

КОСМОНАВТИКА, АСТРОНОМИЯ

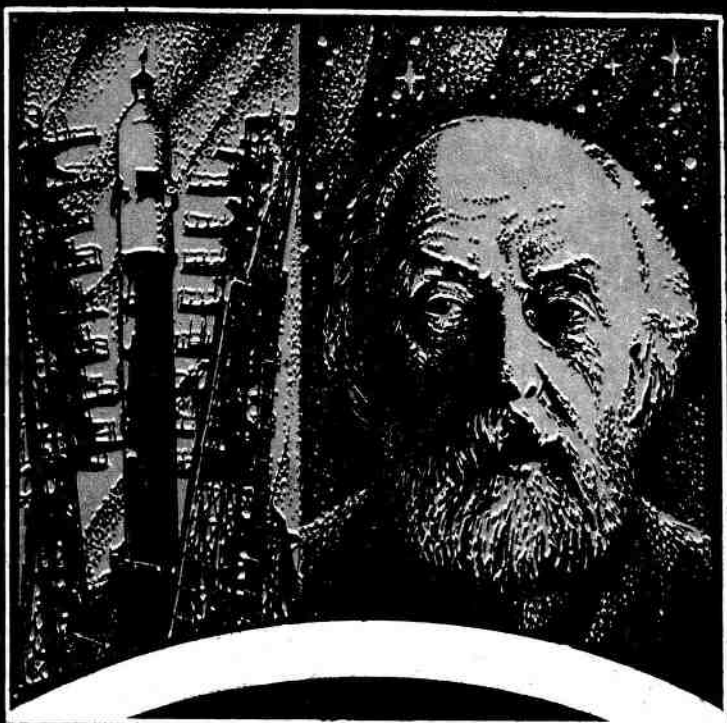
ПОДПИСНАЯ НАУЧНО-ПОПУЛЯРНАЯ СЕРИЯ



1982/ 9

К. Э. ЦИОЛКОВСКИЙ

(К 125-летию
со дня рождения)



ЗНАНИЕ

НОВОЕ В ЖИЗНИ, НАУКЕ, ТЕХНИКЕ

НОВОЕ В ЖИЗНИ, НАУКЕ, ТЕХНИКЕ

ПОДПИСНАЯ НАУЧНО-ПОПУЛЯРНАЯ СЕРИЯ

**КОСМОНАВТИКА,
АСТРОНОМИЯ**

9/1982

Издается ежемесячно с 1971 г.

К. Э. ЦИОЛКОВСКИЙ

(к 125-летию со дня рождения)

СБОРНИК СТАТЕЙ

ББК 39.6
Ц 66

Составитель София Аркадьевна Соколова, кандидат технических наук

Ц 66 К. Э. Циолковский (к 125-летию со дня рождения): Сб. статей/Сост. С. А. Соколова. — М.: Знание, 1982. — 64 с., ил. — (Новое в жизни, науке, технике. Сер. «Космонавтика, астрономия»; № 9).

11 к.

17 сентября 1982 г. исполняется 125 лет со дня рождения выдающегося нашего соотечественника, основоположника космонавтики К. Э. Циолковского (1857—1935). Этому событию и посвящен настоящий сборник, в статьях которого рассмотрено многогранное творчество ученого в различных отраслях науки и техники.

Брошюра рассчитана на широкий круг читателей.

3607000000

ББК 39.6
6Т6(09)

© Издательство «Знание», 1982 г.

К. Э. Циолковский и прогресс техники в XX в.

Основной мотив моей жизни — сделать что-нибудь полезное для людей, не прожить даром жизнь, продвинуть человечество хоть немного вперед.

К. Э. Циолковский

17 сентября 1982 г. исполняется 125 лет со дня рождения Константина Эдуардовича Циолковского. Ему принадлежат выдающиеся открытия в области теоретической и прикладной аэродинамики, теории воздухоплавания и авиации, учения о движении ракет (в том числе и многоступенчатых), теории межпланетных сообщений.

Трудами К. Э. Циолковского заложены основы космонавтики, ставшей в наше время одним из важнейших направлений научно-технического прогресса. Циолковский явился автором большого числа оригинальных исследований по астрономии, биологии, геофизике, скоростному наземному транспорту, использованию солнечной энергии и другим перспективным разделам науки и техники.

Его глубоко интересовали проблемы общественной жизни, социологии, лингвистики, философии, естествознания. Этим проблемам посвящены многие его статьи и брошюры. Им написана целая серия блестящих научно-фантастических произведений: «На Луне», «Грезы о Земле и небе», «Вне Земли», «Эфирный остров» и другие, которые неоднократно издавались в нашей стране и за рубежом.

К. Э. Циолковский прожил большую и трудную жизнь. Он был свидетелем и непосредственным участником великих исторических событий и преобразований в нашей стране, которые наложили большой отпечаток на все его творчество. Великая Октябрьская социалистическая революция создала новые условия для работы ученого. Его почти двадцатилетняя деятельность в советский период была наиболее многогранной и высокопродуктивной.

Выдающийся ученый, основоположник научной космонавтики, вышел из глубинных слоев русского народа. Он родился в небольшом селе Ижевском Рязанской губернии в семье лесничего. В детские годы, после тяжелой болезни, Циолковский почти полностью потерял слух. Глухота не позволила ему продолжать обучение в школе. Для овладения знаниями оставался один путь — самообразование. Огромная сила воли и выдающиеся способности Циолковского привели к цели — экстерном он сдал экзамены на звание учителя. С 1880 г. началась его многолетняя педагогическая работа в училищах небольших городов Центральной России — сначала Боровска, потом Калуги.

Одновременно К. Э. Циолковский с увлечением отдался научной и изобретательской деятельности, которая продолжалась более полувека. Ученый внес ощутимый вклад в решение многих задач науки и техники. Но важнейшим делом его жизни стали труды в области ракетно-космической техники, подчиненные целям исследования и освоения межпланетного пространства. Решение этих проблем красной нитью проходит через все его полувековое научное творчество.

Идея использования ракет в космосе зародилась в сознании Циолковского еще в самом начале его научной деятельности. В работе «Свободное пространство», относящейся к 1883 г., отчетливо сформулирована мысль об использовании реакции истекающей струи для механического движения. В последние годы XIX в. К. Э. Циолковский создает математическую теорию реактивного движения, а в 1903 г. выходит в свет его знаменитая статья «Исследование мировых пространств реактивными приборами». «Эта классическая работа, — сказал С. П. Королев, — по праву считается первой в мире научной работой, посвященной вопросам теории реактивного движения и ряду важнейших технических предположений в области ракетной техники». Каждое последующее издание своего замечательного труда (1911—1912, 1914 и 1926 гг.) ученый дополнял новыми разработками не только теоретического, но уже и практического характера. Обладая в высокой мере чувством научного предвидения, он ощущал приближение космической эры и как бы готовил человечество достойно встретить новый период в истории общества.

В указанной работе и в других трудах послеоктябрь-

ского периода, посвященных ракетно-космической технике; К. Э. Циолковский разработал важнейшие проблемы, относящиеся к организации полетов человека за пределы земной атмосферы. К их числу относятся вопросы создания теории многоступенчатых ракет («ракетных поездов», по выражению Циолковского), достижения космических скоростей летательным аппаратом, определения условий посадки космических аппаратов на поверхность планет, лишенных атмосферы, и т. д. Циолковский был первым среди тех ученых, кто поставил задачу создания искусственных спутников Земли, а также орбитальных космических станций, обеспечивающих длительную работу человека в космическом пространстве. Он рассмотрел и основные медико-биологические проблемы космического полета.

Все научное творчество К. Э. Циолковского пронизано идеями гуманизма. На тысячах страниц его трудов, в том числе и по ракетной технике, нет ни одного слова об использовании ракет или других предложенных им технических устройств в военных целях. Он рассматривал ракетную технику как могучее средство изучения природы. В его работах содержится немало практических рекомендаций по использованию космической техники в интересах развития народного хозяйства, на благо всего человечества.

К. Э. Циолковский был великим патриотом нашей Родины. Народу, ленинской партии он завещал свои труды. За несколько дней до смерти ученый писал: «Все свои труды по авиации, ракетоплаванию и межпланетным сообщениям передаю партии большевиков и Советской власти — подлинным руководителям прогресса человеческой культуры. Уверен, что они успешно закончат эти труды».

Научное наследие К. Э. Циолковского успешно развивается. Уже четверть века человечество живет в условиях космической эры. Космические исследования стали величайшим достижением современной науки и техники, они по-прежнему верно служат делу научно-технического прогресса и мира на Земле. Циолковский был и остается нашим великим современником.

«Время иногда неумолимо стирает облики прошлого, — говорил С. П. Королев, — но идеи и труды Константина Эдуардовича будут все больше и больше при-

влекать к себе внимание по мере дальнейшего развития ракетной техники.

Константин Эдуардович Циолковский был человеком, жившим намного впереди своего века, как и должно жить истинному и большому ученому.

Трудно переоценить значение огромного вклада, который внес Циолковский в разработку теории реактивного движения, в обоснование возможности межпланетных сообщений, в решение многих технических задач, связанных с созданием ракет, сверхскоростных самолетов, летающих в высоких слоях атмосферы, дирижаблей и других летательных аппаратов.

Теоретические основы межпланетных полетов были заложены К. Э. Циолковским в то время, когда человек делал отдельные, еще очень робкие попытки полетов на самолетах. Первая работа К. Э. Циолковского по теории реактивного движения и межпланетным сообщениям «Исследование мировых пространств реактивными приборами» была опубликована в 1903 г. в № 5 журнала «Научное обозрение». Сами же исследования, положенные в основу этой работы, были начаты в 1896 г. В 1911—1912 гг. в журнале «Вестник воздухоплавания» была опубликована вторая часть этого труда ученого. Оценивая вклад К. Э. Циолковского в космонавтику, академик В. П. Глушко сказал: «Современная космонавтика родилась на рубеже нашего XX века. Неугомонным и страстным трудом своим заложил все краеугольные камни ее фундамента один человек. Имя его — Константин Циолковский».

Циолковскому принадлежит также и прогрессивная идея постройки цельнометаллического аэроплана. В работе «Аэроплан или птицеподобная (авиационная) летательная машина» (1894 г.) даны описания и схема самолета, очень близкая к современной: моноплан с обтекаемым фюзеляжем, свободнонесущие крылья толстого профиля, колесное шасси, двигатель внутреннего сгорания. Циолковским предсказывался и весь путь пройденный современной авиацией: достижение все больших и больших скоростей и высот благодаря применению и развитию реактивных двигателей.

Изобретательская мысль ученого непрерывно работала над совершенствованием многого из того, что окружает человека в его жизни, в трудовой деятельности. В научном наследии Циолковского есть десятки трудов,

посвященных самым разнообразным вопросам астрономии, физики, биологии, геохимии, техники. Многие из этих работ не потеряли своей актуальности и сейчас. Они разнообразны по теме, по стилю изложения, по степени популярности. Однако их объединяет горячее стремление автора лучше познать окружающий мир, приоткрыть завесу неизвестного, поставить новые силы природы на службу людям, облегчить труд и украсить жизнь человека.

Циолковский глубоко верил в могущество науки, в грядущий прогресс техники. В серии статей, начатой еще в 1915 г. и посвященной прогнозу будущего Земли и человечества, ученый убежденно доказывает всевозрастающую роль науки и техники в подчинении человеку стихийных сил природы, в совершенствовании самого человеческого общества.

В статье «Будущее Земли и человека (Технический и научный прогресс будущего)», относящейся к 1915 г., Циолковский писал: «Параллельно, или одновременно, будут развиваться: человек, наука и техника. От того, другого и третьего преобразуется вид Земли. Начнем с технического прогресса. Прежде всего достигнут совершенства того, что сейчас производят. Увеличат с помощью машин в сотни раз производительность рабочего. Сделают труд его во всех отраслях совершенно безопасным, безвредным для здоровья, даже приятным и интересным. Сократится время поденной работы до 4—6 часов. Остальное отдадут свободному, необязательному труду, творчеству, развлечению, науке, мечтам...»

Ученый говорит о глубоких шахтах, об использовании внутреннего тепла Земли, о новых материалах — сверхтвердых, легких, неокисляющихся, жароупорных. Он мечтает о новых способах достижения весьма высоких и необыкновенно низких температур, которые найдут повсеместное применение в народном хозяйстве. Циолковский предсказывает все более широкое использование человеком природных ресурсов морей и океанов, и многое другое.

Характерно, что цитируемая работа Циолковского была написана в разгар первой мировой войны, когда усилия значительной части человечества были направлены на разрушение, а не на созидание. Однако и в такой обстановке ученый-гуманист оставался верен себе:

он мечтал о научно-техническом прогрессе для благо людей, который может быть в максимальной степени обеспечен только в условиях мира на нашей планете.

Наряду с работами, относящимися к общим проблемам развития науки и техники, Циолковский написал немало статей, посвященных разработке отдельных научно-технических вопросов, имеющих большое прикладное значение и непосредственный выход в практику. Эти работы печатались в 1920—1930 гг. в советских журналах, издавались отдельными брошюрами, некоторые из них увидели свет только после смерти ученого.

Однако прежде чем перейти к конкретным техническим аспектам этих работ, следует остановиться на том, что ученый совершенно справедливо считал базой для грядущего прогресса техники. Такой базой прежде всего являются природные богатства нашей планеты, заключающиеся в запасах различных видов минерального и органического сырья и энергии. Базой для грядущего развития техники Циолковский считал также и богатства Вселенной, которые в прямом смысле еще в очень ограниченной степени используются человеком (например, энергия солнечных лучей и т. п.).

В 1920 г. в Калуге вышла в свет брошюра К. Э. Циолковского «Богатства Вселенной». Подзаголовком к ней было: «Глава из сочинения: Мысли о лучшем общественном устройстве». Это не случайно. Циолковский во всех своих работах тесно связывал устройство высокоорганизованного общества с рациональным использованием всех природных богатств. Человека будущего он представлял себе как умного и рачительного хозяина природы, который не только умело использует ее ресурсы, но и постоянно заботится об их возобновлении и приращении. Итак, основу для будущего развития техники Циолковский видел прежде всего в более полном и рациональном использовании богатств нашей планеты, а в отдаленном будущем — также и богатств Солнечной системы и «вообще Космоса».

В упомянутой брошюре ученый отмечает, что «богатства Земли состоят: 1) из простора на ее поверхности, 2) из веществ, заключенных в земной коре, воде и воздухе, 3) из энергии, или механической работы, которая может быть получена в земных пределах, 4) из культурных приобретений человечества». Таким образом, дости-

жения мысли и творчества человека Циолковский относил к богатствам Земли.

Переходя к конкретному описанию различных богатств нашей планеты, ученый делает любопытный расчет. Принимая фактическое население земного шара в то время за 1,6 млрд. человек (в наши дни оно примерно втрое больше. — А. Ф.), он находит, что на каждого человека приходится в среднем 90 тыс. м² суши и 300 тыс. м² водной поверхности. Из этого расчета следует смелый для того времени вывод: «Над такой громадной площадью, — пишет Циолковский, — одной рабочей мужской силе трудно быть полным хозяином при настоящем состоянии техники. А если бы и сделался он таким мощным хозяином со временем, куда бы было ему девать громадное количество продуктов его труда? Отсюда видна возможность и необходимость увеличения населения. Большое население, при помощи техники, справится с землей; при редком же населении его одолеет природа, звери, насекомые, растения и бактерии».

Анализируя богатства Земли и возможности их более полного использования в настоящем и будущем, Циолковский останавливается прежде всего на ресурсах земной коры. Он настаивает на методическом, планомерном и повсеместном исследовании природных ископаемых начиная от различных сортов глины, кончая рудами черных и цветных металлов, углем, нефтью и другими видами топлива. Ученый пишет не только об использовании природных ископаемых в промышленности, но останавливается на их значении в быту, в искусстве, в архитектуре и т. д. Циолковский, например, особенно подчеркивает значение стекла, «которое играет в культуре громадную роль и будет играть еще большую, чуть не бесконечную, в будущем. Напекаю на искусственную атмосферу для культурных растений и человека».

Переходя далее к вопросам использования новых источников энергии, Циолковский останавливается на возможностях утилизации тепла земных недр, энергии приливов и отливов, а также использовании разницы в температурах поверхностных и глубинных слоев воды в океане и контраста в температуре атмосферного воздуха по мере удаления от земной поверхности. Все это обосновывается математическими расчетами, но при

этом отмечаются и технические трудности в решении поставленных задач. В наши дни благодаря успехам техники уже дают электрическую энергию первые приливные электростанции (в СССР, во Франции и других странах), все шире используется в энергетических целях внутреннее тепло Земли. Но это пока только первые, правда уже уверенные шаги в освоении новых источников дешевой энергии.

В брошюре «Богатства Вселенной» К. Э. Циолковский особое внимание уделяет возможностям широкого использования энергии солнечных лучей. Он рассматривает эту важную проблему в разных аспектах: непосредственное использование солнечного тепла, действие лучей Солнца на поверхность Земли, воздух и воду, а также накопление энергии солнечных лучей растениями и т. п. И, как всегда, идеи ученого тут же подкрепляются математическими расчетами, выкладками, длинными рядами чисел, сведенных в таблицы, поясняющие огромную значимость солнечной энергии в жизни человечества уже сейчас и в отдаленном будущем.

«Как ничтожно количество добываемых человеком энергии и веществ в сравнении с тем, которое могла бы, при умении, доставить непосредственная, т. е. без растений, энергия лучей!» — восклицает Циолковский. Его подсчеты показывают, что в то время (1920 г.) на одного жителя Земли приходилось в среднем 0,03 л. с., заключенной в мощности разного вида двигателей. Если бы человек научился хотя бы на 10% утилизировать энергию солнечных лучей, падающих на Землю, то те же 90 тыс. м² суши, приходящиеся на одну душу населения, могли бы дать мощность 3200 л. с., т. е. в 107 тысяч раз больше.

Рассматривая проблему использования фотосинтеза растений, Циолковский приводит десятки примеров, указывающих, что разные растения в различной степени утилизируют энергию солнечных лучей. Он выступает как активный поборник искусственного выведения новых видов высокопродуктивных сельскохозяйственных растений, которые могли бы в большей степени и более быстро перерабатывать энергию Солнца в питательные вещества. Характерно, что вопросы повышения продуктивности растений Циолковский рассматривает в тесной связи с совершенствованием почвы, производством удобрений, с обеспечением достаточного количества

влаги, а в нужных случаях и с созданием соответствующей атмосферы, в которой будет протекать развитие растений.

Важнейшее значение, по Циолковскому, имеет непосредственное использование человеком химической энергии солнечных лучей. Ведь до сих пор утилизация химической энергии Солнца осуществляется с помощью только живых объектов — растений и животных. «Человек не умеет пользоваться сейчас химической энергией солнечных лучей, т. е. не может в аппаратах разлагать углекислоту и другие сложные тела на элементы, получить клетчатку, крахмал, белок и множество других необходимых человеку веществ, — констатирует ученый. — Если бы было такое умение, то получились бы великолепные результаты». Эти результаты Циолковский приводит в таблицах, заключающих статью «Растение будущего» (1929 г.).

За работами общего характера последовала большая серия исследований по конкретным вопросам техники. Некоторые из них были тогда же опубликованы Циолковским в научных и научно-популярных журналах или изданы в Калуге небольшими брошюрами. Характерно, что подавляющее большинство этих работ относится к последнему десятилетию жизни ученого, т. е. ко второй половине 20-х — первой половине 30-х годов текущего столетия.

Пять десятилетий отделяют нас от тех дней, когда эти исследования, продуманные до мельчайших подробностей, впервые увидели свет. Это были годы бурного развертывания творческих сил нашего народа, годы стремительного развития науки и техники. Работы Циолковского этого периода, его исследования даже по частным вопросам не потеряли своего практического значения и теперь. Уже не отдельные ученые, а большие научные коллективы, целые лаборатории и институты, вооруженные совершенной научно-исследовательской аппаратурой, имеющие мощную производственную базу, продолжают труды Циолковского и в области использования солнечной энергии, и в подчинении энергии моря, и в создании скоростного наземного транспорта.

В своих работах даже по самым узким вопросам техники Циолковский предстает перед нами как смелый новатор, глубоко уверенный в торжестве человеческого разума, в могуществе науки. Все его технические и на-

учные идеи являются результатом неумолимых исканий, глубоких размышлений, помноженных на точные вычисления и многократные эксперименты. Работы Циолковского являются примером глубокого синтеза теории и практики. После тщательного и всестороннего продумывания и точных математических расчетов они воплощались в макеты и модели, первые варианты будущих технических устройств.

Циолковского увлекали вопросы скоростного наземного транспорта. Этой теме он посвятил несколько детально разработанных статей. В годы, когда эксплуатационные скорости железнодорожного транспорта порядка 50—60 км/ч считались чуть ли не предельными, а полет аэроплана со скоростью в 250—300 км/ч выглядел как огромный успех техники, Циолковский мечтал о сверхзвуковых скоростях не только в космосе, но и в атмосфере Земли. Он предвидел также возможности резкого увеличения скорости наземного транспорта. Недаром его вычисления, сведенные в локальные таблицы, доведены до скоростей в тысячу метров в секунду, т. е. до 3600 км/ч. Это утроенная скорость звука в воздухе!

Какими же путями можно добиться многократного увеличения скорости средств передвижения на Земле? Циолковский дает точный ответ на этот вопрос: только применением принципиально нового метода, новых технических устройств. Ими должны явиться средства транспорта, не катящиеся по дороге, а парящие над ней. Упругая и эластичная воздушная подушка — вот что должно отделять скоростной вагон от дороги.

Принцип движения транспортных средств на воздушной подушке был наиболее полно сформулирован К. Э. Циолковским в его брошюре «Соппротивление воздуха и скорый поезд» (1927 г.). В этой работе ученый дает подробный теоретический расчет параметров движения скоростного поезда на воздушной подушке. Он убежденно говорит о поезде будущего, который, используя силу инерции, «будет перескакивать через все реки, пропасти и горы любых размеров», при этом «не нужно будет мостов, тоннелей и больших земляных и горных работ». Ученый мечтает о том времени, когда лишь полчаса езды в поезде будут отделять Москву от Ленинграда и всего 10 ч займет путь от полюса до эк-

ватора и не на самолете (это осуществимо уже в наши дни), а в купе скоростного наземного экспресса.

К той же идее воздушной подушки ученый возвращается и в последующих статьях, посвященных скоростному наземному транспорту. В интересной работе «Общие условия транспорта», написанной в январе 1934 г. и впервые опубликованной 30 лет спустя в 4-м томе собрания сочинений ученого, Циолковский практически рассматривает такие частные детали предлагаемых им аппаратов, как характер двигателя, форма и конструкция вагона, устройство закраин, профиль пути и т. д.

С конца 20-х годов идеи Циолковского стали получать экспериментальное развитие в работах отечественных и зарубежных исследователей. В 1927 г. профессор Новочеркасского политехнического института В. И. Левков начал изучение моделей морских судов на воздушной подушке. В результате проведенных исследований были установлены необходимые закономерности, позволившие приступить к постройке быстроходного катера-амфибии на воздушной подушке.

Такой катер был построен под руководством В. И. Левкова в 1934—1935 гг. В предвоенные годы было спроектировано и построено еще несколько катеров конструкции Левкова. Катер Л-5 при испытании на спокойной воде показал рекордную для того времени скорость — 135 км/ч. В предвоенные годы конструкции судов на воздушной подушке создавались в США, Великобритании и других странах.

В 1962 г. в Ленинграде было построено первое пассажирское судно на воздушной подушке «Нева». Оно было рассчитано для перевозки по мелководным рекам 38 пассажиров, скорость его составляла более 50 км/ч. В начале 60-х годов в СССР были созданы первые конструкции автомобиля и мотоцикла на воздушной подушке. Аналогичные конструкции были созданы и в ряде зарубежных стран.

В настоящее время транспортные средства на воздушной подушке повсеместно находят все более широкое применение.

Другая группа работ Циолковского приводит нас в глубины моря. Важность изучения подводного мира ученый неоднократно подчеркивал. Уже при жизни Циолковского человечество изрядно преуспело в покорении морских и океанских глубин. «Потаенные огневые

суда» позднего средневековья явились дальними предтечами современных подводных лодок, которые уже в 30-х годах достигали глубин в 100 м и более. На сотни метров погружались в океан и массивные стальные шары — батисферы. Однако глубина погружения ограничивалась в то время многими факторами и прежде всего прочностью материалов, из которых делались аппараты для подводных исследований.

В статье «Наибольшая глубина погружения океанской батисферы», написанной в мае 1935 г., ученый рассматривает два типа аппаратов для исследования морских глубин. Батисфера первого типа предназначена для не очень глубоких погружений, она обладает способностью плавать. Чтобы погрузить ее в море, нужен добавочный груз. При подъеме этот груз отделяется, и батисфера быстро всплывает на поверхность. Такая батисфера связана с судном только легким тросом да телефонными проводами. Батисфера второго типа имеет толстые металлические стенки, ее вес велик, она не обладает свойством плавучести и должна опускаться в море на прочных тросах или цепях. Если длина цепи или троса значительна, порядка нескольких километров, то цепь или трос могут оборваться под действием собственной тяжести.

С присущей ему тщательностью Циолковский считал различные варианты подводных научных лабораторий и пришел к выводу, что уже при современных ему материалах глубина погружения батисферы может достигать не сотен метров, а нескольких километров, без всякой опасности для жизни исследователя. Дальнейшее развитие батисферостроения полностью подтвердило эти прогнозы ученого. В наше время с помощью батисфер, сделанных из материалов высокой прочности, практически можно достигнуть предельных глубин Мирового океана.

Большой интерес представляет работа К. Э. Циолковского, посвященная практическому использованию энергии морских волн. Эта тема, так же как и утилизация потенциальных запасов энергии, возникающих в результате приливов и отливов, столетия волнует человечество и даже в наши дни далека еще от широкого практического разрешения. Ученый предлагает очень простые конструкции, способные превращать колебательные движения волн во вращения маховика силовой

установки. Однако и в этом случае, как всегда, Циолковский ставит и решает комплексную задачу. Его интересует не только использование энергии морских волн, но и их укрощение. Не случайно силовые установки, работающие на энергии волн, он объединяет в единое понятие с волноломом — устройством, успокаивающим волнение, предохраняющим берега и различные сооружения от разрушительной силы прибоя.

Ряд работ Циолковского посвящен воздуходушным устройствам. Последнее десятилетие его жизни совпало с началом титанической работы по индустриализации СССР, развернутой Коммунистической партией. Это были годы первых пятилеток, когда закладывался индустриальный фундамент социализма, создавались первые гиганты металлургии, машиностроения, энергетики. Огромные количества сжатого воздуха нужны были всюду — и для питания металлургических агрегатов, и для приведения в действие пневматических устройств в различных отраслях промышленности. Однако в нашей стране в то время еще не было налажено производство совершенных воздуходушных машин турбокомпрессорного типа, в том числе и осевых многоступенчатых компрессоров. Работы Циолковского в этой области, особенно статья «Сжиматель газа и его расчет», были для своего времени исключительно актуальными, не потеряли значения они и в наши дни.

Работы Циолковского по технике включают серию трудов, посвященных освоению пустынь и использованию энергии Солнца.

В нашей стране широким фронтом осуществляется наступление на пустыню. Уже многие миллионы квадратных метров выжженной солнцем земли превращены в цветущие сады, виноградники, бескрайние поля, дающие богатые урожаи хлопка, винограда, citrusовых культур. Конечно, решающую роль в освоении пустынь играет вода. Только благодаря обводнению, сооружению каналов и оросительных систем удалось превратить, например, значительную часть Голодной степи в Узбекистане в благодатный край — «Землю роз», как о любовью называют его узбеки. Эти работы были начаты Советским государством еще при жизни Циолковского и в значительно расширенном объеме продолжают в наши дни.

Циолковский не занимался проектированием кана-

лов и сложных оросительных систем. Его интересовали другие вопросы, связанные с получением воды в жарких пустынных районах, где нет рек и каналов. Его мысль работала над тем, как получить воду, содержащуюся в виде пара в атмосферном воздухе. Произведенные им подсчеты показали, что каждый кубометр воздуха при температуре 30°C и степени насыщения влагой в 50% содержит 15 г воды. При этом по мере увеличения температуры воздуха при той же влажности количество воды в нем быстро повышается: 26 г при 40°C, 41,5 г при 50°C и т. д.

Для утилизации влаги, заключенной в воздухе, ученым предложены остроумные конструктивные решения. В статьях «Вода в сухих и безоблачных пустынях», «Освоение жарких пустынь» и других Циолковский рекомендует осуществлять конденсацию воды из воздуха в так называемых «воздушных колодцах». Принцип получения воды таким способом известен уже с давних пор. Еще древние греки выкапывали в засушливых местах на склоне гор глубокие ямы, заполняя их крупными камнями. Теплый атмосферный воздух, попадая в такие канавы, в результате соприкосновения с холодной поверхностью камней охлаждается. При этом часть находящихся в нем водяных паров конденсируется и в виде капелек воды стекает на дно.

Используя этот принцип, Циолковский совершенствует технику процесса. Он рекомендует сооружать в земле длинные ямы-траншеи, выкладывая их стенки слоем глины, цемента или кирпича, не пропускающим воду. Такие траншеи засыпаются камнями и мелкой галькой и закрываются слоем глины. На них, как на фундаменте, можно сооружать жилые постройки. Рано утром, когда атмосферный воздух еще холодный, он может продуваться через траншею с помощью роторной воздуходувки, охлаждая камни и гальку. Днем, когда воздух хорошо прогрелся, он снова продувается через траншею, охлаждается в ней и теряет при этом часть заключенной в нем влаги. Экспериментальная проверка такого «пневматического» получения воды из воздуха показала высокую эффективность этого способа.

Внимание ученого привлекли также вопросы непосредственного использования солнечной энергии. В статье «Солнце и завоевание пустынь» он останавливается на многих аспектах применения солнечной энергии,

Здесь и регулирование температуры в жилищах, и устройство кухонь, бань и прачечных, и получение пара для энергетических целей, и плавка металлов, и многое другое. В работе «Освоение жарких пустынь» Циолковский предлагает конструкции ряда гелиотехнических устройств — цилиндрических зеркал и котлов, которые до этого испытывались им в Калуге.

В настоящее время объем экспериментальных работ по гелиотехнике значительно расширился, особенно в южных районах Советского Союза. На солнечных установках получают пар, лед и опресненную воду. С их помощью обогревают жилища, теплицы, плавят металлы. В Советском Союзе и во многих других странах широко развернуты работы по использованию солнечного тепла в энергетических и иных целях. Над проблемами гелиотехники работают десятки научно-исследовательских институтов, которые уже сейчас вносят существенный вклад в создание энергетики будущего.

Использование энергии Солнца является наиболее благоприятным и в том отношении, что не приводит к загрязнению окружающей среды, не нарушает баланс CO_2 в атмосфере.

Циолковский предвидел огромную роль гелиоэнергетики в ближайшем будущем и всеми силами старался приблизить это будущее. Он пророчески предсказывал, что особенно широкое применение солнечные машины найдут в космосе, «когда человек завладеет околосолнечным пространством и будет строить жилища близ планет или поблизости астероидов». Уже сейчас искусственные спутники Земли и автоматические космические станции, посылаемые к далеким планетам, снабжаются солнечными батареями, питающими энергией радиопередатчики и другие аппараты этих станций. Существуют проекты сооружения мощных гелиоэлектростанций в космосе с передачей вырабатываемой ими электрической энергии на Землю.

Свыше четырех десятилетий минуло со дня смерти Циолковского. Это были годы могучего прогресса науки и техники, годы свершений многих идей замечательного ученого и изобретателя. Советский народ, вооруженный самой передовой наукой, неустанно работает над преобразованием природы своей страны, над завоеванием космического пространства и океанских глубин нашей планеты в интересах всего человечества. Труды

Циолковского по-прежнему верно служат научно-техническому прогрессу, а пример его жизни вдохновляет на беззаветное служение науке, Родине.

А. А. КОСМОДЕМЬЯНСКИЙ,
доктор физико-математических наук

Об исследованиях К. Э. Циолковского по аэронавтике, ракетной технике и космонавтике

Была ему звездная книга ясна,
И с ним говорила морская волна.

Е. Баратынский

В истории интеллектуального развития человечества можно отметить сравнительно немного открытий, которые бы оказали столь же радикальное влияние на последующее развитие науки, техники и промышленности, как цикл исследований Циолковского по аэронавтике, ракетной технике и космонавтике. В своих выдающихся работах он разъяснил основные закономерности этих областей науки и техники и сделал доступным понимание открытых новых динамических процессов широкому кругу инженеров и техников. Многие результаты его исследований стали повседневным руководством при осуществлении новых проектов летательных аппаратов, ракет и космических кораблей. В летописях истории науки мало, пожалуй, найдется исследователей с таким глубоким пониманием фундаментальных явлений природы и технического прогресса, с таким ясным проницательным умом, с такой наивной, горячей верой в могущество науки, с такой высокой многолетней научной продуктивностью.

Жизнь этого великого русского ученого — героическая жизнь первооткрывателя. Начиная с 16-летнего возраста, он отдавал все свое время, все свои мысли и мечты любимой идее — покорению людьми воздушного океана и безграничных просторов космоса. Его творчество вызывает удивление и восхищение.

Его научные изыскания были многогранны и самобытны. Он сделал ряд выдающихся открытий по экспе-

риментальной аэродинамике, теории авиации, ракетодинамике, теории межпланетных путешествий, геофизике и биологии. Его перу принадлежат также оригинальные, хотя и спорные статьи по философии, языкознанию, проблемам общественной жизни и организации промышленности на искусственных островах-планетах, плавающих вокруг Солнца где-то между орбитами Марса и Юпитера. Эти работы вызывают оживленные дискуссии среди ученых и инженеров и в наши дни.

Циолковский первым разработал строгую математическую теорию движения двухступенчатой ракеты (1926 г.). Подробную законченную теорию многоступенчатых ракет (или, как он называл, «поездов ракет») он опубликовал в 1929 г. Эта теория стала той научной базой, на которой создавались первые межконтинентальные баллистические ракеты, первые искусственные спутники Земли и первые пилотируемые космические корабли. Будущее космонавтики неотделимо от развития мощных многоступенчатых ракет.

Однако этот великий человек, гордость русской науки, до 60-летнего возраста был малоизвестным «оригиналом», «дилетантом-самоучкой» даже в родной стране. Всю свою жизнь, начиная с 1880 г., он работал в средней школе учителем математики и физики, чтобы иметь средства к существованию.

Научные статьи Циолковского начали появляться в печати с 1891 г., многие работы до 1930 г. были изданы в Калуге в виде небольших брошюр мизерными тиражами на средства автора. Эта пропаганда своих научных идей — подлинный крик души Циолковского, который творил в очень тяжелых материальных и моральных условиях. Статьи о работах Циолковского по ракетной технике и ракетодинамике начали появляться в журналах за рубежом с 1921 г., и тогда его имя как пионера — зачинателя теории реактивного движения становится известным в Западной Европе и Америке. Особенно внимательно изучались работы Циолковского в Германии.

Для определения аэродинамических сил Циолковский построил в 1897 г. *аэродинамическую трубу* с открытой рабочей частью («воздухоудувку», по его терминологии), разработал методику аэродинамического эксперимента, а позднее (1900—1901 гг.) на субсидию Академии наук провел продувки простейших моделей

и определил коэффициенты аэродинамического сопротивления шара, плоской пластинки, цилиндра, конуса и других тел.

Исследования на «воздуходувке», проведенные в Калуге в 1897—1901 гг., по существу, были научным подвигом Циолковского. Вращение вентилятора «воздуходувки» осуществлялось тяжелой гирей (а не электромотором, как в наши дни), которую надо было для каждого отдельного опыта поднимать к потолку. Показания измерительных приборов записывал сам Циолковский (помощников не было), обработку данных наблюдений и построение диаграмм вел опять же он сам. А элементарных (единичных) опытов было проведено более 10 000.

В отзыве на одну из работ Циолковского по аэродинамике Н. Е. Жуковский писал: «...оригинальная метода исследования, рассуждения и остроумные опыты автора... характеризуют его как талантливого исследователя...».

Первое научное обобщение о результатах исследований на «воздуходувке» было опубликовано в 1898 г. в статье «Давление воздуха на поверхности, введенные в искусственный воздушный поток», положившей начало экспериментальной аэродинамике в России. Циолковский, имея значительный опыт проектирования цельнометаллического дирижабля и аэроплана, с величайшей убедительностью доказал необходимость систематических экспериментальных исследований по определению сил воздействия воздушного потока на движущиеся в нем тела. Он писал: «А как важно возможно точно формулировать законы сопротивления и трения! Какое громадное применение они имеют в теории аэростата и аэроплана! Да и есть ли области техники и науки, в которых законы сопротивления упругой среды не имели бы значения. Так пожелаем же горячо установления этих законов и поспособствуем, насколько от нас зависит, производству необходимых для того опытов».

Циолковский мечтал, что со временем устроенный им прибор (аэродинамическая труба. — А. К.) будет «...считаться необходимой принадлежностью каждого университета или физического кабинета». Замечательное предвидение Циолковского о значении аэродинамических труб в становлении экспериментальной аэроди-

найки получало полное подтверждение в ходе дальнейшего развития авиации и воздухоплавания.

Отметим, что уже в первых работах Циолковского виден его самобытный, оригинальный ум. Он умеет выбирать перспективные темы для размышлений и находить решения, открывающие новые пути в науке. Для него характерна ясная и отчетливая постановка научно-технических проблем. При популяризации своих идей он обычно прибегает к красочным примерам, убедительно раскрывающим физическую суть дела. Для доказательства используются самые простые математические средства. Полученные результаты и следствия из них подвергаются тщательному анализу.

Циолковский умел видеть за теоретическими расчетами беспокойную жизнь техники, борьбу замкнутых отмирающих академических школ с новыми идеями. Он умел настойчиво и последовательно бороться за *победу нового*. Его крайняя самостоятельность и оригинальность в научных исканиях граничат иногда с пренебрежением к общепринятым нормам. Однако он тщательно разбирает все критические замечания оппонентов по достигнутым им результатам и умеет аргументированно отстаивать свои научные убеждения.

В своих творческих исканиях Циолковский глубоко принципиален, а его умение самостоятельно работать над научными проблемами представляет собой великолепный пример для всех начинающих. Его первые шаги в науке — это шаги большого мастера, смелого новатора, зачинателя прогрессивных направлений и в науке и в технике.

Циолковский много сделал для познания научных основ и *принципов теории движения ракет*. Он был первым в истории науки, кто строго сформулировал и исследовал проблему изучения прямолинейных движений ракет исходя из законов теоретической механики. Принцип сообщения движения при помощи сил реакции отбрасываемых частиц был осознан Циолковским еще в 1883 г., однако разработка им математически строгой теории реактивного движения относится к концу XIX в.

В одной из своих работ Циолковский писал: «Долго на ракету я смотрел, как и все: с точки зрения увеселений и маленьких применений. Не помню хорошо, как мне пришло в голову сделать вычисления, относящиеся к ракете. Мне кажется, первые семена мысли заронены

были известным фантазером Жюль Верном; он пробудил работу моего мозга в известном направлении. Явились желания, за желаниями возникла деятельность ума. Старый листок в моих рукописях с окончательными формулами, относящимися к реактивному прибору, помечен датой 25 августа 1898 г. Но из предыдущего очевидно, что теорией ракеты я занимался ранее этого времени, именно с 1896 г.»¹.

«Никогда я не претендовал на полное решение вопроса. Сначала неизбежно идут: мысль, фантазия, сказка. За ними шествует научный расчет. И уже в конце концов исполнение венчает мысль. Мои работы о космических путешествиях относятся к средней фазе творчества. Более, чем кто-нибудь, я понимаю бездну, разделяющую идею от ее осуществления, так как в течение моей жизни я не только мыслил и вычислял, но и исполнял, работая также руками. Однако нельзя не быть идее: исполнению предшествует мысль, точному расчету фантазия» (выделено курсивом. — А. К.).

Работы по теории движения ракет доставили Циолковскому мировую известность. Важность этих исследований для будущего технического прогресса широко понимал и сам автор. В 1934 г. он писал: «1903 год. Возраст 46 лет. В «Научном обозрении» появилась моя работа: «Исследование мировых пространств реактивными приборами». В этом моем труде впервые дана теория ракеты и обоснована возможность ее применения для космических полетов. Труд прошел незамеченным, благодаря чему сохранился мой приоритет на теорию ракетного движения. «Научное обозрение» было журналом неизвестным и не специальным, и потому на мою работу не обратили внимания. Когда же я издал продолжение этой работы в распространенном и специальном журнале, то сейчас же во Франции нашелся видный и сильный человек², который заявил, что он создал теорию ракеты раньше».

Изучение движения реактивных летательных аппаратов представляет большие трудности, так как во время ускоренного движения (минуты!) масса реактивного аппарата значительно изменяется. Уже сейчас сущест-

¹ На экземпляре работы 1903 г., хранящемся в Архиве АН СССР, рукой Циолковского написано: «Появилась дата с формулами 10 мая 1897 г.».

² Робер Эно Пельтри (французский инженер).

вуют одноступенчатые ракеты, у которых во время работы двигателей масса уменьшается в 9—10 раз. Изменение массы ракеты в процессе ее движения не позволяет использовать непосредственно те формулы и выводы, которые получены в классической теории расчета движения тел, масса которых постоянна во время движения.

Как известно, в тех задачах техники, где приходилось иметь дело с движением тел переменной массы (например, у самолетов с большим запасом горючего), обычно предполагалось, что траекторию движения можно разделить на участки и считать на каждом отдельном участке массу движущегося тела постоянной. Таким образом, сложная задача об изучении движения тела переменной массы заменялась более простой и уже изученной задачей о движении тела постоянной массы.

Изучение движения ракет, как тел переменного веса (переменной массы), было поставлено на твердую научную почву Циолковским. Именно строгое рассмотрение движения ракеты как тела переменной массы является принципиальным достижением Циолковского в теории полета ракет, которую мы называем теперь ракетодинамикой. *Циолковский является основоположником современной ракетодинамики.*

Опубликованные труды Циолковского по ракетодинамике позволяют установить последовательность развития его идей в этой новой области человеческого знания. Каковы основные законы, управляющие движением тел переменной массы? Как рассчитывать скорость полета реактивного летательного аппарата? Как найти высоту подъема ракеты, запускаемой вертикально? Как выбраться на реактивном приборе за пределы атмосферы — пробить «панцирь» атмосферы? Как выбраться за пределы притяжения Земли — пробить «панцирь» тяготения? Вот некоторые из вопросов, рассмотренные и решенные Циолковским.

Сделать подвластной человеческому разуму новую большую группу явлений, объяснить то, что видели многие, но не понимали, дать человечеству новое орудие технических преобразований — вот та задача, которую ставил перед собой Циолковский. Его талант исследователя, оригинальность, творческая самобытность и необычайный взлет фантазии с особой силой и продуктивностью выявились в основополагающих работах

по реактивному движению. Он на десятилетия вперед предсказал пути развития реактивных аппаратов. Он рассмотрел те изменения, которым должна была подвергнуться обыкновенная фейерверочная ракета, чтоб стать мощным орудием технического прогресса в новой области человеческого знания.

В одной из своих работ, «Исследование мировых пространств...» (1911—1912 гг.), Циолковский высказал глубокую мысль о значении теории в развитии ракетной техники: «Такие жалкие реактивные явления мы обыкновенно и наблюдаем на Земле. Вот почему они никого не могли поощрить к мечтам и исследованиям. *Только разум и наука могли указать на преобразование этих явлений в грандиозные, почти непостижимые чувства*» (выделено. — А. К.).

Позднее, в 1923 г., когда зарубежные исследователи (Р. Годдард, Г. Оберт) стали повторять основные выводы Циолковского по теории полета ракет и межпланетным путешествиям, он с гордостью писал: «Мы видим, что европейская наука буквально подтверждает мои выводы — как о полной возможности космических путешествий, так и о возможности устройства там жилищ и заселения околосолнечного пространства... Дело разгорается, и я зажег этот огонь».

Рассмотрим более подробно два важнейших результата Циолковского, полученные им в теории ракет. При исследовании законов движения ракет Циолковский идет последовательно строго научным путем, вводя в рассмотрение («шаг за шагом») основные силы, от которых зависит движение ракеты. Сначала он желает выяснить, какие максимальные возможности заключает в себе реактивный принцип создания механического движения, и ставит простейшую задачу о прямолинейном движении ракеты в предположении, что сила тяжести и сопротивление воздуха отсутствуют. Эту задачу называют сейчас *первой задачей Циолковского*.

С качественной стороны эта задача была рассмотрена Циолковским еще в 1883 г. в работе «Свободное пространство». Движение ракеты в этом простейшем случае обусловлено только процессом отбрасывания (истечения) частиц вещества из камеры реактивного двигателя. При математических расчетах Циолковский вводит предположение о постоянстве относительной скорости отброса частиц, которое до настоящего време-

ни используется многими авторами теоретических работ по ракетодинамике. Это предположение называют *гипотезой Циолковского*.

Вот как обосновывает эту гипотезу Циолковский в своей работе «Исследование мировых пространств реактивными приборами»: «Чтобы снаряд получил наибольшую скорость, надо, чтобы каждая частица продуктов горения или иного отброса получила наибольшую относительную скорость. Она же постоянна для определенных веществ отброса... Экономия энергии тут не имеет места: невозможна и невыгодна. Другими словами: *в основу теории ракеты надо принять постоянную относительную скорость частиц отброса*» (выделено разрядкой. — А. К.).

Циолковский весьма простыми рассуждениями получает основное уравнение движения ракеты в среде без действия внешних сил и выводит простую формулу для максимальной скорости ракеты в виде:

$$v_{\max} = V_r \ln \frac{M_k + m}{M_k} = V_r (1 + Z), \quad (1)$$

где m — масса топлива, M_k — масса ракеты без топлива, $Z = m/M_k$ т. е. отношение массы (веса) топлива к массе (весу) ракеты без топлива (его называют *числом Циолковского*), а V_r — есть относительная скорость истечения продуктов сгорания из реактивного двигателя.

По современной терминологии участок траектории, пройденный ракетой за время работы двигателя (время, когда происходит отброс частиц), называют активным участком полета. Из формулы (1) следует, что

а) скорость движения в конце горения (в конце активного участка) будет тем больше, чем больше относительная скорость отбрасываемых частиц (если относительная скорость истечения удваивается, то и максимальная скорость ракеты возрастает в два раза);

б) скорость ракеты в конце активного участка увеличивается с увеличением отношения начальной массы ракеты к массе ракеты в конце горения.

Однако в последнем случае зависимость более сложная, она дается следующей теоремой Циолковского: «Когда масса ракеты плюс масса взрывчатых веществ, имеющихся при реактивном приборе, возрастает в геометрической прогрессии, то скорость «ракеты» увеличи-

вается в прогрессии арифметической» (доказательство следует из формулы (1)).

«Положим, например, — пишет Циолковский, — что масса ракеты и взрывчатых веществ составляет 8 единиц. Я отбрасываю 4 единицы взрывчатых веществ и получаю скорость, которую мы примем за единицу. Затем я отбрасываю 2 единицы взрывчатого материала и получаю еще единицу скорости; наконец, отбрасываю последнюю единицу массы взрывчатых веществ и получаю еще единицу скорости; всего 3 единицы скорости. Из этой теоремы видно, что «скорость ракеты далеко не пропорциональна массе взрывчатого материала: она растет весьма медленно, но беспрестанно».

Из формулы Циолковского следует весьма важный практический результат: для получения возможно больших скоростей ракеты в конце процесса горения *гораздо выгоднее идти по пути увеличения относительных скоростей отбрасываемых частиц*, чем по пути увеличения относительного запаса горючего.

Заметим, что Циолковский решил задачу о прямолинейном движении ракеты в поле тяготения и ему удалось (приблизительно) учесть и влияние сил сопротивления воздуха. Он открыл весьма интересный и очень простой (математически) класс движений ракет, когда ее масса уменьшается по показательному закону. Циолковский *впервые* (что почему-то не освещается в литературе) решил задачу о возможности мягкой посадки ракеты на астероид и планету, практически не имеющую атмосферы (например, Меркурий).

Получив исходные расчетные формулы для исследования прямолинейных движений ракет, Циолковский намечает обширную программу последовательных усовершенствований реактивных летательных аппаратов и завоевания космоса. Вот основные моменты этой грандиозной программы:

1. «Устраивается ракетный самолет с крыльями и обыкновенными органами управления». Цель — научиться управлять аэропланом с ракетным двигателем, регулировать тягу и планировать при выключенном двигателе.

2. Крылья последующих самолетов надо понемногу уменьшать, силу тяги и скорость — увеличивать.

3. Проникновение в очень разреженные слои атмосферы,

4. Полет за пределы атмосферы и спуск планированием.

5. Основание подвижных станций вне атмосферы (искусственные спутники Земли).

6. Использование космонавтами энергии Солнца для дыхания, питания и других целей.

7. «Устраиваются» эфирные скафандры (герметичная одежда) для безопасного выхода из ракеты в эфир.

8. Вокруг Земли «устраивают» обширные поселения.

9. «Используют солнечную энергию не только для питания и удобства жизни (комфорта), но и для перемещения по всей Солнечной системе».

10. «Основывают колонии в поясе астероидов и других местах Солнечной системы, где только находят небольшие небесные тела».

11. Развивается промышленность в космосе. Число космических станций невообразимо множится.

12. «Достигается индивидуальное (личности, отдельного человека) и общественное (социалистическое) совершенство».

13. «Население Солнечной системы делается в сто тысяч миллионов раз больше теперешнего земного. Достигается предел, после которого неизбежно расселение по всему Млечному Пути».

14. «Начинается угасание Солнца. Оставшееся население Солнечной системы удаляется от нее к другим солнцам, к ранее улетевшим братьям».

Детальные исследования прямолинейных движений ракет и расчеты скоростей истечения при сгорании различных топлив привели Циолковского к выводу о том, что достижение больших космических скоростей для одноступенчатой ракеты является очень трудной технической проблемой. Для того чтобы при известных и доступных топливах можно было сообщить полезному грузу космические скорости, Циолковский в 1929 г. разработал теорию движения составных ракет³, или, как он их называл, «ракетных поездов».

Исходя из описаний, приводившихся в его работах, можно утверждать, что он предлагал два типа составных ракет. Первый тип подобен железнодорожному

³ Теория полета двухступенчатой ракеты была разработана Циолковским в 1926 г.

поезду, в котором паровоз толкает состав сзади. Например, в случае трех ракет, скрепленных последовательно одна за другой, «ракетный поезд» толкается сначала нижней (хвостовой) ракетой. После израсходования топлива хвостовой ракетой она отцепляется от поезда и падает на Землю. Далее начинает работать двигатель второй (средней) ракеты, которая опять же для «поезда» из двух ракет является «толкающей». Наконец, израсходовав свое топливо, отцепляется вторая ракета, и начинает работать двигатель последней (третьей) ракеты. Естественно, третья ракета в таком «поезде» может достигнуть гораздо большей скорости, чем одиночная ракета, так как отброшенные в процессе движения две ракеты уже сообщили ей дополнительную скорость.

Второй тип составной ракеты был назван Циолковским эскадрой ракет. Например, в случае четырех одинаковых ракет они скрепляются параллельно и при израсходовании половины топлива каждой из ракет неисрасходованный запас топлива двух из них переливается в полупустые емкости других двух ракет. Первые две ракеты отделяются от «эскадрильи», и полет продолжают полностью заправленные две ракеты. По израсходовании половины топлива оставшееся топливо одной из ракет вновь переливается в другую ракету, которая и достигает цели путешествия.

Если не учитывать сил сопротивления воздуха, то все летные характеристики «ракетных поездов» первого и второго типов можно найти путем последовательного применения формул Циолковского.

В последние годы своей жизни в статьях «Реактивный аэроплан» (1930 г.) и «Стратоплан полуреактивный» (1932 г.) Циолковский излагает теорию движения самолета с жидкостным реактивным двигателем и подробно развивает идею турбокомпрессорного винтового реактивного самолета.

Мы кратко указали здесь основные направления глубоких теоретических исследований Циолковского в области ракетодинамики. Его заслуга заключается в том, что он сделал подвластными точному математическому анализу и инженерному расчету совершенно новые отрасли техники. Тысячи и миллионы людей наблюдали пороховые ракеты на фейерверках и иллюминациях, од-

нако никто до Циолковского { не дал количественного анализа законов движения ракет. Этот строгий математический анализ, проведенный Циолковским для задач ракетной техники, выявил количественные закономерности прямолинейных движений ракет и дал основы для оценки летных параметров создаваемых конструкций ракет. Он доказал, что ракета — реальное техническое решение задачи о космических полетах человека.

Отметим некоторые прогрессивные предложения Циолковского, касающиеся особенностей конструкций ракет дальнего действия и отдельных агрегатов (узлов) этих ракет.

1. Для управления полетом ракеты, т. е. для изменения траектории ее центра масс, он рекомендовал применять тугоплавкие газовые рули из графита, которые размещаются вблизи среза сопла реактивного двигателя и лежат парами в двух взаимно перпендикулярных плоскостях. При отклонении горизонтальной пары вверх или вниз изменяется угол наклона оси ракеты с плоскостью горизонта. При отклонении вертикальной пары изменяется угол рыскания, или азимутальный угол. Дифференциальное отклонение любой пары рулей дает эффект, аналогичный действию элеронов у самолета, т. е. позволяет изменять угол крена или вращение около продольной оси ракеты.

2. Для тех же целей Циолковский рекомендовал закреплять реактивный двигатель в кардановом подвесе и добиваться изменений углов тангажа, рыскания и крена соответственными отклонениями (покачиваниями) всего двигателя. Поскольку реактивная сила обычно по своей величине больше веса ракеты, то отклонения корпуса двигателя невелики. Следует отметить, что и газовые рули, и покачивания всего двигателя нашли широкое применение в современном ракетостроении. Газовые рули обычно применяются для управления полетом ракет на малые и средние дальности, а отклонения всего двигателя используются на межконтинентальных ракетах и ракетах-носителях.

3. Для охлаждения стенок реактивного двигателя он предложил использовать компоненты топлива. Стенки камеры и сопла реактивного двигателя делать двухслойными, и чтобы между ними протекал один из жидких компонентов топлива, прежде чем попасть в каме-

ру сгорания. Протекающее жидкое вещество (например, керосин или спирт) охлаждает горячую стенку двигателя. Чтобы отбор тепла был более эффективным, Циолковский рекомендовал делать внутренние поверхности камеры и сопла из материалов с высокой теплопроводностью. Такое принудительное охлаждение позволяет обеспечить длительную (минуты) работу ракетного двигателя. Камеры ракетных двигателей без охлаждения обычно прогорают за первые же секунды. Отметим, что способ принудительного охлаждения горячих стенок компонентами топлива применяется в большинстве современных конструкций ракетных двигателей.

4. После выхода космического корабля на расчетную орбиту при длительных полетах необходимо регулировать в разумных пределах температуру среды внутри корабля. Циолковский предложил поверхность корабля делать из пластинок (наподобие жалюзи на окнах): изменяя положение этих пластинок, можно в широких пределах менять коэффициенты отражения и поглощения солнечного света освещенной поверхностью корабля и изменять температуру в кабинах по желанию космонавта. Варианты этого предложения применяются в наши дни в конструкции космических аппаратов многих стран.

5. Для охлаждения наружной оболочки космического корабля, возвращающегося на Землю, Циолковский предложил использовать жидкие компоненты ракетного топлива аналогично охлаждению стенок двигателя (выдавливая жидкость в пограничный тепловой слой оболочки).

6. Для уменьшения массы жидкостных ракетных двигателей он рекомендовал насосную подачу компонентов топлива в камеру сгорания. Это предложение принято в наши дни всеми конструкторами крупных ракетных двигателей.

7. Циолковский проявил себя и как химик по топливам для ракетных двигателей. В частности, он первым предложил весьма современные и высокоэффективные (по энергетике) пары окислителей и горючих:

жидкий кислород (окислитель) + жидкий водород (горючее);

жидкий кислород (окислитель) + спирт (горючее);

жидкий озон (окислитель) + углеводороды (например, керосин, бензин — горючее).

8. Циолковский рассчитал теоретически максимально возможные скорости истечения продуктов горения, получающиеся на срезе сопла камеры сгорания ракетного двигателя.

Какая же выгода человечеству от освоения космического пространства? Циолковский считал, что главное — это *солнечная энергия*. Земля, по его подсчетам, получает только одну двухмиллиардную часть этой энергии. Это очень мало. В своей работе «Исследование мировых пространств реактивными приборами» он писал:

«План дальнейшей эксплуатации солнечной энергии, вероятно, будет следующий.

Человечество пускает свои снаряды на один из астероидов и делает его базой для первоначальных своих работ. Оно пользуется материалом маленького планетоида и разлагает или разбирает его до центра для создания своих сооружений, составляющих первое кольцо вокруг Солнца. Это кольцо, переносимое жизнью разумных существ, состоит из подвижных частей и подобно кольцу Сатурна.

Разложив и использовав также и другие крохотные астероиды, разумное начало образует для своих целей в очищенном, т. е. свободном от астероидов, пространстве еще ряд колец где-нибудь между орбитами Марса и Юпитера».

А скептикам Циолковский говорил:

«Было время — и очень недавнее, когда идея о возможности узнать состав небесных тел считалась даже и у знаменитых ученых и мыслителей безрассудной. Теперь это время прошло. Мысль о возможности более близкого, непосредственного изучения Вселенной, я думаю, в настоящее время покажется еще более дикой. Стать ногой на почву астероидов, поднять рукой камень с Луны, устроить движущиеся станции в эфирном пространстве, образовать живые кольца вокруг Земли, Луны, Солнца, наблюдать Марс на расстоянии нескольких десятков верст, спуститься на его спутники или даже на самую его поверхность, что, по-видимому, может быть сумасброднее! Однако только с момента применения реактивных приборов начнется новая великая эра

в астрономии — эпоха более пристального изучения неба. Устрашающая нас громадная сила тяготения не пугает ли нас более, чем следует!» (выделено. — А. К.).

Межпланетные путешествия безгранично расширяют возможности научных изысканий. Величайшая лаборатория природы делается более доступной, а расшифровка происходящих в ней явлений становится более простой и достоверной.

Советские ученые, инженеры и рабочие запуском 4 октября 1957 г. первого в мире искусственного спутника Земли начали практическое исследование небесных тел и космического пространства. Эти исследования теперь продолжают во все расширяющихся масштабах, и в наши дни с помощью искусственных спутников Земли и орбитальных станций решаются фундаментальные проблемы науки и техники.

Работы Циолковского по ракетодинамике, теории космических полетов и межпланетных сообщений были первыми строго научными изысканиями в мировой научно-технической литературе. В этих исследованиях математические формулы и расчеты не затеяют глубоких и ясных идей, сформулированных оригинально и четко с полным пониманием «сути дела». Строгий и беспощадный судья — время лишь выявляет и подчеркивает грандиозность замыслов, своеобразие творческого стиля и высокую мудрость проникновения в сущность новых динамических закономерностей техники и явлений природы, которые свойственны этим научным прозрениям Циолковского.

Его труды по ракетодинамике и космонавтике помогают осуществлять новые дерзания науки и техники. Россия может гордиться своим знаменитым ученым, подлинным украшением человеческого рода, зачинателем новых направлений развития науки и промышленности.

Циолковский — ученый-мыслитель. У него с юных лет и разум, и воля, и сердце были сфокусированы на открытиях, на изысканиях нового. Циолковский — великий нравственный идеал подлинного преданного науке мыслителя. Это гениальная личность! Один человек дал мировой науке столько оригинальных, пролагающих новые пути мыслей и открытий, что имя его стало долговечным в истории цивилизации.

К. Э. Циолковский и биоастронавтика

На протяжении всего творческого пути Циолковский работал над различными проблемами биологии. Живая природа, человек всегда были в центре внимания ученого, были предметом его исследований. И это не случайно, так как основу его творчества составляли гуманистические идеи — постоянное стремление принести пользу людям, облегчить их трудную, порою полную материальных лишений и нравственных страданий жизнь.

Сказанное относится и к исследованиям Циолковского, посвященным межпланетным полетам — космонавтике. Об этом можно судить по замечательному высказыванию великого ученого: «Мы рассмотрели космос с механической точки зрения. Но он бы не имел никакого смысла, если бы не дал биологической жизни».

Известно, что Циолковский не получил систематического не только университетского, но даже гимназического образования. Подлинно энциклопедические знания Циолковский приобрел в результате самостоятельного изучения фундаментальных трудов классиков естествознания. Биологическое образование Циолковского связано с глубоким и, главное, творческим изучением работ Ж. Б. Ламарка, Ч. Дарвина, К. А. Тимирязева и других выдающихся биологов.

Это в значительной мере определило то, что все суждения Циолковского о различных проблемах биологии были основаны на материалистических представлениях о живой природе. Этому же также способствовали глубокие познания Циолковского в вопросах физики и химии, его любовь к математике и многолетняя педагогическая деятельность. Циолковский обладал способностью глубоко оценивать наиболее существенные черты своего научного творчества. Подводя в 1929 г. итог исследованиям по биологии, Циолковский писал: «К биологии я стремлюсь также применять механику и обнять таким путем весь живой мир общими и частными законами». Это стремление было характерно для

всех этапов творческого пути Циолковского, в том числе и для начальных.

Одна из первых научных работ Циолковского была написана в 1882—1883 гг. Она была озаглавлена «Механика подобно изменяющегося организма». К сожалению, эта работа не была опубликована. Известно только, что Циолковский послал ее И. М. Сеченову, от которого получил благожелательный и весьма благоприятный отзыв. Великий физиолог писал: «Труд Циолковского, несомненно, доказывает его талантливость. Автор солидарен с французскими биологами — механистами. Жаль, что он не закончен и не готов к печати...» Сеченов сумел весьма точно оценить методическую особенность подхода Циолковского к проблемам биологии.

В дальнейшем, через 38 лет, по мотивам этой работы Циолковский написал статью «Механика в биологии. Подобие организмов и уклонение от него» (1920 г.).

К начальному периоду относятся и многие годы лежавшая в архивах работа «Свободное пространство» (1883 г.). Она, по существу, является первым обстоятельным исследованием, в котором Циолковский рассматривал различные аспекты космонавтики и, в частности, большое внимание уделил биологическим проблемам. В ней впервые строго научно рассмотрены такие проблемы, как влияние невесомости на растения и животных, высказаны обоснованные соображения относительно защиты человека от весьма опасного влияния крайне разреженного космического пространства и в общих чертах выдвинута идея о целесообразности создания оранжерей с растениями в космических кораблях для удовлетворения пужа человека в полете пищей посредством кругооборота химических веществ.

Эта работа написана в форме дневника, при чтении которого видно, что молодой ученый упорно на протяжении длительного времени размышлял о межпланетных путешествиях. При этом он ясно представлял себе, что помимо технических проблем, связанных с созданием космических летательных аппаратов, при подготовке к осуществлению полетов необходимо будет решать и многочисленные вопросы влияния самого полета на живые организмы.

При тщательном изучении печатного и архивного наследия Циолковского было установлено, что мысль о необходимости проведения биологических эксперимен-

тов в связи с возможностью в будущем осуществлять межпланетные полеты возникла у Циолковского еще в 1876—1878 гг. Именно в это время он стал размышлять о влиянии больших по величине перегрузок, возникающих при взлете и посадке ракеты. Размышляя над тем, какие перегрузки еще могут без повреждений переносить живые организмы, Циолковский решил предпринять экспериментальное изучение этого вопроса.

В автобиографических заметках он писал: «...Я стал делать опыты с цыплятами. На центробежной машине я усиливал их вес в 5 раз. Ни малейшего вреда они не получали. Такие же опыты еще раньше, в Вятке, я производил с насекомыми».

Примечательно, что эти эксперименты и их анализ, по-видимому, были в какой-то степени причиной, побудившей Циолковского начать теоретические исследования по биомеханике. В этих исследованиях Циолковский, впервые используя теорию подобия, указал на закономерность, определяющую прочность живых тканей в зависимости от их размеров и массы. Он, в частности, определил еще безопасную высоту падения для человека (удвоенный рост) и падения для мелких животных и насекомых, которые остаются невредимы даже после падения с очень большой высоты.

Таким образом, можно проследить за характерной чертой Циолковского-исследователя: при размышлении над конкретными, частными вопросами биологии он в конечном итоге связывал их с фундаментальными проблемами. Вряд ли целесообразно останавливаться в дальнейшем на хронологическом изложении работ Циолковского по космической биологии, так как к большинству наиболее существенных проблем в этой области он обращался на протяжении многих лет.

Целесообразно, например, остановиться на идеях Циолковского и их развитии по таким фундаментальным проблемам биоастронавтики, как влияние перегрузок и невесомости на живые организмы, изыскание способов защиты от неблагоприятного влияния измененной гравитации, а также средств защиты от «вакуума» космического пространства как в условиях космического полета (в кабине), так и при выходе в открытый космос и, наконец, создание условий, необходимых для жизни человека в космическом полете, включая обеспечение космонавтов кислородом и пищей.

Чтобы совершить полет в межпланетное пространство, необходимо, как образно говорил Циолковский, преодолеть «панцирь тяготения Земли». Для этого космический корабль должен развить скорость 11,2 км/с (т. е. вторую космическую скорость). Для того чтобы совершать полеты вокруг Земли в качестве ее искусственного спутника, космический корабль также должен приобрести весьма большую скорость — порядка 8 км/с (первую космическую скорость). Циолковский пришел к заключению, что сама по себе скорость, как бы она ни была велика, не должна оказывать какого-либо неблагоприятного влияния на организм, если движение совершается равномерно.

По этому поводу он писал: «Мы тысячи лет неслись по пространству в бесколесном экипаже со скоростью 27 верст в секунду, а может быть и больше, без толчков и шума. Но до Галилея и Коперника не замечали этого движения потому, что у нас не болела спина». При этом Циолковский справедливо указывал, что сам человек не способен оценивать скорость движения ракеты, на которой он совершает полет.

Циолковский вполне обоснованно считал, что в космических полетах заслуживают большого внимания начальный и конечный этапы полета, т. е. период, когда космический корабль набирает скорость, и период его торможения при посадке. Именно в это время при изменении скорости полета находящиеся на космическом корабле люди неизбежно должны подвергнуться действию перегрузок.

Не окажут ли они болезнетворного влияния на человека, не будет ли действие перегрузок препятствием для проникновения людей в мировое пространство? Обдумывая эту проблему, Циолковский понял, что одной из задач космической биологии является определение величин перегрузок (с учетом времени их воздействия), которые еще безопасны для человека. Таким образом, Циолковский впервые выдвинул проблему о соответствии физиологических возможностей человека с динамическими характеристиками полета.

Циолковский впервые указал, что ракета является таким летательным аппаратом, динамические характеристики которого могут быть приведены в соответствие с биологическими, физиологическими возможностями живых организмов. Это положение было им применено

в качестве одного из аргументов, утверждавших целесообразность использования ракеты для космических полетов.

Циолковский считал, что ответ на вопрос о влиянии ускорений на организм животных и человека можно получить только в результате проведения экспериментов. Он писал: «Только опыт может определить наибольшую относительную тяжесть, которую может безопасно для своего здоровья вынести человек при тех или других условиях». При этом можно одновременно испытывать различные средства защиты. Циолковский считал, что такой эксперимент должен по возможности точно имитировать условия полета в ракете: «Каждый опыт над увеличением тяжести достаточно производить от 2 до 10 минут, т. е. столько времени, сколько продолжается взрывание в ракете».

В настоящее время в СССР и за рубежом систематически изучают влияние ускорений на организм животных и человека, используя центробежные машины — центрифуги. Как показали опыты, проведенные на центрифугах, устойчивость животных и человека к действию перегрузок зависит от направления, в котором действует перегрузка на тело, от ее величины и времени действия. Особенно неблагоприятно влияют на животных и человека перегрузки, действующие в продольном направлении, т. е. от ног к голове или от головы к ногам. Они вызывают нарушения кровообращения, прежде всего в сосудах мозга.

В случаях, когда перегрузка действует в направлении от головы к ногам, смещение крови в нижнюю половину тела приводит к снижению кровотока в сосудах мозга и глаз.

Эксперименты на центрифуге в полном соответствии с прогнозом Циолковского позволили установить, что наиболее высокая устойчивость человека к действию перегрузок отмечается в случае, когда они действуют в поперечном направлении. Ученый это предвидел, в связи с чем предлагал космонавтам во время взлета ракеты и возвращения ее на Землю занимать в ракете такое положение, при котором перегрузка действовала бы в поперечном направлении.

Эта рекомендация была, по-видимому, следствием большой наблюдательности Циолковского. Он замечал, что в случае ухудшения состояния здоровья или при

значительном утомлении люди стремятся лечь, т. е. принять такое положение, при котором земное тяготение—«обычная перегрузка» действовала бы в поперечном направлении.

Обобщая сказанное, можно лишь удивляться точности научных прогнозов Циолковского. Действительно, в первых полетах при взлете космических кораблей типа «Восток», «Восход», «Меркурий», «Джемини» вес космонавтов увеличивался примерно в 8—10 раз, при этом перегрузки действовали порядка 3 мин и в поперечном направлении, как и предвидел Циолковский.

В дальнейшем в связи с совершенствованием космических кораблей условия полетов на них становились все более и более комфортабельными. При этом при взлете космического корабля величина действующих перегрузок уменьшилась более чем в 2 раза. Однако все это не снижает актуальности изучения проблемы повышенной тяжести, так как в полетах могут возникать непредвиденные ситуации, особенно при «нштатных» режимах посадок корабля, при которых космонавты могут испытывать действие перегрузок больших величин.

Еще в 1891 г. Циолковский серьезно занялся проблемой защиты живых организмов от действия перегрузок. Им была выдвинута идея «о предохранении слабых вещей и организмов от ударов, толчков и усиленной тяжести посредством погружения их в жидкость, равной им плотности». Он писал: «Природа давно пользуется этим приемом, погружая зародыши животных, их мозг и другие слабые части в жидкость. Так она предохраняет их от всяких повреждений. Человек же пока мало использовал эту мысль».

Для доказательства справедливости этой идеи Циолковский провел простой, но убедительный эксперимент, который он описал в 1891 г. в статье, опубликованной в «Трудах отделения физических наук Общества любителей естествознания». В металлическую кружку или стакан с водой погружается яйцо, для увеличения плотности жидкости в воде растворяется поваренная соль до тех пор, пока яйцо не начинает подниматься со дна к поверхности воды. После того как яйцо приходит в равновесие (т. е. оно не опускается на дно и не поднимается к поверхности), можно ударить сосуд о стол с большой силой и яйцо не разобьется, в то время как

без воды скорлупа яйца даже при слабом толчке раскалывается.

В дальнейшем Циолковский во многих работах развивал эту идею. Так в повести «Вне Земли» ученый писал: «Наши друзья останутся целы и невредимы, потому что помещены в лежащем положении в жидкость такой же плотности, как средняя плотность их тел».

В 1930 г. предложенный Циолковским метод защиты от перегрузок был проверен известным исследователем в области астронавтики профессором Н. А. Рыниным и врачами А. А. Лихачевым, М. М. Лихачевым, А. М. Васильевым, А. А. Сергеевым и В. М. Карасиком. Они установили, что погружение в воду существенно повышает устойчивость подопытных животных к действию перегрузок. Так, например, лягушки и рыбы без видимых повреждений переносили кратковременные 2800-кратные перегрузки.

В дальнейшем этот метод защиты от перегрузок был успешно апробирован и за рубежом.

Погружение в жидкость, имеющую плотность, близкую к средней плотности тела животного, хотя и повышает его устойчивость к действию перегрузок, однако это повышение не может быть безграничным. Как впервые отмечал еще Циолковский, противоперегрузочный эффект погружения в жидкость лимитируется тем, что различные ткани организма имеют неодинаковую плотность. По этому поводу Циолковский писал: «В жидкости человек теряет вес, как бы последний велик ни был. Поэтому в жидкой среде существо может выдерживать огромное ускорение. Только неравномерность плотности разных частей его тела (кости, кровь) ограничивает безопасную величину ускорений ракеты и возбуждаемую им тяжесть».

Под действием перегрузок плотные части тела будут смещаться вниз, а легкие ткани — вверх. Между тканями с различной плотностью возникнут напряжения, возрастающие с увеличением перегрузок. В конечном счете прочность тканей окажется недостаточной, появятся разрывы и другие повреждения. Таким образом, многочисленными экспериментальными исследованиями было подтверждено положение Циолковского о том, что значительно усиленную тяжесть (перегрузки) можно легче перенести, погрузившись в жидкость.

Циолковский впервые на основании строгого науч-

ного анализа пришел к заключению, что в соответствии с законами классической механики Ньютона в космических полетах неизбежно после прекращения работы двигателей будет возникать состояние невесомости. Он в 1883 г. в статье «Свободное пространство» впервые поставил вопрос о том, возможно ли сохранение жизни в условиях невесомости. Основной вывод, к которому пришел ученый, хорошо известен — невесомость не препятствует сохранению жизни. Жизнь в условиях невесомости будет продолжаться!

Здесь следует подчеркнуть, что это чрезвычайно важное заключение Циолковского явилось не плодом его интуитивной догадки, не следствием его воображения, а результатом глубокого, естественнонаучного анализа возможного влияния невесомости на живые организмы. Инструментом этого анализа были ясные логические посылки и удивительный по своей простоте, строго научный подход, в котором были использованы основные законы физики, отнесенные к процессам, развивающимся в живом организме.

Рассмотрение этой проблемы привело Циолковского к необходимости сформулировать представление об основных свойствах жизни, об основных условиях, необходимых для ее поддержания. Он сумел, используя известные ему знания из области биологии и материалистические представления об явлениях в живой природе, прийти к заключению, что в основе жизни лежат процессы обмена веществ, которые осуществляются благодаря непрерывному поступлению необходимых для жизни химических соединений из внешней среды в организм.

В связи с этим Циолковский полагал, что в случае если процесс транспортировки и поступления необходимых химических веществ к клеткам организма не будет существенно нарушен в условиях невесомости, то жизнь сохранится. В поисках ответа на этот вопрос он справедливо указал, что в основе транспорта и поступления в клетки необходимых для жизни химических веществ (кислорода и богатых энергией соединений — белков, жиров и углеводов) лежат два основных физических процесса: диффузия и «волоосность», т. е. движение жидкости по капиллярам. «...Известно, — писал ученый, — что эти оба процесса будут осуществляться в среде без силы тяжести».

Этот удивительный по своей простоте анализ, осуществленный Циолковским 100 лет назад, и замечательный вывод, к которому он пришел, не так уж очевидны, как кажутся в настоящее время. Прежде всего следует отметить, что в те годы между биологами шли ожесточенные споры вообще о приложимости законов физики к явлениям, протекающим в живых организмах. Были очень распространены идеи витализма и сомнения в познаваемости процессов, лежащих в основе жизни.

Таким образом, Циолковский прежде всего проявил себя как исследователь, последовательно использующий передовые материалистические идеи и методы в биологии. А ведь еще сравнительно недавно, до первых полетов в космос, некоторые зарубежные исследователи указывали, что сколь-либо длительное пребывание животных и человека в невесомости может оказаться роковым в связи с изменениями в системе кровообращения, обусловленными потерей веса самой крови и ее необычным распределением в организме.

Весьма примечательно, что этот же вопрос возник и у Циолковского, но он его решил по-другому. Он полагал, что если человек сохраняет нормальную жизнедеятельность при вертикальном положении тела, равно как и после изменения его в горизонтальное, и даже после погружения в воду, то, следовательно, имеются механизмы адаптации, способные удерживать нормальную функцию кровообращения при таких переходах.

Размышляя о подходе к изучению влияния невесомости на организм животных и человека, Циолковский высказал мнение, что решение этой проблемы определяет необходимость проведения экспериментов. Он считал, что успешное изучение биологических и физиологических эффектов невесомости может быть только в том случае, если в лабораторных условиях удастся воспроизводить состояние невесомости или же ее физиологические эффекты.

Циолковский наметил два методических пути экспериментального изучения невесомости: создание физической модели (воспроизведение невесомости при свободном падении какого-нибудь устройства с людьми), моделирование физиологических эффектов невесомости при погружении человека в жидкость. Оба этих метода в дальнейшем были использованы советскими и американскими учеными. Тренировка к условиям невесомости

в полетах на самолетах и при погружении в воду сыграла положительную роль в подготовке пилотируемых полетов в нашей стране и за рубежом.

Удивительно точно Циолковский прогнозировал ситуацию, а также поведение и ощущения, которые должны возникнуть у космонавтов после потери веса в условиях невесомости. Он писал: «Все неприкрепленные к ракете предметы сошли со своих мест и висят в воздухе, ни к чему не прикасаясь, а если они касаются, то не производят давления друг на друга или на опору. Сами мы также не касаемся пола и принимаем любое положение и направление: стоим и на полу, и на потолке, и на стене; стоим перпендикулярно и наклонно, плаваем в середине ракеты как рыбы, но без усилий».

При этом, как полагал ученый, у космонавтов могут появиться иллюзорные ощущения: одному будет казаться, «...что ракета неподвижна, другому — что она медленно вращается...». Свободное перемещение в пространстве и в отсутствие веса приведет и к нарушению ориентировки в пространстве. Однако Циолковский считал, что все же ощущение того, где верх, а где низ, останется. Он писал: «Мы чувствуем верх и низ, только места их сменяются с переменой направления нашего тела в пространстве. В стороне, где наша голова, мы видим верх, а где ноги — низ».

Действительно, в полете у многих космонавтов периодически возникают иллюзорные ощущения и происходит нарушение ориентировки в пространстве, однако эти явления наблюдаются лишь в начальной стадии полета, а затем постепенно исчезают.

Большое внимание Циолковский уделил вопросу передвижения человека в открытом космическом пространстве, так как реально представлял себе то беспомощное состояние, в котором может оказаться космонавт, лишенный в условиях невесомости вне корабля специальных средств для целенаправленного перемещения. Уже в работе «Свободное пространство» (1883 г.) ученый писал: «...А человек или животное? Помогут ли им их органы, их двигательные члены, рожденные Землей, помогут ли им их члены сдвинуться с места, если нет кругом опоры?»

И далее он кратко отвечал сам на этот вопрос. «В этом случае одушевленный предмет приравняется по своей беспомощности к неодушевленному. Никакие

страстные желания, никакие дрыгания рук и ног, дрыгания, производимые, нужно сказать, крайне легко, ничто такое не в состоянии сдвинуть центр тяжести человеческого тела».

В результате у Циолковского, естественно, возник интерес к вопросу создания специальных средств для перемещения человека в состоянии невесомости. Он рассмотрел для этих целей «подвижные» и «неподвижные опоры», реактивные и некоторые другие устройства. Его предвидения оказались в настоящее время уже практически реализованными. Первый выход в открытое космическое пространство А. А. Леонова позволил всем воочию убедиться в эффективности использования фала для целенаправленного передвижения. Американский космонавт Э. Уайт в полете на корабле «Джемини-4» покинул кабину и некоторое время перемещался в открытом космосе, используя реактивную силу воздушной струи специального «пистолета».

Циолковский всесторонне рассматривал медико-биологические проблемы невесомости. Он полагал, что весьма длительное пребывание в невесомости должно привести к существенным анатомо-физиологическим изменениям как растений, так и животных. Циолковский писал: «Действительно, существующая форма человеческого существа приспособлена к среде сил параллельных и равных, и не будь тяжести на поверхности Земли при неизменяемости остальных обстоятельств жизни, форма эта совершенно изменилась бы...»

Стремясь всегда к конкретным примерам, Циолковский высказал следующую мысль, которую, разумеется, в настоящее время можно отнести лишь к научной фантастике: «Ноги, необходимые при передвижении в среде тяжести, несколько не нужны в свободном пространстве, так что, наверное, они атрофировались бы или преобразовались бы в полезный при данной среде член». Как это на первый взгляд ни удивительно, но советские и американские исследования, в которых в экспериментах с людьми имитировались условия невесомости и ограничения движений, показали, что при этом нарушается минеральный обмен, а также баланс кальция, в результате чего отмечается уменьшение его содержания в костях. Одновременно начинают проявляться и атрофические процессы в мышечной ткани.

Таким образом, Циолковский в общем правильно

прогнозировал направленность биологических сдвигов, которые могут возникнуть при длительном пребывании человека в условиях невесомости.

Циолковский считал, что длительное пребывание в невесомости если и не оказывает крайне неблагоприятного влияния на человека, все же будет сопряжено со многими неудобствами в повседневной жизни. В связи с этим в 1895 г. он впервые предложил создавать в полетах искусственную тяжесть посредством вращения кабины космического корабля. Эта идея Циолковского заслуживает серьезного внимания. В дальнейшем она получила развитие в работах зарубежных исследователей француза Р. Эно-Пельтри, а также американского инженера Н. Дейша.

Размышляя о том, какой величины должна быть «искусственная тяжесть», Циолковский считал, что она должна быть значительно меньше земной и составлять ее сотые или даже тысячные доли. В настоящее время советские и американские исследователи полагают, что при создании искусственной тяжести следует ее воспроизводить до значения около 30% от земной.

Циолковский предвидел, что пребывание в невесомости будет сопровождаться адаптацией к ней. Это приведет к тому, что у космонавтов резко изменится оценка гравитационных воздействий, и поэтому после возвращения на Землю из длительного полета космонавты будут испытывать большие затруднения в связи с воздействием на них земного тяготения. Их передвижения будут затруднены, а в случаях переноса груза (различных предметов) он будет казаться им чрезмерно тяжелым. Этот прогноз оказался вполне оправданным, о чем свидетельствует сообщение советских космонавтов А. Г. Николаева и В. И. Севастьянова. Они отмечали, что многие предметы, которыми они привыкли пользоваться, после полета казались им чрезмерно тяжелыми.

Вопрос о создании «искусственной тяжести» является в настоящее время дискуссионным. Многие, особенно зарубежные исследователи, полагают целесообразным ее использовать в будущих полетах. Французский ученый Бержере, отмечая заслуги великого русского ученого, в своих статьях вращающуюся кабину, в которой воспроизводится «искусственная тяжесть», назвал кабиной Циолковского.

Циолковский был убежден в космической миссии че-

ловека. Мечтая об освоении космоса, он писал: «Мы можем достигнуть завоевания Солнечной системы очень доступной тактикой. Решим сначала легчайшую задачу: устроим эфирное поселение поблизости Земли в качестве ее спутника».

Выдвинув идею создания орбитальной станции, заселенной людьми, ученый отчетливо представлял себе, что ее осуществление, помимо преодоления технических трудностей, связано с необходимостью разрешения ряда биологических проблем и прежде всего с созданием условий, необходимых для поддержания нормальной жизнедеятельности человека при его длительном пребывании за пределами земной атмосферы. В связи с этим много внимания он уделял вопросам поддержания нормального газового состава «атмосферы» космического корабля и обеспечения космонавтов водой и пищей.

При относительно кратковременных полетах в космическое пространство космонавты, по мнению Циолковского, смогут пользоваться запасами кислорода, взятыми с Земли, а углекислый газ удалять из воздуха герметической кабины, используя химические вещества, поглощающие его. Эта идея Циолковского — создание герметической кабины регенерационного типа — еще до второй мировой войны была частично реализована в исследованиях советских авиационных врачей при подготовке ими рекордных высотных полетов на стратостатах. Значительно более полная ее реализация была осуществлена при подготовке у нас в стране космических полетов животных на искусственных спутниках Земли, а затем и в пилотируемых космических полетах.

Жизнь в герметических кабинах космических кораблей при длительных околоземных и межпланетных полетах, очевидно, не может быть обеспечена взятыми с Земли запасами кислорода, пищи, воды и химических веществ, поглощающих углекислый газ, так как их потребуется весьма большое количество. В этом легко убедиться, если учесть, что одному человеку в день необходимо 600—700 г обезвоженных продуктов и более 2 л воды. Следовательно, для полета длительностью в один год экипажу из трех человек потребуется около 3 т воды и пищи.

Как же будет разрешена проблема дыхания и питания в длительном космическом полете?

Циолковским впервые была выдвинута идея созда-

ния в космической ракете замкнутой системы кругооборота всех необходимых для жизни веществ, которую сейчас называют замкнутой экологической системой. По идее Циолковского, на космическом корабле в миниатюре должны быть воспроизведены все основные процессы превращения веществ, которые совершаются на нашей планете.

С этой целью он предложил на космических кораблях создавать искусственную атмосферу, занимая определенную площадь под оранжерею. Циолковский писал: «Как земная атмосфера очищается растениями при помощи Солнца, так может возобновляться и наша искусственная. Она должна будет, так же как и земная, поддерживать кругоборот необходимых для жизни человека веществ — кислорода и воды и очищать воздух от углекислого газа».

В растениях в результате фотосинтеза образуются и накапливаются нужные человеку органические соединения — углеводы, белки, жиры. Но как создать на сравнительно небольшом космическом корабле замкнутую экологическую систему?

Циолковский предложил использовать для этой цели высшие растения, выращивая их на жидких питательных средах, т. е. метод, который называют гидропоникой. Его успешно развивал К. А. Тимирязев. Однако длительное время исследования по гидропонике проводили только с различными солевыми питательными растворами. Сведений об использовании продуктов жизнедеятельности человека для выращивания растений в жидкости почти не было.

В связи с этим большой интерес представляет работа последователя Циолковского, известного советского пионера ракетной техники Ф. А. Цандера. Он впервые выращивал растения в водных растворах и на слое размельченного древесного угля, который затем наращивал слоями фекалий. Цандер писал: «В 1926 году мною были выращены растения в стакане с водой, удобренной в отношении 1:200 отбросами». Цандер полагал, что в условиях космического полета можно будет перейти от выращивания растений в воде к простому обрызгиванию корней растений питательной жидкостью, т. е. использовать метод аэрации. «Этим методом, — писал Цандер, — можно превращать в 24 часа все отбросы в полезные удобрения. В такой оранжерее,

заполненной чистым кислородом с углекислотой при высоких температурах, которые могут быть получены в межпланетном пространстве, можно ожидать весьма больших урожаев».

Какие же растения могут стать спутниками космонавтов?

В настоящее время предложено использование как высших растений, так и одноклеточных водорослей. Сам Циолковский также полагал, что высшие растения, наиболее продуктивные, должны стать спутниками человека в космических полетах. У нас в стране и за рубежом в течение последних 20 лет биологи проводят экспериментальные исследования, направленные на поиск растений, которые более всего отвечали бы требованиям космических спутников человека.

Реализация идеи Циолковского о создании биологической системы кругооборота веществ в кабине космического корабля весьма сложна. Это дело еще далекого будущего, а в настоящее время наиболее реальным представляется следующий подход к данной проблеме. Он включает в закрытую систему кругооборота веществ, помимо естественных звеньев (растений, животных), технические устройства, с помощью которых окажется возможным, например, осуществлять регенерацию и очистку воды, а также минерализацию отходов жизнедеятельности.

При изучении трудов Циолковского видно, что его интересы не были ограничены решением отдельных биологических вопросов, связанных только с запросами космонавтики. При размышлении над частными вопросами космической биологии он всегда приходил к широким обобщениям и связывал их с фундаментальными проблемами. Так, например, работая над проблемой защиты космонавтов от различных гравитационных воздействий, он высказал глубокие идеи относительно роли гравитации в возникновении и эволюции жизни на нашей планете.

Циолковский был сторонником представлений о широком распространении жизни вне Земли. Им были высказаны оригинальные идеи в области экзобиологии, в частности, относительно организации и функциональных способностей внеземных разумных существ. Ему принадлежат и самобытные суждения об эволюции человека.

Эти исследования Циолковского еще недостаточно изучены и оценены. Ясно одно, изучение трудов основоположника космонавтики приносит большую пользу, порождает не только энтузиазм и эмоционально вооружает современных исследователей, но и побуждает мысль к новым исканиям. И это вполне закономерно, так как Циолковский был исследователем, далеко опередившим не только своих современников, но и нас, уже вступивших в космический век.

С. Д. ГРИШИН,
доктор технических наук

К. Э. Циолковский и проблемы космической индустриализации

К. Э. Циолковский был величайшим мыслителем, провозвестником космической эры. Высказанные им идеи в большинстве случаев намного опережали его время. Многие современники считали Циолковского «безудержным фантазером». На это Циолковский отвечал, что фантазия так же необходима исследователю, как и кропотливый научный труд. Он писал: «Сначала неизбежно идут: мысль, фантазия, сказка. За ними шествует научный расчет. И уже в конце концов исполнение венчает мысль».

В работах, посвященных анализу целей звездоплавания, Циолковский неоднократно указывал, что одной из важнейших задач освоения космоса является развитие космической индустрии. Наличие практически неисчерпаемого источника энергии в космосе (солнечной энергии), возможность беспрепятственного удаления отходов промышленного производства и сброса тепла создают благоприятные условия для эффективного промышленного освоения космоса.

Время реализации крупной научно-технической идеи независимо от того, когда она была высказана, наступает при соблюдении двух условий. Первое условие состоит в том, что воплощение идеи должно отвечать жизненным интересам социального прогресса. Вторым условием является то, что реализация идеи становится возможной лишь при соответствующем уровне развития технологии, которая является материальной основой

технического прогресса, определяющей конкретные пути и способы претворения в жизнь научных идей.

Грандиозная задача космической индустриализации, впервые сформулированная и всесторонне обоснованная в трудах Циолковского, стала практической реальностью только в наше время: Создание в нашей стране орбитальных пилотируемых станций «Салют», практически постоянно функционирующих на околоземной орбите, и экономической системы их транспортного обеспечения с помощью кораблей «Союз» и «Прогресс» открыло большие перспективы в развитии космической индустрии.

Индустриализация космоса — проблема широкая и комплексная. Так ее характеризовал Циолковский. Важной задачей индустриализации космоса, ее сердцевиной, как он считал, является гелиоэнергетика — овладение обилием солнечной энергии в интересах человечества. Конкретные пути использования солнечной энергии, согласно Циолковскому, могут быть различными. Это и ее прямое использование с помощью концентраторов солнечного излучения, а также и преобразование в электрическую и механическую энергию для применения в производственных целях.

Наряду с разработкой проблем гелиоэнергетики Циолковский в своих трудах уделял большое внимание развитию космического производства. Разработанная им программа отличается большой конкретностью и включает производство лекарств и металлических сплавов, приготовление правильных кристаллов больших размеров, придание материалам необходимой формы методами отливки, плавки, прессования, термообработку материалов с прямым использованием солнечной энергии.

Теоретическим фундаментом космического производства является новое научное направление, которое в настоящее время принято называть «физикой невесомости». Это научное направление возникло на стыке различных, ранее малосвязанных между собой научных дисциплин: теории тепломассообмена, физики поверхностных явлений, теории кристаллизации, термодинамики необратимых процессов и т. п. Говоря о становлении «физики невесомости», необходимо упомянуть об исследованиях Циолковского, посвященных изучению, по существу, тех же самых вопросов.

Он впервые рассмотрел особенности протекания в

невесомости различных физических процессов в их совокупности. Многие из этих вопросов ученый начал анализировать еще в своей ранней работе «Свободное пространство», написанной в 1883 г. Здесь рассмотрены законы гидростатики и их проявление в условиях невесомости, возрастающая роль капиллярных сил и процессы сферообразования жидких тел, отсутствие конвекции. Эти же вопросы Циолковский разрабатывал и в более поздних сочинениях, таких, как «Механика в биологии» (1920 г.).

Важной областью космической индустрии является создание и развертывание на околоземных орбитах крупногабаритных конструкций, проведение в космосе монтажно-сборочных работ, на что неоднократно указывал в своих трудах К. Э. Циолковский. Существенным здесь является то, что в условиях невесомости могут быть созданы конструкции, обладающие необходимой прочностью и устойчивостью при значительно меньших массах, чем на Земле. Следует отметить, что это преимущество может быть утрачено, если транспортировка конструкций с низкой орбиты на высокие производится с помощью двигателей большой тяги (например, с помощью ЖРД или РДТТ), подвергающих собранные в космосе ажурные конструкции действию больших перегрузок, в результате чего может произойти их разрушение.

Для межорбитальной транспортировки крупногабаритных конструкций более целесообразны электрические ракетные двигатели малой тяги, особенно в случае транспортировки элементов солнечных электростанций, которые могут быть непосредственно использованы для снабжения двигателей электрической энергией. Отметим, что мысль об использовании электричества для получения высоких скоростей истечения также была высказана Циолковским. В «Исследовании мировых пространств реактивными приборами» (1911—1912 гг.) он писал, что «...с помощью электричества можно будет со временем придавать громадную скорость выбрасываемым из реактивного прибора частицам».

Перспективным направлением космической индустрии является использование вещества Луны и космических тел для получения материалов, из которых могут быть изготовлены элементы космических систем и конструкций, на что впервые обратил внимание Циолков-

ский в работах «Исследование мировых пространств...» (1926 г.) и «Цели звездоплавания» (1929 г.).

Не все перечисленные выше направления космической индустрии, о которых писал в своих трудах Константин Эдуардович Циолковский, получили в наше время достаточное развитие и практическую реализацию. Поэтому представляется целесообразным кратко рассмотреть современное состояние наиболее проработанных проблем, к числу которых следует отнести получение материалов на орбитальных комплексах, исследования в области физики невесомости и солнечной энергетики.

Получение материалов в условиях невесомости и исследования в области физики невесомости. Действие силы тяжести в ходе технологических процессов получения и обработки различных материалов в земных условиях вызывает ряд негативных явлений, которые налагают серьезные ограничения на характеристики получаемых материалов. Основные из этих явлений следующие:

1) конвективное перемешивание веществ в процессах выращивания кристаллов, расплавления и затвердевания металлических сплавов и композиционных материалов, в ходе химических реакций и сепарации биологических веществ;

2) осаждение и всплытие частиц разной плотности при изготовлении их однородных смесей и пенометаллических материалов, для компенсации которых приходится в земных условиях механически перемешивать материалы;

3) гидростатическое давление, приводящее к деформации изделий и требующее обязательного использования контейнеров при работе с жидкостями и расплавами.

Перенос процессов получения и обработки материалов на орбитальные комплексы позволяет существенно ослабить воздействие перечисленных выше явлений. Поэтому в условиях невесомости можно получать высококачественные полупроводниковые, металлические и оптические материалы и биологические препараты. При изготовлении в невесомости полупроводниковых материалов возможны снижение числа дефектов кристаллической решетки, повышение микрооднородности, исключение нежелательных фаз, увеличение выхода годного

материала, получение объемных гетерогенных структур и систем металл-полупроводник. Известно, что повышение качества полупроводниковых материалов в значительной степени определяет прогресс в области электроники, вычислительной техники, энергетики, связи.

В невесомости можно готовить новые материалы, которые не удастся получить на Земле. К числу таких материалов относятся, например, магнитные материалы с высокой коэрцитивной силой, сверхпроводящие материалы с высокой температурой сверхпроводящего перехода, пластические материалы повышенной прочности, новые композиционные материалы с большой разностью плотностей фаз, высокой однородностью распределения компонентов, с произвольной формой частиц (нити, порошок) и т. п. Как известно, сверхпроводники необходимы для создания линий передачи электроэнергии с минимальными потерями. Материалы с высокими характеристиками требуются, например, для перспективных изделий авиационной и космической техники, атомного машиностроения, бурового оборудования и прецизионного металлообрабатывающего инструмента.

Бесконтейнерная обработка материалов исключает их контакт со стенками сосуда и сопутствующие ему вредные эффекты: химическое взаимодействие с материалом стенок, взаимную диффузию, искажение формы при затвердевании и т. д. В условиях невесомости жидкость под влиянием сил поверхностного натяжения принимает форму сферы. Если обработка производится в газовой, в частности, воздушной среде, то для удержания жидкости на месте или для ее перемещения в заданных направлениях можно использовать акустический или плазменный левитаторы.

При применении акустического левитатора источник акустических колебаний ориентируют на обрабатываемое изделие, за которым устанавливается отражатель. Между источником и отражателем образуется стоячая волна, и на расстоянии длины волны от отражателя возникает устойчивая «акустическая яма», в центре которой обрабатываемое изделие может находиться сколь угодно долго. Ортогональное размещение трех пар источников звука и отражателей обеспечивает полное пространственное управление положением изделия и его стабилизацию.

Плазменный левитатор состоит из трех пар плазменных источников, генерирующих плазменные струи, направленные на обрабатываемое изделие. Изменяя параметры струй (плотность, скорость плазмы), можно перемещать изделие в пространстве. Струи плазмы одновременно используются для нагревания изделия, поддержания заданного темпа его охлаждения, а также для плазменной обработки, например, для напыления слоев со специальными свойствами, нанесения покрытий и т. п. Плазменные левитаторы имеют ограниченные области применения. Они могут использоваться в специальных пожаробезопасных автоматических аппаратах.

Бесконтейнерная обработка в невесомости позволяет готовить сверхчистые материалы, в частности сверхчистые стекла для волоконной оптики, включив в производство те виды стекла, которые в земных условиях неприменимы из-за быстрого загрязнения при варке вследствие высокой химической активности. Получение оптических материалов со специальными свойствами имеет также большое значение для лазерной техники, особенно для силовых лазеров.

Интересные перспективы открываются для биотехнологии в связи с возможностью более эффективного разделения и очистки биологических материалов, таких, как клетки и их элементы, антигены, протеины, гормоны и т. п.

К настоящему времени советской наукой и техникой накоплено достаточно большое количество экспериментальных данных о получении полупроводниковых, оптических, металлических и других материалов в условиях, близких к идеальной невесомости, создающихся при движении космических аппаратов по околоземным орбитам. Первый технологический эксперимент по сварке в невесомости был выполнен на советском космическом корабле «Союз-6» в 1969 г.

Важный шаг в направлении создания научных основ космического производства был сделан во время полета орбитальной научной станции «Салют-5», когда летчиками-космонавтами СССР Б. В. Волевым, В. М. Жолотовым, В. В. Горбатко и Ю. Н. Глазковым был выполнен цикл технологических экспериментов с помощью комплекта приборов «Кристалл», «Поток», «Сфера», «Диффузия» и «Реакция». Первые четыре эксперимента проводились с целью изучения особенностей кристалли-

зации водных растворов, свойств течений жидкости под действием капиллярных сил, бесконтейнерного затвердевания расплавов и взаимодиффузии веществ в условиях невесомости.

Эксперимент «Реакция» имел непосредственное практическое значение. В ходе этого эксперимента проводилась отработка методов пайки в космических условиях. Внутри контейнера с цилиндрическими экзопакетами размещалась трубка из нержавеющей стали с надетой на нее муфтой. В зазоре между трубкой и муфтой был помещен марганцево-никелевый припой, который расплавился при нагревании от экзопакета, растекся по капиллярному зазору вдоль поверхности трубки и при охлаждении затвердел, образовав паяное соединение муфты с трубкой.

Наземные испытания подтвердили высокое качество и прочность пайки.

Проведенные на орбитальной станции «Салют-5» эксперименты в целом подтвердили общие представления об описанных выше особенностях физических процессов в невесомости. Однако одновременно эксперименты выявили и недостатки некоторых расчетных моделей процессов и потребовали проведения специальных исследований в этой области.

Новый большой этап в развитии космической технологии составили обширные исследования на борту орбитального комплекса «Салют-6» — «Союз», проведенные в рамках советской космической программы и программы «Интеркосмос» с участием ученых и специалистов стран социалистического содружества.

В период с 1978 по 1981 г. на технологических установках «Сплав» и «Кристалл», находящихся на борту орбитального комплекса, было получено около 200 образцов полупроводниковых материалов, сплавов, оптических стекол, соединений с новыми физическими свойствами. Анализ полученных образцов показал, что в большинстве случаев такие важнейшие свойства материалов, как однородность химического состава, равномерность распределения легирующих примесей, плотность дефектов кристаллической решетки в образцах, полученных в невесомости, существенно улучшаются по сравнению с прототипами, приготовленными на Земле с помощью той же аппаратуры.

Более высокими характеристиками обладают, например, космические образцы полупроводникового материала кадмий — ртуть — теллур (который используется в качестве чувствительных приемников тепловизоров), антимонида индия и арсенида галлия (применяемых в оптоэлектронике и СВЧ-приборах), германия и кремния (являющихся базовыми материалами электронной промышленности).

Можно считать, что к настоящему времени получены четкие и однозначные экспериментальные доказательства возможности приготовления в невесомости материалов с улучшенными характеристиками. Однако, как это часто бывает в новых областях науки, технологические эксперименты на орбитальных станциях дали и неожиданные результаты. Так, улучшение свойств материалов наблюдалось не всегда, в некоторых случаях характеристики космических образцов были более низкими, чем у земных.

Установлены, например, такие новые эффекты, как аномальное распределение примесей в космических образцах, отрыв расплавов от стенок технологической ампулы, рост монокристаллов германия и кремния со скоростями порядка 1 см/мин, недостижимыми в земных условиях и т. д. Для понимания всех этих необычных явлений необходимо было провести фундаментальные исследования процессов тепломассообмена и кристаллизации в жидких средах в условиях орбитального полета.

Прежде всего надо отметить, что идеальной невесомости, т. е. полной компенсации сил, действующих внутри станции, на борту орбитальных станций не достигается. Аэродинамическое сопротивление атмосферы, солнечное давление, работа бортовых агрегатов, перемещения членов экипажа по станции, движения при выполнении ими физических упражнений и т. п. создают малые ускорения. А при воздействии этих ускорений картина протекания различных физических процессов будет более сложной, чем при идеальной невесомости.

Для измерения малых ускорений была разработана специальная аппаратура, включающая высокочувствительные датчики. Измерения малых ускорений были начаты космонавтами В. В. Рюминым и Л. П. Поповым в

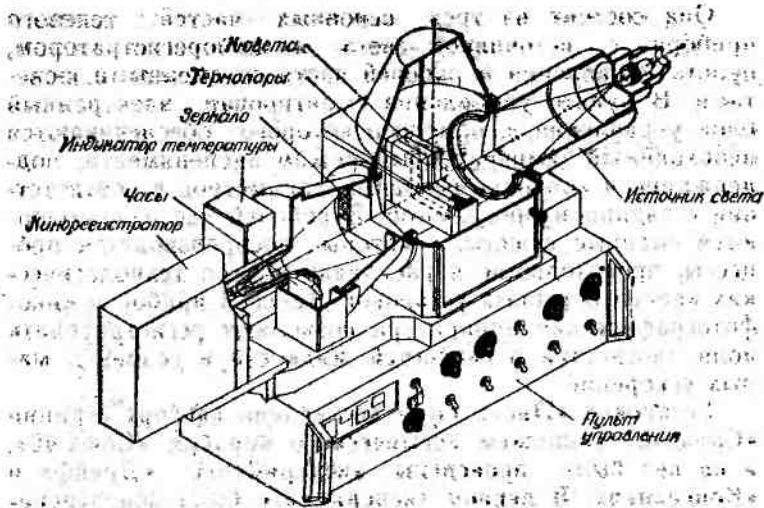


Рис. 1. Общий вид установки «Пион»

1980 г. и регулярно выполнялись в ходе технологических экспериментов.

Датчики, размещенные на борту орбитального комплекса «Салют-6» — «Союз» — «Прогресс» вблизи пульта управления, при отсутствии экипажа зарегистрировали ускорения в диапазоне $10^{-5} \rightarrow 10^{-6} g$ (g — ускорение свободного падения на Земле), а при штатной работе экипажа — на порядок больше. Ускорение носит колебательный характер и соответствует частотам 0,5—3,0 Гц. При выполнении экипажем физических упражнений величина ускорений возрастает до $10^{-3} g$, при включении двигательных установок систем ориентации и коррекции — до $10^{-2} g$. Знание малых ускорений позволило более обоснованно интерпретировать результаты технологических экспериментов.

Важным для разработки научных основ космического производства является также непосредственное изучение особенностей течений жидкости в условиях малых перегрузок, динамики примесей, газовых включений, структуры пограничных слоев в жидкости, устойчивости процесса кристаллизации и других процессов. Первой бортовой установкой, специально предназначенной для таких исследований, является установка «Пион» (рис. 1).

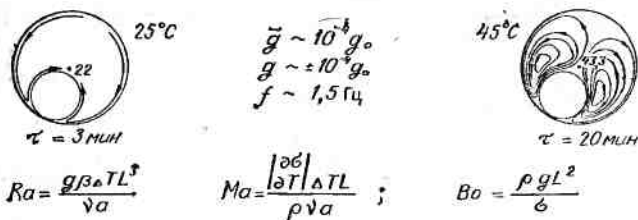
Она состоит из трех основных частей: теневого прибора с источником света и кинорегистратором, пульта управления и рабочей части со сменными кюветами. В пульте управления смонтирован электронный блок управления, с помощью которого обеспечиваются необходимый температурный режим эксперимента, поддержание и контроль основных параметров в соответствии с заданной программой. В рабочей части размещаются сменные кюветы, в которых воспроизводятся процессы, происходящие в расплавах внутри технологических капсул бортовых установок. Теневой прибор и кинофотографическая аппаратура позволяют регистрировать поля плотностей и скоростей жидкости в условиях малых ускорений.

Установка «Пион» была доставлена на борт станции «Салют-6» экипажем космического корабля «Союз-40», и на ней были проведены эксперименты «Дрейф» и «Конвекция». В первом эксперименте была использована кювета, имеющая форму прямоугольного параллелепипеда, заполненная спирто-глицериновой смесью. В жидкости находились твердые включения — метки, обладающие такой же плотностью, как и жидкость, а также пузырьки газа. Температура одного из торцов кюветы составляла 50°C , другого — около 20°C .

В эксперименте «Конвекция» кювета имела цилиндрическую форму с равномерным боковым подогревом. Обе кюветы позволяли моделировать тепловые потоки в установках «Сплав» и «Кристалл». В экспериментах «Дрейф» и «Конвекция» изучалось развитие на границе раздела жидкость — газ и в объеме жидкости конвекции, индуцированной термокапиллярным эффектом, связанным с зависимостью поверхностного натяжения от температуры, а также динамика газовых включений в жидкую среду.

Анализ результатов экспериментов показал, что в объеме жидкости в условиях невесомости возникают замкнутые течения (рис. 2), которые индуцируются термокапиллярным эффектом на свободной поверхности жидкости, находящейся в зоне продольного градиента температуры. Течение в поверхностном слое формируется за время около 1 с, течение в объеме — за время около 5 мин.

Возникновение интенсивных конвективных течений в расплавах во многих случаях приводит к ухудшению



g — ускорение; σ — поверхностное натяжение; ΔT — разность температур; L — характерный размер; α — температуропроводность; ν — кинематическая вязкость;

В типичных условиях технологических экспериментов с полупроводниковыми материалами:

на Земле (при $g \sim 9,8 \text{ м/с}^2$) — $Ra \sim 10^6$; $Ma \sim 10^4$; $Bo \sim 100$;
 в космосе (при $g \sim 10^{-6} \text{ м/с}^2$) — $Ra \sim 10^2$; $Ma \sim 10^4$; $Bo \sim 10^{-3}$;

Рис. 2. Эксперимент «Конвекция».

На рисунке выписаны критерии, определяющие особенности тепло-массообмена в условиях невесомости. Ra — критерий Релея, Ma — критерий Марангони, Bo — критерий Бонда

свойств материалов, приготовляемых в условиях невесомости (дефекты кристаллической структуры, неоднородное распределение легирующих примесей и т. д.). Поэтому важное значение приобретает разработка эффективных методов по управлению термокапиллярной конвекцией. Для решения этой задачи предполагается использовать различные методы — акустические и вибрационные поля, переменные или постоянные магнитные поля.

При наземных испытаниях установки «Пион» в тех же целях был поставлен эксперимент «Термогофр». В этом эксперименте для подавления термокапиллярной конвекции вместо обычного монотонно нарастающего температурного поля использовано специальное распределение температуры вдоль поверхности жидкости. В результате вихревое течение, индуцированное термокапиллярным эффектом и захватывающее весь объем жидкости, распалось на плоские замкнутые вихри, сосредоточенные главным образом вблизи свободной поверхности жидкости. В экспериментах на установке «Пион» проводилось изучение движения газовых пузырьков в условиях невесомости. Вследствие термокапиллярного эффекта пузырьки газа дрейфовали в жид-

кости в сторону высокотемпературной стенки, как это и предсказывается теорией.

Развитие «физики невесомости», по существу, находится в начальной стадии. В ближайшие годы целесообразно продолжить и углубить фундаментальные исследования в области космического производства, обратив особое внимание на разработку прецизионной исследовательской аппаратуры, на получение с ее помощью комплексной информации о процессах термомассопереноса, кристаллизации и о поверхностных явлениях в невесомости, на разработку численных и аналитических моделей этих процессов.

Важным для развития космической технологии является создание комплекса бортовых технологических установок, по характеристикам не уступающих аналогичному оборудованию, используемому на Земле, и значительное расширение арсенала технологических процессов (зонная плавка, бесконтейнерное литье, капиллярное формообразование, газовая эпитаксия, электрофорез и др.). Следует также провести разработку автономных технологических космических аппаратов-модулей орбитального комплекса, функционирующих в беспилотном режиме с периодическими посещениями их космонавтами-операторами или с периодической стыковкой с базой-станцией. Это обеспечит возможность получения различных материалов в области предельно низких ускорений.

Важнейшей для космической технологии является энергетическая проблема. Расчеты показывают, что в ближайшие годы технологические космические аппараты потребуют больших мощностей (до 20—50 кВт), что не обеспечивается современными солнечными батареями на базе фотопреобразователей. Использование ядерных источников энергии для технологических процессов, по-видимому, малоперспективно, поскольку защита от излучений ядерных реакторов, вызывающих дефекты структуры получаемых материалов, является сложной проблемой. Более перспективным представляется непосредственное использование концентрированной солнечной энергии для нагревания изделий и материалов.

Вопрос об экономической целесообразности космического производства к настоящему времени уже достаточно хорошо изучен. Годовое потребление многих уникальных полупроводниковых материалов, например, ис-

числяется десятками килограммов, а получение их на Земле обходится очень дорого, так как выход качественного материала составляет доли процента от всей произведенной продукции. Для таких материалов космическое производство оказывается экономически выгодным, несмотря на дополнительные затраты, связанные с выведением на орбиту исходного сырья и возвращением на Землю полученной продукции.

Космические солнечные энергосистемы. Проведенные исследования и разработки показали, что перспективные космические солнечные энергосистемы могут иметь различное назначение (рис. 3). Они могут быть использованы для снабжения тепловой и электрической энергией космических комплексов (например, орбитальных аппаратов для производства материалов в космосе) и в дальней перспективе — для энергоснабжения наземных потребителей.

Важное значение в дальнейшем будут иметь космические отражатели солнечной энергии для освещения отдельных районов Земли в ночное время (в особенности, высокоширотных районов в период полярной ночи и районов расположения наземных солнечных электростанций) и для управления климатом некоторых регионов Земли. В космические солнечные энергосистемы входят крупные космические отражатели, которые могут явиться элементами беспроводной системы передачи энергии из одного района Земли в другой.

В последние годы в научно-технической литературе обсуждается проблема космической гелиоэнергетики, т. е. проблема создания орбитальных солнечных электростанций для снабжения наземных потребителей. Рассматриваются орбитальные электростанции с фотоэлектрическим и турбогенераторным преобразователями солнечной энергии. Турбогенераторные электростанции имеют более высокий КПД преобразования солнечной энергии (около 40% вместо 10% для фотоэлектрических преобразователей) и меньшие габариты, но в целом их масса оказывается более высокой, а наличие вращающихся и энергонапряженных элементов предъявляет повышенные требования к отработке их надежности и к системам ориентации электростанции.

Поэтому в качестве основного варианта космической солнечной электростанции обычно рассматривается электростанция с фотоэлектрическими полупроводнико-

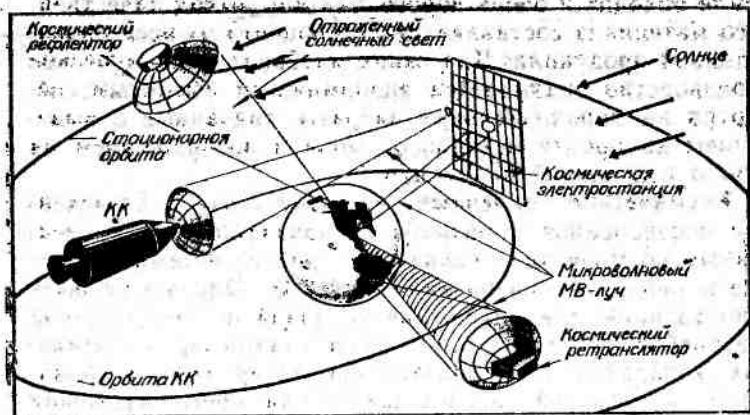


Рис. 3. Состав ракетно-космического комплекса для развертывания и эксплуатации космической солнечной электростанции

выми преобразователями и с передачей энергии на Землю в виде СВЧ-излучения в дециметровом диапазоне.

Орбитальная солнечная электростанция (рис. 4) — это сложный ракетно-космический комплекс, в состав которого входят сверхмощные ракеты-носители для выведения элементов станции на опорную околоземную орбиту (например, круговую орбиту высотой около 200 км), сборочно-монтажный орбитальный комплекс для сборки, развертывания и проверки электростанции на опорной орбите, эксплуатационный комплекс на рабочей орбите, небольшие ракеты-носители для доставки бригад монтажников и эксплуатационников на орбиту и для возвращения их на Землю, наземная приемная станция, наземный пункт управления и стартовый комплекс.

Проектные исследования показали, что орбитальные солнечные электростанции полезной мощностью от нескольких единиц до десятков гигаватт при современном уровне техники нереальны и экономически нецелесообразны. Даже при применении, например, сверхмощной ракеты-носителя с массой выводимой нагрузки 170 т, при снижении удельной массы (массы единицы площади) солнечной батареи в 50 раз против существующего ($0,25 \text{ кг/м}^2$ против 12 кг/м^2) и стоимости выведения до 200 руб. за 1 кг, затраты на выведение и развертыва-

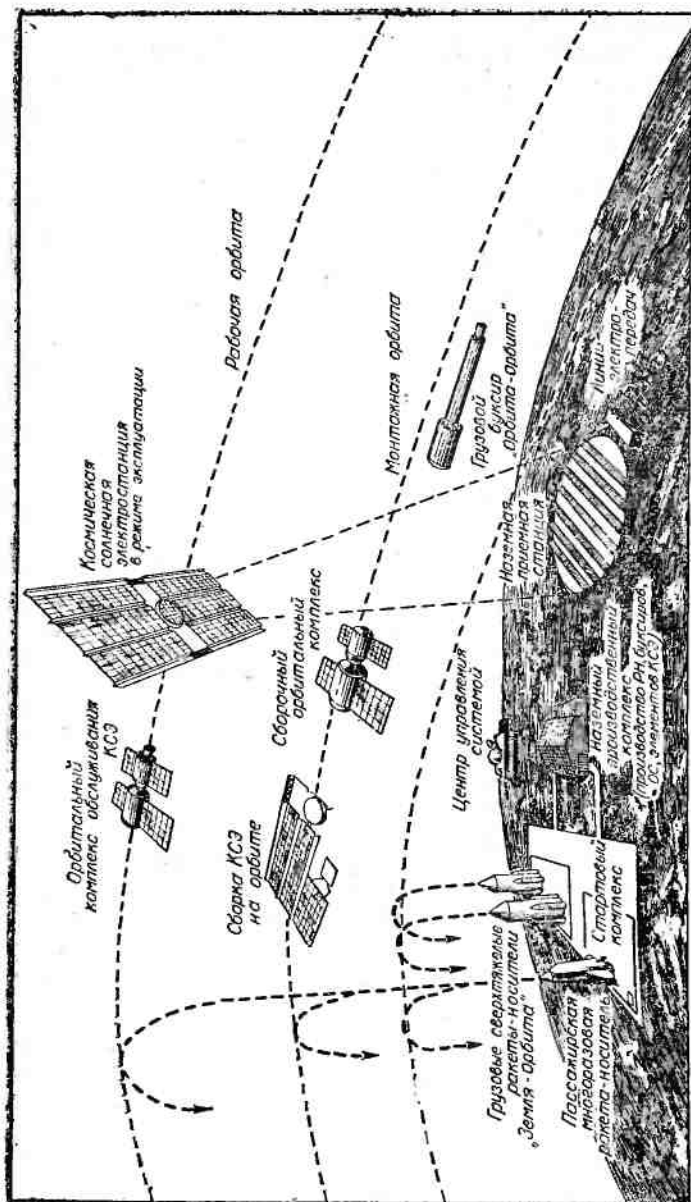


Рис. 4. Возможные массо-габаритные характеристики космических солнечных электростанций. Необходимое количество пусков ракет-носителя для развертывания КСЗ мощностью 5 млн. кВт

ние одной электростанции будут составлять не менее 6 млрд. руб., а суммарная стоимость электростанции около 15 млрд. руб.

Кроме экономических проблем, возникают также серьезные экологические проблемы. При выведении на орбиту элементов электростанций в атмосферу Земли будет выбрасываться большое количество продуктов сгорания топлива (примерно в 30 раз больше массы выводимых грузов) и тепла (порядка 10^{15} Дж на каждую станцию), что при развертывании большого числа станций может привести к обострению экологической обстановки на Земле.

Правда, существуют идеи об изготовлении элементов солнечных орбитальных станций непосредственно в космическом пространстве из материалов Луны или астероидов и о выведении станций в окосолнечную область, например на расстояние 0,1 а.е. В обоих случаях масса элементов, выводимых с Земли, снижается на один-два порядка. Но разработка этих предложений пока еще не вышла из стадии поисковых исследований.

Перспективными представляются проекты комплексной солнечной электростанции, рассматриваемые в нашей стране и за рубежом, согласно которым на геостационарной орбите располагается система гелиостатов, отражающих солнечное излучение на наземную приемную станцию, содержащую концентраторы излучения и полупроводниковые охлаждаемые фотопреобразователи. Гелиостаты, выполненные из стекла или тонкой металлизированной пленки, имеют оптические фильтры, отражающие на Землю излучение в диапазоне 0,4—1,1 мкм.

Для ориентации гелиостатов могут использоваться электроракетные двигатели (например, плазменные двигатели с анодным слоем или ионные двигатели) с питанием от высоковольтных солнечных батарей. Космические гелиостаты обеспечивают непрерывное освещение наземных солнечных электростанций и благодаря этому их эксплуатационные показатели повышаются. Однако в отличие от космических электростанций эффективность наземных электростанций, освещаемых гелиостатами, будет зависеть от метеоусловий в районе расположения наземных солнечных электростанций.

СОДЕРЖАНИЕ

А. С. Федоров. К. Э. Циолковский и прогресс техники в XX в.	3
А. А. Космодемьянский. Об исследованиях К. Э. Циолковского по аэронавтике, ракетной технике и космонавтике	18
О. Г. Газенко, В. Б. Малкин. К. Э. Циолковский и биоастронавтика	33
С. Д. Гришин. К. Э. Циолковский и проблемы космической индустриализации	48

К. Э. ЦИОЛКОВСКИЙ (к 125-летию со дня рождения)

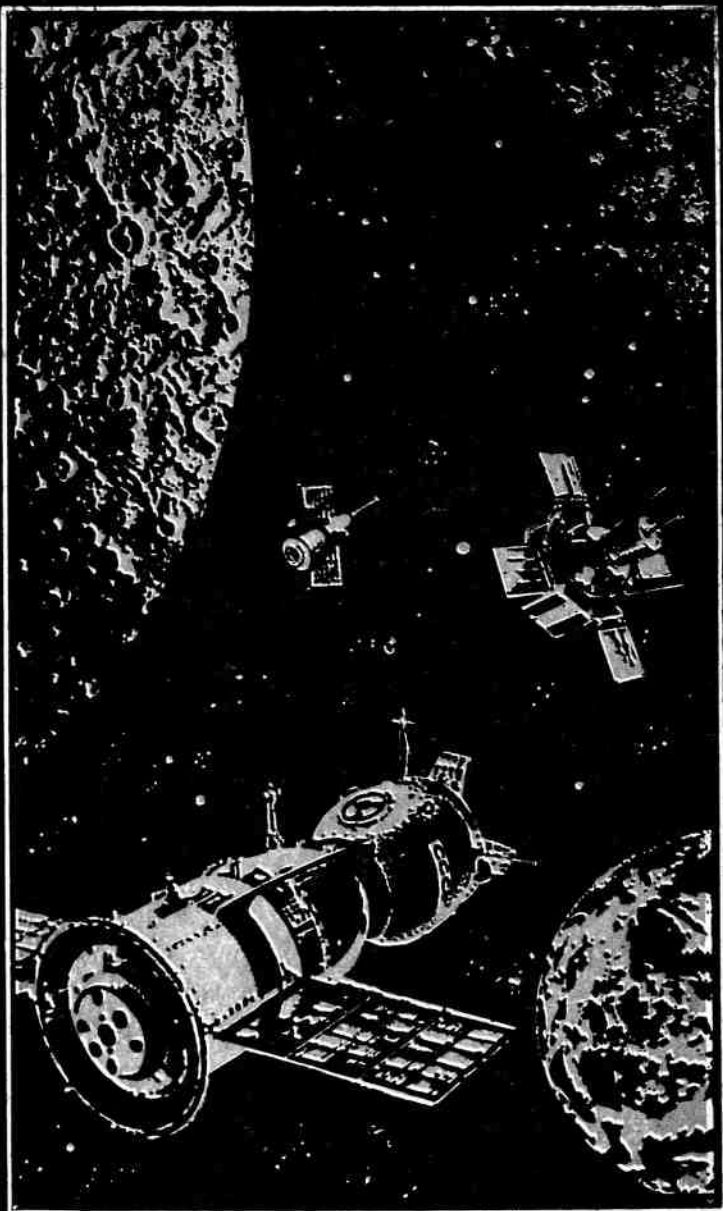
Сборник статей

Составитель **София Аркадьевна Соколова**

Гл. отраслевой редактор **Л. А. Ерлыкин**. Редактор **Е. Ю. Ермаков**. Мл. редактор **Г. И. Родкина**. Обложка художника **А. А. Астреева**. Худож. редактор **М. А. Гусева**. Техн. редактор **Н. В. Лбова**. Корректор **В. Е. Каликина**.

ИБ № 5785

Сдано в набор 18.06.82. Подписано к печати 26.07.82. Т 14425. Формат бумаги 84×108¹/₃₂. Бумага тип. № 3. Гарнитура литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 3,36. Усл. кр.-отт. 3,57. Уч.-изд. л. 3,51. Тираж 31 430 экз. Заказ 1208. Цена 11 коп. Издательство «Знание», 101835, ГСП, Москва, Центр, проезд Серова, д. 4. Индекс заказа 824209. Типография Всесоюзного общества «Знание», Москва, Центр, Новая пл., д. 3/4.



СЕРИЯ **КОСМОНАВТИКА,
АСТРОНОМИЯ**