

Р. Г. ПЕРЕЛЬМАН



ЯДЕРНЫЕ  
ДВИГАТЕЛИ

СЕРИЯ IV  
№ 4,5

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЗНАНИЕ»

1958

ВСЕСОЮЗНОЕ ОБЩЕСТВО  
ПО РАСПРОСТРАНЕНИЮ ПОЛИТИЧЕСКИХ И НАУЧНЫХ ЗНАНИЙ

---

---

Кандидат технических наук  
Р. Г. ПЕРЕЛЬМАН

# ЯДЕРНЫЕ ДВИГАТЕЛИ

---

---

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЗНАНИЕ»

Москва

1958

## СО Д Е Р Ж А Н И Е

	<i>Стр.</i>
Двигатель будущего . . . . .	3
Через девять морей . . . . .	10
Восемьдесят тысяч километров под водой . . . . .	17
Локомотив пустынь, дальних дорог и горных перевалов . . . . .	21
На автостраде атомного века . . . . .	29
Вокруг земного шара . . . . .	31
Атом обретает крылья . . . . .	38
Ядерные ракеты . . . . .	42
Заключение . . . . .	53
Литература . . . . .	54

---

## Двигатель будущего

Открытие атомной энергии поставило человечество на порог научно-технической и промышленной революции, далеко превосходящей по своему значению промышленные революции, связанные с появлением пара и электричества. Ученые всех стран, инженеры и техники уже много сделали для мирного использования атомной энергии и продолжают дальнейшие изыскания в этой области.

Один из возможных путей использования атомной энергии в мирных целях — создание атомных двигателей. Атомные двигатели для транспортных силовых установок особенно нужны нашей стране с ее необъятными просторами, десятками тысяч километров автострад, морских, железнодорожных, воздушных и речных путей.

Нельзя забывать и о том, что атомному транспорту придется соперничать с газотурбовозами и газотурбоходами, с новейшей реактивной авиацией. Это означает, что сразу же, едва появившись на свет, он должен обладать чрезвычайно высоким техническим совершенством. Вот почему создание атомных двигателей требует особенно упорных исканий и большой изобретательности специалистов.

Пока еще невозможно дать точное описание транспортных средств века атомной энергии. Заглядывая в будущее, мы лишь пытаемся пройти несколько дальше по тропинкам атомного века, которые прокладываются специалистами, работающими над созданием атомного транспорта. И пусть читатель не сетует, если мы будем останавливаться на тех трудностях, которые необходимо преодолеть при создании портативных, легких и удобных в управлении атомных силовых установок.

В Советском Союзе накоплен значительный опыт эксплуатации бесперебойно работающей промышленной атомной электростанции. Теперь по плану шестой пятилетки проектируются и сооружаются более мощные атомные электростанции, разрабатываются новые атомные двигатели, строится атомный ледокол.

Когда обсуждается возможность создания нового типа двигателя, сразу же возникает вопрос: а чем же он лучше, выгоднее, удобнее тех, которыми мы уже располагаем?

Достоинством атомных установок на ядерном горючем прежде всего является то, что они позволят сэкономить огромное количество угля и нефти, запасы которых на Земле весьма ограничены.

Применяя ядерную энергию, мы устраним необходимость непроизводительного сжигания химических топлив в бесчисленных прожорливых топках, сможем использовать нефть и уголь путем их химической переработки для получения разнообразных продуктов, нужных человеку. Так, из одного синтетического каучука, для которого исходным сырьем служит нефть, изготавливаются продукты примерно 30 тысяч наименований. Недаром великий русский ученый Д. И. Менделеев говорил, что нефть — не топливо, сжигать можно и ассигнации.

Темпы роста потребления энергии на земном шаре колоссальны. Если человечество за всю свою историю использовало до середины XIX столетия около девяти условных единиц энергии, каждая из которых отвечает энергии, заключающейся в 33 млрд. т каменного угля, то за столетие, окончившееся в 1950 году, использовано пять таких единиц. В очередные 100 лет темп потребления энергии возрастет примерно в 2 раза. Вот почему известных на Земле запасов эффективных химических топлив, которые оцениваются не более чем в 100 условных единиц, хватит сравнительно ненадолго. Применение ядерного горючего обеспечит человечество энергией еще на несколько сот лет. Ведь даже разведанных в настоящее время запасов урана и тория хватит для получения 1700 условных единиц энергии. Каменный уголь, содержащий такое количество энергии, покрыл бы земную сушу слоем толщиной примерно в 8 см. Использование термоядерных реакций окончательно устраняет для человечества опасность «энергетического голода».

Другое важное преимущество ядерных двигателей состоит в том, что вес необходимого для них запаса горючего (по сравнению с обычным топливом) чрезвычайно мал. Это объясняется колоссальным содержанием энергии в сравнительно ничтожных количествах нового вида горючего. Достаточно сказать, что в единице его веса заключается по крайней мере в 2 млн. раз больше энергии, чем в единице веса известных химических топлив.

Это значит, что в килограмме ядерного горючего урана-235 содержится примерно такое же количество энергии, как в целом железнодорожном составе нефти.

Вот почему благодаря атомным двигателям невиданно расширяются возможности транспортных средств, которые становятся практически независимыми от своих баз. В самом деле, очень тяжелый (весом около 150 т) реактивный самолет, имеющий двигатели общим весом около 15 т, берет на борт примерно 60 т керосина, т. е. общий вес горючего и двигателей составляет 75 т. При этом самолет может пролететь без посадки бо-

лее 10 тыс. км. Если бы удалось разместить на таком самолете авиационный атомный двигатель весом 75 т, то самолет мог бы многократно облететь без посадки земной шар, ибо расход ядерного горючего составлял бы на каждый кругосветный рейс всего примерно 400 г. Таким образом, достоинства атомного двигателя весьма велики.

Атомная энергия для транспортных средств может быть использована в двух разных, но не исключających друг друга направлениях.

Одно из них — уже хорошо известный путь строительства мощных атомных электростанций, питающих электрической энергией силовые установки электровозов, речных электроходов, троллейбусов и т. п.

Развитие по первому пути предусматривает всемерное совершенствование атомных электростанций, передающих контактных сетей, тяговых подстанций, а также конструкций электрифицированных транспортных средств. Следует иметь в виду, что крупные, мощные атомные электростанции всегда могут быть более эффективными, чем силовые установки на ядерном горючем, имеющие по сравнению с ними небольшую мощность. Это объясняется тем, что крупные станции могут использовать менее концентрированное, а значит, и более дешевое ядерное горючее, в больших масштабах организовать воспроизводство горючего. Они более выгодны и в обслуживании. Поэтому использование относительно небольших транспортных силовых установок становится рациональным лишь в тех случаях, когда потери энергии, связанные с ростом дальности линий электропередач, приводят к уменьшению экономических преимуществ крупных станций, либо когда постройка таких линий просто невозможна.

Вторым направлением является создание независимых транспортных атомных силовых установок. Силовые установки этого второго направления и могут называться атомными или, точнее говоря, ядерными двигателями.

Ядерный двигатель — это машина, в которой энергия, сосредоточенная в ядрах атомов, освобождается управляемым способом и используется для приведения в движение других машин. Такой двигатель должен иметь реактор, работающий на делящемся материале — ядерном горючем. Природным ядерным горючим является уран-235. Уран-235 позволяет при определенных условиях осуществлять самоподдерживающийся, непрерывный, т. е. цепной, процесс деления ядер, который сопровождается выделением значительного количества энергии. Принципиально важно для энергетики то, что интенсивностью этого процесса можно управлять.

В земной коре содержится примерно столько же урана, сколько и меди. Выделенный из руды уран имеет удельный вес 18,95 и хорошо механически обрабатывается. Температура его

плавления  $1130^{\circ}\text{C}$ . Природный уран состоит из трех изотопов: урана-238 (99,282%), урана-235 (0,712%) и урана-234 (0,006%).

В ядерных транспортных силовых установках может найти применение не только природный делящийся материал — уран. Уже освоены способы получения хорошо делящегося изотопа плутония-239 и искусственно получаемого изотопа урана-233. Эти изотопы могут быть накоплены в ядерных реакторах при превращениях урана-238 в плутоний-239 и другого тяжелого природного элемента — тория-232 в уран-233. Запасы тория на Земле примерно вчетверо больше запасов урана. Большую роль в атомной транспортной энергетике будет также играть обогащенный уран, т. е. уран с увеличенным содержанием изотопа урана-235 по сравнению с его содержанием в природном уране. Современная техника располагает сложными заводскими установками для такого обогащения урана.

Ядро атома ядерного горючего при попадании в него нейтрона может распадаться на два одноименно заряженных осколка, которые, отталкиваясь друг от друга, разлетаются в разные стороны со скоростями в несколько тысяч километров в секунду. При столкновении с атомами среды, в которой происходит цепной процесс (атомами и молекулами самого урана), около 80% кинетической энергии осколков переходит в тепловую энергию среды, что и составляет основную часть теплотворной способности ядерного горючего.

Особенно важно, что в каждом акте деления ядра на один первичный нейтрон освобождается 2—3 свободных нейтрона и таким образом создается возможность получения саморазвивающейся или самоподдерживающейся реакции. Скорость этих свободных нейтронов составляет десятки тысяч километров в секунду (нейтроны с такими скоростями называются «быстрыми»). В случае же использования природного или слабо обогащенного урана цепной процесс может идти только на так называемых медленных нейтронах, т. е. нейтронах, движущихся со скоростями 2—2,5 км/сек. Это объясняется тем, что изотопы урана ведут себя по-разному при взаимодействии с нейтронами различных скоростей. Ядра урана-238 поглощают много быстрых нейтронов без деления; после этого они лишь через некоторое время превращаются в ядра плутония-239. Поэтому в природном уране, в котором содержится 99,282% урана-238, цепная реакция на быстрых нейтронах развиваться не может. Однако, замедлив нейтроны, можно изменить характер процесса и получить цепную реакцию на природном уране. Так как медленные нейтроны слабо захватываются ядрами урана-238, то они с большей вероятностью провзаимодействуют с ядрами урана-235. Поскольку при делении ядра освобождаются быстрые нейтроны, для уменьшения их скорости используются специальные материалы-замедлители (графит, обычная во-

да, тяжелая вода, бериллий, окись бериллия). Снижая скорость нейтронов, они должны в то же время как можно меньше их поглощать.

О замедляющих качествах этих материалов можно судить по минимальному количеству делящегося вещества, которое необходимо поместить в активной зоне реактора сферической формы (без отражателя) для получения цепной реакции. При использовании графита понадобится около 7 кг горючего в активной зоне диаметром 100 см; сфера из бериллия может иметь почти вдвое меньшие размеры и загружаться примерно втрое меньшим количеством горючего.

Однако графит намного дешевле и удобнее в конструктивном отношении, нежели бериллий и другие из названных замедлителей, поэтому он наиболее широко используется для крупных ядерных энергетических установок. В облегченных транспортабельных установках бериллию будет принадлежать большое будущее: он легок и стоек против коррозии. При этом придется преодолеть такие недостатки бериллия, как ядовитость его пыли и хрупкость.

Если удалось замедлить нейтрон до того, как он встретил на своем пути ядра урана-238, он будет блуждать до тех пор, пока попадет в ядро урана-235 и разделит его. Образовавшиеся 2—3 свободных нейтрона могут быть вновь замедлены и попадут в другие ядра урана-235, что приведет к новым делениям и освобождению новых вторичных нейтронов. Таким образом и может быть получена цепная реакция на природной смеси изотопов урана без дорогостоящего обогащения изотопом урана-235.

Регулируя размножение нейтронов, удается изменять или поддерживать заданную интенсивность цепного процесса. Однако цепная реакция становится возможной лишь при использовании определенного количества урана. Из очень маленького кусочка урана большинство вторичных нейтронов вылетит прежде, чем они успеют вызвать новые деления ядер. При увеличении размеров куска, имеющего, например, форму шара (его объем растет гораздо быстрее, чем поверхность), относительная потеря нейтронов через поверхность сокращается, и, наконец, при некотором критическом объеме ядерного горючего их остается достаточное количество для того, чтобы поддерживалась цепная реакция. Если активная зона окружена отражателем (слоем вещества, мало поглощающего и сильно рассеивающего нейтроны, способного возвращать часть из них обратно в реактор), критические размеры, а следовательно, и масса вещества, необходимые для поддержания цепной реакции, уменьшаются.

Например, цилиндрическая активная зона реактора с использованием природного урана и тяжелой воды в качестве замедлителя имеет примерно следующие критические размеры:



высоту 177 см, радиус 95 см и объем 5,19 м<sup>3</sup>. Если заключить активную зону в графитовую оболочку-отражатель толщиной 60 см, ее критические размеры значительно уменьшатся и будут составлять: высота 122,5 см, радиус 91,5 см, объем 3,12 м<sup>3</sup>.

Отметим, что вещество, используемое в качестве замедлителя, может применяться и для изготовления отражателя.

Распад и преобразование ядер в ходе цепных реакций сопровождаются испусканием жестких, т. е. обладающих большой проникающей способностью, гамма-лучей и нейтронов, весьма опасных для живых существ. Поэтому на установках, в которых идут цепные реакции, приходится применять особые экраны — «биологическую защиту», состоящую из бетона, свинца, чугуна и т. д., защищающих персонал от опасных облучений.

Допустимой дозой гамма-излучений при систематическом облучении всего тела принимается доза 0,05 рентгена за рабочий день. Считается недопустимым единовременное облучение, превышающее несколько десятков рентген.

Мощность дозы пропорциональна активности источника и обратно пропорциональна квадрату расстояния от источника. Незащищенный реактор, работающий с мощностью 1000 квт, создает за восьмичасовой рабочий день облучение, которое в 20 млрд. раз превышает допустимую дозу. Если защитный экран этого реактора выполнен из бетона, он должен иметь толщину порядка 2—2,5 м.

Большинство существующих реакторов работает на медленных нейтронах. Когда стержни или пластины из металлического урана погружаются в замедлитель, реактор называется гетерогенным. Он позволяет использовать природный (естественный) уран или уран, слабо обогащенный изотопом урана-235.

Гомогенный реактор, т. е. реактор, в котором ядерное горючее находится в однородной смеси с замедлителем, обычно требует большего обогащения расщепляющимся материалом.

На сильно обогащенном ядерном горючем может идти цепная реакция и на быстрых нейтронах. Гомогенные реакторы работают на различных однородных смесях, например на растворе одной из солей урана в воде или с использованием смеси тщательно размельченного и перемешанного с тяжелой водой урана, либо сплава урана с замедлителем.

Для управления реакторами используются стержни из бористой стали, карбида бора или кадмия — материалов, которые интенсивно захватывают и поглощают нейтроны, подобно тому как губка впитывает влагу.

В ходе управляемых цепных процессов в реакторе выделяется тепло. Чтобы отвести это тепло для его последующего использования, через реактор герметичными насосами прокачи-

вается теплоноситель (инертный газ — гелий, углекислый газ, дистиллированная вода, жидкие металлы — калий, натрий, ртуть, освобожденная от некоторых изотопов, захватывающих тепловые нейтроны, и т. п.). Нагретый теплоноситель затем направляется в теплообменник.

Теплообменник устроен подобно автомобильному радиатору, но в радиаторе протекающий между трубками холодный воздух охлаждает находящуюся в них воду, а в теплообменнике атомной установки протекающий теплоноситель отдает свое тепло, например воде, нагревает и испаряет ее, после чего возвращается в реактор. Перегретый водяной пар поступает в турбину. Турбина является конечным элементом двигателя. Отработавший в турбине пар проходит в конденсатор, где охлаждается и превращается в воду, которая вновь подается мощными насосами в теплообменник.

Таким образом, в общем виде ядерная энергетическая установка предполагает во многих случаях существование по крайней мере двух тепловых контуров — первичного теплоносителя и рабочего тела турбины.

Такая схема, принятая на первой атомной электростанции, пущенной в эксплуатацию в 1954 году, позволяет ограничиться установкой защиты от излучений только для реактора, теплообменника и тракта первичного теплоносителя. Этого оказывается достаточно потому, что на турбину поступает пар, которому не пришлось побывать в атомном реакторе и который поэтому не радиоактивен.

Если бы на турбоагрегат подавался пар, образовавшийся непосредственно из воды, прошедшей через реактор, то содержащиеся в паре примеси, ставшие радиоактивными, заражали бы те элементы системы и турбоагрегата, с которыми соприкасается пар. Таким образом, сам агрегат становился бы радиоактивным, что привело бы к необходимости окружать и его биологической защитой.

При этом затрудняется и устранение дефектов, выявленных в ходе эксплуатации таких турбогенераторов, ставших радиоактивными; ремонт турбины обычными средствами становится возможным лишь после дезактивации загрязненных частей.

Целесообразно применение теплоносителей, которые подобно гелию почти не становятся радиоактивными, даже пройдя через реактор. Это, разумеется, позволяет упростить станцию и обойтись одним контуром, а значит, использовать наиболее экономичную схему установки.

Мы остановились лишь на самой общей схеме одной из атомных силовых установок. Для транспортных средств могут быть использованы самые различные их варианты. Познакомимся же с проектами атомных двигателей, над созданием которых трудятся ученые и инженеры.

## Через девять морей

По бескрайним ледяным просторам Арктики движется караван судов Северного флота. Он проходит по одному из участков великого Северного морского пути — проливу Вилькицкого. Ледокол-флагман, ведущий караван, наступает на торосистое поле. В пене и фонтанах морской воды расступаются, давая ему дорогу, побежденные льды.

Почему же в этом году навигация началась так рано? Ведь весенние ветры еще не успели отогнать лед от побережья. Кто осмелился повести этот караван?

Все это сможет произойти, когда по решению XX съезда партии в шестой пятилетке выйдет в плавание атомный ледокол «Ленин», имеющий водоизмещение в 16 тыс. т и скорость на чистой воде более 30 км в час (рис. 1).

Засверкают белизной надстройки ледокола и катеры на палубе. На специальной площадке расположится вертолет, предназначенный для воздушной ледовой разведки.

Над ледоколом не будет видно дыма. И трудно поверить, что там, в глубине корабля, работает машина мощностью гребных электродвигателей около 30 тыс. квт, более 40 тыс. лошадиных сил! Паровоз с такой мощностью мог бы двигать состав из 660 вагонов длиной около 10 км со скоростью 50 км/час!

Длина корпуса ледокола 134 м, максимальная ширина 27,6 м, высота борта 16 м. Осадка корабля 9,2 м выбрана из условий плавания по великому Северному морскому пути, отдельные участки которого мелководны. Расчеты показали, что, несмотря на большие размеры судна, на нем удалось бы разместить обычный двигатель мощностью не более чем в 30 тыс. л. с. с запасом нефтяного горючего лишь на 16 суток.

Для экипажа на ледоколе созданы максимальные удобства: комфортабельные одноместные и двухместные каюты, обеспеченные кондиционированным воздухом, просторная кают-компания и салоны, читальня, медицинские кабинеты и т. д.

В одном из отсеков ледокола расположится «энергетическое сердце» корабля. Здесь можно будет увидеть уже знакомую по первой в мире советской атомной электростанции массивную плиту, закрывающую атомный реактор. Тепловая мощность реактора примерно такая же, какая должна быть у электростанции большого города. Этому реактору приходится работать в более тяжелых условиях по сравнению с любым из его «сухопутных» собратьев. Ведь корпус ледокола, сражающегося со льдами, испытывает сильные толчки.

В другом помещении установлены теплообменники. Из них перегретый и осушенный пар поступает к турбинам, вращающим электрогенераторы постоянного тока. Главные генераторы пущены в производство на Харьковском электромеханиче-

ском заводе. Они разместятся в двух помещениях средней части ледокола.

На ледоколе будет установлено три гребных электродвигателя постоянного тока напряжением 1200 вольт, сконструированных на ленинградском заводе «Электросила». Двигатель для

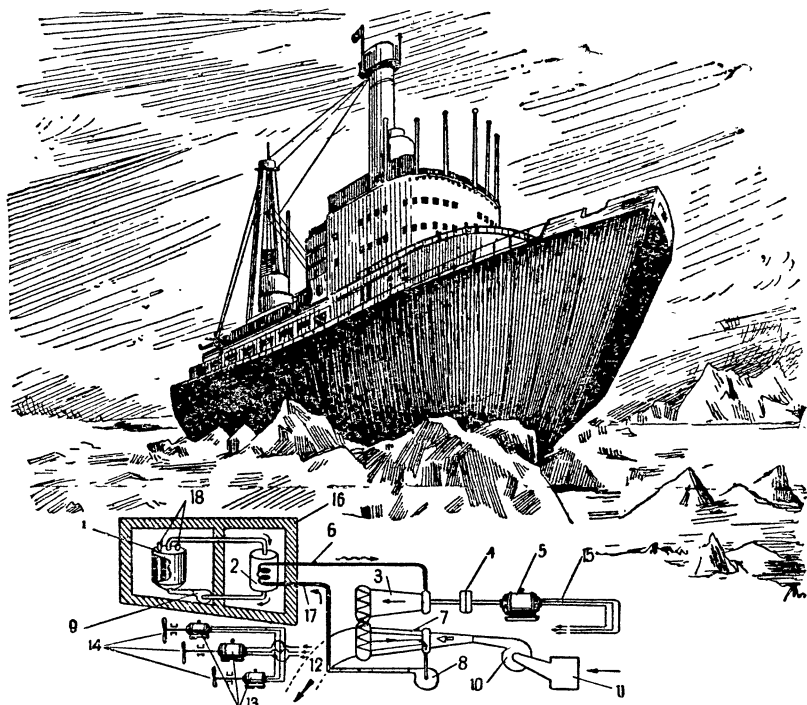


Рис. 1. Ледокол с атомным двигателем. Внизу—возможная схема атомной силовой установки ледокола:

1—реактор, 2—теплообменники; 3—турбина; 4—редуктор; 5—электрогенератор; 6—магистраль теплообменник—турбина; 7—конденсатор (охлаждается забортной водой); 8—насос, возвращающий конденсат в теплообменник; 9—насос, прокачивающий теплоноситель через реактор; 10—насос подачи забортной воды в конденсатор; 11—заборник воды; 12—канал для сброса забортной воды; 13—гребные электродвигатели; 14—гребные винты; 15—электрокабели; 16—биологическая защита; 17—магистраль конденсатор—теплообменник; 18—регулирующие и аварийные стержни.

привода среднего вала будет иметь мощность 19 600 л. с., два бортовых — по 9800 л. с. О величине среднего электродвигателя можно судить по следующим примерным данным: вес 180 т, длина 7,3 м, ширина станины 4,4 м.

Следует отметить, что столь мощные судовые электродвигатели в нашей стране создаются впервые. Для увеличения ме-

ханической прочности и надежности их валы выполняются из специальных легированных сталей. Электрическая прочность обмоток повышается путем применения для их изоляции стеклотоленты и миконита — слоистого изоляционного материала из слюды и связующих веществ. Каждая из машин имеет два якоря, что позволило уменьшить ее диаметр и применить два коллектора. Последнее создало благоприятные условия для распределения тока и обеспечило увеличение живучести двигателя. В случае, если выйдет из строя один из якорей, второй будет продолжать работу и вращать гребной вал.

Электрический привод гребных винтов должен обеспечить работу двигателей на различной мощности, четкую и быструю смену режимов, более свободное маневрирование ледокола.

На корабле размещаются также две вспомогательные электростанции, каждая из которых будет иметь мощность 3 тыс. *квт* и вырабатывать переменный трехфазный ток напряжением 380 вольт. Предусматривается также и аварийная электростанция. Электроэнергия предназначается для привода более 500 электродвигателей, обслуживающих различные нужды ледокола. На корабле будет уложено свыше 300 км электрокабеля.

Экипаж ледокола надежно защищен от радиоактивных излучений из реактора экраном из стали, воды и специального бетона.

Можно предположить, что реактор атомного ледокола даже при непрерывной работе машин на полную мощность будет использовать ежедневно примерно 200 г урана-235, т. е. всего 70 кг в год, а ведь если бы машина корабля с двигателем той же мощности использовала уголь, его понадобилось бы в 2,5 млн. раз больше, чем урана-235. Это значит, что пришлось бы потратить за год около 160 тыс. т угля, т. е. в 10 раз больше веса самого корабля. Вот почему только атомный ледокол сможет плавать без пополнения топливом по 2—3 года и больше.

Вспомним, что крупные ледоколы при водоизмещении в 11 тыс. т и мощности двигателя в 10 тыс. л. с. могут находиться в непрерывном плавании не более месяца, несмотря на то, что в бункеры такого корабля загружается около 3 тыс. т топлива. Ледокол расходует в сутки 100 т угля или 50—60 т нефти. При скорости хода 20 км в час это составляет тонну угля или полтонны нефти на каждые 5 км.

К достоинствам нового ледокола, обеспечивающим его высокие качества в борьбе со льдами, относится невиданная до сих пор энерговооруженность, т. е. отношение мощности гребных двигателей к водоизмещению. На наиболее современных электродизельных ледоколах с автономностью плавания всего 40 суток она не превышает двух. Энерговооруженность атомного ледокола — отношение мощности машинной установки к во-

доизмещению — более 2,7. Управление машинной установкой будет сосредоточено на посту энергетики. Отсюда операторы — «кочегары и машинисты» атомного ледокола — установят с помощью дистанционных электроприводов регулирующих стержней любой из необходимых тепловых режимов реактора. Далее этот режим может поддерживаться автоматически.

Механизмами корабля можно будет управлять с пультов в ходовой рубке. Здесь разместятся разнообразнейшие гидроакустические и другие навигационные установки. Большая маневренность, необходимая в ледовых условиях, обеспечивается не передачей приказаний в машинное отделение, а непосредственным изменением режимов работы электродвигателей.

Коллектив конструкторов провел огромную экспериментальную работу для определения наиболее выгоднейших конструктивных элементов ледокола. Испытания его модели в бассейне позволили выбрать такие обводы корпуса, которые обеспечат его успешную работу в ледовых условиях. Для наиболее правильного размещения механизмов силовой установки, оборудования, трубопроводов, кабелей были изготовлены в натуральную величину макеты помещений для вспомогательных механизмов, турбогенераторов, гребных электродвигателей и т. д.

Нет ничего случайного в том, что именно в Советском Союзе решено построить ледокол с атомной силовой установкой. Более чем на 11 тыс. км, через девять морей, протянулась вдоль берегов Советского Союза кратчайшая водная трасса из Архангельска во Владивосток, к берегам Кореи и Китая — великий Северный морской путь. Именно атомный ледокол, постройка которого успешно ведется, позволит полнее использовать этот важный путь для нужд народного хозяйства. И если сейчас постоянная угроза остаться без топлива в ледовой обстановке определяет крайнюю осмотрительность капитанов при его расходовании, то использование ядерного горючего позволит изменить тактику проводки кораблей, смело выбирать наиболее удобный путь.

С рождением надежного атомного двигателя для ледокола будет решена задача создания одного из атомных двигателей для флота.

Не следует забывать и о том, что атомные энергетические установки позволят в будущем использовать такие корабли в качестве плавающих электростанций. Ведь в настоящее время в Советской Сибири разворачиваются грандиозные стройки. Поднимаясь по сибирским рекам, впадающим в Ледовитый океан, атомные суда смогут снабжать электроэнергией и теплом строительные площадки, давать людям свет и тепло в долгие полярные ночи. А когда строители создадут свою энергетическую базу, корабль сможет вновь отправиться в плавание.

Творческие замыслы конструкторов атомного ледокола успешно воплощаются в металле. Судостроители вели сборку ледокола «пирамидальным» способом: на стапель подавались секции ледокола весом 60—65 т каждая, сборка производилась начиная от центра корабля. Широко применялась автоматическая и полуавтоматическая сварка. Новый способ позволяет сварщикам разместиться с внешней стороны переборок, вести работы вне замкнутых стальных конструкций. Создаются условия

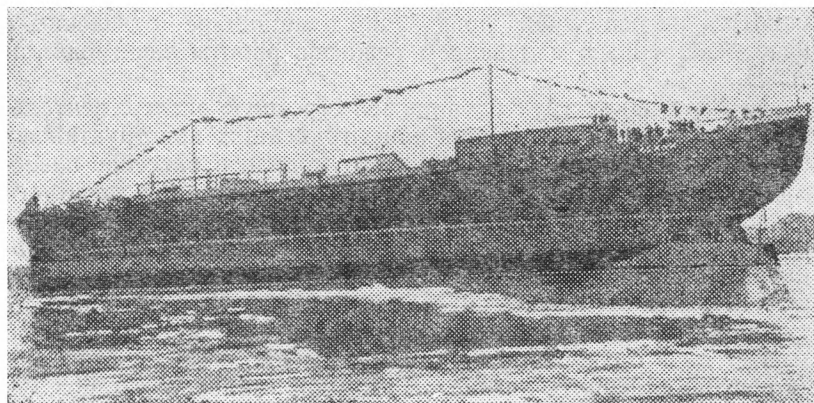


Рис. 2 Атомный ледокол «Ленин» на плаву.

для свободной усадки конструкций, что обеспечивает снятие внутренних напряжений, уменьшение деформаций корпуса, увеличение его прочности. Сотни других предприятий отечественной промышленности, большие коллективы ученых, конструкторов, инженеров, рабочих и служащих участвуют в создании этого корабля.

5 декабря 1957 года стальной гигант — атомный ледокол «Ленин» был спущен на воду и вышел в устье Невы (рис. 2). На флагштоке корабля был поднят флаг Советского Союза. Теперь на судне ведутся достроечные и отделочные работы.

Завершен первый этап постройки этого сложнейшего технического сооружения, еще раз свидетельствующего о могучем развитии отечественной науки и техники, о героическом труде советского народа, которому ныне по плечу воплощение в жизнь самых дерзновенных замыслов.

Пройдет несколько месяцев, и первый атомный ледокол будет достроен, а потом такие ледоколы поведут караваны грузовых и пассажирских атомоходов. Это позволит за счет отказа от громоздких и тяжелых запасов обычного топлива выиграть в весе, повысить прочность корпусов, увеличить мощность двигателей.

Сочетание атомных ледоколов с караванами таких кораблей намного увеличит ходовое время и оборачиваемость судов в Арктике, расширит районы арктического плавания.

Установка двигателя, напоминающего атомную электростанцию, на судах большого тоннажа не вызывает принципиальных затруднений. Однако очень желательно уменьшить габариты силовой установки, повысить ее эффективность, уменьшить вес. Ведь кораблям с новыми двигателями предстоит конкурировать с современными дизель-электроходами и газотурбоходами. Но этим соперникам атомных двигателей придется потесниться — слишком велики достоинства нового вида горючего.

Танкер, близкий по размерам к известному дизель-электроходу «Победа», для того чтобы пройти расстояние из Одессы во Владивосток и обратно, т. е. около 36 тыс. км, должен израсходовать более 6,5 тыс. т жидкого топлива. Если бы на этом корабле удалось установить атомный двигатель, пусть даже весом в 1000 т, то на весь путь понадобилось бы всего примерно 5 кг ядерного горючего. Все остальное место в трюмах можно было бы занять полезным грузом.

Для работы машины самого крупного океанского корабля с тяговыми электродвигателями в 200 тыс. л. с. понадобится не более 750 г ядерного горючего в сутки. Вот почему можно рассчитывать на увеличение в 20—30 раз дальности и продолжительности плавания атомных кораблей.

Работы, проведенные в Академии наук СССР под руководством члена-корреспондента АН СССР В. В. Звонкова, показали, что атомная силовая установка танкера мощностью в 15 тыс. л. с. займет не больше площади, чем современные судовые машины.

Это значит, что, установив атомный двигатель на танкере, можно за счет отсутствия запасов химического топлива увеличить примерно на 15—20% провозную способность судна. На каждые пять рейсов один дополнительный рейс будет совершен даром! Вот чего уже теперь можно добиться, построив танкер с атомным двигателем.

Перспективной для двигателя корабля будет, по всей вероятности, установка с «кипящим» реактором, который мы опишем, когда остановимся на устройстве атомовозов. Возможно, в «кипящем» реакторе для корабля ядерное горючее будет находиться в виде взвеси порошка окиси урана в замедлителе—обычной или тяжелой воде.

Интересны также проекты атомных судовых установок для кораблей, в которых предполагается применить газотурбинный двигатель с одним замкнутым контуром. В этом контуре в качестве теплоносителя и одновременно рабочего тела должен использоваться газ гелий.

В Англии начато проектирование атомного танкера. Ряд



других стран, например Норвегия и Япония, наметили программы создания судов с атомными силовыми установками.

Атомный двигатель (по сравнению с двигателем, работающим на угле) позволяет отказаться от многих механизмов, обеспечивающих подачу горючего на ходу корабля и очистку топок от золы и шлака. Открывается самая широкая дорога для автоматизации силовых установок кораблей, что дает возможность почти вдвое сократить численность экипажа. В результате при почти равных затратах на постройку «серийных» атомных и обычных судов одинаковой грузоподъемности стоимость перевозок на атомоходе может быть уменьшена наполовину. Уже со скорости 20 км в час и грузоподъемности 10 тыс. т такие корабли-атоמוходы становятся экономичнее турбоходов, а с дальнейшим увеличением скорости и водоизмещения экономичность их все более возрастает.

Проведенными расчетами установлена целесообразность проектирования атомного двигателя для сухогрузных судов и танкеров водоизмещением в 10 и 20 тыс. т.

Институтом Академии наук была выполнена оценка экономических возможностей атомного танкера водоизмещением 43 640 т, имеющего чистую грузоподъемность 32 тыс. т, длину 195 м и ширину 28 м. В одном из вариантов реактор танкера должен иметь мощность до 80 тыс. квт. Его активная зона высотой 3 м и диаметром 3,2 м заполняется 100 т графита, пронизанного 260 рабочими каналами. При полуторпроцентном обогащении ураном-235 полная загрузка реактора ядерным горючим сравнительно невелика, она должна составлять примерно 46 кг урана-235. Двигатель мощностью 32 700 л. с. должен сообщить кораблю скорость около 38 км в час. Расчет показал, что при этих данных перевозка одной тонны груза на атомоходе обойдется примерно вдвое дешевле, чем на таком же корабле, использующем химическое топливо.

Была проведена оценка эффективности применения атомных двигателей и для речного флота. Поскольку речные грузовые теплоходы меньше, то оказалось, что при грузоподъемности в 4,5 тыс. т перевозки на атомоходах обойдутся пока что лишь на 7% дешевле. Мы говорим «пока что», так как совсем недавно родившаяся ядерная техника мужает и совершенствуется: упрощается и удешевляется производство реакторов и ядерного горючего, растет научный и технический уровень атомной энергетики. Весьма важно и то, что использование ядерного горючего позволит разгрузить железнодорожный транспорт от подвоза сотен составов нефти и угля к портам.

«Каковы же все-таки перспективы и возможные темпы дальнейшего развития силовых установок для кораблей?» — спросит читатель.

Обратимся к фактам. В 1916 году в мировом флоте было примерно в 6 раз больше судов, работающих на угле, чем на

нефти. Однако применение нефти позволило уменьшить запасы топлива на корабле в 2 раза, упростило обслуживание и снабжение флота. Прошло четверть века, и на флоте стало в 6 раз больше кораблей, использующих нефть.

Можно не сомневаться в том, что ядерное горючее, из килограмма которого можно получить примерно столько же энергии, сколько при сжигании 2 тыс. т нефти, обеспечит стремительное развитие атомных двигателей для флота.

### Восемьдесят тысяч километров под водой

Кто из нас не узлекался необыкновенными, романтическими путешествиями свободолюбивого капитана Немо, его легендарным подводным «Наутилусом», описанным в 1870 году гениальным фантастом Жюлем Верном в романе «20 тысяч лье под водой»? А ведь «Наутилус», который мог плавать на воде и под водой, действительно существовал. Он был построен в 1801 году Робертом Фультоном. Корпус лодки длиной 6,5 м и шириной около 2 м имел в сечении форму эллипсоида и был изготовлен из плотно пригнанных просмоленных и проконопаченных досок. Для передвижения по воде использовался парус, а под водой — винт, который вращался вручную. Так примитивно выглядела одна из первых подводных лодок. С тех пор многого добились специалисты, совершенствуя подводные корабли.

Современная подводная лодка «открытого моря» — это судно с надводным водоизмещением свыше 1400 т. Дизельные двигатели мощностью 8 тыс. л. с. сообщают ей скорость при плавании на поверхности воды 40—50 км в час, дальность надводного плавания «экономическим ходом» достигает 36 тыс. км, время автономного плавания — примерно 80 суток, а глубина возможного погружения — около 250 м.

Однако для движения лодки под водой, где отсутствует кислород, необходимый для двигателей внутреннего сгорания, используются электродвигатели, питаемые от аккумуляторных батарей и развивающие мощность лишь в 3—4 тыс. л. с. Поэтому с момента погружения скорость хода лодки не превышает 20—25 км в час, а время пребывания корабля под водой — не более 200 часов. Дальность плавания под водой — около 200 км. Оказывается, что, опустившись под воду, лодка сильно проигрывает в скорости хода и дальности плавания.

Лишь атомный двигатель может сделать лодку в полном смысле подводной и автономной. Ведь для того, чтобы протекала цепная реакция, кислород не нужен, а потребные запасы топлива ничтожны. Обеспечение на продолжительное время экипажа кислородом — задача вполне разрешимая. Что касается запасов провизии, то на одного человека в сутки ее доста-

точно 2,5 кг, а необходимая вода может быть получена на специальной опреснительной установке.

Атомный двигатель уже используется в подводном флоте. В частности, одна из подводных лодок США с таким двигателем совершила первое плавание в 1955 году. Ее надводное водоизмещение 2900 т и подводное — 4 тыс. т. Экипаж лодки — около 100 человек.

Длина корпуса лодки около 100 м, ширина примерно 9 м. В месте расположения атомного реактора корпус утолщен. Мощность двигателя около 14 тыс. л. с. Это позволяет достигать скорости хода лодки под водой 25—30 км в час. Лодка подолгу находилась под водой, многократно всплывала и погружалась.

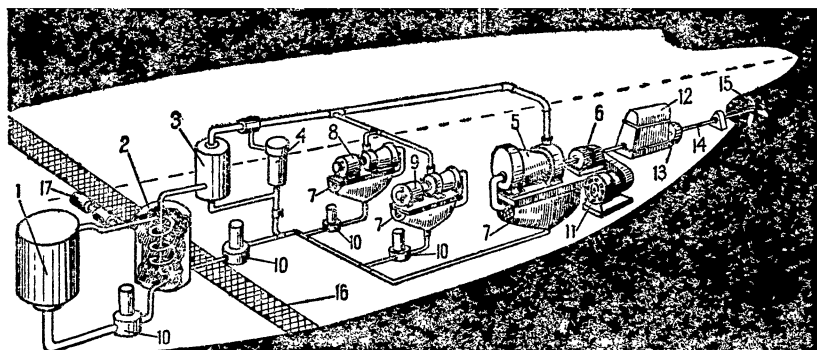


Рис. 3. Схема силовой установки подводной лодки с атомным двигателем: 1—реактор; 2—парогенератор; 3—сепаратор; 4—насос, возвращающий воду в контур парогенератора; 5—турбина; 6—редуктор; 7—конденсаторы; 8—турбогенератор тока для электродвигателей насосов; 9—турбогенератор тока для вспомогательных нужд; 10—герметизированные насосы; 11—резервный электродвигатель; 12—резервный дизель-мотор; 13—муфта сцепления; 14—гребной вал; 15—гребной винт; 16—биологическая защита; 17—устройство, поддерживающее давление в контуре.

В качестве запасных двигателей на ней имеются дизели для плавания на поверхности и электромоторы, питающиеся от аккумуляторных батарей для плавания под водой, т. е. двигателя, служащие основными на обычных подводных лодках. Ее атомная силовая установка (рис. 3) состоит из реактора вертикального типа, заключенного в оболочку из углеродистой стали, с использованием в качестве замедлителя и первичного теплоносителя обычной воды под высоким давлением. На лодке установлены две турбины, которые через редукторы приводят во вращение гребные винты. Каналы в реакторе сделаны из циркония — металла, который поглощает нейтроны в 16 раз меньше, чем нержавеющая сталь, стоек против коррозии, ковков и хорошо проводит тепло. Перечисленные достоинства циркония

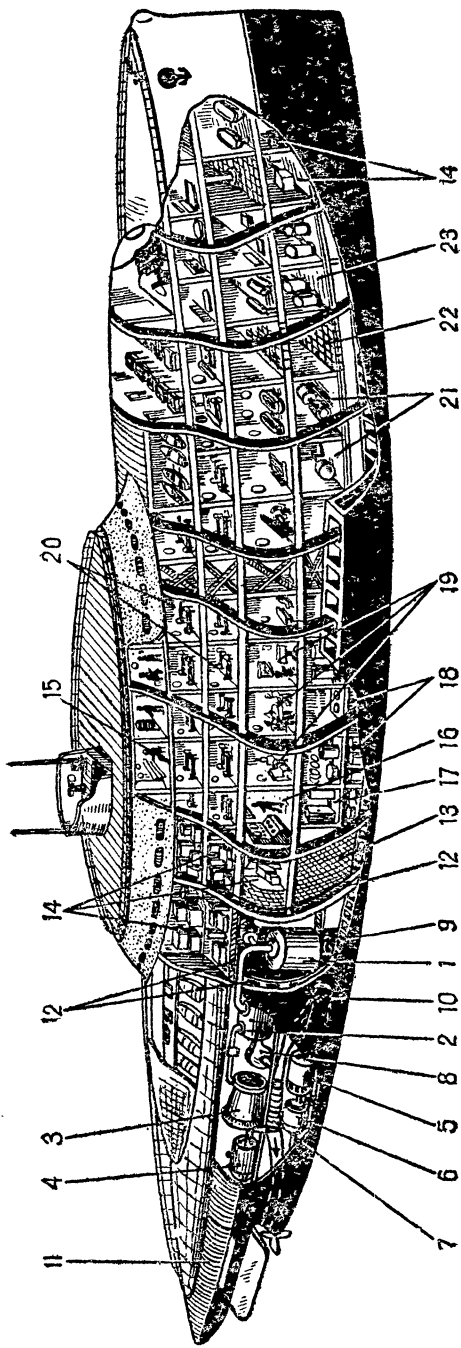


Рис. 4. Грузопассажирская подводная лодка с атомным двигателем.

1—реактор; 2—теплообменник; 3—турбина; 4—электрогенератор; 5—электродвигатель; 6—редуктор; 7—конденсатор; 8—конденсатный насос; 9—насос для подачи жидкого металла; 10—заборник воды для конденсатора; 11—румпельное отделение; 12—защитные экраны; 13—балластные цистерны; 14—грузовые отсеки; 15—грузовые отсеки; 16—задний пост управления; 17—рефрижераторы; 18—провизионные погреба; 19—каюты экипажа; 20—пассажирские каюты; 21—вентиляционные установки; 22—носовые дифферентные цистерны; 23—опреснительные установки.

делают его весьма перспективным материалом в реакторостроении. Для питания током многих электродвигателей, вращающих насосы, смонтированы дополнительные турбогенераторы. Другие вспомогательные турбогенераторы дают ток для многочисленных механизмов подводного корабля.

Защита экипажа от излучений из реактора обеспечивается железными плитами, а также баками с морской водой, расположенными по торцам отделения реактора и теплообменников. В отсеках лодки установлены дозиметры, регистрирующие уровень радиоактивности. Специальные приборы реагируют на повреждения в теплообменнике, предупреждают о проникновении радиосактивного теплоносителя из первичного контура в паровую систему, не имеющую биологической защиты.

Индикаторы радиоактивности, соединенные с автоматическими приборами, устраняют возможность спуска радиоактивной воды при стоянках в доках и других местах, где это может создать опасность для людей.

Следует отметить, что силовая установка лодки еще весьма громоздка. Она занимает около половины полезного объема корабля, что затрудняет размещение необходимого оборудования. Ввиду больших размеров такая лодка по управляемости и маневренности уступает обычным подводным лодкам.

Подводные лодки могли бы стать и наверняка станут удобным транспортным средством, особенно в условиях подледного плавания в арктических и антарктических морях. Ведь подводной лодке не нужно затрачивать колоссальных мощностей на борьбу со льдами.

Попытаемся представить себе такой транспортный подводный корабль будущего, круглый год курсирующий в Северном Ледовитом океане (рис. 4).

Вот он плывет под многометровой толщей многолетнего льда. Сотни пассажиров, разместившихся в удобных комфортабельных каютах, не чувствуют утомительной качки: ведь море подо льдом спокойно. Движению подводного корабля не мешают штормовые ветры, ему не грозит и обледенение: здесь температура воды всегда немного выше нуля.

Пассажирскому подводному кораблю нет необходимости опускаться на очень большую глубину. Поэтому совсем не нужно особенно усиливать, а следовательно, и утяжелять его двойной корпус, что сильно снижает транспортные возможности военных подводных лодок.

Тысячи километров предстоит пройти нашему кораблю, но если понадобится, он сможет всплыть на поверхность, пробурив лед снизу или, наконец, разрезав его мощными гидромониторами.

Далеко вперед сквозь зеленоватую толщу воды светят прожекторы. Специальные гидроакустические и радиолокационные приборы ощупывают дно и ледяную крышу океана, рису-

ют их причудливые границы на непрерывной ленте. Между этими двумя линиями вычерчивается путь подводного корабля, ведомого автоматическим рулевым.

Прибыв в один из полярных портов, лодка всплывает в утепленном доке. И пока она разгрузится, пассажиры успеют осмотреть еще один новый город, а потом отправятся в путь. Впрочем, если понадобится, подводный корабль с атомным двигателем сможет пройти из Архангельска во Владивосток, ни разу не всплывая на поверхность. Он может обогнуть под водой и земной шар.

Трудно представить себе все те возможности, которые откроются, когда атомный двигатель будет широко применен для гражданского подводного флота. Атомные подводные лодки позволят широко развить подводный лов рыбы, помогут найти и поднять затонувшие корабли, позволят организовать разведку морского дна, помогут ученым овладеть тайнами океанов.

Возможно, что в будущем наряду с атомными ледоколами, обеспечивающими проводку судов большого тоннажа, подводные лодки помогут разрешить задачу круглогодичной транспортировки пассажиров и грузов в полярных морях.

### **Локомотив пустынь, дальних дорог и горных перевалов**

Паровоз, который произвел революцию на транспорте и уже верно прослужил человечеству больше 120 лет, теперь вытесняется несравненно более экономичными и мощными локомотивами — тепловозами, газотурбовозами и электровозами. Однако в будущем эти машины на самых протяженных магистралях, возможно, тоже уступят свое место более совершенному виду транспорта.

Проекты атомовозов создаются с учетом ближайших перспектив применения этого вида двигательных установок.

В частности, на кафедре локомотивостроения МВТУ разработан проект атомного грузового локомотива — паротурбовоза с электрической передачей (рис. 5). Его мощность — 5 500 л. с. (примерно такую же мощность имеет один из самых мощных электровозов Н-8). Он рассчитан на колею обычной ширины — 1 м 524 мм.

Локомотив должен состоять из двух секций общей длиной 50 м. В первой из секций размещены реактор и теплообменники (парогенераторы), а во второй — турбина и конденсатор. Вся силовая установка весит примерно 200 т, общий вес локомотива — 430 т. У локомотива 12 ведущих осей, каждая из которых вращается электродвигателем мощностью около 360 квт.

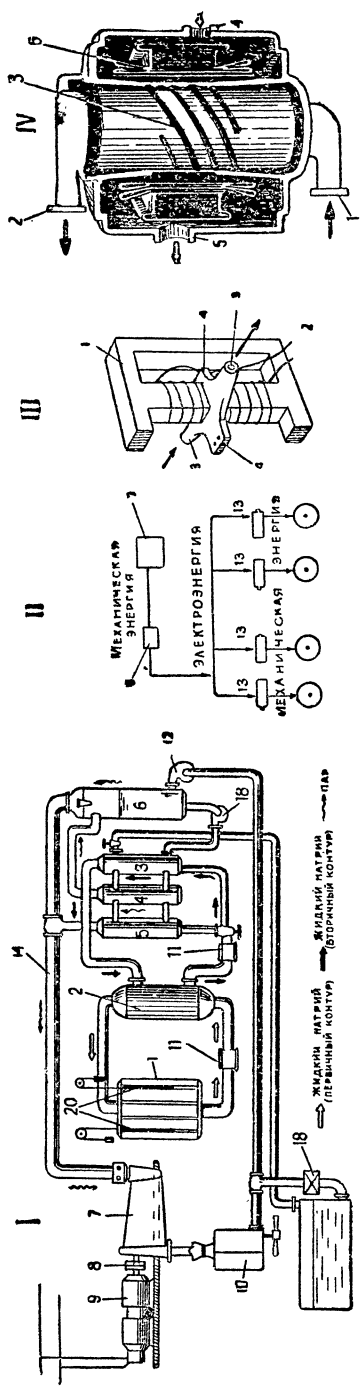
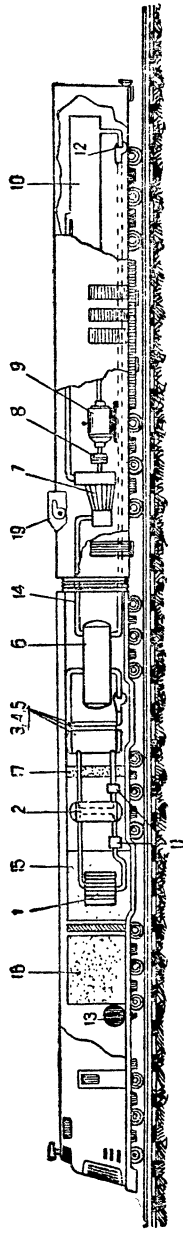


Рис. 5. Локомотив с атомным двигателем, спроектированный в МВТУ имени Н. Э. Баумана. Вверху — общая схема локомотива. Внизу: 1—схема силовой установки и 11—схема передачи энергии к колесам локомотива; 1—гетерогенный уран-графитовый реактор; 2—теплообменник; 3, 4, 5—водоподогреватель, испаритель, перегреватель; 6—пароаккумулятор; 7—паровая турбина; 8—редуктор; 9—электрогенератор; 10—конденсатор; 11—электромагнитные насосы для перекачки жидкого натрия; 12—циркуляционный насос для конденсатора; 13—один из тяговых электродвигателей; 14—магистраль перегретого пара; 15—биологическая защита вокруг реактора; 16—усиленная биологическая защита кабины машиниста; 17—экран между теплообменником и котельной установкой; 18—центробежные насосы; 19—вентилятор; 20—управляющий и аварийный стержни. 111—схема устройства электромагнитного насоса, работающего на постоянном токе: 1—электромагнит; 2—питание электромагнита; 3—труба; 4—токоподводящие шины. 1V—разрез электромагнитного насоса индукционного типа; 5—выход металла; 2—выход воздуха из кожуха статора; 3—спиральный направляющий аппарат; 4—вход воздуха в кожух статора; 5—обмотка статора.

Стремясь создать наиболее экономичную атомную установку, авторы остановились на уран-графитовом реакторе. В качестве топлива, как и на первой атомной электростанции, используется уран, обогащенный до 5% ураном-235. Цилиндрическая активная зона реактора имеет высоту 2 м и диаметр 1,5 м. Здесь и размещается 1,5 т урана и почти 7 т замедлителя.

Эта зона окружена графитовым отражателем, а весь реактор закрыт экраном из слоев свинца и железобетона. Внутри графитовых блоков реактора проходят трубки, в которых размещаются металлические урановые стержни. В зазоре между трубками и стержнями протекает теплоноситель — жидкий натрий. С его помощью тепло и отводится из активной зоны. Давление в реакторе около 3,5 атмосферы. Расчетная температура в центре реактора должна достигать 500°. Натрий, нагретый до 450°, специальными насосами направляется в первичный теплообменник, одетый слоем бетона толщиной 80 см. Здесь он отдает свое тепло еще одному промежуточному теплоносителю, в качестве которого также применяется жидкий натрий. Радиоактивность вторичного теплоносителя невелика, поэтому его можно подать в парогенератор, не опасаясь того, что он будет заражен радиоактивностью.

Из парогенератора перегретый водяной пар при температуре 400° и давлении 80 атмосфер поступает на турбину, которая вращает несколько электрогенераторов. От генератора ток подается на электродвигатели, связанные с осями локомотива. За турбиной пар в конденсаторе превращается в воду, которая вновь возвращается в парогенератор.

Несмотря на использование водяного пара, атомный локомотив, не заправляясь водой, может проходить расстояние в тысячу километров.

Выше мы отмечали, что жидкий натрий прокачивается в магистралях силовой установки локомотива специальными насосами. Для прокачки жидких металлов сейчас все больше применяются насосы нового типа — электромагнитные. Целесообразность использования этих насосов обусловливается тем, что они не имеют вращающихся частей, способны работать при высокой температуре перекачиваемого металла, создавать необходимый напор и абсолютно герметичны. Последнее особенно важно для атомных силовых установок, где просачивание ничтожных количеств радиоактивных веществ опасно.

Простейший насос такого типа, работающий на постоянном токе, состоит из плоской коробки, к которой припаяны трубы циркуляционной системы. Коробка расположена поперек равномерного магнитного поля, кроме того, к ней с двух сторон привариваются электроды. Чтобы избежать короткого замыкания через прокачиваемый металл, коробка изготавливается из сплава, которому свойственно высокое электрическое сопротивление. В зависимости от направления тока и расположения по-



люсов магнита жидкий металл будет двигаться в том или ином направлении по трубам, подведенным к коробке. Направление перемещения металла можно установить по известному «правилу левой руки». Такой насос может обеспечить подачу жидкого металла при напоре порядка четырех атмосфер и к.п.д., равном примерно 50%.

Другой тип насосов — индукционный — использует переменный ток. Представим себе, что вместо якоря электродвигателя внутри статора размещена неподвижная направляющая винтовая поверхность, заключенная в трубку, заполненную жидким металлом. Вращающееся магнитное поле статора, взаимодействуя с индукционными токами в металле, заставит металл вращаться. Перемещаясь по винтовой поверхности, он будет поступать в систему. Известны такие насосы, прокачивающие до 20 л металла в секунду при напоре около 8 атмосфер и сравнительно высоком к.п.д. — до 80%.

Для измерения расходов электропроводящих жидкостей, в том числе и для расплавленных металлов, широко используются электромагнитные расходомеры. Они представляют собой как бы обращенный насос. Соответственно скорости металла, протекающего через плоскую коробку, размещенную в магнитном поле, на ее шинах создается электродвижущая сила, которая подводится к заранее протарированному прибору, показывающему расход металла.

Такой прибор, соединенный через усилитель и реле с подвижной магистральной, может автоматически регулировать расход жидкости.

Высокие требования предъявляются и к трубопроводам ядерных силовых установок, особенно к тем, по которым протекают радиоактивные жидкости. Как и насосы, такие трубопроводы должны быть абсолютно герметичны. Разрешается использовать только толстостенные цельнотянутые трубы. Материал, из которого они изготовлены (обычно нержавеющая сталь), должен обладать высокими антикоррозийными свойствами, не вступать в химическое взаимодействие с протекающими веществами.

Стенки труб должны хорошо противостоять размыванию, так как протекающие жидкости могут переносить смытые частицы в такие места, где скорости течения меньше (клапаны, фильтры и т. п.). Здесь частицы выпадут и могут вызвать закупорку системы. Швы на стыках магистралей свариваются в среде инертного газа и проверяются особенно тщательно. Желательно также, чтобы система имела минимальное количество разъемных соединений. Когда для удобства эксплуатации такие соединения необходимы, они должны быть выполнены надежным образом.

Защитный экран локомотива особенно усилен в передней части атомовоза, где расположена кабина машиниста. Здесь

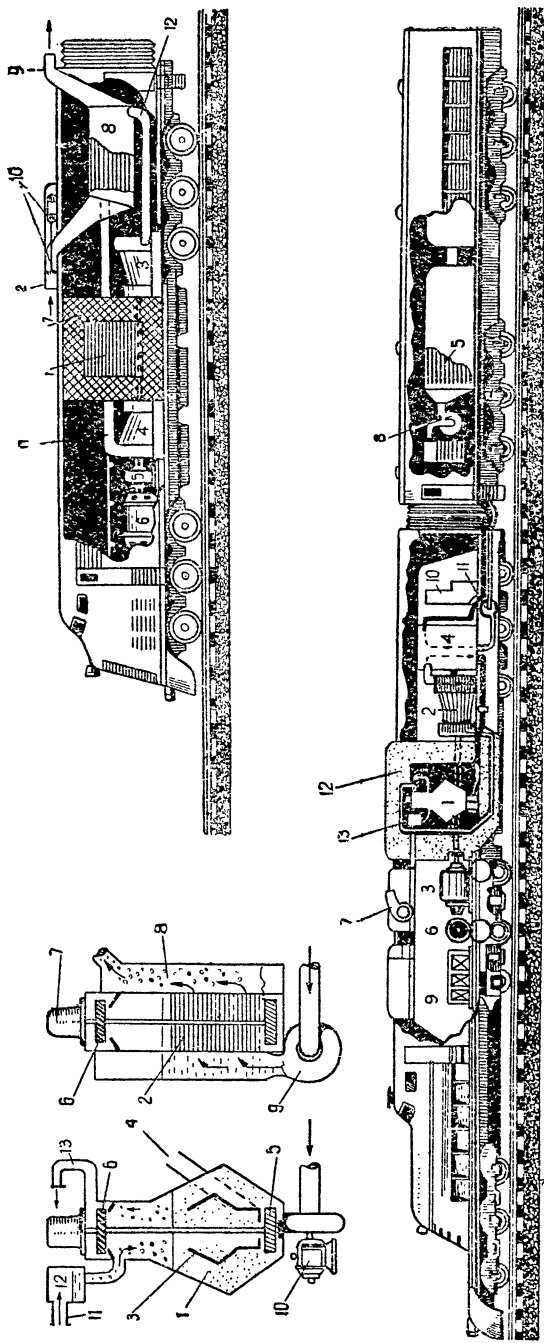


Рис. 6. Схемы локомотивов с атомными двигателями. Вверху слева — гомогенный «кипящий» реактор локомотива: 1—раствор сернокислого урана в воде; 2—трубки из нержавеющей стали; 3—заслонки; 4—регулирующие стержни; 5—циркуляционный насос реактора; 6—крыльчатка влагоотделителя; 7—электродвигатель; 8—водяной пар; 9—основной циркуляционный насос; 10—электродвигатель; 11—газопривод возврата водорода и кислорода в каталитическую камеру; 12—каталитическая камера; 13—газопривод подачи водорода и кислорода к вспомогательной турбине. Внизу — схема локомотива паротурбозова с гомогенным реактором: 1—реактор; 2—турбина; 3—электрогенератор; 4—конденсатор; 5—радиаторы; 6—тяговый электродвигатель; 7—вентилятор; 8—вентилятор радиатора; 9—аккумуляторная батарея; 10—путь регулирования; 11—циркуляционный насос конденсатора; 12—биологическая защита; 13—паропровод. Вверху справа — локомотив с гетерогенным уран-графитовым реактором и газовой турбиной 1—реактор; 2—воздухозаборник; 3—компрессор; 4—турбина; 5—редуктор; 6—электрогенератор 7—биологическая защита; 8—воздушно-газовый радиатор; 9—канал для выброса воздуха; 10—нагнетатель с электроприводом; 11—магистраль отвода газа от турбины к радиатору; 12 — магистраль возврата газа в компрессор.

толщина железобетонной стены достигает 2,5 м. Из кабины будет обеспечена прекрасная видимость пути. Управление атомовозом осуществляется с помощью телемеханического устройства. На пульте управления две главные рукоятки: одна — для регулирования режима работы реактора и подачи пара, другая — для управления торможением. Здесь же на пульте управления расположена светящаяся схема силовой установки локомотива: электрические лампочки разного цвета будут сигнализировать о малейших отклонениях от нормального режима работы установки. Устранение этих неполадок возможно средствами автоматики, без участия машиниста. Локомотив может быть снабжен приемно-передающей радиоустановкой, автостопом и телевизионной установкой.

Атомовоз поведет за собой поезд весом 4 тыс. т со скоростью до 90 км в час. Сколько же времени сможет работать атомовоз без дополнительной заправки горючим? Сутки? Неделью? Месяц?

Главным достоинством локомотива явится то, что его реактор смог бы непрерывно работать 7200 часов — 300 суток, т. е. почти год! Расход горючего для такого локомотива составит не более 10 г на 1000 км пути. Таким образом, для того, чтобы провести состав от Москвы до Риги и обратно, понадобился бы кусочек горючего величиной всего лишь с лесной орех.

Существуют и другие проекты атомовозов. Например, проектировался атомный паротурбовоз весом около 360 т (рис. 6). Его длина вместе с прицепом примерно 50 м, а высота — 5 м. Ширина колеи, на которую рассчитан локомотив, равна 3 м, что намного превышает обычную ширину железнодорожной колеи. Поэтому для такого атомовоза пришлось бы построить специальную железнодорожную магистраль.

На локомотиве предполагалось установить гомогенный реактор, имеющий шестигранную форму и сваренный из листовой нержавеющей стали. Он одет биологической защитой, весящей 100 т и имеющей толщину 1,2 м. Реактор заполнен раствором урановой соли в воде, содержащим 9 кг урана-235.

Дистиллированная вода должна подаваться через реактор по тонкостенным трубкам; в них вода испарится и превратится в перегретый пар, поступающий в турбину.

Выделение тепла в реакторе, а следовательно, и его мощность регулируются стержнями из специальной стали, содержащей бор и кадмий. Расчетная тепловая мощность реактора равна 30 тыс. квт.

Предполагается, что пар, поступающий в турбину мощностью около 8 тыс. л. с., будет иметь давление 12 атмосфер и температуру 200°. Отработавший пар направляется в трубки конденсатора, которые омываются холодной водой из радиаторов, расположенных на прицепе. Пар конденсируется, а образовавшаяся вода возвращается в систему реактора. Таким обра-

зом, заранее допускается, что турбина локомотива будет работать на радиоактивном паре. Поэтому неизбежны трудности даже при самом незначительном ремонте турбины, зараженной радиоактивными элементами. Вот почему вариант локомотива, спроектированный в МВТУ, несмотря на то, что он из-за использования двух контуров с теплоносителем-натрием несколько тяжелее, может быть удобнее в эксплуатации.

Турбина описываемого атомовоза вращает четыре электрогенератора. Постоянный ток из них поступает на 12 тяговых электродвигателей мощностью 600 л. с. каждый. Заполняющая реактор вода, в которой растворен серноокислый уранил, при высокой температуре в поле облучения будет частично разлагаться на водород и кислород. Газообразные водород и кислород, поднимаясь вверх, увлекут за собой частицы воды. Специальная вращающаяся крыльчатка сепаратора отбросит капельки воды вниз в реактор, а осушенная гремучая смесь водорода и кислорода будет направляться в дополнительную турбину, а затем попадет в катализационную камеру. Здесь водород и кислород вновь превратятся в воду, которая возвратится в реактор. Эта дополнительная линия может обеспечить питание турбины мощностью в тысячу лошадиных сил, вращающей генератор, который вырабатывает ток для привода вспомогательных механизмов локомотива.

Ряд специалистов считает, что реактор этого локомотива, наполненный раствором ядерного горючего, особенно опасен в случае аварии, которая может вызвать прекращение движения по линии на время дезактивации и удаления радиоактивных деталей. Поэтому для предупреждения аварий на атомовозах должны приниматься серьезные меры предосторожности.

Для заправки реактора локомотива горючей смесью в условиях нормальной эксплуатации потребуется несколько суток в год. За все это время придется добавить в реактор около 5 кг урана-235. Предполагается, что после одной перезарядки реактора локомотив сможет пройти более 80 тыс. км, т. е. дважды обогнуть земной шар по экватору.

Существуют проекты и несколько более легких атомовозов — газотурбинных. По одному из таких проектов локомотив должен иметь две трехосные тележки суммарным весом около 180 т, при общем весе защитного экрана 38,5 т. На локомотиве предполагается установить воздушный компрессор.

Этот компрессор должен быть весьма мощным и состоять из нескольких последовательно размещенных колес с лопатками. Компрессор будет проталкивать воздух через реактор, имеющий тепловую мощность 15 тыс. квт. Здесь воздух нагревается до температуры 700—800°, затем поступает на турбину мощностью 3 тыс. л. с. и выбрасывается в атмосферу. Турбина атомовоза вращает электрогенераторы, вырабатывающие ток для

шести тяговых электродвигателей по 50 л. с. каждый. К.п.д. этого атомовоза примерно 18%. Одна из причин, препятствующих постройке такого «облегченного» атомного газотурбовоза, заключается в том, что при его эксплуатации в населенной местности возникает некоторая опасность радиоактивного заражения воздуха и местности вблизи магистралей. Становится необходимым создание специального оборудования для очистки воздуха от радиоактивных примесей перед его выбрасыванием в атмосферу.

Следует также упомянуть и перспективный локомотив, предложенный немецким конструктором Н. Гозла. Он предполагает



Рис. 7. Эффективность применения атомовозной тяги по сравнению с паровозной и тепловозной.

использовать в качестве теплоносителя и рабочего тела в замкнутой системе силовой установки локомотива газообразный гелий. Компрессор должен подавать гелий в реактор, из которого горячий гелий поступает на турбину. Затем, пройдя через холодильник, обдуваемый воздушными вентиляторами, он будет возвращаться компрессором в реактор. Турбина через гидромеханическую передачу должна приводить во вращение оси колес. Предполагаемый вес локомотива 175 т, длина 35 м, мощность 6 тыс. л. с. Это один из наиболее удачных проектов.

Все атомовозы, о которых мы рассказывали, — мощное транспортное средство. Они выглядели бы среди паровозов, как мамонты среди слонов, но мамонты, которые «почти ничего не едят и совсем мало пьют». А ведь в настоящее время железнодорожный транспорт Советского Союза расходует около четверти всего огромного количества топлива, добываемого в стране! Часто приходится подвозить топливо за несколько тысяч километров. Правда, уже в 1970 году, согласно пятнадцатилетне-

му плану электрификации железных дорог, до 60% всех железнодорожных перевозок в СССР будут выпснять электровозы, что позволит экономить до 90 млн. т угля ежегодно.

Можно надеяться, что на важных магистралях, проходящих вдали от линий электропередач и центров добычи химического топлива, атомовозы также позволят сберечь его для других отраслей народного хозяйства (рис. 7). Отпадет необходимость постройки и содержания обширных складов топлива. Примерно в 10 раз может сократиться система станционного водоснабжения. Более чем вдвое уменьшится персонал, необходимый для обслуживания и ремонта локомотивного парка.

Естественно, что атомовозы должны водить за собой тяжелые составы на большие расстояния. Они позволят на 50—70%, по сравнению с паровозами, увеличить пропускную способность железнодорожных магистралей. Большая мощность атомовоза позволила бы также на 60—70% увеличить вес составов.

Трудно переоценить значение нового вида локомотивов для нашей страны. Ведь длина железнодорожных линий Советского Союза в 3 раза больше длины экватора, а по объему грузооборота железнодорожный транспорт СССР занимает первое место в мире.

### На автостраде атомного века

Людам, привыкшим к использованию поршневого двигателя на автомобиле, легко представить себе поршневой атомный двигатель с цилиндром из материала, хорошо отражающего нейтроны. Если, например, в одном из таких цилиндров сжимать газ с пылью из замедлителя и обогащенного ядерного горючего, то при достижении критической величины объема возникает цепная ядерная реакция. В результате нагретый газ будет расширяться и выталкивать поршень. Затем «горючая смесь» выбрасывается в теплообменник, где охлаждается и вновь, после такта продувки, засасывается в цилиндр. По мере необходимости часть газа должна отбираться, очищаться от образовавшегося «шлака», обогащаться горючим и вновь возвращаться в цилиндр. Однако создание такого двигателя сопряжено с трудностями отвода тепла (после рабочего хода), запуска и регулирования двигателя, а также защиты пассажиров от радиоактивного излучения.

Скорее всего более рациональными окажутся газотурбинные автомобильные двигатели с компактным реактором. В газотурбинном ядерном автомобильном двигателе газ должен сжиматься компрессором и подаваться им в реактор, заменяющий камеру сгорания. Затем разогретый газ будет поступать на две последовательно расположенные турбины, охлаждаться

в радиаторе автомобильного типа и вновь подаваться компрессором через реактор.

Таким образом, газ движется по замкнутому контуру. Одна из газовых турбин в этом случае вращает компрессор, а вторая — через специальную передачу — оси автомобиля.

Другая схема газотурбинного ядерного автомобильного двигателя предполагает использование гомогенного ядерного реактора, работающего на медленных нейтронах. Такой реактор может представлять собой полый шар, выполненный из хромистой

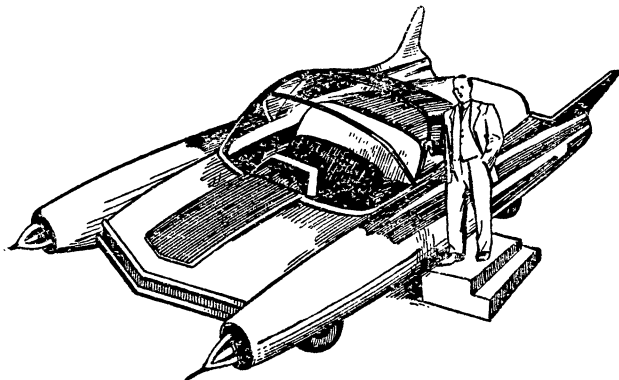


Рис. 8. Общий вид автомобиля с атомным двигателем (модель).

стали с примесью молибдена, окруженный отражателем и многослойной биологической защитой. Внутри шара должен размещаться графитовый замедлитель в виде блока, пронизанного каналами. Жидкий висмут с растворенным в нем ураном-235 (при рабочих температурах реактора около  $550^{\circ}$  висмут способен растворить до 0,1% урана) подается насосами в реактор, где происходит цепная реакция, а затем разогретое жидкометаллическое горючее направляется в теплообменник. В теплообменнике тепло отдается газу, циркулирующему по контуру компрессор — теплообменник — турбины — радиатор — компрессор. Как и в предыдущей схеме, одна из турбин служит для привода компрессора, а другая — колес автомобиля.

Отметим, что газовая турбина в СССР уже широко испытывается как двигатель для грузовых и легковых автомобилей.

Существует ряд проектов пассажирских атомных автомобилей и автопоездов. Вероятно, это будут очень крупные автобусы с просторными салонами и кабинами для пассажиров, предназначенные для путешествий по бетонным автострадам, проложенным между крупными городами и столицами государств. Предполагается, что вес одного из таких автомобилей (рис. 8) составит несколько десятков тонн, длина — до 8 м,

ширина — примерно 3 м, мощность двигателя, размещенного в задней части машины, — около 2 тыс л. с. Такой двигатель мог бы обеспечить скорость автомобиля, во много раз превышающую скорость движения, допускаемую сейчас по шоссе и дорогам. Автобус-тягач сможет тянуть за собой несколько просторных вагонов-прицепов на 60—80 пассажиров каждый.

Вероятно, что будут созданы атомные автопоезда, специально предназначенные для дальних перевозок грузов по автострадам и для продолжительной работы в условиях бездорожья, в тундре, на дальнем севере и в пустынях. Можно представить себе такой автопоезд, состоящий, например, из атомного тягача (турбина которого вращает электрогенератор, вырабатывающий ток) и нескольких грузовых 25-тонных платформ. У такой платформы, имеющей ширину до 5 м и длину более 12 м, каждая из четырех осей должна приводиться во вращение своим тяговым электродвигателем. Шины низкого давления диаметром более 2 м и шириной до 1 м обеспечат высокую проходимость автопоезда. Он сможет двигаться и по заболоченной тундре и по относительно слабому льду, преодолевать броды глубиной почти в 2 м. Атомный газотурбинный двигатель тягача мощностью свыше тысячи лошадиных сил, шарнирная сцепка тягача и платформ, автоматический поворот каждой из тележек тягача вслед за предыдущей обеспечили бы высокую маневренность автопоезда при его общей длине, равной почти 80 м.

Вес необходимой защиты от излучения реактора может быть значительно уменьшен. Для этого основная энергетическая часть силовой установки переносится на тележку, расположенную позади грузовых платформ. Кабина водителя и экипажа со всеми приборами и оборудованием для дистанционного управления установкой должна монтироваться, как и обычно, в головной части автопоезда.

Что касается атомного двигателя с реактором для легкового автомобиля, то его создание маловероятно. Высказываются мнения, что в будущем для приведения в движение таких автомобилей будут использованы долгодействующие мощные и безопасные атомные электрические батареи. Сейчас они еще маломощны и применяются, в основном, для питания некоторых радиоустройств.

### Вокруг земного шара

О беспосадочном полете вокруг Земли мечтал великий летчик нашего времени Валерий Чкалов, который вместе с Г. Байдуковым и А. Беляковым совершил в 1937 году первый перелет из Москвы в Америку через Северный полюс.

Этот полет требовал высокого мужества и героизма, глубокого знания техники. С тех пор прошло 20 лет, но и сейчас еще



нет самолета, который мог бы без посадки и без дополнительной заправки горючим в воздухе облететь земной шар. Дело в том, что чем дальше предстоит лететь самолету, тем больше горючего должно находиться на его борту и тем больший полетный вес он должен иметь.

Полетный вес самых крупных современных самолетов с реактивными двигателями около 150 т. Эти машины способны взять на борт примерно 60 т керосина, необходимого для обеспечения работы реактивных двигателей. Но даже этого горючего двигателям, развивающим мощность около 50 тыс. л. с., хватает немногим более чем на 10 тыс. км при полете с околозвуковой скоростью. А кто согласится летать медленнее в наши дни? Такие машины могут пересекать океаны, но осуществить кругосветный полет без дополнительной заправки горючим в полете им не под силу. И чем больше желательная дальность и скорость полета, тем все быстрее и быстрее возрастает потребный вес горючего и всего самолета.

Вот почему химическое топливо не может обеспечить в атмосфере полет самолета обычного типа вокруг Земли. Эту задачу позволит решить лишь самое энергоемкое горючее — ядерное. Огромные возможности использования ядерного горючего в авиации так же, как и для других средств транспорта, связаны с необычайной концентрацией ядерной энергии. Достаточно сказать, что стержень из природного урана длиной около 300 мм и диаметром 19 мм, весящий всего 1,8 кг, содержит почти 14 г делящегося изотопа урана-235. Если предположить, что, как это и получается в некоторых реакторах, выгорание этого изотопа составляет около 14 %, то энергия, которая может быть практически выделена при расщеплении части урана-235, находящегося в семи таких стержнях, примерно эквивалентна тепловой энергии, необходимой для того, чтобы самолет ТУ-104 пролетел более 1,5 тыс. км. Пройдут годы, и кругосветный полет на самолете с атомным двигателем, вероятно, станет будничным делом, доступным рядовому пилоту.

В настоящее время воздушные трассы связали столицу Советской страны с Пекином, Бухарестом, Парижем, Прагой, Варшавой, Берлином и многими другими городами европейских и азиатских государств.

Самолеты ИЛ-14 всего за шесть часов перелетают из Москвы в Копенгаген и в Будапешт. Три с половиной часа требуется реактивному пассажирскому самолету ТУ-104 для того, чтобы совершить со скоростью 800 км в час полет из Москвы в Лондон. От Москвы до Пекина ТУ-104 долетает за одиннадцать с половиной часов, делая по пути только две остановки. Меньше одиннадцати часов летного времени нужно для того, чтобы ТУ-104 покрыл расстояние от Москвы до Петропавловска-на-Камчатке — преодолел самую протяженную пассажирскую трассу страны. Новые пассажирские турбовинтовые са-

молеты «Украина» и «Москва» выходят на авиационные магистрали.

В будущем гигантские самолеты и вертолеты (вертолеты), специальные планеры за самолетами-буксировщиками должны обеспечить быструю доставку пассажиров и грузов в самые отдаленные районы страны, в самые отдаленные уголки земли. И эту задачу помогут решить ядерные двигатели.

Один из них — воздушно-реактивный прямоточный двигатель. В полном соответствии с названием у этого двигателя воздух должен протекать напрямик. Для его засасывания и «продавливания» через реактор двигателя не требуется никаких специальных механизмов. Однако подобно тому, как разгоняют планер, прежде чем он начнет устойчиво держаться в воздухе, такой двигатель также необходимо предварительно «разогнать» до очень высокой скорости. Так как сопротивление каналов реактора значительно, его скорость должна быть больше той, при которой начинает эффективно работать прямоточный двигатель, использующий обычное химическое топливо. Разгон можно осуществить с помощью какого-либо другого двигателя из тех, о которых мы расскажем дальше.

Перед входом в прямоточный двигатель воздух начинает тормозиться. Затем он принимается в канал особой формы — диффузор. Здесь скорость воздушного потока продолжает постепенно уменьшаться, а его давление растёт. При скорости полета 1 тыс. км в час оно становится в полтора раза больше атмосферного, а при 2 тыс. км в час достигает семи атмосфер.

Сжатый воздух поступает к реактору и «продавливается» сквозь многочисленные трубки, пронизывающие каналы с ядерным горючим. Тепло, выделяющееся при цепной реакции, разогревает воздух. Он расширяется и со скоростью, которая значительно больше скорости холодного встречного потока, вытекает через сопло. Так создается реактивная тяга, под действием которой аппарат перемещается в направлении, обратном тому, в котором отбрасываются раскаленные газы.

Правильный выбор пористости реактора (т. е. отношения общей площади отверстий, выполненных для протекания воздуха через реактор, к его лобовой площади) представляет известные трудности. Очевидно, что чем больше пористость реактора, размещенного в постоянном ограниченном объеме, тем больше воздуха удастся через него пропустить, а следовательно, получить большую тягу. С другой стороны, при этом площадь стенок между отверстиями в реакторе будет уменьшаться, что повлечет за собой падение его прочности и усложнение изготовления. С возрастанием пористости растет также и количество делящегося вещества, необходимого для работы реактора.

Следует также добиться выравнивания температуры по сечению реактора. Важность решения этой задачи подтверж-

дается следующим примером: у реактора диаметром около 30 см при пористости 0,6 подогрев воздушного потока на периферии, если не предпринять специальных мер, может быть примерно в два раза меньше, чем в центре. Это поведет к увеличению неравномерности скоростей в воздушном потоке и гидравлических сопротивлений в реакторе при продавливании через него воздуха, вызовет затруднения с регулированием работы двигателя и снизит тягу. Вот почему разработка оптимальных способов выравнивания температур поможет улучшить данные ядерных двигателей.

Диффузор и ряд других деталей такого двигателя можно будет изготавливать из легких сплавов, например титана, а оболочку реактора и выхлопное сопло — из специальных жаростойких сплавов с применением керамики и новых материалов — керметов (смесей керамики и металлов), в которых пытаются сочетать высокую пластичность и механические свойства металлов с жаростойкостью керамики. Однако при создании такого двигателя, весьма заманчивого по простоте конструкции, встречаются серьезные затруднения. Главное из них — нагревание до требуемой температуры огромных количеств воздуха. Это вызывает необходимость увеличения температуры реактора, площади соприкосновения воздуха с его горячими поверхностями и числа трубок — каналов для воздуха. Трудно справиться и с «вымыванием», или, лучше сказать, с «выдуванием» тонких стенок трубок, через которые со скоростью в 7 раз большей, чем скорость самого сильного урагана, проносится воздух. К тому же каналы необходимо предохранять и от окисления раскаленным воздухом, содержащим кислород.

Есть и другая, пожалуй главная, техническая трудность: относительно низкие рабочие температуры реакторов. В настоящее время атомная энергетика не без успеха пытается поднять температуру в реакторе до 800° и выше. Для атомного котла подобрать жаростойкие конструкционные сплавы особенно трудно, так как присадки, придающие сплавам жаропрочность, оказываются в то же время «поглотителями нейтронов», что и затрудняет применение таких сплавов для реакторов. А ведь реактор самолета должен иметь температуру на поверхности нагрева по крайней мере 1000°.

Наконец, весьма сложным является также управление переменными режимами работы такого двигателя, связанными с изменением скоростей полета аппарата, так как при этом в реакторе будут быстро меняться скорость и давление воздуха.

Несколько проще осуществить двигатель другой схемы — турбовинтовой (рис. 9), в котором рабочее тело, например вода, циркулирует по замкнутому кольцу — контуру. Вода прокачивается насосом через трубки реактора, где и превращается в пар. Пар поступает на многоступенчатую турбину, вращающую

винты. Оработавший пар сжижается в конденсаторе, и вода вновь поступает в реактор.

Встречный воздух, обтекающий трубки конденсатора, в свою очередь нагревается и вытекает назад, создавая дополнительную реактивную тягу.

Почему же в приведенном выше проекте авиационного атомного двигателя конструктор нашел возможным отказаться от схемы с двойным контуром, принятой на атомной электростанции? Ведь радиоактивный пар, попадающий в турбину, неизбежно затруднит ремонт и обслуживание двигателя.

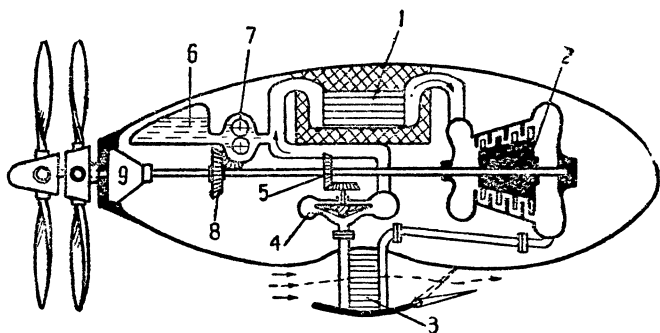


Рис. 9. Схема турбовинтового двигателя с замкнутым контуром:

1—реактор; 2—паровая турбина; 3—конденсатор; 4—центробежный насос; 5—привод насоса; 6—бак с рабочим телом для пополнения контура; 7—шестеренчатый насос; 8—привод насоса; 9—редуктор.

Это объясняется прежде всего тем, что двигатель для авиации должен быть всемерно облегчен, пусть даже за счет некоторого, разумеется нежелательного, усложнения его эксплуатации. Следует иметь в виду, что срок службы даже обычного поршневого двигателя порядка 1000 часов, после чего в большинстве случаев его нужно полностью разобрать и восстанавливать, заменяя многие из деталей. Причина быстрого износа деталей вызвана тем, что, стремясь сэкономить в весе, каждую деталь двигателя очень сильно нагружают, заставляют работать «в полную силу».

Авиационный атомный двигатель, работающий ограниченный срок и поэтому относительно мало ремонтируемый, может иметь один контур. При этом воду, используемую в контуре двигателя, желательно возможно тщательнее очищать от растворимых примесей: после очистки на миллион частей воды должно оставаться не более 1—5 частей таких примесей.

Использование теплоносителя, который, подобно гелию, почти не становится радиоактивным при прохождении через

реактор, помогло бы преодолеть затруднения при доводке и обслуживании одноконтурного двигателя.

В последнее время учеными и инженерами всесторонне рассматривается несколько перспективных схем воздушно-реактивных двигателей (ВРД) на ядерном горючем (рис. 10).

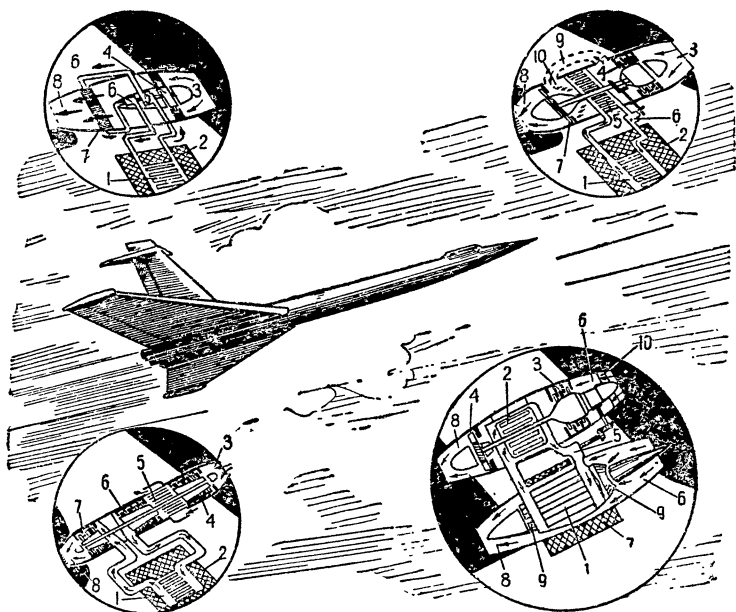


Рис. 10. Схемы атомных воздушно-реактивных двигателей (ВРД). Вверху слева — ВРД с закрытым водяным контуром высокого давления: 1—реактор; 2—биологическая защита; 3—диффузор; 4—компрессор; 5—турбина; 6—насос; 7—конденсатор; 8—сопло. Внизу слева — ТРД с открытым воздушным циклом: 1—реактор; 2—биологическая защита; 3—диффузор; 4—первая ступень компрессора; 5—радиатор промежуточного охлаждения; 6—вторая ступень компрессора; 7—турбина; 8—сопло. Вверху справа — комбинированный ТРД с обходным каналом и камерой сгорания. 1—реактор; 2—биологическая защита; 3—диффузор; 4—компрессор; 5—радиатор; 6—насос; 7—турбина; 8—сопло; 9—обходной канал; 10—камеры сгорания. Внизу справа — комбинированный воздушно-реактивный атомный двигатель (турбореактивный двигатель в сочетании с прямоточным воздушно-реактивным двигателем): 1—реактор; 2—теплообменник; 3—компрессор; 4—турбина; 5—насос; 6—диффузор; 7—биологическая защита; 8—сопло; 9—устройство для перекрытия входа и выхода реактора; 10—устройство для перекрытия входа ТРД.

В одной из таких схем может использоваться «закрытый водяной цикл высокого давления». Вода прокачивается насосом через реактор и превращается в пар, поступающий на турбину. Затем пар направляется в конденсатор, сжижается и вновь попадает в реактор.

Турбина вращает насос и компрессор, подающий воздух в конденсатор. В последнем воздух омывает многочисленные трубки с горячим паром, конденсирует его и, нагреваясь сам, вытекает из выхлопного сопла, создавая реактивную тягу.

Так снова появился проект двигателя для авиации, который можно назвать «паровым». Мы говорим «снова» потому, что еще на заре развития авиационной техники, в 1881 году, Александр Федорович Можайский сделал успешную попытку создания для самолета парового двигателя. Однако большой вес парового котла и необходимость брать значительные запасы топлива затрудняли создание легкой авиационной паросиловой установки.

Другой вариант двигателя по схеме ТРД использует преимущества открытого воздушного цикла. Воздух в этой схеме засасывается и сжимается двумя компрессорами, расположенными один за другим, с промежуточным охлаждением в специальном воздушном радиаторе. Это обеспечивает возможность большего сжатия воздуха в компрессоре (ведь сжать холодный воздух значительно легче, чем горячий). Затем сжатый воздух попадает в каналы реактора, где нагревается до температуры 750—800°, проходит через турбину и покидает двигатель, создавая реактивную тягу. Турбина вращает оба компрессора. Высокотемпературный реактор, как бы заменяя камеру сгорания, обеспечивает разогрев воздуха. Отметим, что при эксплуатации такого двигателя может встретиться серьезное затруднение. Дело в том, что массы воздуха и пыль, поднятая с поверхности аэродрома, проходя через реактор, становятся радиоактивными (радиоактивным становится изотоп аргона  $Ar^{40}$ , которого содержится в воздухе около 1%).

Знакомясь с описанным двигателем, читатели, наверное, заметили, что при его проектировании, естественно, встретятся многие из тех же трудностей, что и при создании прямоточной схемы. И это предположение справедливо.

В частности, громоздким, а следовательно, и тяжелым может получиться реактор, в котором воздух успевал бы нагреться до заданной температуры. Применение жидкого металла — натрия позволило бы резко сократить размеры реактора. Увеличенная поверхность теплообменника, помещенного примерно в том месте, где обычно располагаются камеры сгорания, обеспечила бы передачу тепла от металла к воздуху, поступающему вслед затем на турбину и за ней в сопло. Попутно отметим, что и в теплообменнике необходимо добиваться выравнивания температуры по сечению, что сделать проще, чем в реакторе.

В случае применения ядерного ТРД лишь для разгона прямоточного двигателя они оба могут быть объединены в один агрегат. На малых скоростях используется ТРД, а затем вступает в работу прямоточный двигатель.

Предлагался также двигатель, у которого вместо камеры сгорания установлен реактор с докритической массой ядерного горючего, т. е. реактор, в котором содержится несколько меньше ядерного горючего, чем это необходимо для создания цепного процесса. При работе двигателя в воздух за компрессором подается недостающее количество пылевидного ядерного горючего. Отметим, что твердые частицы ядерного горючего, содержащиеся в воздухе, могут далее привести к преждевременному истиранию каналов реактора и лопаток турбины. Компрессор вдувает горючее вместе с воздухом в реактор — в реакторе возникает цепной процесс. Разогретый воздух поступает на турбину и затем в удлиненное сопло, где ядерное горючее отделяется от вращающегося вокруг своей оси потока и вновь возвращается на вход в реактор. При этом из двигателя выбрасывается лишь чистый воздух. Ведь выбрасывать в атмосферу ядерное горючее невыгодно из-за его высокой стоимости и опасно с точки зрения радиоактивного заражения воздуха.

Следует отметить, что одной из серьезных задач при создании любого ядерного двигателя для самолета является получение взлетной тяги, которая может более чем в два раза превышать тягу, необходимую для нормального полета. Можно предположить, что решению этой задачи будут содействовать включаемые при взлете жидкостные либо пороховые ракетные двигатели.

Таковы лишь некоторые из схем двигателей для атомной авиации, которая может обладать практически безграничным радиусом действия.

### **Атом обретает крылья**

Как же будут выглядеть самолеты с ядерными двигателями? Еще невозможно точно описать окончательные формы самолетов будущей атомной авиации. Также трудно было представить себе сверхзвуковые самолеты наших дней в начале развития авиационной техники. Однако особенности атомной силовой установки, требования, предъявляемые ею к самолету, исследования и проекты последних лет позволяют наметить контуры будущих атомных воздушных кораблей.

Известно, что наряду с недостаточной компактностью и большим весом реактора и теплообменников основное препятствие, мешающее атому «обрести крылья», заключается в необходимости создания надежной защиты экипажа от излучений из реактора. Защитная оболочка — броня всех «горячих» частей силовой установки — получается очень тяжелой. Эта многотонная стена и встала на пути развития атомной техники и авиации.

Вот почему один из проектов атомных самолетов, предложенный еще в 1950 году и так до сих пор не осуществленный,

предусматривал постройку огромной летающей лодки с полетным весом в 1 000 т. Рядом с ней даже самые крупные современные самолеты выглядели бы как лилипуты возле Гулливера.

Гигантский самолет должен был иметь четыре атомных турбовинтовых двигателя. Размах его крыльев более 130 м, а общая мощность двигателей превышает полмиллиона лошадиных сил. Этот проект самолета был рассчитан на то, чтобы понести над сушей и океанскими просторами со скоростью 1000 км в час 1000 пассажиров и 100 т груза.

Реактор предполагалось установить в центре тяжести самолета в фюзеляже и окружить его пятью защитными слоями. Первый слой — отражатель из окиси бериллия, второй — жидкий натрий для отвода тепла от стенок, третий — поглотитель медленных нейтронов — кадмий, четвертый — замедлитель быстрых нейтронов парафиновый воск и, наконец, стальная оболочка, захватывающая медленные нейтроны и гамма-лучи. Такая многослойная «броня» позволяет уменьшить вес и габариты необходимой биологической защиты. Теплоноситель — жидкий сплав свинца с висмутом, проходящий через реактор, отдает свое тепло воде в четырех цилиндрических теплообменниках высокого давления и затем вновь возвращается в реактор. Пар из теплообменников поступает на турбины двигателей. Турбины, вращающиеся через редукторы винты, размещаются в крыльевых гондолах.

Часть отработавшего пара может направляться из турбин по трубопроводам в обогреваемые полости, расположенные вдоль передних кромок крыльев и стабилизатора для того, чтобы предохранить их от обледенения. Охлаждаясь в этих полостях, пар сжижается, конденсируется, а образовавшаяся вода возвращается в теплообменники. Система должна иметь специальные регуляторы давления и устройство для ее отключения.

Что же заставило конструкторов предпочесть летающую лодку для размещения авиационного атомного двигателя? Прежде всего этот выбор объясняется тем, что летающая лодка, уступая по летным данным сухопутному самолету, может в то же время обладать большим взлетным весом.

Приходилось учитывать и еще одну особенность атомного самолета, заключающуюся в том, что его взлетный и посадочный вес практически одинаковы, а ведь это не свойственно самолетам с двигателями, работающими на обычном топливе. Вес современного крупного самолета при посадке, после того как в полете сожжены десятки тонн горючего, несравненно меньше взлетного.

Постоянный большой вес атомного самолета осложняет его взлет и посадку, приводит к необходимости создавать аэродромы с особо прочным покрытием и очень длинными взлетно-



посадочными дорожками. Поэтому атомному самолету безопасней и удобней садиться на неограниченную водную поверхность.

Наконец, океанские просторы — прекрасное место для испытаний и доводки такого гидросамолета. Вот почему нам кажется, что этот, теперь уже сравнительно давний, проект заключал в себе некоторые элементы крупных атомных самолетов будущего.

В наши дни уже есть основания утверждать, что атомная авиация может быть создана и без использования таких самолетов-сверхгигантов. По мере совершенствования атомной техники удастся создавать все более удачные варианты биологической защиты, все более легкие, компактные и мощные авиационные атомные силовые установки.

Уже многократно публиковался проект атомного самолета с четырьмя турбореактивными двигателями, использующими тепло, выделяющееся в ядерном реакторе; реактор работает на быстрых нейтронах. Чтобы обеспечить отвод больших количеств тепла из такого реактора малых размеров, предполагается использовать жидко-металлический теплоноситель, например натрий.

Для облегчения экранировки реактора предлагается ее выполнить следующим образом: реактор одет первым, сравнительно тонким слоем защиты — это первичный экран. Еще один экран, служащий одновременно противопожарной перегородкой, размещен поперек фюзеляжа между входами в воздухозаборники, через которые воздух подводится к двигателям. И, наконец, следует экран, установленный за герметической кабиной. Экраны могут быть включены в несущую конструкцию самолета.

Таким образом, предусматривается односторонняя (теневая) защита кабины. Экипаж будет находиться как бы в тени расположенных за кабиной экранов. Как же при такой односторонней защите они смогут покинуть кабину самолета? Ведь выйдя за пределы «тени», они попадут в область интенсивного облучения?

Для того чтобы устранить опасность облучения людей, выходящих из кабины, предполагается, что после посадки самолет будет подруливать к железобетонному укрытию и тщательно прятать в него большую часть фюзеляжа с реактором. После того, как будут выполнены все эти правила безопасности, люди смогут выйти из самолета. Конструкция, обеспечивающая расположение кабины атомного самолета возможно дальше от реактора, также позволит существенно уменьшить вес экранов, необходимых для защиты от радиоактивных излучений.

Отметим, что применяемые в самолетостроении материалы после их облучения из реактора остаются некоторое время в той или иной степени радиоактивными, что затруднит обслуживание атомных самолетов будущего. Интересно, что у титановых

сплавов, которые считаются весьма перспективными для авиации вообще, искусственная радиоактивность снижается до безопасного уровня быстрее, чем у стали и алюминиевых сплавов. Предполагаемый вес описанного самолета порядка 150 т. Общий же вес атомной силовой установки, развивающей мощность до 100 тыс. л. с., не должен превышать 80 т. И если для обычного поршневого двигателя на одну лошадиную силу мощности расходуется за час около 300 г бензина, то расход ядерного горючего, возможно, не превысит  $\frac{1}{7000}$  г на лошадиную силу в час.

Возможно, что удастся еще больше облегчить дозвуковой самолет с атомным двигателем при условии, что это будет машина без экипажа — беспилотный летательный аппарат, управляемый автоматически по радио или по телефонному проводу, проложенному в одном из металлических тросов длиной 100—150 м. На этих тросах атомный беспилотный буксировщик мог бы повести за собой несколько транспортных пассажирских либо грузовых планеров или самолетов с пилотами. Такой проект был предложен еще в 1935 году О. Петровским.

Буксируемые летательные аппараты смогут с помощью собственных двигателей либо других самолетов подниматься до атомного буксировщика и после прибытия к месту назначения самостоятельно совершать посадку. В таком случае возможности атомного буксира были бы использованы наиболее полно.

Атомный самолет может также служить и огромным керосиновозом группы обычных реактивных самолетов, для заправки их горючим непосредственно в воздухе. Предполагалось также использовать атомный долголетающий самолет как ретрансляционную телевизионную станцию. В одном из вариантов атомный самолет может представлять собой летающее крыло. Двигатели на летающем крыле разместятся по его концам, что облегчит достижение рациональной весовой компоновки и необходимой прочности.

В другом случае, когда самолет будет иметь общепринятую в наши дни схему, реактор предполагается установить в центре тяжести машины — в фюзеляже, а высокооборотные турбины с малым наружным диаметром смогут хорошо разместиться в относительно тонких крыльях.

Интересна и своеобразна еще одна область авиационной техники, в которой, при условии использования ядерных двигателей, можно ожидать новых успехов. Речь идет о применении ядерного горючего для конвертопланов, т. е. самолетов, которые могут взлетать и садиться вертикально. Подъемная сила конвертоплана на взлете создается без помощи крыльев. Двигатели форсируются в такой степени, что их тяга становится большей, чем общий вес аппарата, что и обеспечивает взлет.

Конструктивно конвертоплан может выполняться в различ-

ных вариантах. В одном из них предусматривается, что при горизонтальном расположении фюзеляжа двигатели поворачиваются на старте так, что их ось становится вертикальной, а после взлета вновь возвращаются в обычное горизонтальное положение, не прекращая работы. В другом варианте предполагается, что весь самолет размещается на старте вертикально и лишь после достижения некоторой высоты полета принимает горизонтальное положение. Удобное положение членов экипажа и пассажиров достигается соответствующим поворотом кресел.

Конвертопланы позволяют отказаться от дорогостоящих и громоздких аэродромов и в то же время сохранить высокую горизонтальную скорость полета, свойственную обычным самолетам. Однако форсированные режимы двигателей, поддерживающих конвертопланы на взлете и при посадке, требуют повышенного расхода горючего, что и приводит к уменьшению дальности полета таких машин.

В случае использования ядерной силовой установки, имеющей замкнутый контур теплоносителя, возможен непосредственный взлет конвертоплана с земли на ядерном горючем. «Добавочное» ядерное горючее понадобилось бы для этого в ничтожном количестве как по объему, так и по весу. Если же ядерная установка имеет открытый контур, то ее работа на взлете и посадке из-за увеличения опасности радиоактивного заражения нежелательна; тогда придется применять химическое топливо. Поскольку основной полет будет совершаться на ядерном горючем, размещение этих сравнительно небольших запасов химического топлива также вполне допустимо.

Вот почему можно надеяться, что использование ядерных двигателей откроет широкие возможности перед конвертопланами.

Кажется, совсем недавно в авиации применялись только поршневые двигатели. Потом авиация стала реактивной. В будущем дальняя авиация может частично стать атомной. Несомненно и то, что ядерные двигатели еще сильнее видоизменяют авиационную технику, чем это сделала в наши дни реактивная техника, использующая химическое топливо.

### Ядерные ракеты

Подобно водолазу, рассматривающему из-под воды облака, мы наблюдаем за планетами и звездами через толщу атмосферы, искажающую наши представления о небесных телах. И чтобы лучше «видеть» вселенную, люди посылают к поверхности воздушного моря стратостаты, шары-пилоты, радиозонды. На высоту более 1000 км к самому краю земной атмосферы, в так называемую экзосферу, взлетают современные ракеты.

Однако полет исследовательских высотных ракет продолжается лишь несколько минут, и поэтому время и область на-

блюдений, которые могут быть сделаны с их помощью, довольно ограничены.

В соответствии с планом научных работ по программе Международного геофизического года, в Советском Союзе 4 октября и 3 ноября 1957 года был осуществлен запуск первых в мире искусственных спутников Земли. Использование спутников дает возможность проведения систематических исследований ультрафиолетовой и рентгеновской части солнечного излучения, космических лучей, а также биологических явлений в условиях космического полета и многого другого.

Радиосигналы небесных лабораторий оповестили человечество о новом торжестве нашей науки, воплощающей самые дерзновенные мечты человечества в реальную действительность.

«Советские ученые заслуженно гордятся тем, что им под руководством Коммунистической партии, при поддержке всего народа удалось внести ценный вклад в науку. Запуск спутника — результат большой коллективной работы ученых-теоретиков, инженеров, конструкторов и производственников», — говорит академик Л. И. Седов.

Можно ожидать, что скоро в космическое пространство отправятся более крупные аппараты, оснащенные сложными автоматическими устройствами. Наконец, появятся и первые «населенные» людьми космические корабли, сбудутся вещие слова К. Э. Циолковского о том, что ракета сделает человека «гражданином вселенной».

Люди, которые первыми вступят на лунную поверхность, возможно, будут этим обязаны созданию атомно-ракетного корабля. Скорее всего, такой аппарат будет состоять из нескольких ракет-ступеней, среди которых основное место займет ступень с ядерным двигателем.

Для того чтобы понять, почему это так, остановимся вкратце на некоторых задачах, которые приходится решать создателям космического корабля.

К. Э. Циолковским было выведено уравнение, позволяющее установить отношение веса топлива ракеты к весу ее конструкции и полезного груза, которое необходимо для достижения определенной конечной скорости полета. Из этого уравнения следует, что для сообщения ракете скорости 11,2 км в секунду, минимально необходимой для преодоления земного тяготения, при реально достижимой скорости истечения из камеры сгорания 4 км в секунду и максимальном ускорении ракеты 10 g, вес ее химического топлива должен быть в 20 раз больше веса полезного груза и конструкции. В наши дни для одноступенчатых ракет, способных пересекать океаны и летящих со скоростью до 9 тыс. км в час, т. е. до 2,5 км в секунду (в 7,5 раза быстрее звука), удается добиться того, чтобы взятое на борт ракеты топливо весило примерно в 5 раз больше, чем конструк-

ция и полезный груз. Лучшие результаты в «одноступенчатом» варианте ракеты обеспечить трудно.

В самом деле, ведь даже обычное ведро с тонкими металлическими стенками, вмещающее 10 л воды, весит около килограмма, и, таким образом, для него соотношение масс всего лишь 11, а для цистерны, в которой перевозятся жидкости по железной дороге, оно достигает только 13. А ведь кроме веса емкостей для горючего, большая доля веса ракеты должна приходиться на ее оболочку, подкрепленную специальными элементами, на камеру сгорания, турбонасосные агрегаты, многочисленные механизмы, автоматы, приборы, которыми весьма плотно заполняется в ракете все пространство, свободное от горючего.

К. Э. Циолковский предложил кардинальный путь дальнейшего увеличения соотношения масс — создание многоступенчатых ракетных, так называемых «тающих» поездов. В этом случае после использования топлива из первой ракеты-ступени она сбрасывается, и начинает работать двигатель следующей ступени и т. д. Это позволило при современном уровне техники создать советскую межконтинентальную баллистическую ракету со скоростью полета 25 тыс. км/час и в будущем может обеспечить создание ракетных кораблей с соотношением масс 30 и более и посылку автоматической ракеты на Луну.

Решение задачи облегчается также возможностью дозаправки ракеты горючим на искусственных спутниках Земли, расположенных на промежуточных этапах.

Однако, когда мы обратимся к проектированию лунной ракеты с экипажем и вспомним, что такая ракета после «прилунения» должна затем вновь пересечь космическое пространство и приземлиться, то оказывается, что потребное соотношение масс (даже при скорости истечения газов из камеры сгорания, равной 4 км в секунду) увеличится до 200. При использовании обычных химических топлив вес такой ракеты при старте с Земли должен был бы составить несколько десятков тысяч тонн. Ракета весила бы примерно столько же, сколько весят крупнейшие океанские теплоходы.

Один из наиболее осуществимых, на наш взгляд, проектов «лунной экспедиции», созданных группой астронавтов в Советском Союзе, выглядит следующим образом. Предусматривается использование примерно 200 пятидесятитонных ракет, каждая из которых понесет полезный груз около 50—70 кг. При этом большая часть ракет во время полета будет выполнять роль управляемых с Земли заправочных станций. Эти ракеты могли бы доставить на Луну трех человек и несколько тонн груза. Но даже в таком случае общая масса конструкций и топлива всех ракет составит примерно 10 тыс. т.

И хотя наука и техника наших дней, возможно, смогли бы обеспечить создание серии таких ракет, кажется несравненно

более перспективным использование для космических полетов ядерного горючего.

Рассмотрим некоторые проекты атомных ракетных двигателей.

Одна из таких схем, «чисто атомная», предполагает непосредственное использование «отдачи» частиц, образующихся при цепной реакции и выбрасываемых из сопла ракеты. Теоретическая скорость частиц при этом может составить десятки тысяч километров в секунду. Вот, казалось бы, и окончательное решение проблемы космического полета.

Однако, несмотря на колоссальную скорость движения частиц, из-за ничтожности их масс создать таким образом существенную тягу невозможно. Напомним, что тяга ракетного двигателя приблизительно пропорциональна произведению скорости частиц на их массу. Для создания тяги в сотни тонн, которая требуется для взлета крупного ракетного корабля, необходимо деление десятков граммов ядерного горючего в секунду. Но ведь один грамм урана-235, распадаясь, в секунду выделит тепло, отвечающее мощности в 100 млн. л. с. «Тепловая» мощность такого двигателя достигнет миллиардов лошадиных сил! Точно крошечная атомная бомба взорвалась бы в камере сгорания ракеты. Это привело бы к мгновенному «испарению» камеры под действием ударов осколков ядер и других частиц, образующихся при цепных реакциях. Вот почему создание ракетных двигателей, в которых тяга обеспечивается непосредственно отбрасыванием ядерных частиц, пока невозможно.

Не решена также задача направленного истечения продуктов реакции. Экран, отражающий и фокусирующий частицы, подвергался бы особенно интенсивной бомбардировке и также «испарился» бы. Поэтому ракету с таким «простейшим» атомным двигателем пока практически создать невозможно, и ее называют «псевдоракетой».

Правда, создание такого двигателя для ракет осуществимо, но применить его будет возможно лишь вне мощных полей тяготения Земли и планет, т. е. на промежуточных участках межпланетных трасс. В космическом пространстве тяга должна составлять всего лишь несколько килограммов. Для этого достаточно ежесекундного деления ничтожного количества ядерного горючего: выделяющееся при этом количество тепла будет таким, что охлаждаемые специальным образом стенки камеры смогут устоять.

Таким образом, оказывается, что одного ядерного горючего на борту ракеты пока еще недостаточно для создания космического корабля. Необходимо, кроме него, брать в каждый рейс «рабочее вещество» специально для того, чтобы, разогревая его с помощью ядерного горючего, выбрасывать через сопло для создания необходимой тяги ракетного двигателя.

Так мы вновь возвращаемся к схеме, чрезвычайно напоми-

нающей обычный жидкостный ракетный двигатель (ЖРД), работающий на современных химических топливах, но такой, в котором место окислителя занято ядерным горючим, место топлива — рабочим веществом, камеру сгорания заменяет реактор (рис. 11).

Такой «термический» атомно-ракетный двигатель осуществим. При его использовании отпадает необходимость в окислителе, которого на борт ракеты берется обычно по объему в несколько раз больше, чем топлива.

Какие же преимущества может дать этот двигатель по сравнению с обычным ЖРД и за счет чего эти преимущества могли бы быть достигнуты?

Прежде всего отметим, что, выбирая топливо для обычного ракетного двигателя, конструктор должен найти такие компоненты, которые при сгорании выделяли бы больше тепла и давали бы высокую скорость истечения продуктов сгорания из камеры. В современных химических ракетах скорость истечения газов более 3 км в секунду. Новые топлива, разрабатываемые в наши дни, могут в будущем увеличить эту скорость до 4,5—6 км в секунду. Едва ли удастся добиться большего, ибо количества энергии, которые получаются за счет химических реакций, весьма ограничены. Напротив, энергия, заключенная в ядрах атомов, колоссальна. Это позволяет рассчитывать на получение очень высоких скоростей истечения газов.

Поскольку отпадает необходимость заботиться об эффективном окислении топлива, новые возможности открываются и при выборе рабочего вещества. Можно будет использовать одну жидкость со сравнительно малым молекулярным весом и достаточно большой плотностью. Уменьшать молекулярный вес выгодно потому, что при этом скорость истечения газов растет. Например, при уменьшении молекулярного веса в 2,25 раза скорость истечения возрастет в 1,5 раза. С другой стороны, увеличение плотности топлива позволяет уменьшать размеры баков ракеты.

Важно также и то, что теплотворная способность, например, урана-235 достигает 16 млрд. больших калорий на килограмм (такого количества тепла достаточно, чтобы довести до кипения 160 тыс. т воды). Существует закономерность — с ростом теплотворной способности возрастает количество тепла, которое удается использовать для создания реактивной тяги двигателя. Поэтому, в конечном счете, можно при сохранении температуры стенки камеры сгорания в допустимых пределах увеличить тягу.

Если бы удалось реализовать все эти возможности, так, казалось бы, щедро предоставляемые новым ядерным горючим, то даже в варианте ракеты с дополнительным рабочим веществом можно было бы рассчитывать на новые колоссальные успехи ракетной техники. Однако в самом «простом» варианте

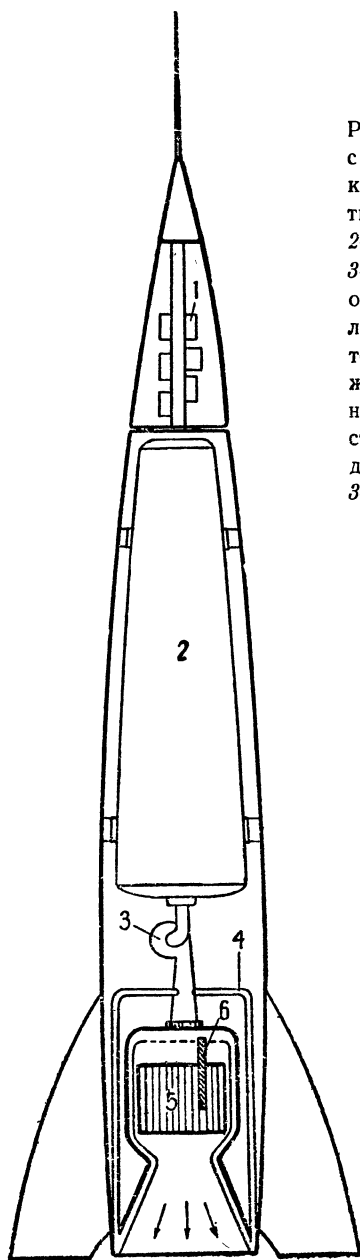
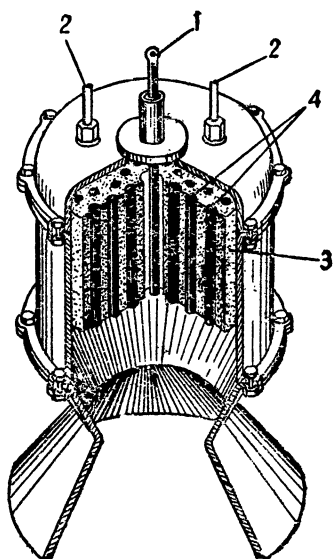


Рис. 11. Схема атомной ракеты с реактором, расположенным в камере: 1—приборы и автоматы для управления ракетой; 2—бак для жидкого водорода; 3—турбонасосный агрегат; 4—отвод части водорода для охлаждения двигателя; 5—реактор; 6—управляющий стержень. С п р а в а — схема атомного ЖРД: 1—управляющий стержень; 2—турбопроводы для подачи жидкого водорода; 3—графитовый блок; 4—стержни, содержащие уран-235.





атомно-ракетного двигателя, в котором для разогрева рабочего тела предполагается применить уран-графитовый реактор (этот вариант до недавнего времени привлекал наибольшее внимание специалистов), полностью использовать преимущества нового горючего чрезвычайно трудно.

Причина этого заключается в том, что в ближайшие годы вряд ли можно рассчитывать на создание реактора, выдерживающего температуру более  $2000^{\circ}$ . Как уже отмечалось, борьба за температуру в реакторе  $1000—1200^{\circ}$  сейчас является одной из задач науки и техники. Мы еще не знаем стойких материалов для активной зоны реактора, которые не теряли бы прочности при температуре  $3500^{\circ}$ . Но если даже в реакторе будет достигнута температура  $3000—3500^{\circ}$ , то и тогда необходимость передачи огромных количеств тепла рабочему телу поведет либо к чрезмерному возрастанию разности температур между ним и деталями реактора, либо к чрезмерному увеличению поверхности теплообмена.

В одном из проектов, предложенном китайским ученым Цзянь Шень-сю, делается попытка преодолеть описанные затруднения. Им предлагается использовать реактор, состоящий из многочисленных конических урано-углеродных трубок с пористыми стенками, каждая из которых имеет толщину примерно 3 мм. При работе двигателя на жидком водороде последний должен продавливаться насосом через пористые стенки трубок и таким образом охлаждать их и нагреваться сам. Предполагаемый начальный вес ракеты для полета на Луну с таким «сотовым» реактором составляет около 1600 т, в том числе в баках ракеты должно содержаться 1200 т жидкого водорода.

Как видим, схема атомно-ракетного двигателя пока что не сулит решающих преимуществ перед бурно развивающимися ракетными двигателями на химических топливах.

Но нельзя ли отказаться от реактора, заполненного твердым замедлителем и ядерным горючим, и все же добиться разогрева газа? Оказывается, это можно сделать, если бы удалось применить схему атомно-ракетного двигателя, в котором обогащенное ядерное горючее и рабочее тело подаются непосредственно в камеру сгорания со стенками, хорошо отражающими нейтроны и имеющими специальное пленочное охлаждение, или охлаждение «выпотеванием».

Если через поры в стенках камеры продавливать внутрь нее рабочее тело, служащее в то же время замедлителем, и вместе с тем подать в камеру ядерное горючее, то по достижении критической массы начнется цепная реакция. При этом в центре камеры температура может быть чрезвычайно высокой, вплоть до  $4000—5000^{\circ}$  (она ограничивается только жаростойкостью камеры), а стенки камеры, от которых непрерывно отводится тепло самим же поступающим через них и затем испаряющимся рабочим веществом, останутся сравнительно холодными, и

поэтому камера не прогорит. В такой камере и должна протекать цепная реакция.

При этом желательно, чтобы рабочее тело подводилось к оси камеры тангенциально, для создания вдоль оси спирального завихренного жгута. Это позволит ограничить зону высоких температур и увеличить устойчивость камеры. Так можно избавиться от некоторых затруднений, связанных с созданием сверхжаростойких реакторов с большими поверхностями теплообмена.

Благодаря высоким температурам в камере сгорания скорость истечения газов может возрасти до 8—9 км в секунду и космическая ракета станет осуществимой при реальном отношении веса груза и горючего к весу ее конструкции.

Однако осуществление двигателя такой схемы осложняется тем, что, например, для получения цепной реакции в газовой среде диаметр камеры двигателя должен составлять десятки метров, либо давление в камере должно быть чрезмерно высоким. Все же можно надеяться на то, что все эти необыкновенные трудности будут преодолены.

Предполагается, что одна из таких «лунных» атомных ракет будет снаряжена всего лишь несколькими сотнями тонн водорода. Она должна будет иметь в длину около 120 м и 12 м в диаметре.

Для полета в космическом пространстве предлагались и проекты ионных ракет. Идея такого двигателя была высказана К. Э. Циолковским. Позже в ее развитие было предложено использовать в качестве рабочего тела металлы цезий и рубидий. Эти металлы разогреваются и в виде пара поступают в специальную камеру на раскаленную платиновую сетку. Здесь от молекул газа отрываются электроны, т. е. молекулы ионизируются и приобретают положительный электрический заряд. Далее ионы и электроны разделяются и разгоняются в ускорителях до скоростей в сотни километров в секунду. Такой разгон заряженных частиц сейчас очень широко применяется в технике и науке. Примером тому служит пучок электронов в телевизионной трубке и, наконец, созданный советской наукой и используемый в Объединенном институте ядерных исследований синхрофазотрон на 10 млрд. электроновольт.

Подобно этому могут быть отдельно разогнаны уже полученные ионы и электроны газа, которые затем будут поданы параллельными струями в сопло, где, соединившись в молекулы, образуют струю стремительно отбрасываемых молекул. Энергию для испарителей и для камеры, в которой образуются ионы, должна дать атомная силовая установка, смонтированная на ракете. Предполагается также, что такие ионные двигатели могут быть использованы для управления ракетами.

По другому проекту двигателя для атомной ракеты предполагается использовать способность некоторых изотопов ис-

пускать большое количество электронов в течение нескольких минут после нейтронного облучения. В качестве источников электронов, движущихся с большими скоростями, могут быть, например, использованы алюминий или ванадий, становящиеся радиоактивными после нейтронного облучения.

Ступень с атомным двигателем в космической ракете желательно применять как одну из промежуточных, т. е. первая ступень может иметь, например, воздушно-реактивный двигатель, вторая — прямоточный (рис. 12). Эти две ступени помогут ракете пробить панцырь земной атмосферы. Затем вступит в действие третья ступень с атомным двигателем, который начнет работать на очень большой высоте, где отбрасываемые радиоактивные газы не опасны для земных объектов. Атомный двигатель должен обеспечить победу над силой тяжести, сообщить ракете космическую скорость.

Отметим, что новые, особенно большие возможности откроются и перед ядерными ракетами, стартующими непосредственно с межпланетной станции — искусственного спутника Земли.

Таковы лишь некоторые проекты «обычных» атомных ракет, открывающих новые обширные горизонты перед космонавтами. А ведь впереди — возможности использования управляемых термоядерных реакций!

Советские ученые под руководством академиков И. В. Курчатова, Л. А. Арцимовича и М. А. Леонтовича добились в этой области значительных успехов. Они получили с помощью мощных электрических разрядов в дейтерии тонкие струйки раскаленной газовой среды с чрезвычайно высокой температурой. Может быть, в будущем удастся, подавая дейтерий в камеру сгорания и создавая в нем условия для цепной термоядерной реакции, получить раскаленные газы, которые, вытекая через сопло, создадут тягу. Можно надеяться, что дальнейшие исследования дадут возможность использовать термоядерные реакции в силовых установках промышленности, а также создать двигатель для ядерной ракеты.

По мнению некоторых специалистов, для полетов астронавтов вселенной к другим звездным мирам необходимо оседлать свет — создать фотонную ракету, в которой ядерное горючее должно превращаться в видимый свет, в излучение.

Однако если, как предполагалось до сих пор, использовать в фотонном звездолете луч видимого света, то зеркало, отражающее этот свет, при сколько-нибудь существенной тяге двигателей неминуемо испарится. Выход из этого затруднения может быть найден в использовании более длинных волн, чем длина волны видимого света, т. е. более мелких квантов — токов высокой частоты. Устройство для отражения таких электромагнитных волн и сосредоточения их в узком пучке может быть создано. И если будет открыт и освоен способ управляемого

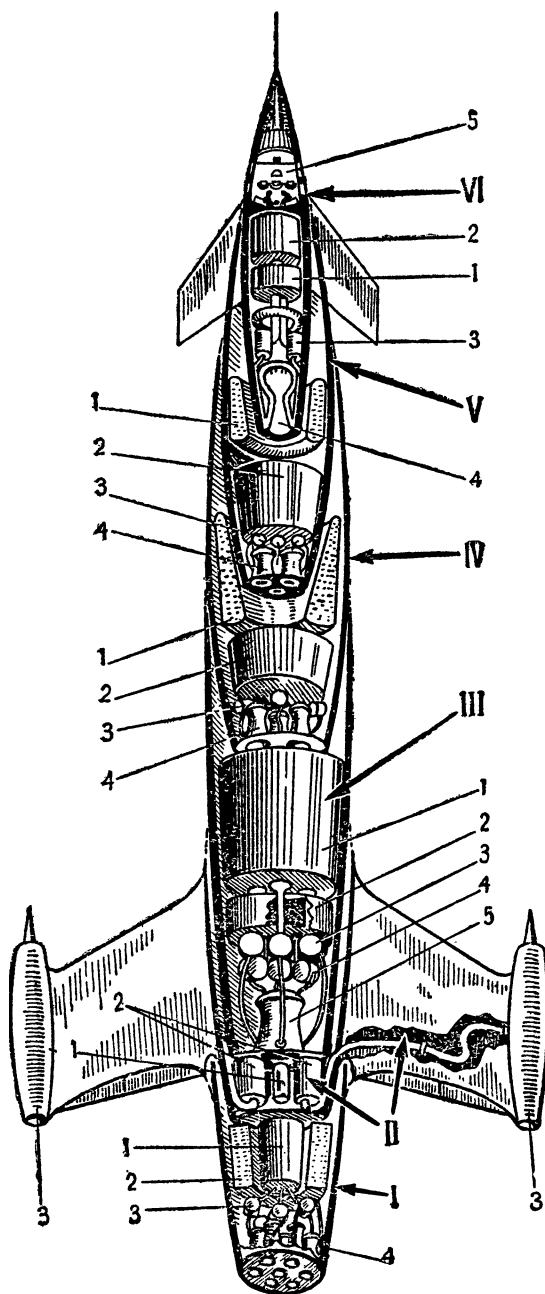


Рис. 12. Космическая ракета с атомной ступенью. I—стартовая ступень с ЖРД: 1—бак с горючим; 2—бак с окислителем; 3—турбонасосные агрегаты (ТНА); 4—камеры сгорания. II—ступень с ВРД: 1—баллон со сжатым газом; 2—баки с горючим; 3—прямоточные ВРД. III—ступень с атомным двигателем. 1—бак с рабочим телом; 2—ядерное горючее; 3—ТНА; 4—устройство для подачи ядерного горючего; 5—камера, в которой происходит цепной процесс. IV—ступень с ЖРД: 1—бак с горючим; 2—бак с окислителем; 3—ТНА; 4—камеры. V—ступень с ЖРД: 1—бак с горючим; 2—бак с окислителем; 3—ТНА; 4—камеры. VI—ступень с ЖРД: 1—топливо; 2—окислитель; 3—ТНА; 4—камера; 5—кабина экипажа.

превращения вещества в мелкие кванты, то перед человечеством откроется путь к далеким звездным мирам.

Квантовые двигатели открыли бы перед ракетной техникой поистине космические перспективы. Они могли бы оказаться тем ключом, который распахнет людям двери во вселенную. И если с помощью жидкостного ракетного двигателя человечество проникнет в космос, то с помощью атомного двигателя (который, если понадобится, сможет работать в течение большей части времени космического путешествия) оно, осуществляя предвидение К. Э. Циолковского, «завоюет себе все околосолнечное пространство». И тогда наш атомный век станет также веком межпланетной эры.

---

## Заключение

Время — замечательный пробный камень. Глубже, вернее и надежнее всего удастся оценить значение научно-технических открытий, отойдя от них хотя бы на десятилетие. Только тогда, когда атомные двигатели станут обычным явлением в жизни народов, мы по-настоящему поймем всю значительность открытия энергии атома для транспорта и с благодарностью вспомним тех, кто в наши дни прокладывает новые пути использования этой силы для блага человечества.

Тысячелетия прошли, прежде чем огонь был использован для парового двигателя. Всего пятнадцать лет (со времени получения ядерной энергии в реакторе) понадобилось ученым XX столетия для создания первой атомной электростанции и первых ядерных двигателей. Нет сомнения, что советские люди будут еще смелее покорять пространство и время, используя новый сверхконцентрированный источник энергии.

Не исключено, что будут открыты и использованы новые ядерные процессы, при которых энергия радиоактивных излучений будет настолько мала, что для защиты от них не понадобится громоздких и тяжелых экранов, затрудняющих применение атомных двигателей в наземном и воздушном транспорте. Новые перспективы в этом направлении открывают и работы по непосредственному превращению атомной энергии в электрический ток.

Наконец, известны успехи советских ученых, делающих попытки получения управляемых термоядерных реакций. Решение этой проблемы неизмеримо расширит не только топливные ресурсы, но и возможности новой энергетики для транспортных установок.

Конечно, может быть, многие транспортные средства века атомной энергии будут выглядеть не совсем так, как мы рассказали. Даже писатели-фантасты затрудняются ныне представить успехи науки будущего. Но можно не сомневаться в том, что атомные транспортные установки прочно войдут в повседневную жизнь.

---

## ЛИТЕРАТУРА

- Труды сессии Академии наук СССР по мирному использованию атомной энергии. Изд-во АН СССР. 1955.
- Доклады советской делегации на Международной конференции по мирному использованию атомной энергии. Женева, 1955 г. Изд-во АН СССР. 1955.
- Доклады иностранных ученых на Международной конференции по мирному использованию атомной энергии. Женева, 1955 г. «Атомная энергетика». Госэнергоиздат. 1956.
- Р. Меррей. — Введение в ядерную технику. Изд-во иностранной литературы. 1955.
- Э. Шпольский. — Атомная физика. Гостехиздат. 1951.
- Р. Стефенсон. — Введение в ядерную технику. Гостехиздат. 1956.
- Дж. У. К. Форд. — Проекты энергетических реакторов. Госэнергоиздат. 1956.
- Проблемы использования атомной энергии. Сборник статей. Воениздат. 1955.
- П. Асташенков. — Атомная промышленность. Воениздат. 1956.
- В. Михайлов, М. Мкртычев. — Атомная энергия и перспективы ее использования. Изд-во «Знание». 1955.
- Научные и технические основы ядерной энергетики. Сборник статей под ред. К. Гудмена. Т. 1—2. Изд-во иностранной литературы. 1948—1950.
- Д. Воскобойник. — Ядерная энергетика. Гостехиздат. 1956.
- В. Ромадин. — Энергетическое использование атомной энергии. Изд-во «Знание». 1955.
- В. Белобородов. — Современные двигатели и силовые установки морских теплоходов. Судпромгиз. 1949.
- А. Правдин. — Конструкция подводных лодок. Оборонгиз. 1947.
- Г. Скубачевский. — Конструкция авиационных газотурбинных двигателей. Оборонгиз. 1954.
- В. Поликовский. — Самолетные силовые установки. Оборонгиз. 1952.
- Р. Перельман. — Атомный ледокол. Журнал «Наука и жизнь» № 4 за 1956 год.
- Р. Перельман. — Атомные двигатели. Журнал «Наука и жизнь» № 1 за 1956 год.
- К. Гильзин. — От ракеты до космического корабля. Оборонгиз. 1955
- Журнал «Атомная энергия». Изд-во АН СССР. 1956 и 1957 гг.
- Журнал «Судостроение» № 1 за 1957 год — статья «Строительство атомного ледокола», № 4 — статья инж. С. А. Ключкова «Некоторые сведения об атомно-энергетических установках и их применении на судах».
- Журнал «Железнодорожный транспорт» № 11 за 1956 год. Статья «Атомные локомотивы».

## К ЧИТАТЕЛЯМ

Издательство «Знание» Всесоюзного общества по распространению политических и научных знаний просит присылать отзывы об этой брошюре по адресу: Москва, Новая площадь, д. 3/4.

Автор  
**Роман Григорьевич Перельман**

Научный редактор **Н. А. Николаев**  
Редактор издательства **Л. И. Ланина**  
Техн. редактор **И. А. Стрелецкий**  
Корректор **М. Шафранская**

---

А.00766. Подп. к печати 21/III 1958 г. Тираж 60 000 экз. Изд. № 347.  
Бумага 60×92<sup>1</sup>/<sub>16</sub> — 1,75 бум. л.=3,5 печ. л. Уч.-изд. 3,46 л. Зак. 4785.

---

Тип. Всесоюзн. общества по распространению полит. и научн. знаний.  
Москва, Новая площадь, д. 3/4.





1 руб. 20 коп.