнечных или атомных батарей. Кроме того, можно концентрировать солнечный свет рефлектором, направляя его в фотосинтезирующий элемент.

Может быть, самым критическим фактором в замкнутой экологической системе является сохранение равенства между дыхательным коэффициентом экипажа космического корабля RQ (отношение объема выделенного человеком углекислого газа к объему поглощенного кислорода) и коэффициентом ассимиляции водорослей AQ (отношение объема усвоенного углекислого газа к выделенному кислороду). Это равенство должно соблюдаться с точностью до 1%. Любое отклонение, превышающее эту величину, приведет к уменьшению количества кислорода для дыхания космонавтов на 1% в день. Поскольку коэффициент AQ зависит от количества подводимого к водорослям азота, то система, которая должна непрерывно регулировать состав атмосферы в космическом корабле и поддерживать

требуемое соотношение RQ/AQ , будет весьма сложной, если не сказать больше.

Питанием для водорослей будут отходы жизнедеятельности космонавтов. Водоросли же в свою очередь будут служить пищей для экипажа космического корабля.

Помимо воды и углекислого газа для образования новой клеточной массы водорослям необходимы также связанный азот и определенные минеральные соли. Если предположить, что потребность космонавтов в пище будет покрываться только водорослями, то достаточно будет около 600 г сухих водорослей на 1 человека в день. Очень сомнительно, чтобы человек мог потреблять в пищу такое количество водорослей в течение продолжительного периода времени, хотя они и богаты необходимыми аминокислотами (за исключением серусодержащих метионина и цистина) и витаминами и содержат 40—60% белков, 10—20% жиров и 20% углеводов. Эксперименты показали, что в суточной диете человека может содержаться около 100 г водорослей, большее количество водорослей в рационе вызывает у человека желудочно-кишечные расстройства.

Как в СССР, так и в США ученые считают, что в замкнутой экологической системе жизнеобеспечения в качестве компонентов или звеньев цепочки питания можно использовать промежуточные формы жизни. Упоминают дрожжи, плесень, грибы, водяных блох, улиток, полевых слизней, угрей и другую рыбу, кроликов, цыплят и коз. Берут в расчет также картофель, капусту и ряску. Водоросли будут поедаться рыбами или другими животными, которых в свою очередь будет употреблять в пищу экипаж космического корабля. Однако такие предложения упускают из виду огромные трудности, связанные с переработкой в замкнутой СЖО шерсти, когтей, рогов, трухляки животных и т. п. По словам известного микробиолога Роберта Г. Тишера, для космических кораблей «необходимо карликовое жвачное животное, размером, может быть, с кошку, не имеющее рогов, копыт, когтей, шерсти и т. п., которое можно было бы целиком употреблять в пищу».

В качестве другого не менее фантастического источника пищи для будущих путешественников в космос предлагают производство формальдегида из метана. Это высокотоксичное вещество далее будет якобы перерабатываться во «вкусные и полезные сахара». Такое предложение является, по-видимому, плодом весьма богатого воображения,

далекого, однако, от реалистического мышления. Более уместным и практичным был эксперимент, в котором принимали участие заключенные американской тюрьмы. В течение 6 недель они потребляли в пищу только специальную жидкость, в состав которой входили 20 аминокислот, жиры, несколько видов углеводов, витамины, минеральные соли и вода. Около 0,03 м³ этой жидкости достаточно для получения одним человеком 2000 ккал в день в течение месяца.

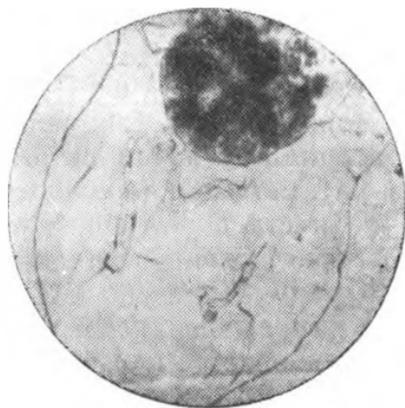
Еще более фантастично выглядит предложение делать конструктивные элементы внутри космического корабля из



В блоке фотосинтеза замкнутой системы жизнеобеспечения для будущих продолжительных космических полетов часто предлагают использовать морские водоросли, подобные представленной на фото смеси *Pandorina*, *Eudorina* и *Euglenia* (увеличение в 325 раз).

съедобных материалов, которые, таким образом, станут аварийными запасами пищи для космонавтов. Защитники этой идеи в качестве примера ссылаются на то, что в Японии сейчас делают пивные бутылки, спрессованные из порошка не употребляемых в пищу сортов рыбы.

Ввиду всех этих связанных с использованием водорослей трудностей сегодня исследуют более эффективные биологические системы. На первом месте после водорослей стоят бактерии *Hydrogenomonas eutropha*, которые способны разлагать углекислый газ и позволяют получать воду и материал для строительства своей клеточной массы. Энергия для работы этой системы получается при бактериальном окислении водорода молекулярным кислородом. В такой гипотетической СЖО бактерии только разлагают углекислый газ. Кислород нужно получать электролизом воды. Судя по подсчетам, общий к. п. д. подобной системы близок к 30%. Однако необходимо еще проделать большую работу по повышению питательной ценности *Hydrogenomonas*



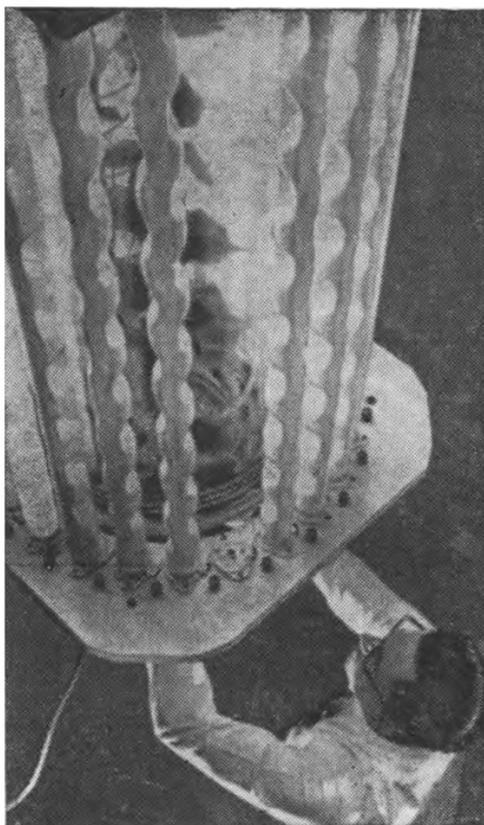
В качестве промежуточных животных организмов в замкнутой экологической системе можно использовать водяных блох (например, дафний). Допускают, что поедающая водоросли дафния (на снимке желудок ее заполнен морскими водорослями) в свою очередь послужит пищей для космонавтов.

(хотя они и содержат 70% белка) и пригодности их в качестве пищи для человека.

Возможно, что окончательное решение проблем обеспечения космонавтов пищей лежит в создании космического корабля, который способен лететь со скоростью, близкой к скорости света. В этом случае могут быть сняты сложные проблемы питания космонавтов. Иногда считают, что при таких скоростях полета космического корабля пищеварительная система космонавта, как и его биологические часы, будет работать в 70 000 раз медленнее. Таким образом, космонавту потребуется только один прием пищи вместо 6570, которые он имел бы на Земле.

Отставляя в сторону другие интересные, но далекие от практической реализации предположения, можно сказать, что проблема питания экипажа в очень продолжительных космических полетах является в настоящее время одной из тех областей научных исследований, которые требуют самого большого внимания.

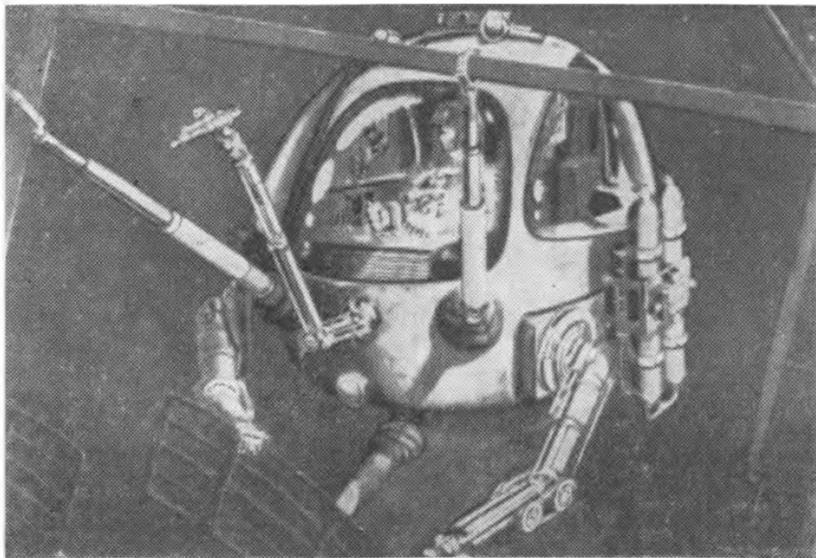
Вполне очевидна недостаточная надежность современных космических скафандров мягкой конструкции (см. главу V). Для исследования поверхностей планет более целесообразно и безопасно использовать «жесткие» скафандры. НАСА разрабатывает сейчас «антропоморфный», жесткий защитный скафандр постоянного объема, или, проще говоря, жесткий скафандр, который менее уязвим к проколам и который легче герметизировать. Поскольку он имеет почти постоянный внутренний объем, космонавт затрачивает немного усилий на «борьбу со скафандром», что составляет проблему в мягком скафандре конструкции



Съедобный сладкий картофель, который предлагают использовать в качестве пищи для космонавтов будущих космических кораблей с замкнутой экологической системой жизнеобеспечения. Кроме того, ботва картофеля, поглощая углекислоту, выделяет кислород.

сегодняшнего дня. Принцип работы шарнирных соединений жесткого скафандра тот же, что и мягкого, но его сильфоны состоят из набора металлических колец, соединенных друг с другом прорезиненной тканью. Однако можно использовать и целиком металлические сильфоны. Торсовая часть, а также рукава и брюки скафандра сделаны из металла или пластмассы и обеспечивают такую же защиту от микрометеоритов, как и мягкие скафандры. Перчатки по необходимости должны быть изготовлены из прорезиненной ткани, чтобы быть гибкими и обеспечивать космонавту необходимую тактильную чувствительность. Ботинки в таком скафандре жесткие, они отформованы в виде голландских башмаков на деревянной подошве, чтобы позволить космонавту передвигаться по поверхности Луны или планет.

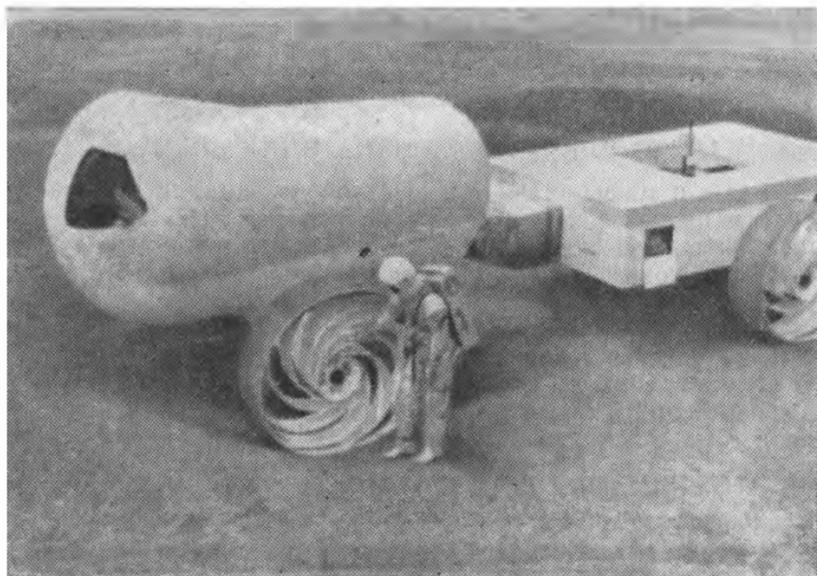
В жестком скафандре можно создавать более высокое по сравнению с мягким скафандром внутреннее давление,



Макет небольшого индивидуального летательного аппарата, так называемого космического такси, который будет использоваться в тех случаях, когда космонавт в скафандре, жестком или мягком, не сможет выполнять тяжелую физическую работу в открытом космосе. Для сборки больших космических станций и для других видов тяжелой физической работы космонавт будет применять манипуляторы с дистанционным управлением.

однако вес скафандра при этом увеличивается, так как ему необходимо придать большую прочность. Рабочее внутреннее давление в современных жестких скафандрах составляет обычно $0,245 \text{ атм}$, а их вес (на Земле) — $30\text{—}36 \text{ кг}$. В совокупности с автономной ранцевой СЖО жесткий скафандр будет также полезен и при выполнении внешних сборочно-монтажных и ремонтных работ на долгодействующих орбитальных космических станциях или других космических летательных аппаратах.

Несмотря на существующие в космосе условия невесомости, для тяжелых работ там может потребоваться миниатюрный летательный аппарат, который называют и космическим буксиром, и космическим такси и т. п. В таком аппарате один или несколько космонавтов будут пользоваться манипуляторами с дистанционным управлением, подобными используемым сейчас в лабораториях для работ с радиоактивными веществами.



Макет транспортной машины, проходящей испытания на полигоне с имитированным лунным грунтом. Мягкие пружинящие колеса очень удобны для передвижения по лунной почве, усыпанной камнями. В герметизированном переднем отсеке — места для двух космонавтов; в прицепе — контейнер для оборудования и образцов лунных пород.

Подводя итоги, можно сказать, что как в СССР, так и в США разрабатывают методы и технику для более широких и глубоких исследований космического пространства. Несомненно, что в ближайшем будущем программы космических исследований будут изменяться. В каждой стране есть много преданных своему делу ученых и инженеров, которые непрерывно изучают, строят планы, мечтают и работают во имя будущего освоения космоса. Благодаря им в космонавтике будет продолжаться непрерывное движение вперед.

Вероятно, самым лучшим выражением веры в то, что человек, достигнув космоса, никогда не отступится от него, является высказывание пионера космонавтики Константина Эдуардовича Циолковского, сделанное еще в 1911 году: «Человечество не останется вечно на Земле, но в погоне за светом и пространством сначала робко проникнет за пределы атмосферы, а потом завоюет все околосолнечное пространство».

ОГЛАВЛЕНИЕ

Глава I. ЧТО ВЛЕЧЕТ ЧЕЛОВЕКА В КОСМОС	11
Легенды и мифы (11). Путешествие в космос в литературе и произведениях научной фантастики (12). Животные — пионеры космоса (14). Человек проникает в космос (15). Роль человека в исследовании космоса (16).	
Глава II. ОСТОРОЖНО: КОСМОС!	21
Где начинается космос (21). Ускорение (24). Вибрация и шум (30). Зрение и освещение (36). Температура (39). Радиация (42). Взрывная декомпрессия (49). Магнитные поля (51). Ионизированный воздух (53). Невесомость (54).	
Глава III. КАК ОПАСНО БЫТЬ ЧЕЛОВЕКОМ	61
Психофизиологический стресс (61). Изоляция и сенсорный голод (65). Биологические часы (67). Фармакология в космосе (72). Гипноз в космосе (75). Гипотермия и анабиоз (77). Отбор космонавтов (79). Система человек — машина (84).	
Глава IV. ИМИТАЦИЯ КОСМИЧЕСКОГО ПОЛЕТА	92
Для чего имитируют условия космического полета (92). Камеры — имитаторы условий космического пространства (95). Имитаторы перегрузок (100). Имитация невесомости (103). Тренажеры для космонавтов (107).	
Глава V. ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЕ В КОСМОСЕ	115
Системы жизнеобеспечения незамкнутого типа (116). Системы жизнеобеспечения полужамкнутого типа (117). Подсистема кондиционирования воздуха (119). Подсистема водообеспечения (125). Подсистема обработки отходов (127). Подсистема терморегуляции (130). Подсистемы регенеративного типа (131). Космические скафандры (134). Космическая пища (142). Киборг (145).	
Глава VI. СВЯЗЬ С КОСМОНАВТОМ	150
Основы телеметрии (151). Биотелеметрия в космосе (157). Воспроизведение данных биотелеметрии (161). Будущее биотелеметрии (162).	
Глава VII. КОСМОС — ЗЕМЛЕ	167
Новые инструменты врача (168). Клиника космического века (177). Медицина и искусственные спутники Земли (180). Системное планирование в медицине (181).	
Глава VIII. ПЕРСПЕКТИВЫ ИССЛЕДОВАНИЯ КОСМОСА	184
Что нам известно сегодня (184). Что мы будем делать дальше (187). Системы жизнеобеспечения космонавтов во время будущих космических полетов (190).	

53 коп.