

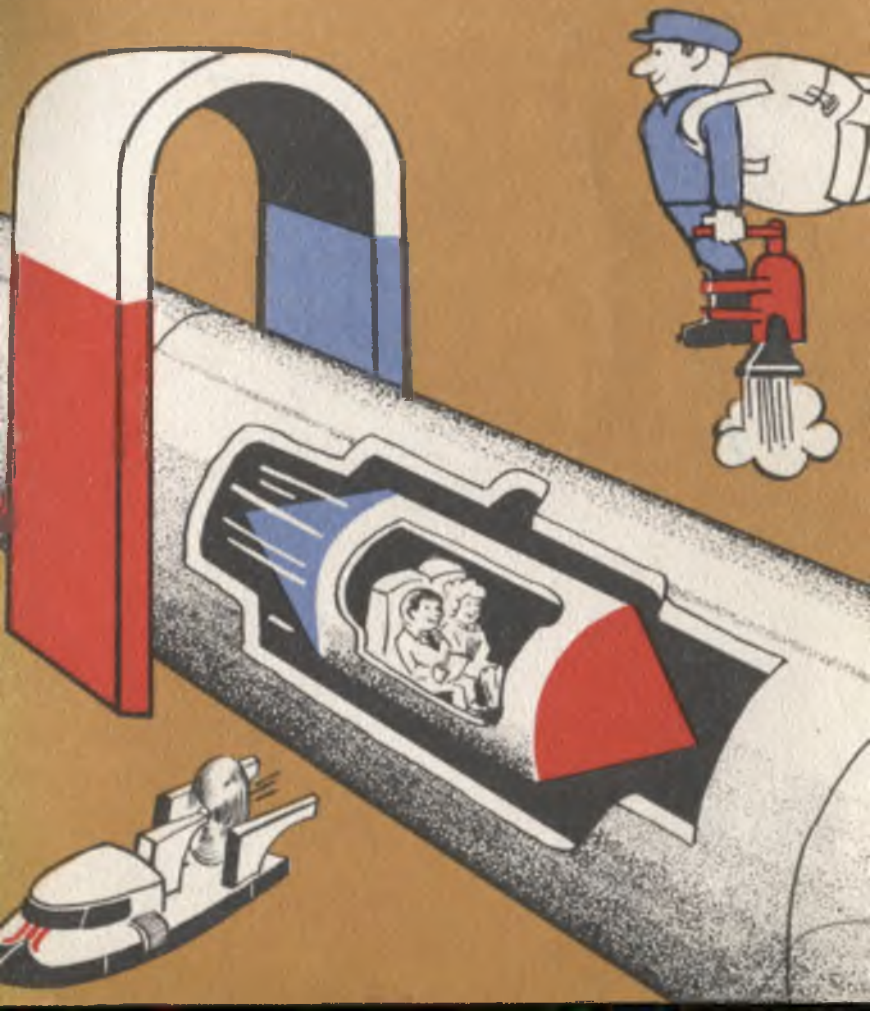
67 39

Г 47

I 892966

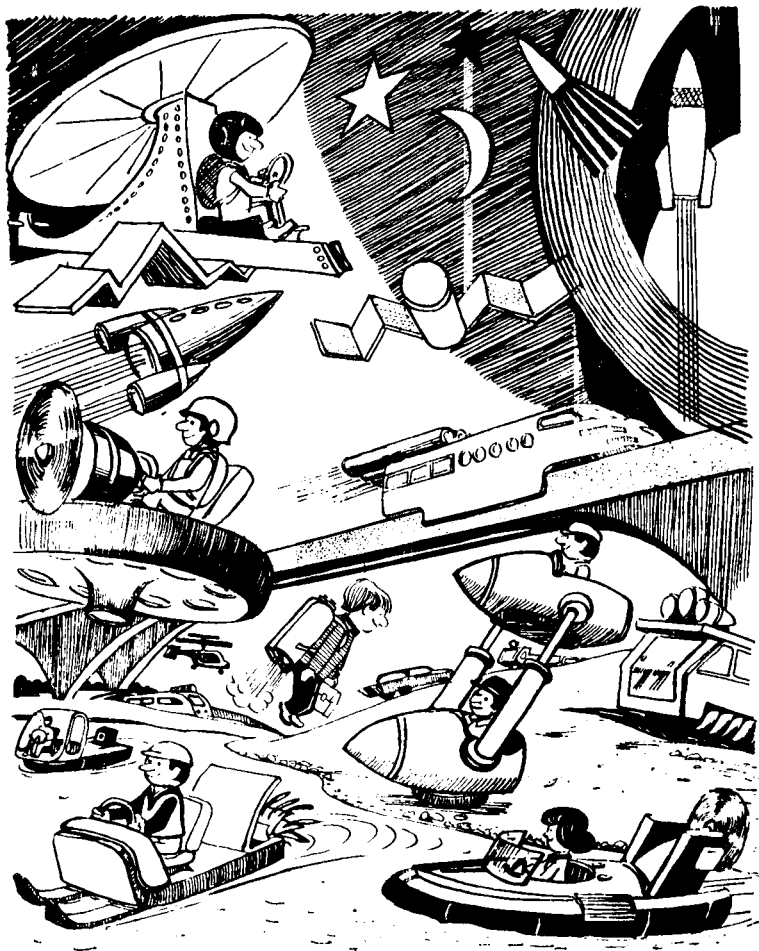
К. ГИЛЬЗИН

В мире транспорта



К. А. ГИЛЬЗИН

В мире транспорта



К. А. ГИЛЬЗИН

В мире транспорта

I 892966



МОСКВА
ТРАНСПОРТ 1978

ВОЛОГОДСКАЯ
областная б. б. о-ека
им. И. В. Бабушкина

6 Т
ББК39

Г47

УДК 629.4

В связи со смертью автора Карла Александровича Гильзина исправил рукопись после рецензии и восполнил имевшиеся в ней некоторые пробелы инж. В. А. Власов.

Гильзин К. А.

Г47 В мире транспорта. — М., Транспорт, 1978.
— 88 с., с табл.
20 коп.

Почему движутся транспортные аппараты всех видов и назначений? Как возникает сила тяги и подъемная сила? Что представляют собой двигатели? В книге в доступной и увлекательной форме рассказывается о мире разнообразных аппаратов, используемых в наземном, водном, воздушном и космическом транспорте настоящего и будущего.

Книга рассчитана на читателей, интересующихся работой транспорта.

Г 31802-135
049(01)-78 135-78

ББК39
6Т

Предисловие

Эта небольшая книжка не энциклопедия транспорта. Подобная энциклопедия была бы обширным многотомным изданием. И все же она дает достаточно полный обзор существующих и проектируемых транспортных средств, их главных отличительных признаков. Автор сосредоточил внимание на анализе трех основных вопросов: почему движутся транспортные аппараты различных видов и назначений? Как возникает у них сила тяги или подъемная сила? Что представляют собой их движители?

Многообразные транспортные средства, движение которых основано на различных принципах, рассмотрены в книге в историческом аспекте. Написанная в популярной занимательной форме она заинтересует широкие круги читателей, пользующихся современными видами транспорта и желающих знать перспективы их развития.

Если принять во внимание, что каждый из видов транспорта—наземный, водный, воздушный и космический — выделен в силу специфики в отдельную область науки и производства, то станет понятна сложность задачи, стоявшей перед автором.

Книга, естественно, не претендует на исчерпывающее освещение всех вопросов развития транспорта, особенно проблемных вопросов, которые в ряде случаев для узких специалистов могут оказаться дискуссионными. И тем не менее, можно полагать, что она с интересом будет прочитана и этой группой читателей.

Профессор,
доктор технических наук,
заслуженный изобретатель РСФСР

В. А. ВИНОКУРОВ

Вступление

Нас окружает бесконечное многообразие транспортных аппаратов, понять назначение и принцип работы которых кажется иногда не под силу человеку. И все же можно выделить некоторые признаки, присущие всем видам транспорта. Таких признаков можно указать, пожалуй, три. Способ создания подъемной (поддерживающей) силы, вид двигателя¹ и вид двигателя (силовой установки транспортного аппарата).

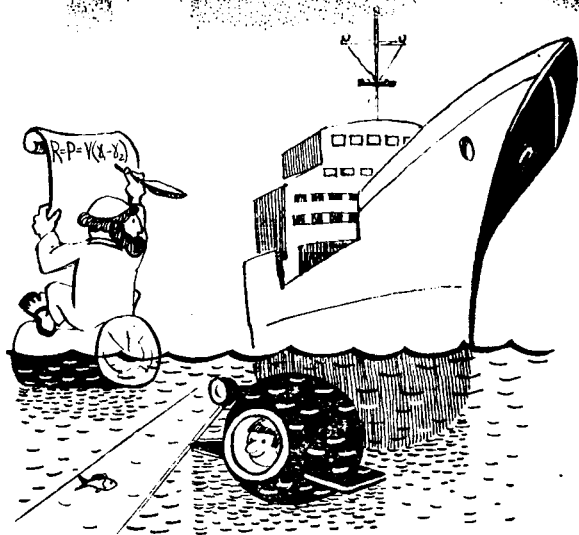
Зная эти признаки, можно представить себе назначение транспортного аппарата, область его применения и даже внешний вид. Именно они, эти признаки, могут стать своеобразными путеводными маяками в мире транспорта, помочь ориентироваться в нем. А это необходимо каждому цивилизованному человеку, так велико значение транспорта в наше время. И значение его будет со временем не только не уменьшаться, а возрастет. Еще совсем недавно (что значат для истории два-три столетия?) единственными видами транспорта были гужевая повозка на суше и гребное или парусное судно на воде. Как изменился за прошедшее время транспорт! Теперь это действительно огромный и разнообразный мир. Решительное вторжение человека в малоисследованные уголки планеты и около-

¹ Устройство для преобразования работы двигателя или другого источника энергии в работу, обеспечивающую движение транспортных машин.

планетного пространства, неудовлетворенность существующими скоростями, забота об охране природы и энергетических ресурсах земли — вот основные стимулы стремительного развития транспорта.

Каждые несколько лет число всевозможных транспортных средств удваивается. Каких только не встретишь ныне транспортных аппаратов, совершенно не похожих друг на друга, предназначенных для различных целей, движущихся с самыми разными скоростями по земле и под землей, по воде и под водой, в воздухе и в космосе. Все время появляются новые виды движителей и двигателей, иной раз удивительно своеобразные, основанные на неожиданных, подчас весьма оригинальных принципах.

Как разобраться во всем огромном и прекрасном мире транспорта? Прекрасном потому, что без него нельзя представить себе наш век, потому, что он не только делает возможным современный образ жизни, но и поистине украшает ее. Что лучше стремительной скорости передвижения, открывающей людям весь земной шар, характеризует нынешнее время!



Поддерживающая (подъемная) сила

Этот признак поставлен в начале книги не случайно. Пожалуй, он прежде всего характеризует транспортный аппарат. И вместе с тем далеко не всякий человек правильно его себе представляет.

Мы живем в условиях тяготения, действующего всюду вокруг нас. Поле тяготения создается Землей (для нас оно главное), а также Луной, Солнцем, другими небесными телами. Если убрать опору, то любой предмет станет падать со все возрастающей скоростью к центру притяжения: на Земле — к центру земного шара, на Луне — к ее центру (точнее, в обоих случаях — к общему центру масс, да еще с поправкой на притяжение к Солнцу, но эти уточнения относительно несущественны). Поэтому, создавая любой транспортный аппарат, прежде всего приходится задумываться над тем, как найти для него опору, т. е. силу, противодействующую тяготению, компенсирующую его. Эта задача решается наиболее просто лишь в том случае, когда речь идет о наземном транспорте и поддерживающей силой является реакция опорной поверхности (табл. 1). Но если нужно оторваться от этой поверхности, когда речь идет о движении транспортного экипажа в воде, воздухе или космосе, то решение оказывается вовсе не столь очевидным и далеко неоднозначным.

Самый древний вид транспорта — лодки, которые появились, по-видимому, намного раньше колеса.

Почему лодка не тонет, что удерживает ее на плаву, как создается в этом случае поддерживающая сила? Зазумется, древние кораблестроители не задавали себе эти вопросы и уж во всяком случае не умели на них ответить. Впервые это удалось за два века до нашей эры знаменитому Архимеду, поэтому поддерживающая (выталкивающая) сила получила для данного случая название архимедовой. Она образуется потому, что лодка, как любой поплавок, легче воды — она погружается в воду ровно на столько, чтобы вес вытесненной ею воды равнялся весу самой лодки. Архимедова сила выражается в том, что на днище лодки действует давление воды, которое возрастает с увеличением глубины.

Принцип создания поддерживающей (подъемной) силы путем вытеснения среды (см. табл. 1) относится ко всем транспортным аппаратам, которые легче этой среды, все равно воды или воздуха. Архимедова сила поддерживает на плаву лодки и морские суда, подводные лодки и глубоководные батискафы. Она же несет в воздухе воздушные шары и дирижабли, заполненные нагретым воздухом или легкими газами — водородом, гелием. Не зря они называются аэростатами (в отличие от самолетов, которые когда-то назывались «аэродинамами») — подобный принцип создания поддерживающей силы (как и упоминавшаяся ранее реакция опорной поверхности Земли) является статическим, так как сила действует при неподвижном состоянии аппарата. Затраты энергии относительно невелики или отсутствуют совсем. В этом заключается преимущество рассматриваемого принципа перед всеми другими. Так, например, дирижабль перевозит груз в 3—5 раз дешевле, чем самолет, и в 12—15 раз дешевле, чем вертолет. Не удивительно, что столь большой интерес вызывает снова применение этих воздушных гигантов. После нескольких десятилетий, в течение которых дирижабли считались уже делом истории и их называли не иначе, как «вымершими мамонтами» и «динозаврами», в послед-

ние годы в различных странах разработано множество проектов дирижаблей самого разного применения, первые дирижабли уже построены.

В 1972 г. совершил свой первый полет дирижабль «Европа», построенный в Англии. Намечен полет французского дирижабля «Титан» грузоподъемностью 900 т. Строят дирижабли в Японии, США, ФРГ.

Многие актуальные задачи транспорта, в частности перевозка сверхтяжелых и громоздких грузов, транспортировка природного газа из отдаленных районов, воздушные туристские круизы и др. под силу были бы дирижаблям. Некоторые разработанные проекты гигантских и скоростных дирижаблей (длиной 0,5 км) поистине впечатляют. Применение новых материалов, атомных двигателей и пр. должно сделать дирижабли надежными, экономичными и полезными во многих областях нашей жизни. Применяются главным образом в спортивных целях и небольшие, легкие воздушные шары, наполненные горячим воздухом, — монгольфьеры, названные так в честь двух братьев-французов, изобретателей подобного шара.

Путешествие по голубому океану в гондоле монгольфьера, парящего в абсолютной тишине над Землей, оставляет, по свидетельству самих воздушных путешественников, неизгладимое впечатление.

Есть и огромные воздушные шары — стратостаты — с герметическими гондолами, поднимающиеся на большие высоты и приносящие ценные сведения о стратосфере. Совершают свою ежедневную работу радиозонды — небольшие резиновые шары, поднимающие в тропосферу маленькие автоматические радиостанции. Их роль в науке весьма велика.

У принципа создания поддерживающей силы вытеснением среды имеются, однако, и серьезные недостатки. Пожалуй, главный из них — относительно большой объем транспортного аппарата, вследствие чего сопротивление среды делает невозмож-

Т а б л и ц а 1. Поддерживающая (подъемная) сила

Принципы создания поддерживающей силы	Способ создания поддерживающей силы	Область применения	Транспортное средство
Реакция опорной поверхности	Статический	Наземный транспорт	Автомобиль, вагон, трактор и пр.
Вытеснение окружающей среды (жидкой или газообразной)	»	Водный, воздушный транспорт	Корабль, подводная лодка, батискаф, дирижабль, стратостат и пр.
Циркуляция	Динамический	То же	Подводный планер, корабль на подводных крыльях, вертолет, самолет и пр.
Реакция струи	То же	Воздушный, космический транспорт	Самолет, вертикального взлета, ракета
Воздушная подушка	Статический, динамический	Водный, наземный транспорт	Судно на воздушной подушке, автолет, экранолет
Магнитная левитация (подушка)	То же	Наземный транспорт	Магнитолет, трубопоезд, рельсолет и пр.

ным движение с большой скоростью. Основанные на этом принципе транспортные аппараты относительно тихоходны. Чтобы достичь значительно большей скорости движения, приходится идти на определенные затраты энергии, используя уже не статический, а динамический принцип создания поддерживающей силы.

Известен ряд методов использования динамического принципа, в первую очередь назовем метод циркуляции (см. табл. 1). Крыло самолета, несущее его в воздухе, реализует именно идею циркуляции воздушного потока, впервые сформулированную знаменитым ученым-аэродинамиком, «отцом русской авиации» Н. Е. Жуковским.

В аэродинамике принято считать, что самолет неподвижен, а воздух движется ему навстречу. Процессы, протекающие у поверхностей самолета, при таком допущении не изменяются. В то же время этот прием позволяет легко моделировать полет самолета в аэродинамических трубах.

Когда крыло движется в воздухе, то набегающий встречный поток притормозится перед крылом, а затем разделится на две части: одна часть пройдет над верхней поверхностью крыла, а другая — под нижней. За крылом они объединяются вновь в один поток. Так как крыло имеет выпуклую форму, то верхняя часть потока проходит большее расстояние, чем нижняя. А это возможно лишь в том случае, если скорость верхних струй воздуха будет выше, чем скорость нижних. Можно представить, что крыло обтекают как бы два потока воздуха, причем первый движется линейно относительно крыла, а второй совершает круговое движение — циркулирует (отсюда и название циркуляция).

Скорость обтекающего крыло воздушного потока за счет циркуляции, накладывающейся на линейный поток на верхней поверхности крыла, возрастает, а на нижней уменьшается. Но со скоростью потока неразрывно связано его давление.

Когда скорость растет, давление уменьшается, ибо полная энергия потока (сумма кинетической энергии, связанной со скоростью движения, и потенциальной энергии, связанной с давлением) остается при обтекании, естественно, неизменной. Так получается, что давление воздуха под крылом оказывается большим, чем над ним,—разница давлений и создает поддерживающую (подъемную) силу.

Чтобы увеличить эту силу, в частности, например, на режимах взлета и посадки самолета, иногда используют так называемую механизацию крыла.

Различные подвижные его части — предкрылки и закрылки, — обдуваемые встречным потоком воздуха, выпускными газами двигателя или отбираемым из него воздухом (так называемые струйные закрылки), увеличивают циркуляцию и тем самым подъемную силу в тех случаях, когда она должна быть максимально возможной.

Так обеспечиваются своеобразная всережимность крыла, его оптимальные характеристики на разных режимах полета. Ту же цель преследует и применение крыла изменяемой геометрии, в частности—его поворот для изменения угла стреловидности и угла атаки, т. е. угла, образованного хордой сечения крыла и направлением движения.

Помимо самолетов, принцип циркуляции используют также вертолеты (или геликоптеры) — их несущий винт не что иное, как вращающееся крыло.

Этот же принцип лежит в основе (правда, во многом и отличного от обычного самолетного крыла) машущего крыла птиц и насекомых, а также махолетов — летательных аппаратов с подобным крылом, орнитоптеров («птицелетов») и энтомоптеров («насекомолетов»), пока не получивших применения, но, несомненно, весьма эффективных.

Ведь полет птиц и насекомых намного экономичнее, чем самолетов, не говоря уже о вертолетах. Птицы, например, затра-

чивают на полет в 5—15 раз меньше энергии, чем самолеты, а их сверхдальние перелеты без посадки и почти без потери веса заставляют бледнеть от зависти авиаторов. В разное время выдвигались предложения о сочетании на одном летательном аппарате обоих способов создания подъемной силы: статического и динамического. Таким, например, является проект своеобразного гибрида воздушного шара и вертолета — в нем воздушный шар снабжен несущими воздушными винтами большого диаметра. Или проект другого гибрида — «самолетодиржабля», в котором дирижабль снабжен дополнительным несущим крылом. Однако практического применения эти проекты не получили.

Используется принцип циркуляции и в водном транспорте. Во всем мире известны созданные у нас в стране быстроходные речные и морские суда на подводных крыльях. У этих судов под водой движутся лишь узкие крылья, не оказывающие большого сопротивления движению. Весь корпус судна находится над водой, поэтому его скорость существенно больше, чем у обычных судов.

Есть и экспериментальные подводные аппараты с крылом, их называют иногда подводными планерами, они обладают повышенной маневренностью в плавании под водой.

За рубежом разработаны весьма полезные для разных целей так называемые «мокрые подлодки». В отличие от обычных они заполнены водой и люди в них должны пользоваться водолазным костюмом или аквалангом. Подобные лодки не обладают архимедовой несущей силой и поневоле должны использовать несущие поверхности.

За рубежом разработаны проекты летательных аппаратов — гидросамолетов, способных двигаться под водой и совершать подводный взлет.

В последние годы более широкое применение стал получать иной принцип создания подъемной силы — реактивный (см.

табл. 1). Речь идет не о реактивной авиации, вошедшей в нашу жизнь, в данном случае реактивная тяга двигателя служит для поддержания аппарата в воздухе, т. е. для создания подъемной силы.

Примером может служить баллистическая ракета — у нее крыла нет и как движущая, так и подъемная сила создается одним лишь ракетным двигателем. Подъемная сила, создаваемая реактивной струей, используется также в многочисленных проектах индивидуальных летательных аппаратов, известных под названиями «реактивная метла», «реактивный пояс», «реактивное кресло» и т. п. Во всех случаях подобный аппарат представляет собой по существу один лишь реактивный двигатель, либо непосредственно укрепленный на человеке, либо снабженный сиденьем.

Существуют и такие аппараты, у которых в горизонтальном полете подъемная сила создается крылом, а при взлете и посадке — реактивной струей, так что используются оба принципа: циркуляции и реактивный. При этом применяются поворотные реактивные двигатели или же регулируется отклонение их реактивной струи. При взлете и посадке реактивная струя направлена вниз и создает подъемную силу, а затем двигатель или реактивная струя поворачивается (иногда вместе с крылом) в обычное горизонтальное положение, обеспечивая полет. Это самолеты вертикального взлета и посадки, применяющиеся в военной авиации. Удобны были бы такие самолеты и в гражданской авиации, особенно на коротких линиях, в качестве междугородного транспорта. Однако исследования показывают, что даже высокосоввершенные аппараты вертикального взлета и посадки будут почти вдвое дороже обычных самолетов. Почти столь же высокими предполагаются и эксплуатационные расходы.

Большой интерес вызывает в последнее время принцип создания поддерживающей силы при помощи воздушной

подушки (см. табл. 1). В этом случае используется эффект экрана, т. е. близость ограничивающей поверхности — земной или водной. В пространстве между экраном и днищем транспортного аппарата искусственно создается повышенное давление. Эта хотя и невидимая, но вполне реальная упругая воздушная подушка, на которую опирается аппарат, поддерживает его, позволяя в то же время двигаться со значительной скоростью. Что скорость движения велика, нет ничего удивительного, ведь транспортный аппарат летит в воздухе, не касаясь опорной поверхности.

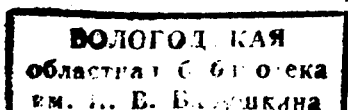
Основной тип воздушной подушки — статическая. Называется она так потому, что существует в неподвижном транспортном аппарате. Для создания статической воздушной подушки специальный вентилятор, или воздуходувка, на борту транспортного аппарата подает воздух повышенного давления под днище аппарата. Этот воздух и создает поддерживающую аппарат силу.

Так как из-под аппарата воздух непрерывно вытекает по его периферии наружу в атмосферу, то вентилятор должен работать непрерывно. Чтобы уменьшить потерю воздуха и тем самым снизить мощность двигателя, приводящего в действие вентилятор, транспортный аппарат снабжается обычно разного рода эластичными юбками, оборками и другими уплотнениями по всему периметру днища.

Разновидностью статической воздушной подушки является так называемая воздушная смазка. В этом случае тонкий слой воздуха отделяет транспортный аппарат от опоры, например железнодорожного рельса. Этот слой играет роль обычной масляной смазки. Воздушная смазка возможна лишь при очень гладких опорных поверхностях. Применяется и своеобразная «обращенная» статическая воздушная подушка — вакуумная. В такой подушке создается не избыточное давление по сравнению с окружающим атмосферным, а, наоборот, пониженное

892966

17



давление, т. е. вакуум. Несущую силу создает при этом окружающее атмосферное давление, именно оно приподнимает, «несет» транспортный аппарат. Во многих странах, в том числе и у нас в стране, созданы, испытываются и уже применяются самые различные транспортные аппараты на воздушной подушке—морские и речные суда (их называют «летающими судами»), наземные нерельсовые («автолеты») и предложенные еще К. Э. Циолковским рельсовые («рельсолеты») транспортные аппараты. Эти высокоскоростные, а часто и бездеходные аппараты обладают рядом преимуществ перед обычными, традиционными и являются весьма перспективными, в частности, в водном транспорте — для мелководных рек и озер, в наземном транспорте — для заболоченных местностей, например, в тундре. Однако они не лишены и недостатков, сдерживающих их применение. К числу их относится высокая энергоемкость (для подъема массы в 1 т необходима мощность 30—40 кВт), высокий уровень шума, исключающий возможность прокладки трассы вблизи жилых массивов, неблагоприятное влияние на окружающую среду значительных масс воздуха, выбрасываемых с большими скоростями, и пр.

Динамическая воздушная подушка отличается от статической тем, что она создается только при движении транспортного аппарата, но зато без помощи какого бы то ни было вентилятора. Эту подушку создает встречный поток воздуха, который тормозится и сжимается в пространстве между экраном (земной или водной поверхностью) и особым образом профилированным днищем транспортного аппарата. Возможны и такие аппараты, в которых используются оба типа подушки — в начале и конце движения, а также при малых скоростях вентилятор создает статическую подушку, а при большой скорости движения, когда эффективной становится динамическая подушка, вентилятор отключается. Пока транспортные аппараты на динамической воздушной подушке не получили широкого при-

18

менения, однако выгодность при больших скоростях позволяет считать их весьма перспективными. Построен и предложен ряд подобных экспериментальных аппаратов, их обычно называют экранолетами: наземных (автосани, трубопоезд и др.) и надводных (летающие суда).

Представляет интерес и идея создания экранолета-самолета: снабженный крылом, он в начале и конце движения ведет себя, как экранолет, а затем с ростом скорости, когда подъемная сила крыла оказывается достаточно большой, аппарат может оторваться от экрана, переходя на обычный режим полета. На определенной высоте полета можно использовать оба способа создания подъемной силы. Подобные аппараты испытываются.

Возможно, экранолеты больших размеров станут в будущем одним из основных средств трансокеанского сообщения — они гораздо быстрее судов и, вместе с тем намного экономичнее и комфортабельнее самолетов.

Есть еще один весьма перспективный способ создания несущей силы для транспортного аппарата, также основанный на использовании своеобразной «подушки», но уже не воздушной, а ... магнитной (см. табл. 1).

Собственно магнитное подвешивание, или магнитная левитация, известно довольно давно и даже в экспериментальном порядке испытывалось в ряде стран еще в прошлом веке.

Возможны разные способы подвешивания — с использованием сил магнитного притяжения или отталкивания, создаваемых постоянными магнитами или электромагнитами. Создание новых улучшенных магнитных материалов, например бариевых ферритов для постоянных магнитов, позволило начать в последнее время в ряде стран разработку проектов железнодорожных поездов с магнитной подвеской на постоянных магнитах. В этих проектах подвеска обеспечивается силой отталкивания одно-

именных полюсов магнитов пути и подвижного состава (такую систему подвески иногда называют «зеркальной») или же силой притяжения магнитов, расположенных на подвижном составе, к стальному рельсу пути.

Лет 40 назад была предложена магнитная подвеска с помощью электромагнитов постоянного тока — электромагниты подвижного состава притягиваются к стальным рельсам пути. Однако подобная подвеска требует специальной автоматической системы стабилизации с использованием так называемой обратной связи — без нее она оказывается неустойчивой, ведь когда расстояние магнитов от рельса увеличивается, сила ослабевает, отчего расстояние увеличивается еще больше, и т. д. Система стабилизации поддерживает зазор постоянным, изменяя силу тока в обмотке электромагнита.

Пожалуй, самые большие надежды связываются с электродинамической магнитной подвеской, использующей силу отталкивания, создаваемую движущимися электромагнитами со сверхпроводящей обмоткой. Удивительное явление сверхпроводимости, открытое почти семь десятилетий назад, теоретически объясненное четверть века спустя и играющее ныне все большую роль в науке и технике, открыло совершенно новые возможности также для использования магнитной левитации в транспорте. Ведь электрический ток, текущий по сверхпроводящей обмотке электромагнита, практически не встречает сопротивления и, будучи введенным в нее, может циркулировать в ней длительное время, незначительно уменьшаясь. Например, фирмой Сименс изготовлены сверхпроводящие электромагниты, представляющие собой катушки размером $1,2 \times 0,6$ м, погруженные в жидкий гелий. В катушке циркулирует ток 10^6 А, убывающий на 1% в сутки. Электромагнит массой 300 кг создает подъемную силу 3—5 тс при воздушном зазоре 30—10 см соответственно.

В большинстве разрабатываемых у нас и за рубежом проектов «магнитолетов» — транспортных аппаратов на магнитной по-

душке — сверхпроводящие электромагниты размещают на самом экипаже. Можно было бы установить их и в полотне пути, в этом случае уменьшилась бы масса аппарата и повысилась бы безопасность пассажиров, однако такое решение технически невыполнимо.

Представьте себе сотни километров пути с электромагнитами, требующими охлаждения жидким гелием, иначе не возникает сверхпроводимость!

Когда аппарат уже движется, бегущее магнитное поле сверхпроводящих электромагнитов индуктирует в алюминиевом листе или в особых замкнутых алюминиевых контурах, уложенных в бетонном полотне, вихревые электрические токи. Взаимодействие магнитного поля этих токов с магнитным полем электромагнитов и создает силу, приподнимающую магнитолет на 10—30 см над полотном, так что он мчится на невидимой магнитной подушке с большой скоростью, недоступной для обычных поездов.

Проекты предусматривают для магнитолетов скорость 400—500 км/ч (хотя и эта скорость не является пределом), в то время как для традиционной системы колесо — рельс границей является скорость 300 км/ч.

Для трогания с места и замедления при остановках, когда магнитная левитация отсутствует, могут быть использованы колеса на резиновых шинах, катящиеся по бетонному полотну, что-то вроде шасси самолетов, или другой способ магнитного подвешивания, описанный ранее.

Уже сейчас экспериментальные аппараты на магнитной подушке испытываются в ряде стран. И хотя их создание сопряжено с немалыми техническими трудностями, связанными, в частности, с необходимостью охлаждения электромагнитов до сверхнизкой температуры жидкого гелия, всего на 4°С выше абсолютного нуля, а также с необходимостью защиты пассажиров от биологически вредного воздействия сильного магнитного поля,

можно не сомневаться в перспективности магнитолетов, тем более, что ученые настойчиво ищут сплавы, обладающие свойством сверхпроводимости при более высокой температуре, чтобы упростить задачу их охлаждения.

Уже удалось создать сверхпроводник с критической температурой (т. е. температурой перехода в сверхпроводящее состояние) 22,3 К, представляющий собой соединение ниобия и германия. Очевидно, такой сверхпроводник можно охладить до нужной температуры с помощью жидкого водорода, а не жидкого гелия, что гораздо проще и дешевле. Теоретически не исключена возможность создания сверхпроводников и при еще более высокой температуре, вплоть до комнатной. Это привело бы к настоящей революции в науке и технике, в том числе и в области транспорта.

Пройдет время и аппараты на воздушной или магнитной подушке (или же на обеих подушках сразу, есть и подобные проекты) будут пересекать огромные расстояния по земле со скоростью самолета. Некоторые из таких поездов будут мчаться внутри вакуумированных труб, что практически устраним сопротивление воздуха и позволит намного превысить скорость звука.

Космические скорости в наземном транспорте! Не исключена и возможность полета магнитных авиолетов над специально оборудованными сверхскоростными автомагистралями. Возможно, именно магнитолетам разных типов суждено стать основой общественного транспорта будущего.

Исследования показали, что создание летающего поезда на магнитной подушке не только технически возможно, но и вполне оправдано. Он обладает некоторыми преимуществами перед рельсолетом на воздушной подушке — расходует меньше энергии, бесшумен, не поднимает туч пыли, не загрязняет атмосферу шлейфом выхлопных газов. Теперь, когда

защита окружающей природы становится одним из главных требований к создаваемой технике, это важные достоинства.

Уместно отметить, что К. Э. Циолковский первым высказал идею помещения космонавтов в индивидуальные герметические сосуды с жидкостью, по плотности одинаковой с человеческим телом. В этом случае возникает гидростатическая архимедова сила, полностью уравнивающая вес космонавта и, следовательно, устраняющая инерционные перегрузки. Правда, внутренние органы человека при этом будут подвержены перегрузкам, но все же предложенный метод в принципе позволяет значительно сократить продолжительность разгона звездолета до нужной скорости.

Магнитная левитация может найти и необычное применение на транспорте. Так, ее предлагается использовать на космических орбитальных станциях для осуществления некоторых важных технологических процессов, например, плавки металлов в вакууме, когда металл должен быть полностью изолирован от стенок печи, чтобы обеспечить его идеальную чистоту, достижимую лишь на орбите. Магнитная левитация в состоянии решить эту непростую задачу.

Следует указать на принципиальную возможность использования на транспорте для создания поддерживающей силы электростатической левитации — силы электростатического отталкивания. Можно, например, попытаться использовать электростатическое поле, связанное с отрицательным электрическим зарядом земного шара — отрицательно заряженный летательный аппарат будет отталкиваться от него под действием «кулоновской силы».

Для полета в воздухе предложены ионолеты, или электровихрелеты, в которых под действием электростатического поля создается «электрический ветер» — поток электронов, стекающих с остроконечных электродов и увлекающих за собой частицы атмосферного воздуха. Не исключено, что и

подобные летательные аппараты с использованием электростатического поля найдут применение.

Заметим, что электромагнитная и электростатическая левитация имеют место и в том случае, когда транспортный аппарат неподвижен, так что их следует отнести к статическому способу создания подъемной силы. Исключение составляет электродинамическая магнитная левитация, описанная выше, о чем говорит само ее название.

В заключение следует упомянуть и способ создания поддерживающей силы, особенно излюбленный писателями-фантастами с легкой руки Герберта Уэллса — использование антигравитации. К сожалению, наука пока не знает способов управления силой тяготения и тем более ее устранения, о чем мечтают фантасты.

И все же некоторые полученные в последнее время выводы теории относительности свидетельствуют о том, что наряду с обычными гравитационными силами притяжения могут существовать и антигравитационные силы отталкивания! Правда, экспериментально эти предложения еще не подтверждены, так что уповать на них, пожалуй, рановато...

Существует и такой вид транспорта, в котором поддерживающая сила вовсе отсутствует: ничто не мешает аппарату свободно падать в поле тяготения. Нетрудно догадаться, что речь идет о космическом транспорте. Если иметь в виду геокосмический транспорт, т. е. сообщение между двумя точками земной поверхности через космическое пространство, то для совершения подобного, как его называют баллистического, перелета необходимо при старте за считанные минуты сообщить транспортному аппарату скорость в несколько километров в секунду. А затем, когда двигатель выключается, аппарат, продолжая полет, свободно падает в поле тяготения Земли. При этом он, несмотря на падение, вначале продолжает набирать

высоту («падает вверх»), а затем начинает уже падать привычно вниз.

Прочерчивая таким образом в верхней атмосфере и околоземном космосе дугу гигантского эллипса, аппарат, наконец, достигает пункта назначения. Любой, самой удаленной точки на земном шаре подобный геокосмический транспортный аппарат достигнет за 30—45 мин — это самый скоростной транспорт на Земле.

Придет время, и сверхдальнее, сверхскоростное транспортное сообщение будет осуществляться, возможно, именно так, составляя конкуренцию гиперзвуковым пассажирским самолетам.

Может быть, это покажется несколько неожиданным, но подобный же «полет» может быть в принципе совершен и... внутри Земли. Если обе точки земной поверхности — пункты отправления и назначения — соединить по хорде земного шара прямолинейным подземным тоннелем и выкачать из него воздух, чтобы он не оказывал сопротивления, то движущийся в тоннеле магнитолет, например на той же магнитной подушке, домчится до пункта назначения практически за то же время, что и по космосу!

Расстояние между любыми двумя точками земной поверхности теоретически он пройдет под землей всегда за одно и то же время — 42 мин 11 с, так что чем больше проходимое расстояние, тем выше средняя скорость и скорость в средней точке пути.

Подобное путешествие на гравипоезде, как его часто называют, будет обладать и одним бесспорным преимуществом перед космическим — на его совершение не понадобится затратить ни капли топлива! Теоретически!

Практически же любой способ создания поддерживающей силы требует определенной затраты энергии, в том числе и электродинамическая левитация. Например, в зависимости от

конструкции несущих алюминиевых контуров, уложенных в полотно, при указанном способе подвешивания возникает тормозное усилие, преодоление которого требует затраты мощности от 10 до 50 кВт на 1 т силы левитации при расчетной скорости движения.

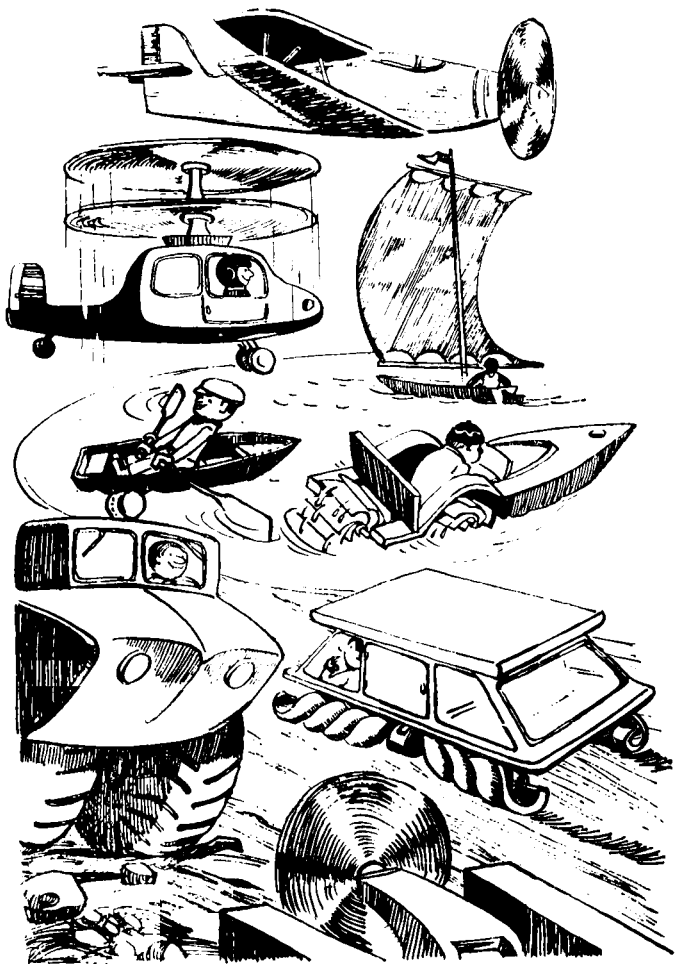
Первую половину пути поезд будет свободно падать к центру Земли, углубляясь в ее недра, иной раз при дальнем путешествии, на тысячи километров, а затем в течение второй половины пути станет постепенно замедляться, взбираясь снова на земную поверхность. Как разгон, так и торможение будут происходить с одним и тем же постоянным ускорением. Однако пассажиры не будут ощущать инерционных перегрузок, как в космическом полете. В общем весьма удобный и совершенный вид транспорта, если бы не необходимость в сверхглубоком тоннеле, прорыть который современной технике не под силу. Но всегда ли так будет?

Космический транспорт не ограничивается околоземным космическим пространством. Помимо непосредственно связанного с Землей геокосмического транспорта, возможно транспортное сообщение и в дальнем космосе. Если космическому аппарату при старте с Земли сообщить скорость 7,9 км/с (первая космическая скорость) или более, то он на Землю не возвратится. Если бы Земля была плоской, какой она нам кажется, когда мы путешествуем по ней, то и при столь большой скорости аппарат все же возвратился бы на Землю. Но она — шар, и когда скорость аппарата превышает 7,9 км/с, то он уже не может достичь земной поверхности — стремясь к ней в своем непрекращающемся свободном падении, он уносится от нее приобретенной при старте скоростью. Аппарат превращается в искусственный спутник Земли, он безостановочно движется вокруг нее по круговой или эллиптической орбите.

Если скорость при старте станет еще больше и превысит 11,2 км/с (вторая космическая скорость), то космический аппа-

рат навсегда расстанется с Землей и, преодолев притяжение к ней, отправится в межпланетный полет, превратившись в небольшую планетку — искусственный спутник Солнца. Чтобы вырваться из плена мощного солнечного тяготения и стать звездолетом, аппарат должен обладать еще большей скоростью — 16,7 км/с (третья космическая скорость). Вне поля солнечного тяготения поддерживающая сила транспортному аппарату не нужна уже по другой причине — там в свободном пространстве тяготение практически неощутимо.

Уже теперь космические транспортные аппараты не раз совершали свои рейсы к орбитальным станциям и к Луне. Придет время, когда транспортный флот космоса станет многочисленным и разнообразным. Космические транспортные аппараты будут совершать регулярные рейсы и в околоземном, и в межпланетном пространстве. Космические путешествия станут для пассажиров столь же привычными, как ныне путешествия авиационные.



Двигатели

Любой транспортный аппарат предназначен для движения с наибольшей возможной скоростью. Как достигается эта скорость, как создается сила, движущая аппарат? Для этой цели служит особое устройство — двигатель. Известные методы и средства создания движущей силы, т. е. семейство двигателей транспортных аппаратов, представлены в табл. 2. Чтобы сообщить аппарату некоторую скорость, на него нужно подействовать с определенной силой, «толкнуть» его. Этот толчок, т. е. движущая аппарат сила, является результатом взаимодействия аппарата с опорной поверхностью, окружающей средой и т. п. В соответствии с известным в механике законом равенства действия и противодействия аппарат как бы отталкивается от опоры или среды. Собственно так создается и подерживающая сила, о которой шла речь выше.

Естественно считать характерным признаком двигателя любого транспортного аппарата то, с чем именно взаимодействует аппарат при создании движущей силы, от чего отталкивается. Наиболее очевидным является отталкивание от твердой земной поверхности в случае наземного транспорта (см. табл. 2). Классическим двигателем наземных транспортных аппаратов считается колесо — замечательное изобретение неведомого гения древности. Вращаясь, колесо действует на земную поверхность с некоторой силой, толкает эту поверхность назад,

против движения аппарата, а равная ей по величине и обратно направленная сила противодействия поверхности, ее реакция, толкает колесо и с ним весь аппарат вперед. Силы равны, но массы различны — земной шар практически не ощущает комариного укола колеса, хотя, строго говоря, его движение все же неуловимо меняется. Но та же сила сообщает транспортному аппарату заметное ускорение.

Легионы колесных экипажей движутся по Земле. Одних автомобилей более 300 млн., а еще есть тракторы, экскаваторы, поезда. Эти аппараты являются основой современного наземного транспорта. Все время появляются новые их типы.

Есть и такие, как бы обращенные конструкции, когда вращающиеся колеса устанавливаются неподвижно на трассе, а по ним движется транспортный аппарат. Например, в Японии в 1970 г. разработан проект подобного поезда-вагона на 1000 пассажиров, получивший название «орудийный снаряд». Вместо рельсов вагон опирается на колеса, установленные на пути через каждые 100 м. Собственно имеются и своеобразные рельсы, расположенные вдоль всего вагона, они-то и опираются на колеса. Построенная модель вагона длиной 7 м развила при испытаниях на отрезке пути длиной 250 м скорость 1140 км/ч.

К этому же типу транспортных аппаратов относятся по сути и движущиеся тротуары, своеобразные пассажирские конвейеры, активно изучающиеся в ряде стран как возможный вид внутригородского общественного транспорта будущего. Такой тротуар опирается на вращающиеся ролики и приводится в движение ведущими колесами с помощью тросов или цепей, как эскалатор в метро. Подобные конвейеры предлагаются и для движения в городе автомобилей, чтобы решить проблему внутригородского автотранспорта, становящуюся все более сложной.

Особенный успех выпал на долю автомобилей благодаря колесу, обутому в резиновую шину, надутую воздухом. Замечательное содружество колеса и шины будет, вероятно, всегда

находить широкое применение, несмотря на все более жестокую конкуренцию со стороны движителей иных типов. Каких только колес и шин не увидишь ныне на дорогах мира! От крохотных колесиков каких-нибудь мотороллеров до колес-гигантов намного выше человеческого роста для тяжелых грузовиков. Масса одного лишь колеса нового 120-тонного самосвала БелАЗ на 300 кг больше массы автомашины «Волга»! Узенькие и широченные, арочные или бочкообразные, их называют пневмокотками, шаровидные, овальные, фигурные и даже квадратные шины наполняют воздухом различного давления, в том числе переменного. Иногда шины наполняют азотом, делают сплошными из пенопласта или иного пористого эластичного материала. На одном транспортном аппарате может быть всего одно колесо (речь идет о солоцикле), два, три, четыре, а то и много десятков — на тяжелых грузовиках-автопоездах.

Конечно, колеса, обутое в резиновую шину, нельзя признать идеальными. Коэффициент полезного действия резинового колеса, катящегося по сухому бетону, составляет 93%, в то время как для системы стальное колесо — рельс он более 99%, т. е. почти равен 1. Немало есть колес без шин, для движения по рельсам, с одной или двумя ребордами, самой разной конструкции.

Еще больше всяких патентов и изобретений на колеса совсем необычного типа, например, вроде запатентованного в США «сверхколеса» в виде шести цилиндрических сегментов, соединенных рычагами с осью и имеющих возможность перемещаться независимо друг от друга, что должно, по мнению изобретателя, придать экипажу совершенно фантастическую маневренность... Для зубчатых железных дорог применяется иной движитель, представляющий собой зубчатое колесо, катящееся по зубчатой рейке.

Природа не знает колеса, животные передвигаются по земле иначе. Они шагают, бегают, прыгают, ползают, пресмыкают-

Т а б л и ц а 2. Семейство двигателей

Принцип создания движущей силы	Двигатель	Область применения	Транспортное средство
Взаимодействие с опорной поверхностью	Колесо, шагающее устройство, гусеница, шнек	Наземный транспорт	Автомобиль, вагон, шагающий экскаватор, трактор, вездеход спиралеход
Взаимодействие с жидкой или газообразной средой	Весло, гребное колесо, гребной винт Ротор, воздушный винт, машущее крыло	Водный транспорт Воздушный транспорт	Колесное судно, винтовое судно (надводное и подводное), роторное судно, дирижабль, самолет, судно на воздушной подушке, орнитоптер (махолет)
Взаимодействие со струей (активной и реактивной)	Парус, реактивное сопло	Наземный транспорт, водный транспорт, воздушный транспорт, космический транспорт	Сухопутная яхта, парусное судно, воздушный шар, парусный космический аппарат, надводное (подводное) судно с гидрореактивным двигателем, реактивный катер, реактивный локомотив, реактивный самолет, ракета, фонтонный звездолет и др.
Взаимодействие с силовым полем (тяготение, давление)	Уклон (спуск), компрессор, насос	Наземный транспорт, космический транспорт	Сортировочная горка, метрополитен, гравипоезд, звездолет, трубопроводный транспорт, пневмотранспорт и пр.

ся. За многие миллионы лет эволюции способы их движения достигли высокого совершенства. Не удивительно, что подобные движители ученые и инженеры пытаются, особенно в последнее время, использовать и на транспортных аппаратах. Пожалуй, прежде всего это относится к разнообразным шагающим устройствам (см. табл. 2). Несмотря на то, что пока они несовершенны и сложны, все же их применение в ряде случаев может быть весьма эффективным. На основе подобных движителей созданы разные транспортные аппараты — «стопходящие», «пауки» и др., предназначенные для использования в качестве вездеходов, болотоходов, для работы на океанском дне, поверхности планет и др.

В Советском Союзе успешно работают шагающие экскаваторы, оригинальный консольный «шагатель» с буровой установкой создан учащимися ПТУ г. Прокопьевска Кемеровской области, шагающую машину «Шама» построили студенты Ленинграда, шагающий болотоход создан в Сибири и т. д. Творческая изобретательская мысль нашла и оригинальный метод объединения в одной «гибридной» конструкции колеса и шагающего устройства. Создан ряд подобных колесно-шагающих транспортных аппаратов. Например, у нас в стране и за рубежом исследуется ротопед — шагающее колесо, в котором вместо обычной шины по окружности колеса располагаются отдельные резиновые камеры. Если эти камеры поочередно наполнять воздухом, то колесо начнет вращаться, как бы шагая, переваливаясь с одной ноги-камеры на другую. Транспортные аппараты с такими шагающими колесами, как показали их испытания, обладают отличной вездеходностью, их не пугают крутые склоны, недоступные другим вездеходам.

Известен и другой колесно-шагающий движитель, состоящий из трех обычных колес с шинами, укрепленных в вершинах тележки — треугольной несущей фермы, которая может поворачиваться вокруг своего центра. При езде по ровной дороге

эти аппараты (например, «пади-вагон» и другие) опираются на четыре колеса, как обычный автомобиль, но если на пути встречается глубокая рытвина, то попавшее в нее колесо останавливается, поворачивая несущую ферму так, что в контакт с дорогой вступает другое колесо «треугольника», оно как бы перешагивает через рытвину.

Пытаются ученые имитировать и другие способы передвижения животных. Так, улитка перевозит на себе груз в десятки раз больше своей собственной массы, тогда как автомобиль — лишь равный своей массе. Поучиться у природы не зазорно, этим занимается целая новая отрасль науки — бионика, внедряющая «изобретения» живой природы в науку и технику, в том числе и в транспорт.

Появились, например, такие движители, как волновой, копирующий движение червя, улитки, гусеницы: в его основе — эластичная лента с полостями, поочередно надуваемыми воздухом, как в «шагающем колесе». И хотя транспортные аппараты новых типов «прыгающие» (подобные «прыгуноходы» с полым стержнем, в котором перемещается пневматический поршень, предложены, в частности, для передвижения по Луне), «ползающие» (их иногда называют «змееходами» и «червеходами») и пр. широкого признания не получили, можно думать, в будущем и им найдется место под солнцем.

Кроме колеса, большое применение получил другой тип движителя для наземного транспорта — гусеница (см. табл. 2). Гусеничные экипажи — тракторы и тягачи — играют огромную роль в сельском хозяйстве и промышленности, они проходят сами и перевозят тяжелые грузы там, где обычное колесо не пройдет.

Гусеница представляет собой непрерывную стальную ленту, составленную из отдельных звеньев — траков. Лента гусеницы сбегает с зубчатого колеса и ложится на землю, образуя как бы собственную «дорогу» для экипажа.

Поэтому иногда говорят, что гусеничные машины это по существу те же колесные, поскольку гусеница — своеобразные рельсы, по которым катятся колеса — опорные катки. Существуют гусеницы и других конструкций, например с разнесенными траками, ленточные, с надувными резиновыми траками и др.

Менее известен движитель, получивший название шнекового (см. табл. 2). Это своеобразная спираль — «винт Архимеда», которая при вращении как бы ввинчивается в земную поверхность и, таким образом, отталкивается от нее. Подобный движитель найдет применение при особенно слабых грунтах — он отлично мог бы служить при движении вездехода по снегу, песку, болотам. Подобные вездеходы называют иногда снегоходами, болотоходами, спиралеходами и пр.

В последнее время привлекает внимание импульсно-фрикционный, или инерционно-импульсный, движитель. Пока построены лишь отдельные экспериментальные модели транспортных аппаратов с подобным движителем, получивших название виброходов, пульсоходов и т. п. Действие подобного движителя основано на использовании сил инерции, что кажется на первый взгляд странным, поскольку известно, что силы инерции являются «фиктивными», как их называют в механике, и полезной работы совершить не могут. Однако никакого нарушения законов механики здесь не происходит.

В одной из построенных моделей вращающиеся на валу эксцентрики (дисбалансы) создают неуравновешенные центробежные силы инерции, которые заставляют аппарат вибрировать. Когда сила от одного из эксцентриков направлена вниз, т. е. прижимает аппарат к земле, сила другого эксцентрика направлена назад, против движения, но сдвинуть аппарат в этом направлении не может из-за трения о земную поверхность (ее вмешательство и меняет дело). Зато потом, когда центробежная сила первого эксцентрика направлена вверх, стремясь оторвать аппарат от земли, сила второго эксцентрика оказывается направ-

ленной вперед, и поскольку трение о землю в этот момент уменьшено, то она заставляет аппарат немного продвинуться, как бы совершить небольшой прыжок. Так, вместо простого колебательного движения взад-вперед аппарат постепенно продвигается поступательно вперед.

Поскольку подобные движители являются по идее генераторами механических колебаний, то они вызывают значительные вибрации аппарата, а его движение осуществляется неравномерно, рывками. Но вот «каталет», как назвали свой транспортный аппарат с подобным движителем его изобретатели М. Чернин и Ю. Подпругин, этих недостатков лишен, он передвигается непрерывно и плавно, чередуя этапы качения и полета, откуда и само название аппарата. Движители такого типа могут оказаться полезными для вездеходов.

До сих пор речь шла о наземном транспорте. Но как осуществить движение, если твердой опорной земной поверхности нет, например, когда аппарат движется по воде или воздуху? Очевидно, здесь нужны движители иного типа, отталкивающиеся уже не от Земли, а от окружающей аппарат среды — воды или воздуха.

Пожалуй, самый древний движитель, созданный людьми, предназначался именно для подобной цели, это было обыкновенное в е с л о (см. табл. 2). Конечно, изобретатель весла не мог убедительно объяснить принцип его действия, что вовсе не мешало ему отлично пользоваться веслом. Мы же знаем, что весло отталкивается от воды принципиально так же, как происходит отталкивание от твердой земной поверхности. Только Земля при подобном отталкивании остается неподвижной, а вода «поддается», некоторая ее масса отбрасывается веслом назад, против движения лодки. Гребец трудится в поте лица, чтобы весло с некоторой силой отбросило эту массу воды, а равная по величине, но обратно направленная сила противодействия отбрасываемой воды и есть нужная для перемещения лодки

движущая сила. Также создает движущую силу лопастное гребное колесо, представляющее собой по существу большее число весел—плиц, закрепленных на ободе колеса. Гребное колесо верой и правдой многие десятилетия служило двигателем на парходах, но, пожалуй, его история уже в прошлом. Из-за малого коэффициента полезного действия оно вынуждено было уступить место другим двигателям, однако все же интерес к нему утерян не полностью. Продолжается усовершенствование гребных колес, некоторые достоинства делают их применение выгодным, в частности, для мелководья. На Иртыше появилось новое судно, снабженное гребным колесом именно потому, что оно отлично проявило себя на мелководье.

Рассматривается гребное колесо и как возможный двигатель судов на воздушной подушке. К числу новых разработок судовых двигателей на основе гребного колеса относятся, в частности, поверхностно-импульсные двигатели, гребные ротаторы, «морские гусеницы» — своеобразное гребное колесо, развернутое вдоль судна, и пр. Для судов на подводных крыльях разрабатываются подобные же двигатели, размещенные внутри крыльев.

Однако основным типом двигателя для легионов судов, бороздящих моря и океаны, озера и реки, является в настоящее время гребной винт (см. табл. 2). Винт отбрасывает окружающую воду, как бы ввинчиваясь в нее (подробнее о физических принципах его действия см. ниже). При этом, однако, он закручивает поток воды и разбрасывает ее в стороны, что связано, естественно, с затратой энергии, не используемой для создания движущей силы, и уменьшает эффективность двигателя. Этот недостаток винта не единственный, так что, несмотря на его непрерывное совершенствование и абсолютное господство на воде, ученые не прекращают попыток создания более эффективного судового двигателя. Они опираются на открытия бионики, в частности, на результаты детального изучения особен-

ностей движения рыб и морских животных. Действительно, океанский рекордсмен по скорости плавания меч-рыба часто плывет быстрее 100 км/ч, что по расчету требует мощности 2000 л. с., тогда как ее собственная мощность по крайней мере вдесятеро меньше. Как это ей удается, в чем секрет столь стремительного плавания? Если бы удалось его раскрыть, то подводные суда стали бы плавать быстрее надводных, со скоростью автомобиля.

Англия перевозит судами руду из Канады. Эти перевозки сезонны из-за замерзания Гудзонова пролива. Поэтому в Англии разработан проект подводного рудовоза. Потребность в стали для выполнения его корпуса выше, чем для надводного рудовоза. Однако расчеты показывают, что повышенный расход металла будет компенсирован отсутствием волнового сопротивления, а также независимостью рейсов подводного рудовоза от времени года и погоды. Создание подводных танкеров вообще не требует стали для изготовления их корпусов. Они могут быть выполнены из пленки, поскольку перевозимые нефтепродукты, как и любая жидкость, практически не сжимаются.

Подводное плавание обладает и рядом других несомненных и важных достоинств — под водой нет штормов и бурь, ветра и тумана, там отсутствует волновое сопротивление, возникающее на границе двух сред — воды и воздуха — и являющееся главным препятствием быстрого хода надводных кораблей. Подводные суда могут в течение всего года свободно двигаться подо льдами полярных бассейнов, выбирая кратчайшие пути, для них не составит трудности точное соблюдение графика рейса и т. д. Не исключено поэтому, что в будущем не только гигантские танкеры и сухогрузы, но и пассажирские океанские лайнеры окажутся именно подводными — корабли уйдут под воду.

Работы специалистов показали, что уже при скорости 30 узлов экономичность перевозок подводными судами будет выше,

чем надводными. Но двигателем у них заведомо будет не гребной винт. Может быть, им станет «бегущая волна» наружной эластичной оболочки, обеспечивающая, как у дельфина, движение под водой без вредных завихрений? Или двигатель типа «рыбий хвост» или «хвост дельфина», позволяющий, как показали исследования, значительно увеличить скорость подобного «хвостатого корабля», не требующий дополнительных устройств для обеспечения заднего хода? Или же реактивный двигатель, как у кальмара, о котором будет речь ниже?

Ученые активно исследуют подобные и некоторые другие перспективные типы двигателей для судов. В основе их лежит подражание волнообразным движениям тел подводных животных — дельфины извиваются в вертикальной плоскости, рыбы — в горизонтальной. В частности, например, в последнее время внимательно изучаются возможности двигателя, получившего название «ракетно-рычажного винта», имитирующего действие хвоста дельфина. Он состоит из штанги с лопаткой между двумя мощными пружинами, заставляющими лопатку качаться в вертикальной плоскости. Как показали первые испытания, этот двигатель позволяет развить вчетверо большую движущую силу. К волновым двигателям мы еще возвратимся, когда речь пойдет о двигателях для воздуха.

Чтобы закончить рассказ о двигателях для судов, упомянем еще об одной, пожалуй, даже несколько неожиданной их функции, впрочем в чем-то, вероятно, характерной для современной научно-технической революции. Речь идет о созданном в ФРГ гребном винте, который, помимо своего основного назначения, осуществляет также... нагнетание в воду атмосферного воздуха. Так делается попытка решить острейшую экологическую проблему загрязнения Рейна и других рек ФРГ.

Многое из сказанного о водных двигателях сохраняет силу и для двигателей воздушных, т. е. случаев, когда отталкиваться приходится от воздуха. Почти полвека единственным

движителем транспортных летательных аппаратов был в о з д у ш - н ы й в и н т. Он тоже «ввинчивается», но уже в воздух, отбрасывая его назад, в сторону, обратную движению.

Чем больше масса отбрасываемого воздуха и его скорость, тем больше и сила тяги винта, заставляющая самолет лететь с большей скоростью. Но нет ли здесь противоречия с тем, что говорилось о воздушном винте выше, когда он был назван вращающимся крылом? Ведь крыло создает не движущую, а подъемную силу. Однако создает оно эту силу по тому же физическому принципу — отбрасывая вниз некоторую массу воздуха. Струя воздуха, обтекающего крыло, за ним уже не горизонтальна, она отклонена вниз, так что циркуляция вокруг крыла, о которой говорилось выше, приводит и к перераспределению давлений на верхней и нижней поверхностях крыла, и к отклонению обтекающего потока вниз.

Хотите, объясните подъемную силу так, хотите,—иначе, оба объяснения одинаково верны, они отражают эффекты одного и того же физического явления. То же относится к гребному и воздушному винтам, именно в этом смысл их «ввинчивания» в окружающую среду, о котором упоминалось выше. Воздушный винт (тянущий или толкающий) обычно называют пропеллером, когда он создает силу тяги, или же несущим винтом, если он должен создавать подъемную силу.

Несущий винт вертолета в горизонтальном полете создает и подъемную, и движущую силу — для этого плоскость его вращения наклоняется в ту сторону, куда должен лететь вертолет. Подобная «универсальность» винта выгодна, но она существенно ограничивает возможную скорость вертолета, которая не превосходит примерно $\frac{1}{3}$ скорости звука в воздухе.

Есть самолеты (их называют конвертопланами), у которых воздушные винты способны поворачиваться иногда вместе с крылом так, что при взлете они работают как несущие, а затем возвращаются в положение, обычное для пропеллера. Иногда

применяют сразу два одинаковых воздушных винта, вращающихся в противоположные стороны, чтобы устранить реактивный вращающий момент одиночного винта, стремящийся развернуть летательный аппарат в сторону, обратную вращению винта.

Воздушные винты используются не только на самолетах и вертолетах, но и на дирижаблях, судах на воздушной подушке, аэросанях и даже железнодорожных локомотивах, так называемых аэропоездах (у нас в стране, например, еще в 1933 г. испытывался аэропоезд изобретателя С. Вальднера). Чтобы воздушный винт работал в оптимальном режиме на разных скоростях полета, его лопасти делают поворотными, так что оказывается возможным изменение шага винта, т. е. угла установки его лопастей, непосредственно в полете. Подобное изменение шага иногда используется в последнее время и для гребных винтов судов.

Движущая сила в воздухе может создаваться и другим устройством, основанном на том же принципе циркуляции,— ротором. При вращении цилиндрического ротора в потоке воздуха происходит отклонение этого потока и так же, как в случае крыла, возникает циркуляция. Однако на этот раз она связана не с особым аэродинамическим профилем крыла, а с явлениями в пограничном слое у поверхности ротора, получившими название «эффекта Магнуса» по имени открывшего их ученого.

Заторможенные в пограничном слое у ротора частицы воздуха отбрасываются им так, что возникает боковая сила, перпендикулярная оси вращения ротора и направлению набегающего потока. Если ротор горизонтален, то отклонение потока вниз создает подъемную силу (так «работает» ротор, установленный в передней части самолетного крыла), однако дальше попыток использовать этот метод в авиации дело не пошло.

Оригинальное предложение применить ротор для создания «отрицательной подъемной силы», направленной не вверх, а

вниз, было сделано в нашей стране. Если среднюю, цилиндрическую часть обшивки дирижабля заставить вращаться, то можно создать силу, направленную вниз и имеющую целью облегчить непростую задачу посадки дирижабля. Когда вращающийся ротор установлен вертикально, то он может создать движущую силу, что было использовано полвека назад А. Флетнером, установившим два ротора высотой 13 м и диаметром 3 м на шхуне водоизмещением 900 т вместо парусов. Роторы вращались электродвигателем с частотой 750 об/мин. Испытания судна прошли успешно. При площади сечения роторов в 10 раз меньшей площади паруса, судно развило скорость 10 узлов, но дальнейшего развития эти опыты не получили.

Иной эффект имеет место, когда набегающий поток является неустановившимся, колеблющимся, волнообразным. Более 60 лет назад был открыт «Кноллер-Бетц-эффект», названный по имени немецких ученых, изучавших обтекание крыла птиц в планирующем полете косым потоком, набегающим на крыло сверху или снизу. В этом случае движущая сила возникала за счет колебания предкрылка.

Ученые, продолжавшие эти исследования, в том числе и в последнее время, установили, что на этом заимствованном у природы принципе могут быть созданы различные волновые движители для судов и летательных аппаратов.

Вместо колеблющихся предкрылков могут быть использованы два вращающихся симметричных каплевидных ротора. Если установить, например, подобные роторы, получившие название волнового пропеллера, в передней части дирижабля, имеющего крыловидный корпус, то создаваемый роторами волнообразный поток воздуха, набегающий на корпус дирижабля, создаст силу тяги.

Проект подобного дирижабля разработан в ГДР, он не случайно получил название «Дельфин»—обтекание тела дельфина также является волновым по характеру.

С давних пор человек стремится поставить себе на службу еще одно устройство, сочетающее способность создавать как подъемную, так и движущую силу — машущее крыло, о котором упоминалось выше. Особенно привлекательна идея создания аппарата, приводимого в действие энергией мускулов человека, «мускулолета». Теоретические исследования показали, что подняться в воздух могут все организмы массой до 170 кг. Это послужило новым толчком к дальнейшим поискам ученых, инженеров, изобретателей.

Множество предложенных устройств, приводимых в действие руками или ногами, требуют непрерывной изнурительной работы на грани физической возможности человека. Полеты пока не вышли за рамки спорта, так как требуют высокой степени натренированности и длятся считанные минуты. Однако опыты австралийских авиаторов, создавших «мускулолет», приводимый в действие путем изменения положения центра тяжести тела человека, позволяют надеяться, что полет будет доступен человеку среднего физического развития.

Орнитоптеры («махолеты»), использующие химическую энергию топлива, — вполне осуществимый летательный аппарат. Однако их созданию должна предшествовать кропотливая исследовательская и конструкторская работа. Бионика, изучающая принципы действия машущего крыла птиц и насекомых, сможет, вероятно, существенно помочь созданию летательных аппаратов, обладающих большой эффективностью.

Природа продемонстрировала высокое мастерство конструктора, создав за миллионы лет эволюции весьма совершенный движительный аппарат насекомых и птиц. Особенно разнообразны формы машущего полета насекомых, являющихся древнейшими летающими живыми существами. Полет птиц также намного экономичнее и эффективнее современных аппаратов.

Самолеты давно превзошли птиц по скорости (это произошло на заре авиации, в 1912 г.), высоте (в 1916 г.) и дальности

полета (в 1924 г.), однако по экономичности они до сих пор сильно им уступают. Самые совершенные пассажирские лайнеры способны лететь при массе примерно 14—15 кг, приходящейся на 1 л. с. мощности двигателя, тогда как у птиц этот показатель иногда почти в 30 раз больше! Экономичный, безопасный, не нуждающийся в аэродромах «махолет», бесспорно, получит широкое применение в будущем, в частности, в качестве индивидуального летательного аппарата.

Иной физический принцип создания движущей силы — использование движущейся струи (см. табл. 2). Вероятно, он применялся раньше всех других, ведь когда течение реки уносило лодку или плот с нашими далекими предками, то они использовали именно этот принцип. Движущаяся струя воды или воздуха — речное или океанское течение, ветер, струйные течения в верхней атмосфере — способны переносить транспортные аппараты на огромные расстояния без затраты хотя бы капли горючего.

Было время, когда парусные аппараты — суда и воздушные шары — являлись едва ли не единственным видом транспортных средств для движения на море и в воздухе. С тех пор изменилось многое. Появление легких и мощных транспортных двигателей сделало путешествие по воде и воздуху гораздо более быстрым и надежным.

Время парусников и аэростатов ушло. Из 60 тыс. крупных судов, насчитывающихся теперь в мире, парусников осталось всего полсотни. И все же и сейчас парус верно служит морякам, рыбакам, путешественникам, спортсменам, иногда в качестве дополнения к двигателю. А как красив корабль, горделиво идущий под всеми своими белоснежными парусами!

Парус не умер, он будет верно служить людям и впредь, несмотря на все изобретения новой транспортной техники, будет доставлять им пользу и радость. Не зря будущих моряков, военных и гражданских и теперь обязательно учат сложному па-

русному делу: управление парусами—это настоящее высокое и сложное искусство. Характерно, что в последние годы интерес к парусу как бы возродился, но уже на новой технической основе.

Разрабатываются проекты необычных парусных судов значительной грузоподъемности, например, в ФРГ судна на 14 000 т, но совсем не похожих на старые традиционные парусники. На этих судах скатанные паруса из тонкой, но прочной синтетической пленки размещены внутри полых рей, жестко закрепленных на стальных мачтах, которые устанавливаются на поворотных платформах. «Ставятся» паруса, конечно, не матросами, для этого служит автоматическое устройство, вытягивающее парусные полотнища из рей, подобно тому, как разматывается фотопленка из кассеты. Командует постановкой и уборкой парусов специальная бортовая электронная вычислительная машина (ЭВМ).

«Парусный флот» не ограничивается водой и воздухом. Пытаются использовать парус и в наземном транспорте, причем история подобных попыток уходит в далекую древность. За 10—20 веков до н. э. колесницы под парусами применялись, в частности, в Египте. Широко известны буера, скользящие с большой скоростью под парусом по зеркальной глади льда. Есть экспериментальные образцы наземных парусников — «сухопутных яхт», или «парусомобилей», способных мчаться по гладкому шоссе на роликах со скоростью до 80 км/ч. Созданы даже «ветропеды» — парусные велосипеды! Устраиваются специальные ралли, соревнования сухопутных парусников. Недавно экспедиция колесных парусных буеров пересекла Сахару, пройдя за месяц 3000 км!

Исследуются различные, иной раз весьма неожиданные конструкции парусных устройств, вроде, например, улавливающей ветер алюминиевой «парусной арки» специального профиля, рассчитанного с помощью ЭВМ. Другое использование своеоб-

разного наземного паруса связано с проектом рельсолета на воздушной подушке — и саму несущую подушку, и движущую силу в этом проекте создают высокоскоростные струи воздуха, вытекающего из сопел вдоль всего пути. Этот искусственный ветер набегает на лопадки, расположенные на днище рельсолета.

Оказывается, парус имеет право и на существование в ... космосе! Однако, о каких «течениях» в идеальном вакууме космоса может идти речь? И все же, как это ни кажется парадоксальным, такие течения там есть, их-то и предполагается использовать для космических «каравелл» и «бригов». Разумеется, экзотические «космические парусники» должны улавливать и весьма необычный «ветер», дующий в околосолнечном космическом пространстве.

Таким «ветром» оказывается солнечный свет, поток фотонов, квантов света. Миллиарды лет Солнце излучает этот поток, обеспечивая тем самым и жизнь на Земле. Когда солнечный свет падает на парус яхты, скользящей по морской глади, то он оказывает на него давление так же, как и обычный ветер, заставляющий яхту двигаться. Но только величина этого солнечного давления ничтожно мала, она никак не может сказаться на движении яхты.

Другое дело в космосе. Когда космический аппарат вышел на орбиту, то даже ничтожная по величине сила, если она действует достаточно долго, способна существенно повлиять на его движение. Известно, например, что давление солнечного света значительно изменяло орбиты некоторых искусственных спутников Земли, обладавших большой парусностью. В особенности это относится к таким спутникам, какими были гигантские космические «пузыри» — спутники «Эхо», представлявшие собой шары диаметром 30—40 м из тончайшей синтетической пленки.

Расчеты показывают, что космический аппарат с «солнечным парусом», изготовленным из пленки толщиной всего в десятую

долю миллиметра с еще более тонким металлическим покрытием, способен приобрести под давлением солнечных лучей весьма значительную скорость. Он сможет совершать различные космические полеты, успешно конкурируя в ряде случаев с обычными космическими ракетами. Интересно, кстати, что подобные парусные космические корабли, идея которых была высказана впервые одним из пионеров отечественной космонавтики Ф. А. Цандером, способны лавировать в космическом пространстве, лететь под углом к направлению «солнечного ветра» и даже навстречу ему.

Однако, пожалуй, в гораздо большей степени ученые рассчитывают в своих перспективных планах развития космонавтики на иной «ветер», который должен надуть «паруса» космических кораблей. Этот ветер — рукотворный! То, что пока невозможно на Земле, в принципе может быть осуществлено в космосе. Конечно, говоря о «ветре», мы снова имеем в виду не поток воздуха, которого в космосе нет. С помощью специальных излучателей, расположенных на небесных телах и снабженных мощными энергостанциями (или же получающих энергию извне), можно направить в космос в нужном направлении интенсивный поток фотонов—квантов лазерного излучения (лучше всего — рентгеновского, но пока подобные лазеры, их называют разерами, еще не созданы) или же пучки микрорадиоволн.

«Паруса» — рефлекторы космического аппарата — должны улавливать и отражать эти пучки, что и сообщит им необходимый импульс — толчок для разгона до большой космической скорости. Может быть, именно подобным образом удастся когда-нибудь осуществить звездную экспедицию, полет людей к планетам далеких звезд, в надежде встретить там разумную жизнь.

Но отталкиваться можно не только от внешней относительно транспортного аппарата струи какого-либо рода, но и от струи, специально созданной для этого на... самом аппарате!

На первый взгляд, тут что-то не так, похоже на пресловутый совет поднять самого себя за волосы. Но в действительности подобному принципу создания движущей силы обязаны многие современные блистательные достижения науки и техники. Речь идет об использовании реактивной струи. Чтобы из энергосиловой установки наружу вытекала с большой скоростью струя какого-либо вещества — газа или жидкости, необходимо сообщить этому веществу большую потенциальную энергию. Это достигается посредством повышения давления и температуры внутри установки.

Внутренняя, потенциальная энергия вещества преобразуется в особом устройстве — реактивном сопле (см. табл. 2) — в кинетическую энергию струи. Но действие равно противодействию, и со стороны струи на аппарат будет действовать такая же сила, обратная по направлению — реакция струи. Она, эта реакция, и станет для аппарата движущей силой, отчего и саму струю называют реактивной, а вызванное ею движение аппарата — реактивным движением. Примеров подобного движения немало и в живой природе. Известны, например, движущиеся именно так кальмары — их высокосовременный, отработанный в ходе эволюции реактивный движитель позволяет им преодолевать в океане расстояние в тысячи километров со средней скоростью до 65 км/ч, а на отдельных коротких участках — даже до 120 км/ч! Под действием реактивной струи воды, выбрасываемой кальмаром, он способен пролететь в воздухе, выскакивая из воды, до 30—40 м.

Широко используется принцип реактивного движения в технике. Например, в водном транспорте применяются гидрореактивные движители, принципиально такие же, как у кальмара.

Простейшие из гидрореактивных движителей — водометные выбрасывают под давлением струю воды, что и заставляет судно плыть в противоположную сторону. Суда с водометным дви-

жителем используются у нас на многих реках, им не страшны мели, перекаты, водоросли и рыболовные сети—бич гребных винтов, они швартуются к берегу без причала. В Англии создан «реактивный пароход», из трех его реактивных сопел под давлением пара непрерывно выбрасываются струи воды. Советский супертанкер «Крым» снабжен двумя водометами для повышения маневренности этого гиганта на малом ходу и швартовых режимах. Насос с рабочим колесом диаметром 1,5 м выбрасывает воду с большой скоростью через одно из двух сопел судна перпендикулярно его бортам.

Имеются судовые движители, сочетающие в себе гребной винт и реактивную струю, реактивные гребные винты. В этом случае гребной винт вращается под действием высокоскоростной струи жидкости или газа, вытекающей из реактивных сопел на концах его лопастей. Подобные реактивные винты могут применяться и в воздухе (несущие винты вертолетов, пропеллеры).

Еще одна группа движителей основана на принципе взаимодействия не с какой-нибудь вещественной опорой, как во всех описанных выше случаях (твердой поверхностью, окружающей газообразной или жидкостной средой, струей), а с силовым полем (см. табл. 2).

Например, для создания движущей силы может быть использовано поле гравитации при помощи простого устройства — наклонной плоскости. Когда автомобиль или поезд идет под уклон, то здесь как раз и работает гравитационное поле, оно движет аппарат, двигатель может быть выключен. Более того, если двигатель электрический, то он может быть переведен в генераторный режим, при котором кинетическая энергия преобразуется в электрическую и отдается в сеть. Это режим рекуперации.

Пока речь идет об уклонах, обусловленных рельефом местности, но есть и рукотворные уклоны. Примером могут служить

сортировочные горки. Многие станции Московского метро, в частности все станции Кольцевой линии, расположены выше соединяющего их тоннеля, так что при движении от станции поезд идет под уклон, и гравитационное поле помогает тяговым двигателям разгонять его. Подходя к станции, поезд преодолевает подъем и, следовательно, гравитационное поле его затормаживает. Это уменьшает общие затраты электроэнергии и увеличивает среднюю скорость движения при той же установленной мощности тяговых двигателей.

Не ослабевает интерес к идее гравипоездов, высказанной у нас в стране около 60 лет назад А. Родных (он предложил соединить по хорде тоннелем Москву и Петербург). Появляются новые проекты. Недавно двумя молодыми московскими инженерами Г. Котловым и Ю. Федоровым высказана, например, интересная идея целой сети подземных тоннелей для гравипоездов, опоясывающих весь земной шар в виде гигантской синусоиды — своеобразной проекции на земную поверхность трасс искусственных спутников Земли, — многократно проходящих через полюсы. В США изучается проект гравипоезда в тоннеле, состоящем из двух крайних наклонных участков и среднего горизонтального. Однако пока гравипоезда существуют лишь на бумаге.

В космосе умелое использование гравитационных полей может, как это показали теория и опыт, существенно уменьшить затраты топлива на полет. При полете вблизи планеты ее тяготение способно значительно разогнать космический аппарат, направляющийся к другой планете. Использование благоприятного взаимного расположения планет, правда, сравнительно редко повторяющегося, может позволить осуществить облет едва ли не всех планет солнечной системы (так называемый «Большой тур»), невозможный без использования гравитационного поля при современном уровне космической техники из-за чрезмерно больших затрат топлива.

Есть примеры использования в транспорте для создания движущей силы и силового поля давления. Как перекачивают воду, нефть или газ по трубопроводам? Создают при помощи насоса или компрессора, которые и являются в данном случае движителями, повышенное давление, которое и гонит по трубопроводу вещество, предназначенное для транспортировки. Иногда поступают иначе — в противоположном конце трубопровода создают разрежение, получается опять необходимая разность давлений. В наше время роль трубопроводного транспорта исключительно велика и она все время возрастает. Какие только трубопроводы не применяются для этой цели, вплоть до магистральных нефте- и газопроводов диаметром иной раз в человеческий рост, пересекающих целые континенты.

Большое внимание уделяется созданию контейнерного трубопроводного транспорта для твердых грузов, вязких жидкостей и даже пассажиров. В этом случае давление, создаваемое в трубе большого диаметра, гонит поезда из тележек-контейнеров или вагончиков на колесах. Впервые подобный транспорт был применен более века назад. Он выгоден и займет подобающее ему место в будущем. В материалах XXV съезда КПСС отмечена необходимость более широкого внедрения в народное хозяйство непрерывных видов промышленного транспорта, в том числе пневмоконтейнерного. Будут построены в ближайшие годы 32 трубопроводные контейнерные системы общей протяженностью более 2800 км для транспортировки руд, вязких нефтей, строительных материалов и других, всего на 250 млн. т перевозимых грузов в год. А затем появятся и сверхдальние системы протяженностью до 4000 км, в частности, для транспортировки сжатого газа, вязких нефтей и угля из Тюмени и других районов Сибири в Центр страны.

Первый в мире современный контейнерный пневмотрубопровод длиной 2,5 км создан и действует в Грузии, он служит для перевозки гравия из карьера на завод. Поезд состоит из

шести контейнеров и двух пневмовозов, его общая масса 22 т, скорость — 35 км/ч. Патенты на подобные контейнерные пневмотрубопроводы системы «Транспрогресс» приобретены рядом стран. Разрабатываются другие проекты в Москве, Ленинграде, Грузии, включая и пассажирские пневмопоезда (например, в Москве — к аэропортам и зонам отдыха), ведутся разработки пневмоконтейнерного транспорта на воздушной подушке.

Не исключено использование для целей транспорта поля инерционных сил, в частности, центробежных, как это сделано, например, в описанном выше импульсно-фрикционном двигателе. В Советском Союзе разработан оригинальный проект «лифта в космос». Если построить башню высотой около 35,8 тыс. км, то ее верхушка будет двигаться со скоростью около 3 км/с, т. е. такой же скоростью, как и искусственный спутник Земли на этой высоте (это так называемая геостационарная орбита, спутник совершает на ней один оборот вокруг Земли за 24 ч, т. е. находится над одной и той же точкой земной поверхности). Следовательно, подобную башню можно было бы использовать как своеобразную стартовую установку для вывода в космос различных полезных грузов.

Центробежная сила, действующая на космический аппарат на вершине башни, в точности равна его весу, так что достаточно столкнуть аппарат с башни, чтобы он стал спутником Земли. Построить подобную башню, вероятно, невозможно, но вместо нее можно использовать сам искусственный спутник, находящийся на геостационарной орбите, как бы на вершине невидимой башни. При помощи лифта на этот спутник можно поднимать космические аппараты и запускать их на орбиту, используя поле центробежных сил Земли, возникающих при ее вращении вокруг своей оси.

По одному из проектов, предложенному советским ученым Г. И. Покровским, для запуска космического аппарата с помощью центробежной силы может быть использован... астероид!

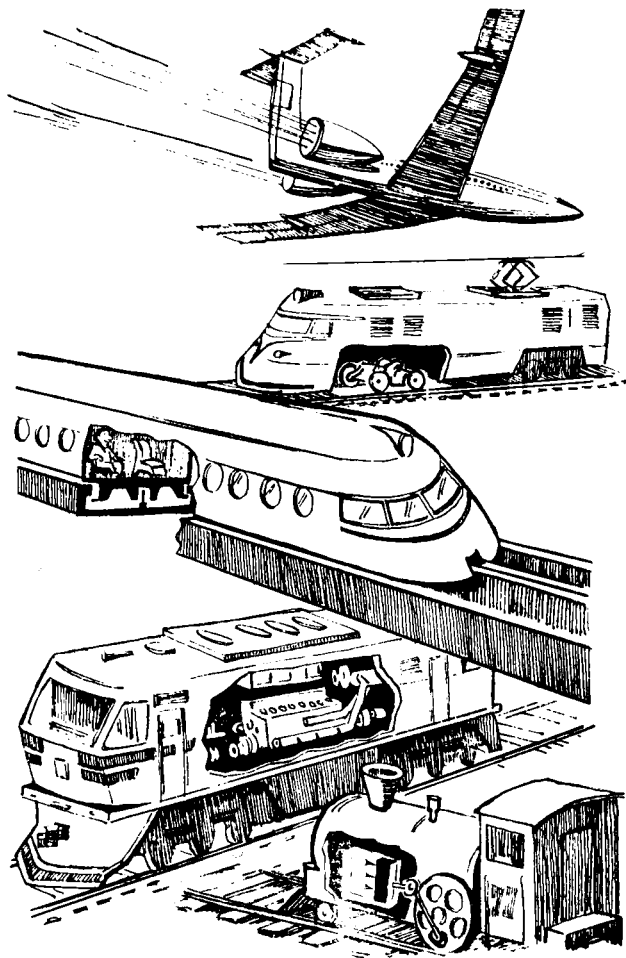
Если раскрутить какую-нибудь из этих «мини-планеток» с большой скоростью вокруг своей оси, то она превратится в своеобразную гигантскую прашу — центробежная сила на ее поверхности окажется достаточной для запуска в космос различных космических аппаратов.

Известный английский ученый и писатель А. Кларк развил эту идею до масштабов... галактик! В основе предложенного им проекта «Хайпорт-стоп» лежит тот факт, что галактики обычно вращаются вокруг своего центра со значительной скоростью. Чем не катапульта?

Необычное использование поля инерционных сил в неземном транспорте предложено В. Раздуминым. Оно основано на удивительном свойстве сверхтекучести жидкого гелия. Если по трубопроводу, заполненному таким гелием, пустить при помощи простого первоначального импульса — толчка контейнер с грузом, то, не встречая сопротивления своему движению со стороны окружающего сверхтекучего гелия, он сможет по инерции преодолеть огромное расстояние.

Оболочка подобного трубопровода может тоже сослужить отличную службу, если нанести на нее слой сверхпроводящего вещества — тогда по этой оболочке может транспортироваться практически без потерь электроэнергия.

Собственно в этом случае и нет какого-либо устройства для преобразования энергии природного источника или двигателя в полезную работу, обеспечивающую движение транспортного устройства, т. е. устройства, которое называется двигателем. И это не единственный случай, когда необходимость в двигателе отсутствует. Примером может служить линейный электрический двигатель, который непосредственно обеспечивает поступательное движение транспортного аппарата (см. с. 75).



Двигатели

Чаще всего транспортные двигатели совершают механическую работу за счет использования природных энергетических ресурсов — топлива (нефти, газа, каменного угля, ядерного горючего). Их называют первичными двигателями. Все шире применяются вторичные двигатели — электрические, пневматические, гидравлические. Имеются, однако, и такие двигатели, которые не преобразуют один вид энергии в другой, а просто отдают накопленную механическую энергию транспортному аппарату. Они и называются механическими (табл. 3).

Классическим примером подобного двигателя является маховик, играющий роль аккумулятора механической энергии. С давних пор (например, на древних гончарных кругах) и до наших дней маховик обычно использовался для выравнивания неравномерного вращения. Для применения маховика в качестве механического двигателя транспортного аппарата потребовалось его коренное усовершенствование, в частности использование для его изготовления легких и прочных конструкционных материалов. Маховик — это обычное массивное колесо, насаженное на вращающийся вал. Чтобы раскрутить его до высокой частоты вращения, требуется затратить немалую энергию, которая поглощается маховиком, запасается им в виде кинетической энергии вращения и может быть отдана снова для движения транспортного аппарата, например, автомобиля.

**Т а б л и ц а 3. Двигатели транспортных аппаратов
(механические, теплехимические)**

Тип двигателя	Область применения	Транспортный аппарат
Маховик-двигатель; гиревой двигатель, пружинный двигатель	Наземный транспорт	Гировоз, гиробус, лифт
Двигатель внутреннего сгорания: двигатель искрового зажигания дизель	Наземный, водный, воздушный транспорт	Автомобиль, поршневой самолет, дизель-поезд, судно
Двигатель внешнего сгорания	Наземный и водный транспорт	Автомобиль, судно
Паровая машина	Наземный и водный транспорт	Пароход, паровоз
Газотурбинный двигатель: турбовальный	Наземный, водный, воздушный транспорт	Газотурбовоз
турбовинтовой	Наземный, водный, воздушный транспорт	Газотурбоход
Реактивный двигатель: воздушно-реактивный турбореактивный (турбовентиляторный) прямоточный пульсирующий турбопрямоточный	Воздушный, наземный транспорт Воздушный, воздушно-космический транспорт	Реактивный локомотив, реактивный самолет Воздушно-космический самолет, управляемый реактивный снаряд, гиперзвуковой самолет
Ракетный: жидкостный (ЖРД) твердого топлива (РДТТ) смешанного топлива (РДСТ), ракетно-прямоточный	Космический, воздушно-космический транспорт	—
турборакетный Гидрореактивный	Водный транспорт	—

Идея подобного использования маховика была высказана впервые русским инженером В. Шуберским в 1860 г. Чтобы маховик стал автомобильным двигателем, его нужно соединить какой-либо передачей с ведущими колесами автомобиля. Раскрученный маховик будет вращать через передачу эти колеса, сам понемногу замедляя свое вращение, затормаживаясь. Уже построено немало экспериментальных автомобилей и других транспортных аппаратов с двигателем-маховиком, их называют часто жиробусами или гиробусами. На специальной станции гиробус «заправляется» энергией — маховик раскручивается электрическим двигателем. При полной раскрутке маховика до максимальной частоты вращения за счет накопленной им кинетической энергии автомобиль может пройти не один десяток километров.

Особенно удобны гиробусы для внутригородского транспорта, они бесшумны и главное не загрязняют атмосферу выпускными газами, что стало истинным бедствием для крупных городов, наводненных обычными автомобилями. Первая опытная партия гиробусов была выпущена в Швеции после второй мировой войны, они успешно проработали около 20 лет. В нашей стране также были построены экспериментальные гиробусы.

Установка двигателя-маховика на троллейбусе позволяет ему двигаться по улицам с опущенными рычажными токоприемниками, маневрировать и т. п. Маховик диаметром 1,1 м размещен в камере, в которой создан вакуум, чтобы уменьшить сопротивление вращению; иногда камеру заполняют легкими газами — водородом или гелием. Раскрутка маховика осуществляется электродвигателем до частоты вращения 18 тыс. об/мин за 4 мин. Энергия, запасенная маховиком, достаточна для движения нагруженного троллейбуса. Дальность движения с помощью маховика равна 10 км.

Для раскрутки маховика на автомобиле может быть установлен маломощный двигатель внутреннего сгорания в несколько лошадиных сил. Маховик не требует ухода, срок его службы

исчисляется многими годами. Раскрученные до полной частоты вращения некоторые маховики останавливаются лишь через 6—12 месяцев вращения! Можно оставить автомобиль в гараже на месяц и, возвратившись, убедиться, что он все еще на ходу. Увеличение длительности свободного вращения маховика (выбега) может быть достигнуто путем его подвески на воздушных или магнитных опорах.

Маховики-двигатели используются не только в безрельсовом транспорте. В Англии, например, создан маневровый железнодорожный гиролокомотив. В США имеется экспериментальный поезд метро, под вагонами которого установлены маховики, служащие для аккумуляции энергии при торможении поезда: когда он замедляет ход при подходе к станции, — маховик раскручивается, затем, когда поезд снова трогается, накопленная ранее энергия возвращается маховиком, что способствует ускорению разгона поезда. Так обеспечивается полезное использование (рекуперация) энергии торможения. Подобные маховики-рекуператоры разрабатываются в нашей стране. Серийно выпускаются шахтные локомотивы-гировозы, разработаны опытные образцы карьерного троллейвоза с дополнительным маховиком (они особенно нужны для тех случаев, когда недопустимо загрязнение воздуха выпускными газами). Маховики-двигатели могут быть применены и на летательных аппаратах, например вертолетах.

Примером использования гиревого двигателя является лифт. Правда, здесь он применяется совместно с электрическим. При опускании лифта противовес поднимается, его потенциальная энергия увеличивается. Затем при подъеме лифта энергия, запасенная противовесом, расходуется. Применение противовеса позволяет уменьшить мощность электродвигателя. Гиревые и пружинные двигатели прочно вошли в жизнь человека (часы, бритвы и пр.), однако на транспорте не нашли широкого применения из-за малой мощности, если не считать

детских заводных автомобилей, которые, впрочем, успешно несут свою благородную службу.

Основным типом двигателей современных транспортных аппаратов являются термохимические (тепловые) двигатели (см. табл. 3). В них при сгорании топлива его химическая энергия преобразуется в тепловую, которая затем превращается в необходимую для движения аппарата механическую энергию. Подобное двойное преобразование энергии приводит к значительным потерям ее, так что полезно используется примерно $1/4$ химической энергии топлива. Не менее неприятно и то, что продукты сгорания топлива, выбрасываемые в атмосферу (выпускные газы), содержат вещества, весьма вредные для человека и всего живого.

Огромное число тепловых двигателей главным образом на автомобилях (общая мощность автомобильных двигателей во всех странах мира превысила 15 млрд. л. с.) делает проблему защиты атмосферы от выпускных газов чрезвычайно важной.

Наибольшее применение на транспорте получили двигатели внутреннего сгорания (см. табл. 3). Называются они так потому, что внутри рабочих цилиндров этих двигателей сгорает какое-нибудь органическое топливо, обычно бензин, керосин, дизельное топливо, иногда горючий газ, сжиженный или газообразный, находящийся под давлением или же образующийся непосредственно на транспортном аппарате в специальном газогенераторе. Образующиеся в цилиндре в результате сгорания раскаленные газы давят на поршень, движение которого с помощью шатунно-кривошипного механизма преобразуется во вращение вала двигателя. Долгие годы этот механизм был важнейшей составной частью двигателя внутреннего сгорания, лишь в последнее время появились роторно-поршневые двигатели (двигатели Ванкеля) и орбитальные двигатели, в которых этого механизма нет. Подобные бескривошипные двигатели имеют ряд преимуществ и успешно применяются на автомобилях.

Существующие двигатели внутреннего сгорания обладают большим разнообразием, они различаются мощностью, числом цилиндров и их рабочим объемом, конструкцией, числом рабочих тактов (2-, 4- и 6-тактные) и др. Однако все они могут быть подразделены на две основные большие группы. В одних двигателях в цилиндры подается бензовоздушная смесь, которая обычно образуется в специальном устройстве — карбюраторе, и затем она воспламеняется электрической искрой — это двигатели с искровым зажиганием (или двигатели Отто, по имени изобретателя их рабочего процесса).

В других двигателях искрового зажигания нет, воспламенение топлива происходит, когда оно впрыскивается в находящийся внутри рабочего цилиндра сильно сжатый и потому очень горячий воздух, — это двигатели с самовоспламенением топлива (или дизели, названные так по имени их изобретателя Рудольфа Дизеля). Если двигатели первого типа устанавливаются чаще всего на легковых автомобилях и мотоциклах, то двигатели второго — на тяжелых грузовиках, автобусах, железнодорожных локомотивах — тепловозах, морских и речных судах — теплоходах.

Родиной теплоходостроения является наша страна, впервые дизель был установлен в 1903 г. на теплоходе «Вандал». В настоящее время примерно $\frac{3}{4}$ всех эксплуатируемых в мире судов снабжены тепловыми двигателями — дизелями. Дизель использует не только более дешевое топливо, но и меньше его расходует. Зато, как правило, дизель более сложен, дорог и тяжел. Размеры некоторых дизелей морских судов впечатляют. При мощности в десятки тысяч лошадиных сил их длина достигает 25 м, высота — 15 м, масса превышает 1500 т.

Ведутся интенсивные исследования по усовершенствованию дизелей и более широкому применению их на легковые автомобили. В нашей стране создан своеобразный «гибрид» обоих типов двигателей, названный «бензодизелем» — у него в рабо-

чий цилиндр дизеля поступает воздух с небольшим содержанием бензина, что существенно улучшает рабочий процесс. В другом, сравнительно новом типе двигателя внутреннего сгорания — двигателе Уоррена — сгорание топлива в рабочем цилиндре происходит не взрывным образом, а при примерно постоянном давлении, что увеличивает к. п. д.

Одним из путей возможного совершенствования двигателей внутреннего сгорания, которые долго будут оставаться основными двигателями транспорта, может быть добавление к бензину воды, метилового спирта и других веществ; еще более радикален переход с обычных углеводородных топлив на водород, что не только решит проблемы ограниченности ресурсов ископаемого органического топлива и защиты атмосферы от вредных выпускных газов (выпускные газы двигателя, работающего на водороде, состоят почти из чистого водяного пара), но и улучшит эксплуатационные характеристики двигателя.

В отличие от двигателей внутреннего сгорания в двигателях внешнего сгорания (см. табл. 3) топливо сгорает не в самих рабочих цилиндрах, а вне их, в специальных топках-реакторах, причем обычно не периодически, а непрерывно, а уже оттуда газы — продукты сгорания (или нагретое рабочее тело) — поступают в цилиндры. Хотя исторически эти двигатели были изобретены раньше двигателей внутреннего сгорания, они не получили применения. И только в последнее время интерес к ним возрос, что объясняется значительным усовершенствованием их рабочего процесса, приблизившим их по экономичности к дизелям. Эти двигатели могут работать практически на любых жидких топливах, бесшумны и, наконец, хотя, пожалуй, с этого было бы правильнее начать, они гораздо меньше загрязняют атмосферу. Это объясняется главным образом более низкой температурой сгорания топлива в таких двигателях. Некоторые двигатели внешнего сгорания, в частности двигатель Стирлинга (назван по имени предложившего его в 1816 г. шотландского

инженера), и другие серьезно исследуются и предполагается их широкое применение на автомобилях и других транспортных аппаратах. Двигатель Стирлинга работает на нерасходуемом, постоянно циркулирующем в нем рабочем веществе, обычно водороде или гелии.

По существу двигателями внешнего сгорания являются и паровые двигатели (см. табл. 3). Они также появились раньше двигателей внутреннего сгорания и первыми были установлены на транспортных аппаратах, впервые еще в 1769 г. Но затем паровые двигатели были почти вытеснены с транспортных средств более легкими и мощными двигателями внутреннего сгорания, сохранив лишь некоторые позиции в морском и железнодорожном транспорте (пароходы и паровозы). Однако в последние годы усилились попытки снова использовать паровые двигатели, существенно усовершенствованные, на автомобилях главным образом потому, что они меньше загрязняют атмосферу, обладают хорошими эксплуатационными характеристиками и меньшим шумом.

В паровом двигателе топливо сгорает в топке при значительно более низкой температуре, чем в рабочем цилиндре; циркулирующее через теплообменник рабочее вещество (вода или водный раствор органической жидкости) нагревается и испаряется. Образующийся пар совершает полезную работу, расширяясь в рабочих цилиндрах поршневых паровых двигателей или на рабочих лопатках турбинных колес паротурбинных двигателей. Затем рабочее вещество снова сжимается в конденсаторе и поступает в теплообменник, начиная следующий рабочий цикл. Необходимость в конденсаторе существенно усложняет и утяжеляет паровой двигатель.

Стремление максимально уменьшить вредное воздействие выпускных газов автомобиля на окружающую среду привело к недавнему появлению необычного проекта автомобильного турбинного двигателя, работающего на жидком азоте, который ис-

паряется в теплообменнике и затем расширяется на лопатках турбины. Автомобиль с подобным двигателем проходил испытание в США, он расходовал всего 5 л жидкого азота на 80 км пробега.

Если уж зашла речь о применении турбин на транспорте, то, конечно, на первое место должны быть поставлены газотурбинные двигатели (см. табл. 3). В этих двигателях турбина работает не на паре воды или другого рабочего вещества, а на раскаленных газах — продуктах сгорания топлива. Кроме турбины, двигатель имеет камеру сгорания и приводимый турбиной компрессор для сжатия атмосферного воздуха до его подачи в камеру сгорания. Газотурбинные двигатели вызвали настоящую техническую революцию в авиации, сделав ее реактивной и позволив выйти на широкие просторы невиданных ранее, сверхзвуковых скоростей полета. Все смелее внедряются газотурбинные двигатели и в другие виды транспорта — морской, железнодорожный, автомобильный. Их бесспорным достоинством являются лучшие массогабаритные показатели, относительная простота конструкции (вчетверо меньшее число движущихся деталей, чем у поршневых двигателей).

Газотурбинные двигатели, пригодные для применения на самых различных транспортных аппаратах, называют турбовальными (их разновидность — турбовинтовые двигатели). У них мощность турбины значительно больше мощности приводимого ею компрессора, так как в турбине расширяются горячие газы, а компрессор сжимает холодный воздух, что сделать гораздо легче. Избыток мощности передается валу двигателя, обычно через понижающую частоту вращения, зубчатую передачу — редуктор. Вал приводит во вращение движитель транспортного аппарата — пропеллер турбовинтового самолета или винт вертолета, ведущие колеса автомобиля или локомотива — газотурбовоза, гребной винт судна — газотурбохода. Намного меньшая масса газотурбинного двигателя по сравнению с двига-

телями внутреннего сгорания и тем более паровыми, их хорошие эксплуатационные характеристики и другие особенности делают его весьма пригодным для высокоскоростного железнодорожного транспорта.

Испытания турбопоездов начались лет 10—15 назад, пока во всем мире их имеется около полусотни. Несомненны перспективы использования газотурбинных двигателей и на автомобилях, они работают на любых жидких топливах, легко пускаются при самой низкой температуре воздуха, обладают большим сроком службы (пробег до ремонта 800 тыс. км), их выпускные газы намного чище, чем двигателей внутреннего сгорания, но по экономичности они им пока значительно уступают.

У другой группы двигателей мощность турбины уже не превышает мощность приводимого ею компрессора, так что на ее валу никакой избыточной мощности нет. Но ведь расширение горячих газов дает большую работу, чем требуется для сжатия холодного воздуха, что же происходит с избыточной энергией? Она не отдается газами, остается их энергией, но уже внутренней, потенциальной, связанной с высокими давлением и температурой. Эта внутренняя энергия преобразуется в кинетическую энергию газов. Такое преобразование происходит в особом устройстве двигателя, упоминавшемся выше,—реактивном сопле.

Газы из камеры сгорания сначала текут через турбину и расширяются на ее лопатках, но не до атмосферного давления, как в турбовальном двигателе, а до некоторого давления, большего, чем атмосферное. Величина этого давления газов за турбиной определяется как раз условием равенства работы расширения газов в турбине — работе, необходимой для привода компрессора. А затем газы расширяются от этого промежуточного давления за турбиной до окружающего атмосферного давления в реактивном сопле — работа дополнительного расширения затрачивается на разгон потока газов. Поэтому из сопла

газы вырываются наружу с большой скоростью, образуя известную нам реактивную струю. Подобный газотурбинный двигатель относится к новой большой группе тепловых двигателей — реактивным двигателям, точнее к воздушно-реактивным двигателям, и носит название турбореактивного. Это основной двигатель современной реактивной авиации, он установлен на большинстве реактивных пассажирских лайнеров и почти на всех боевых самолетах.

Примерно за три десятилетия с момента создания реактивный двигатель достиг высокого совершенства, именно ему обязана авиация своими нынешними достижениями. И в будущем турбореактивные двигатели в разных модификациях (в частности, турбовентиляторные двигатели, представляющие собой как бы своеобразное сочетание турбореактивного и турбовинтового двигателей, турбореактивные двигатели с форсажной камерой или с эжектором и др.) будут основой дозвуковой и сверхзвуковой авиации. Не без успеха применяются они и на управляемых реактивных снарядах, этих своеобразных беспилотных самолетах. Есть попытки установить их и на спортивных автомобилях, экспериментальных скоростных локомотивах и др.

Весьма перспективна идея органического сочетания в единой конструктивной системе реактивного двигателя и планера, например, путем применения реактивного крыла, в котором реактивная движущая сила создается газами, вытекающими через сопла или щель по всей длине задней кромки крыла.

Применение турбореактивного двигателя в авиации, однако, ограничено скоростью полета — с ее ростом наступает момент, когда этот двигатель перестает быть пригодным и должен быть заменен другими. Секрет рокового для турбореактивного двигателя рубежа скорости связан с кинетической энергией набегающего на двигатель в полете воздушного потока. Как известно, кинетическая энергия растет как квадрат скорости движения,

так что при увеличении скорости полета в 5 раз кинетическая энергия возрастает в 25 раз. Когда набегающий воздушный поток тормозится перед входом в двигатель, то его кинетическая энергия затрачивается на сжатие воздуха. Давление воздуха перед двигателем возрастает, возникает скоростной напор.

Вначале это лишь помогает компрессору сжимать воздух, мощность, необходимая на его привод, уменьшается. Однако затем эта «помощь» становится чрезмерной, своеобразной медвежьей услугой двигателю — скоростной напор оказывается столь большим, что надобность в компрессоре отпадает вовсе, он становится ненужным, все сжатие воздуха обеспечивается скоростным напором. Это происходит при гиперзвуковых скоростях полета, примерно в 5 раз превышающих скорость звука в воздухе. Но если не нужен компрессор, то такая же судьба постигает и турбину. Что же остается от двигателя? По существу одна лишь камера сгорания, снабженная только воздухозаборником для входящего воздуха и реактивным соплом для истечения реактивной струи. Турбореактивный двигатель «вырождается», превращаясь в одну летающую топку. Подобный воздушно-реактивный двигатель называют прямоточным. Исключительно простой по принципиальному устройству и высокоэффективный при гиперзвуковых скоростях полета, где ему во многих отношениях практически нет равных, прямоточный двигатель пока находит лишь ограниченное применение главным образом на управляемых снарядах. Однако ему принадлежит будущее в сверхскоростной авиации. Гиперзвуковые прямоточные реактивные двигатели способны обеспечить полет со скоростью в 10—12 раз больше скорости звука, недоступной для других воздушно-реактивных двигателей.

Найдут применение прямоточные двигатели и в космическом транспорте, для воздушно-космических самолетов, транспортных космических кораблей многоразового использования и др. Не исключено, что эти двигатели смогут использовать

«даровое» топливо в виде, например, атомарных газов, из которых состоит земная атмосфера на высотах в десятки километров. Когда атомы этих газов соединяются в молекулы, то выделяется много тепла.

Если подобный процесс рекомбинации молекул удастся осуществить в камере сгорания прямоточного двигателя, то он сможет стать весьма эффективной силовой установкой самолета, способного совершать неограниченный по длительности полет, используя атомарное топливо верхних слоев атмосферы. Подобный же принцип использования дарового топлива может быть реализован при полете в атмосфере некоторых планет—Венеры, Юпитера и др., но это дело далекого будущего.

Есть у прямоточного двигателя и серьезный недостаток, он не в состоянии обеспечить взлет самолета, так как при старте не развивает реактивную тягу. Да и при малой скорости полета его работа уж очень невыгодна. Поэтому на летательных аппаратах с прямоточным двигателем должен быть установлен и еще какой-нибудь двигатель, например турбореактивный, для старта и разгона до сверхзвуковой скорости.

Пульсирующий воздушно-реактивный двигатель в отличие от прямоточного развивает тягу на старте, потому что его входное отверстие снабжено клапанами. Когда воздух поступает в двигатель, клапаны открыты, а затем, когда в камере сгорания происходит вспышка впрыснутого топлива, клапаны закрываются, давление в камере резко повышается и реактивная струя со значительной скоростью устремляется наружу. Снова клапаны открываются, вспышка, выпуск... Двигатель работает не непрерывно, подобно прямоточному или турбореактивному, а последовательными импульсами, он как бы пульсирует, чем и объясняется его название. К сожалению, рабочий процесс двигателя недостаточно эффективен, что не позволяет ему конкурировать с другими воздушно-реактивными двигателями при сравнительно больших скоростях полета. Пульсиру-

ющие двигатели применяются на управляемых снарядах, а также на реактивных вертолетах — установленные на концах лопастей их несущего винта, они обеспечивают его вращение.

Для высокоскоростных самолетов предложен турбопрямоточный двигатель, представляющий собой своеобразное сочетание турбореактивного и прямоточного двигателей. Идея этого двигателя очевидна — при взлете и малых скоростях полета двигатель работает как турбореактивный, на больших сверхзвуковых скоростях реванш берет прямоточный, в это время турбореактивный не работает. Разумеется, оба двигателя не просто установлены рядышком, они объединены в единую силовую установку самолета.

В некоторых случаях воздушно-реактивные двигатели не в состоянии обеспечить движение транспортного аппарата. Прежде всего, очевидно, в космосе, где нет воздуха. Поэтому здесь вне конкуренции господствует ракетный двигатель.

Главные области применения ракетных двигателей разного типа — это космические летательные аппараты, ракеты, экспериментальные сверхзвуковые ракетные самолеты, вспомогательные стартовые двигатели и ускорители самолетов. Каким бы ни было топливо ракетного двигателя — жидким, твердым или смешанным, оно всегда отвечает главному требованию — его сгорание происходит без участия окружающего воздуха.

В ракетном двигателе, работающем на жидком топливе — жидкостном ракетном двигателе (ЖРД), топливо чаще всего состоит из двух разных жидкостей, или компонентов топлива, каждый из которых хранится в своем, отдельном баке, откуда поступает в камеру сгорания. Топливо можно подавать топливными насосами, обычно приводимыми в действие газовой турбиной и конструктивно объединенными с ней в турбонасосный агрегат, или же вытеснением из баков под действием какого-нибудь инертного газа. Один из компонентов жидкого ракетного топлива — горючее, например жидкий водо-

род, керосин и др., второй — окислитель, например жидкий кислород, жидкий фтор, азотная кислота и др. При химической реакции сгорания обоих компонентов выделяется огромное количество тепла и образуются раскаленные газы, создающие при истечении из сопла двигателя высокоскоростную реактивную струю.

Химики исследуют самые разные сочетания компонентов топлив, стремясь добиться наибольшей возможной скорости реактивной струи, имеющей решающее значение для ракетной техники и космонавтики. Наибольшая скорость реактивной струи, возможная для химических топлив, достигается для таких компонентов, как жидкий фтор и жидкий водород, она может быть почти 5 км/с. При слиянии атомов водорода в молекулы, т. е. рекомбинации молекул, о которой упоминалось выше, скорость струи может превысить 15 км/с! Однако сохранять атомарный водород в баках ракеты, к сожалению, еще не умеют, хотя и пытаются этого достичь.

Некоторые компоненты жидкого ракетного топлива самовоспламеняются в камере сгорания, другие требуют специальной системы зажигания. Изменяя количество подаваемого в камеру сгорания топлива, можно изменять величину развиваемой двигателем тяги. Это большое преимущество жидкостного ракетного двигателя, изобретенного основоположником ракетной техники и космонавтики К. Э. Циолковским и открывшего людям дорогу в космос.

Исторически первым созданным людьми ракетным двигателем является ракетный двигатель твердого топлива (РДТТ); это топливо, содержащее и горючее, и окислитель, т. е. все необходимые для сгорания компоненты, заполняет камеру сгорания двигателя и после воспламенения постепенно сгорает. Скорость сгорания и тем самым величина реактивной тяги и закон ее изменения по времени определяются конструкцией топливного заряда.

Регулировать величину тяги, как в ЖРД, здесь не удастся, что, естественно, ограничивает применение этих двигателей на космических аппаратах, хотя они и играют заметную роль в ведущемся штурме космоса. Чаще всего подобные двигатели устанавливаются на первой ступени космических ракет, что объясняется большой тягой, которую они развивают, при простой и легкой конструкции.

Строят ракетные двигатели, использующие смешанное топливо как твердое, так и жидкое. Один из компонентов топлива — твердый — находится в камере сгорания, как всегда в твердотопливных двигателях, другой — жидкий — содержится в отдельном баке, откуда поступает в камеру сгорания. В ракетных двигателях смешанного топлива (РДСТ) возможно регулирование величины тяги путем изменения количества подаваемого в камеру сгорания жидкого компонента. Эти двигатели обладают перспективами более широкого применения.

Ракетные двигатели выполняют на космических аппаратах и ракетах многочисленные функции. Прежде всего это маршевые двигатели, движущие ракету, сила тяги их достигает сотен тонн, ведь им приходится отрывать от Земли и выводить в космос большие массы.

Масса космической ракеты-носителя при старте достигает многих сотен и даже тысяч тонн. Обычно приходится устанавливать не один, а сразу несколько мощных маршевых двигателей, только их суммарная тяга способна справиться с задачей. Если ракета составная, маршевые двигатели устанавливаются на каждой ступени.

Помимо маршевых, устанавливают тормозные двигатели, их назначение обратно маршевым, они уменьшают скорость космического аппарата. Для этого реактивная струя двигателя направляется вперед, по направлению движения аппарата. Рулевые ракетные двигатели управляют направлением полета, ориентационные — положением осей аппарата в пространстве, т. е. его

ориентацией, стабилизационные сохраняют заданную ориентацию постоянной и т. д. На мощных космических ракетах может быть установлено до сотни разнообразных ракетных двигателей — от гигантов размерами в несколько метров и тягой в сотни тонн-сил до лилипутов размерами всего в сантиметрах и тягой в грамм-силах.

Известны и «гибридные» двигатели. Один из них — ракетно-прямоточный — представляет собой сочетание ракетного и прямоточного, в нем ракетная часть обеспечивает старт и работу на малых скоростях полета. На скоростных режимах могут работать оба составляющих двигателя, а на больших высотах — только ракетный. В турборакетном двигателе турбореактивная часть работает при старте и малых скоростях полета, когда ракетный невыгоден, на больших скоростях работают оба двигателя, на максимальных — один ракетный. Есть проекты, где в силовой установке сочетаются ракеты — носители ракетного двигателя с эжектором — высокоскоростная реактивная струя ракетного двигателя при взлете ракеты подсасывает при помощи эжектора воздух из атмосферы, что увеличивает тягу и эффективность работы всей установки.

В одном из зарубежных проектов силовой установки высотного летательного аппарата предлагается использовать газотурбинный двигатель в сочетании с турборакетным и дополнительным холодильником, способным сжижать атмосферный воздух. Считается, что при полете на большой высоте часть засасываемого атмосферного воздуха не будет использоваться двигателями, а будет направляться в холодильник и конденсироваться, сжижаться в нем в результате охлаждения водородом. Получающийся таким образом жидкий кислород может запасаться в баках летательного аппарата для последующего использования в самой силовой установке или для заправки других летательных аппаратов в полете. Подобная установка с накоплением сжиженного воздуха исследуется учеными.

Еще одна группа тепловых реактивных двигателей — гидрореактивные. Предложены и электроводометные двигатели, в которых реактивная водяная струя создается в результате мощного электроискрового разряда в воде, т. е. электрогидравлического эффекта, открытого в Советском Союзе. Есть такие гидрореактивные двигатели, в которых, как и во всяком другом тепловом реактивном двигателе, происходит химическая реакция сгорания топлива, в результате которой образуется движущая реактивная струя продуктов сгорания. Она может быть водяной, если в двигателе происходит разложение перекиси водорода или сгорание водорода с кислородом, но могут использоваться и иные реакции.

Гидрореактивные двигатели применяются для подводных и надводных аппаратов.

Широкое применение на транспорте получили электрические двигатели вращающегося типа (табл. 4). В большинстве случаев это двигатели постоянного тока. В подъемно-транспортном оборудовании, как правило, применяют трехфазные асинхронные двигатели с короткозамкнутым или фазным ротором.

Однако в последнее время большой интерес вызывают линейные электродвигатели (см. табл. 4). Так же, как и вращающиеся, они могут быть постоянного тока, асинхронными (иногда их называют индукционными) и синхронными. Применение линейных двигателей самое разнообразное: от привода челнока ткацкого станка до транспортировки жидкого металла. Ведутся работы по использованию линейных электродвигателей для движения судов, в качестве ускорителей и замедлителей на сортировочных станциях и пр. Вряд ли можно перечислить все возможные области их применения. Мощности линейных электродвигателей составляют от долей ватта до мегаватт. Особенно перспективно их применение в высокоскоростном наземном транспорте (ВСНТ).

Использование линейного двигателя постоянного тока (ЛДПТ) с коллектором, т. е. механическим коммутатором, для этих целей затруднительно. Во-первых, потому что изготовление коллектора вдоль пути потребует больших затрат материалов и чрезвычайно усложнит его эксплуатацию. Во-вторых, высокая скорость движения (для ВСНТ 110—140 м/с) ухудшит условия коммутации и, следовательно, снизит надежность коллекторно-щеточного узла. Достаточно сказать, что окружная скорость коллектора у вращающихся тяговых двигателей по условиям коммутации ограничивается величиной 50—52 м/с! Применение ЛДПТ с коллектором, очевидно, возможно в тех случаях, когда скорости относительно низки, а перемещения незначительны, например в станкостроении.

Вентильная коммутация может существенно расширить возможности ЛДПТ. В этом случае переключение секций обмотки якоря осуществляется тиристорным преобразователем автоматически, в зависимости от положения обмотки якоря относительно полюсов индуктора, фиксируемого датчиком, расположенным на экипаже и управляющим работой преобразователя. Поэтому такой двигатель называют автосинхронным. Характеристики его аналогичны характеристикам двигателя постоянного тока. Собственно то же самое происходит и во вращающемся двигателе постоянного тока с помощью коллекторно-щеточного узла.

Основное внимание в нашей стране и за рубежом уделяют разработке и исследованию для ВСНТ линейных электродвигателей трехфазного переменного тока: асинхронных (ЛАД) и синхронных (ЛСД). Статор ЛАД аналогичен статору вращающегося асинхронного двигателя с той разницей, что он как бы разрезан и развернут в плоскость. Ротор неузнаваемо изменился, превратившись в алюминиевую шину. Предложено множество форм конструктивного исполнения ЛАД. Он может быть двусторонним и односторонним, с вертикальным и горизонтальным

**Т а б л и ц а 4. Двигатели транспортных аппаратов
(электрические, ядерные, солнечные).**

Тип двигателя	Область применения	Транспортный аппарат
Вращающийся электрический: с внешним питанием с автономным питанием	Наземный транспорт Наземный, водный транспорт	Электровоз, ВЧ-мобиль Тепловоз, электро-мобиль, дизель-электроход Магнитолет
Линейный электрический: с внешним питанием с автономным питанием	Наземный транспорт	
Электроракетный: электротермический, электростатический, электромагнитный	Космический транспорт	Космический корабль
Ядерный двигатель: паротурбинный, газотурбинный, электрический, ракетный	Водный, воздушный, космический транспорт	Атомное судно, подводная лодка, дирижабль, атомный космический корабль
Солнечный двигатель: паротурбинный, газотурбинный, электрический, электроракетный, ракетный	Космический транспорт	Гелиокосмический аппарат
Аннигиляционный двигатель	То же	Фотонный звездолет

расположением первичной и вторичной частей. Статор может быть расположен на полотне (так называемый активный путь), а алюминиевая шина—на экипаже. Это избавляет от необходимости затрачивать энергию на перевозку тяжелого статора, масса которого составляет четверть массы экипажа, а также ликвидирует проблему передачи электроэнергии к ЛАД, движущемуся с высокой скоростью. Однако затраты на создание активного пути и его эксплуатацию столь велики, что пришлось пока отказаться от такого расположения ЛАД.

Наиболее приемлемым является вариант с активным экипажем. В этом случае два статора располагаются на транспортном аппарате, а в зазоре между ними величиной 30—40 мм находится алюминиевая шина, укрепленная в полотне дороги (это двусторонний ЛАД с вертикальным расположением статоров и алюминиевой шины).

Такое расположение двигателя создает определенные технические трудности в устройстве «стрелочных» переводов. С этой точки зрения удобнее односторонний ЛАД, когда на экипаже находится один статор, расположенный горизонтально. Алюминиевая шина лежит на полотне, причем для увеличения магнитной проводимости иногда под нее подкладывают стальной сердечник. Получается что-то вроде бутерброда, такую конструкцию вторичной части и назвали сендвичем. Недостатком одностороннего ЛАД является то, что при одинаковой длине и прочих равных условиях он создает вдвое меньшее тяговое усилие, чем двусторонний.

Принцип действия ЛАД таков же, как и у обычных асинхронных двигателей. При подключении трехфазной обмотки статора к источнику трехфазного переменного тока создается бегущее магнитное поле, которое индуцирует в алюминиевой шине (роторе) вихревые токи. Взаимодействие магнитного поля с этими токами и создает электромагнитную силу, увлекающую шину вслед за бегущим магнитным полем. Таким образом элек-

трическая энергия непосредственно преобразуется в механическую энергию поступательного движения алюминиевой шины и связанного с ней транспортного аппарата (например, ленты транспортера). Если же шина укреплена в полотне дороги, как это делается в ВСНТ, то реакция электромагнитной силы, т. е. реакция алюминиевой шины, заставляет перемещаться статор. Поэтому шину называют реактивной.

Недостатком ЛАД является малый воздушный зазор, который при высоких скоростях движения обуславливает значительные технические трудности создания полотна дороги и системы стабилизации экипажа относительно этого полотна. Кроме того, даже такой незначительный зазор ухудшает энергетические показатели ЛАД. Коэффициент мощности и коэффициент полезного действия его низки. Однако положение не безвыходно. Последние работы советских специалистов по созданию малогабаритных конденсаторов большой емкости, а также систем интенсивного охлаждения позволяют надеяться, что энергетические показатели ЛАД могут быть существенно улучшены.

Линейные синхронные двигатели (ЛСД) лишены указанных выше недостатков. Вторичная часть ЛСД, обмотка ротора, представляет собой сверхпроводящие электромагниты (аналогичные описанным выше), создающие сильное магнитное поле. Они располагаются на экипаже, так как в случае ЛСД выгоднее иметь дело с активным путем. Первичная часть, обмотка статора, представляющая собой систему алюминиевых контуров, не имеет стального сердечника и уложена в бетонное полотно пути. При этом отпадает необходимость в решении сложной проблемы передачи электрической энергии на движущийся аппарат.

Поскольку сверхпроводящие электромагниты способны создавать огромную намагничивающую силу при малых затратах электроэнергии, воздушный зазор в ЛСД значительно больше, чем в ЛАД, и достигает величины 100—300 мм. Это обстоятельство смягчает требования к полотну и системе стабилизации

экипажа. К недостаткам ЛСД следует отнести относительную сложность конструкции, обусловленную наличием сверхпроводящих электромагнитов, более сложную систему управления экипажем и необходимость в защите пассажиров от воздействия сильного магнитного поля.

Вот уже более десяти лет во всех развитых странах ведутся интенсивные работы по использованию в наземном транспорте линейных электродвигателей. Конечно, при этом приходится решать много сложных задач, таких, как создание мощных преобразователей частоты, сверхпроводящих электромагнитов, систем стабилизации аппаратов относительно полотна и пр. Не последнее место занимает и проблема передачи электрической энергии при скоростях движения 400—500 км/ч. При существующих в настоящее время скоростях широкое распространение получило внешнее питание электроэнергией транспортных электродвигателей. По проводам специальной контактной сети (контактному рельсу) скользят токоприемники железнодорожных электропоездов и трамваев, троллейбусов, вагонов метро. Поступающая таким образом электроэнергия приводит во вращение тяговые двигатели. Известны и другие способы передачи электрической энергии на движущийся транспортный аппарат, помимо контактного питания, ограничивающего возможную скорость движения.

Интересна, в частности, идея высокочастотного электрического транспорта (ВЧ-транспорт), высказанная ее изобретателем и большим энтузиастом, советским ученым Г. И. Бабатом. Если проложить вдоль шоссе пустотелый электрический высокочастотный кабель и пропускать по нему ток, то находящийся на шоссе транспортный аппарат окажется в быстромеменяющемся электромагнитном поле. Черпая из него при помощи катушки-токоприемника электрическую энергию, находящийся на аппарате электродвигатель сможет приводить во вращение ведущие колеса «ВЧ-мобилья» и заставить его двигаться.

Подобные «ВЧ-мобили», первый из которых был построен Г. И. Бабатом в 1943 г. в осажденном Ленинграде и испытывался уже после войны, могут рассчитывать на большое будущее. Скорость их движения может быть значительной, они не загрязняют атмосферу.

На одной из шахт Донбасса недавно начата эксплуатация «ВЧ-электровозов», питающихся электроэнергией от индукционного электрического кабеля, идущего вдоль пути. Подобным же образом могут двигаться по рекам и каналам «ВЧ-ходы» — суда с электрическим двигателем, питающимся, от проложенного вдоль берега высокочастотного кабеля.

Исследуется возможность передачи электроэнергии на движущийся аппарат посредством электрической дуги, возникающей между токоприемником и контактной шиной, которые не касаются друг друга. В этом случае возникают определенные трудности в создании дугостойких контактных материалов.

Другое перспективное предложение внешнего энергопитания относится главным образом к космическим транспортным аппаратам. Речь идет о посылке с Земли узконаправленного пучка радиочастотного или лазерного излучения. Принятое на борту аппарата специальной антенной или другим приемником это излучение может быть затем преобразовано в электрический ток.

Пока еще подобный метод внешнего энергопитания не вышел из стадии идей и проектов, но ему предсказывают большое будущее и не только в космосе, хотя о нем речь идет прежде всего. Энергетический луч электромагнитных волн высокой частоты может протянуться в воздухе и вдоль наземных автомагистралей, автомобили и другие транспортные аппараты с тяговым электродвигателем смогут черпать из него необходимую им энергию при помощи выдвигной антенны-приемника с последующим преобразованием частоты.

Электроэнергия может генерироваться и непосредственно на самом транспортном аппарате, подобные аппараты с автоном-

ным питанием тяговых электрических двигателей находят широкое применение в наземном, надводном и подводном, воздушном и космическом транспорте.

Исторически первая попытка использования тягового электродвигателя для целей транспорта была связана именно с применением автономного источника питания — гальванических элементов.

Позднее стали применять электрохимические аккумуляторы электрической энергии. Аккумулятор вначале заряжается, запасая электроэнергию путем подключения к сети.

Аккумуляирование электроэнергии происходит в результате происходящей в аккумуляторе химической реакции. Затем накопленная электроэнергия может в ходе происходящей обратной химической реакции расходоваться аккумулятором, направляться к потребителю. Электрокары с электродвигателем, питающимся от установленных на них аккумуляторов, широко используются во внутривозовском и другом промышленном транспорте.

В последние годы, когда стала острой проблема борьбы с загрязнением атмосферы выхлопными газами двигателей внутреннего сгорания, во многих странах появились электромобили — автомобили, автобусы и даже мотоциклы, мопеды и детские роллеры с тяговым электродвигателем и питающими его аккумуляторами.

Правда, пока электромобили недостаточно совершенны, аккумуляторы имеют значительные размеры и массу, запаса их энергии хватает обычно лишь на несколько десятков километров пробега, по запасу хода они по крайней мере в три-четыре раза уступают современным автомобилям. Однако в условиях внутригородского сообщения и такой сравнительно небольшой запас хода, т. е. дальность пробега между двумя заправками энергией — зарядами аккумуляторов, во многих случаях достаточно привлекателен.

В дальнейшем запас хода электромобилей сможет быть существенно увеличен в результате совершенствования аккумуляторов. Если свинцово-кислотные и железоникелевые аккумуляторы первого поколения электромобилей имеют запас хода 50—80 км, то воздушно-металлические, например, цинко-воздушные аккумуляторы способны увеличить его до 200 км, а высокотемпературные натриево-серные, которые могут быть внедрены в эксплуатацию через 10—15 лет, довести ее даже до значений, соизмеримых с запасом хода современных автомобилей.

Электромобили обладают рядом значительных достоинств, помимо абсолютной безвредности для окружающей среды, в частности исключительной простотой конструкции. По существу они представляют собой наземный транспорт совершенно нового типа, поскольку разительно отличаются от обычных автомобилей не только полностью новой силовой установкой, но и многими другими особенностями. В электромобиле отсутствуют такие обязательные для автомобиля элементы, как муфта сцепления, коробка передач, карданный вал и др. Управление электромобилем намного проще, водитель имеет всего две педали: скорости движения и тормоза. Все это, как и отличные эксплуатационные характеристики, делает широкое применение внутригородских электромобилей вполне перспективным.

Конечно, полностью вытеснить автомобили они, вероятно, никогда не смогут, не только потому, что вне города серьезно им уступают. Практически невозможно обеспечить в настоящее время станции заряда аккумуляторов должным количеством электроэнергии (всей имеющейся на Земле электроэнергии для этого не хватит), как и специальными материалами, необходимыми для изготовления аккумуляторов. Ряд удачных конструкций электромобилей создан у нас в стране, в том числе даже гоночный электромобиль студентов Харьковского автомобильного института, рассчитанный на скорость 200 км/ч! В

Москве начата эксплуатация первой партии электромобилей отечественного производства. В Англии эксплуатируется электробус на 34 пассажира с запасом хода 160 км и скоростью до 70 км/ч. Совершил уже первый полет самолет с электродвигателем и аккумулятором. Даже в магазинах можно приобрести детский электроавтомобильчик, выпускаемый одним из Новосибирских заводов!

И все же более благоприятны, вероятно, перспективы электромобилей другого типа, у них место аккумуляторов занимают топливные элементы. Эти удивительные химические генераторы электроэнергии привлекают в последнее время большое внимание ученых в связи с их замечательными особенностями. Главная из них в том, что химическая энергия «сгорающего» в топливных элементах топлива преобразуется в электрическую непосредственно, прямо, без промежуточного перехода в тепловую энергию, характерного для всех тепловых двигателей.

Ученые уделяют большое внимание возможным методам непосредственного преобразования одного вида энергии в другой без промежуточного выделения тепла. Горючее и окислитель в топливном элементе вступают в реакцию, которая протекает без появления пламени. Химическая энергия сразу переходит в электрическую. Весьма перспективными являются водородно-кислородный и водородно-воздушный топливные элементы, в них при сгорании образуется обыкновенная вода, не загрязняющая окружающую среду, а также генерируется электрический ток. Коэффициент полезного действия подобных топливных элементов очень высок, уже в первых образцах он достиг 60—70%.

Уже созданы электромобили, электротракторы и другие транспортные аппараты с электродвигателем, питание которого осуществляется от установленных на аппарате топливных элементов. Дальнейшее совершенствование и в особенности удешевление топливных элементов (пока они дороги из-за некоторых

материалов, в частности драгоценных металлов, идущих на их изготовление), повышение их мощности и надежности приведет к несомненному расширению их использования на транспорте.

В настоящее время наиболее часто применяется другой метод автономного электропитания транспортных аппаратов с тяговым электрическим двигателем — на аппарате устанавливается электрогенератор, приводимый двигателем внутреннего сгорания, паровым или газотурбинным. Так, на тепловозе и дизель-электроходе дизель приводит во вращение электрогенератор, который и питает тяговые электрические двигатели. На газотурбовозах и газотурбоходах генератор приводится газотурбинным двигателем. Применяются подобные силовые установки и на тяжелых автомобилях-грузовиках, у которых, как и в железнодорожном подвижном составе, тяговые электродвигатели устанавливаются непосредственно на ведущих осях. Замена обычной механической передачи от двигателя внутреннего сгорания к ведущим осям электрической улучшает эксплуатационные характеристики транспортного аппарата.

Имеются и такие автомобили, у которых обычный двигатель внутреннего сгорания используется лишь на загородных шоссе, а на улицах города движение обеспечивается электродвигателем с питанием от аккумулятора. Иногда в подобных смешанных силовых установках тяговый электродвигатель на некоторых режимах, например, при движении под уклон и на горизонтальных участках пути, работает как генератор электрического тока, подзаряжая аккумулятор, а на подъемах и при разгоне — в качестве двигателя, развивая дополнительную мощность, необходимую в этих условиях.

В последние годы появились транспортные аппараты со смешанной силовой установкой, в которой место теплового двигателя, приводящего во вращение электрогенератор, занимает двигатель ядерный. Подобные установки имеют, в частности, надводные суда, например, атомные ледоколы «Ленин» и «Арк-

тика», атомные авианосцы, грузовые суда и атомные подводные лодки. Источником энергии в ядерной силовой установке является атомный котел, т. е. ядерный реактор, в котором происходит цепная реакция деления атомов урана или другого ядерного горючего на более легкие атомы с преобразованием выделяющейся при этом внутриядерной энергии в тепловую. Затем эта тепловая энергия преобразуется в электрическую с помощью турбинной или иной установки. Огромная величина внутриядерной энергии делает пренебрежимо малым расход топлива и потому практически неограниченными дальность и продолжительность плавания атомного судна. Перспективы применения ядерной энергии на транспорте исключительно велики.

Наконец, автономное энергопитание электродвигателя транспортного аппарата возможно и с использованием солнечной энергии. Строго говоря, солнечная энергия является, конечно, внешней по отношению к аппарату, однако установка на нем приемника солнечной энергии делает аппарат автономным, не зависящим от наземных источников энергоснабжения.

К сожалению, размеры подобных приемников слишком велики, чтобы использовать их на обычных транспортных аппаратах, хотя и такие попытки делаются. Другое дело — космос, в нем вполне возможно развертывание приемников солнечной энергии большой поверхности, достаточной для генерирования электроэнергии значительной мощности. Эта энергия может быть использована затем для питания электроракетных двигателей (см. табл. 4).

Роль электроракетных двигателей в будущем космического транспорта может оказаться столь большой, даже решающей, что о них стоит сказать несколько подробнее. Если все известные обычные электрические двигатели (ротационного или линейного типа) совершают непосредственно механическую работу, то с электроракетными двигателями дело обстоит иначе. В любом реактивном двигателе конечной целью их работы явля-

ется образование высокоскоростной реактивной струи, так что электрическая энергия в двигателе преобразуется в кинетическую энергию этой струи.

В разных электроракетных двигателях используются разные методы подобного преобразования, однако всегда электромагнитное поле внутри двигателя служит для формирования и ускорения реактивной струи. Например, в плазменном электроракетном двигателе сначала с помощью мощных электрических разрядов или другим способом рабочее вещество преобразуется в плазму — смесь положительно заряженных ионов и отрицательных электронов, а затем электромагнитное поле разгоняет эти частицы до весьма больших скоростей, на несколько порядков превосходящих максимально возможную скорость реактивной струи обычных реактивных двигателей.

В ионных электроракетных двигателях тоже вначале происходит ионизация молекул рабочего вещества, а затем образовавшиеся положительные ионы отделяются от электронов и с помощью электростатического поля формируется и разгоняется до очень больших скоростей ионная реактивная струя. Число возможных электроракетных двигателей велико, но всегда в них создается реактивная струя очень высокой скорости (в десятки и сотни раз большей, чем у обычных реактивных двигателей), с которой, собственно, и связаны перспективы их применения.

Правда, электроракетные двигатели требуют электрического питания, для чего могут быть использованы уже известные нам топливные элементы, приемники солнечной энергии, ядерные энергоустановки и др. По вполне очевидным причинам (масса, размеры, расход топлива и др.) все подобные бортовые электростанции не могут развивать значительную мощность, так что и электроракетные двигатели неизбежно оказываются маломощными. Оторваться от Земли ракета с подобными двигателями, очевидно, не сможет, но это и не их задача.

Старт ракеты всегда потребует двигателей огромной тяги —

химических или ядерных. Но если космический аппарат уже выведен в космос, то, как об этом уже упоминалось, даже малая сила, действующая достаточно долго, сможет существенно увеличить скорость его движения, даже до скоростей, недостижимых при помощи обычных ракетных двигателей. Не удивительно, что электроракетные двигатели должны отличаться не только необычно малой тягой, но и столь же необычно большой продолжительностью работы. Вместо нескольких минут, что характерно для двигателей современных ракет, они работают в течение многих дней.

Пока еще электроракетные двигатели не вышли из стадии исследований и опытных разработок, хотя уже не раз их экспериментальные образцы работали в космосе, впервые — в нашей стране. Однако интенсивность и размах ведущихся работ — залог тому, что недалек день выхода этих необычных двигателей на широкую дорогу эксплуатации в не менее необычном космическом транспорте. Заметим, что при полете в верхних слоях атмосферы (ионосфере), где частицы воздуха ионизованы, т. е. имеют электрический заряд, электроракетные двигатели транспортного аппарата могут вообще не расходовать запасенное рабочее вещество и воспользоваться «даровыми» природными ионами из атмосферы, формируя из них реактивную струю.

Единственным типом космического ракетного двигателя, сочетающего высокую скорость реактивной струи с практически сколь угодно большой реактивной тягой, является упоминавшийся выше ядерный ракетный двигатель (см. табл. 4). Столь выгодное сочетание привлекает к этому двигателю большое внимание ученых, однако его создание связано с исключительно сложными инженерными проблемами. Пока трудно назвать сроки его появления на космических трассах.

В простейшем ядерном ракетном двигателе тепло, которое выделяется в котле, используется для разгона реактивной струи рабочего вещества, как в других реактивных двигателях.

Скорость струи может примерно вдвое превышать наибольшую достижимую скорость для обычных ракетных двигателей.

Гораздо большую скорость реактивной струи можно получить при помощи ядерных ракетных двигателей иных типов. В них вместо обычного атомного котла, в котором ядерное горючее находится в твердом состоянии (твердофазная активная зона реактора), используется реактор с жидкофазной или газофазной активной зоной. Однако создание подобных двигателей еще неизмеримо сложнее, пока они не вышли из стадии первоначальных изысканий. В еще большей степени это относится к термоядерному ракетному двигателю, в котором внутриядерная энергия высвобождается не в результате деления атомов, а при слиянии (синтезе) водородных атомов в гелиевые.

Более перспективен путь прямого преобразования тепла в электрическую энергию с помощью термоэлектрических, термоэмиссионных или других возможных преобразователей. Подобные методы выгодны и постоянно совершенствуются.

Многое из сказанного выше об использовании ядерной энергии относится и к солнечному двигателю (см. табл. 4), также уже упоминавшемуся. Уловленная приемником транспортного аппарата солнечная энергия может быть преобразована в тепло и затем использована в каком-нибудь ракетном двигателе для нагрева рабочего вещества либо же в паротурбинном, газотурбинном или другом тепловом двигателе, приводящем электрогенератор. Это тепло может быть и непосредственно преобразовано в электроэнергию с помощью уже известных нам безмашинных преобразователей.

Возможно и прямое преобразование солнечной энергии в электрическую без промежуточного перехода в тепло, что, естественно, весьма выгодно. Для подобного преобразования могут быть использованы фотоэлементы. Большое число полупроводниковых пластинок фотоэлементов образует солнечные батареи, давно и эффективно используемые на космических ап-

паратах, правда, пока не для их движения, а для различных вспомогательных нужд, питания бортовой аппаратуры и пр.

В принципе возможно применение на транспорте и двигателей совершенно нового типа, основанных на использовании внутренней потенциальной (эйнштейновской) энергии любого вещества. Чтобы полностью выделить и использовать эту гигантскую энергию, в тысячу раз превосходящую по величине внутриядерную, необходимо, чтобы вещество, как говорят физики, аннигилировало, полностью перейдя в энергию.

Подобная реакция аннигиляции науке известна, к ней приводит, в частности, столкновение двух элементарных частиц — отрицательного электрона и его античастицы — положительного позитрона. В результате столкновения обе частицы исчезают, рождая мощные фотоны-кванты электромагнитного излучения. Если бы удалось воспроизвести управляемую реакцию аннигиляции значительных масс вещества и антивещества, то стало бы возможным создание аннигиляционных двигателей (см. табл. 4), невиданных по мощности и эффективности. Аннигиляционный фотонный ракетный двигатель был бы теоретически наилучшей силовой установкой межзвездных кораблей будущего. Однако наука пока не видит практических путей создания подобных двигателей, как и способов длительного хранения значительных масс антивещества, служащего их своеобразным «топливом».

Приведенный выше обзор устройств создания подъемной силы, движителей и двигателей транспортных аппаратов не является ни исчерпывающим, ни законченным. Со временем, вероятно, появятся новые их типы. Не исключено, что некоторые из них вызовут техническую революцию в мире транспорта. Об этом свидетельствуют постоянно появляющиеся новые изобретения, иной раз весьма радикальные. Чтобы создавать новое, нужно знать уже существующее. Первое знакомство с миром транспорта призвана дать настоящая книга.

Оглавление

Предисловие	5
Вступление	6
Поддерживающая (подъемная) сила	9
Движители	29
Двигатели	55

Карл Александрович Гильзин

В МИРЕ ТРАНСПОРТА

Рецензент В. А. Винокуров

Редактор Н. П. Киселева

Обложка художника А. А. Шабанова

Технический редактор О. И. Крайнова

Корректор В. Н. Яговкина

ИБ № 1288

Сдано в набор 11.04.78. Подписано к печати 03.11.78.
Т-20129. Формат бумаги 70×108^{1/32}, тип. № 1. Гарн.
журн.-рубленая. Печ. высокая. Печ. л: 2,75 (усл.
3,85), Уч.-изд. л. 4,04. Тираж: 20 000. Зак. тип.
№ 2482: Цена 20 коп. Изд. № 1-5-0/1 № 9280.
Изд-во «ТРАНСПОРТ», 107174, Москва,
Басманный туп., 6а

Гор. Куйбышев, пр. Карла Маркса, 201.
Тип. изд-ва «Волжская коммуна».

