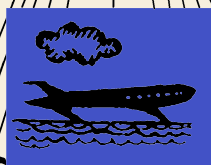
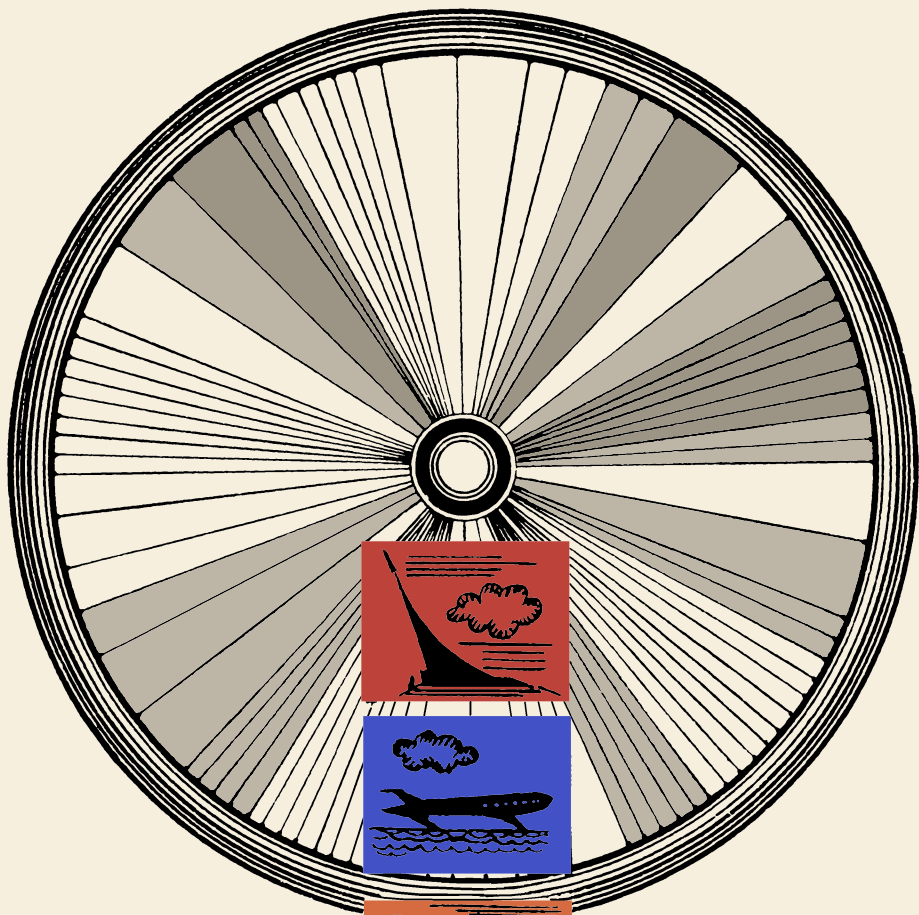
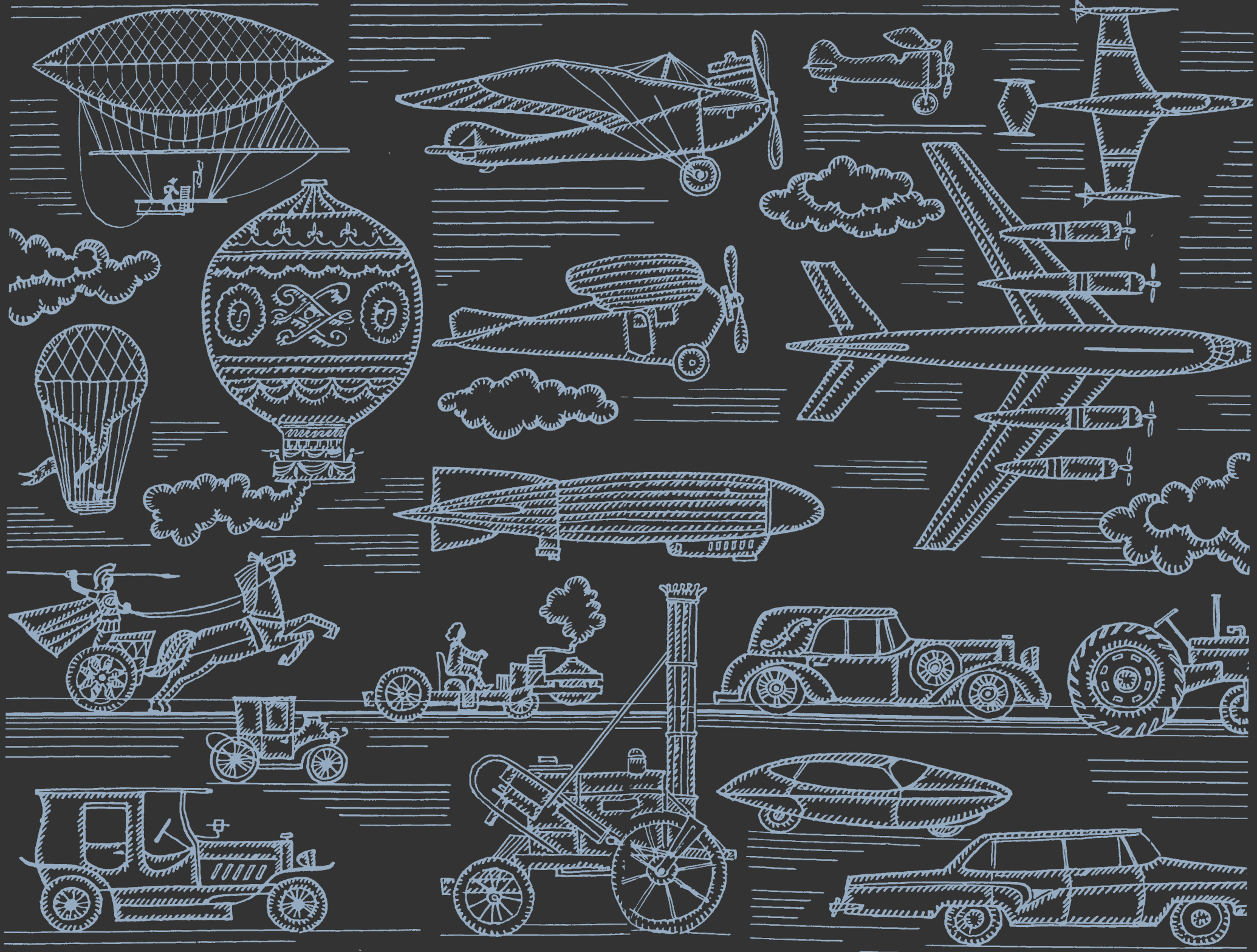


Б.Ф.Билимович

ЗАКОНЫ МЕХАНИКИ В ТЕХНИКЕ









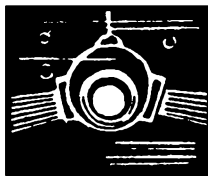
В ВОЗДУХЕ



НА ЗЕМЛЕ



НА ВОДЕ



ПОД ВОДОЙ

**ЗАКОНЫ
МЕХАНИКИ
В ТЕХНИКЕ**

Б.Ф.Билимович

ПОСОБИЕ ДЛЯ УЧАЩИХСЯ

МОСКВА «ПРОСВЕЩЕНИЕ» 1975

605

Б61

Билимович Б. Ф.
Б61 **Законы механики в технике. Пособие для учащихся.** М., «Просвещение», 1975.

175 с. с ил.

Книга написана для учащихся 6—8 классов средней школы. В ней рассказывается, как законы механики используются в технике прошлого и настоящего.

Б $\frac{60601 - 509}{103 (03) - 75}$ 211 — 75

605

© Издательство «Просвещение», 1975 г.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Современный человек живет в окружении всевозможных машин, облегчающих его труд и помогающих побеждать время и пространство. Машины переносят людей со сказочной быстротой из одной страны в другую, поднимают громадные тяжести, добывают полезные ископаемые, жнут, ткнут, режут, пилят, сверлят.

Все эти «чудеса» современной техники стали возможны благодаря трудам, а иногда и жертвам многих поколений ученых и изобретателей, инженеров и рабочих.

С каждым годом появляются новые, все более и более сложные и совершенные машины. Чтобы научиться создавать такие машины и управлять ими, надо много знать. Особенно хорошо надо изучить механику, отдельные части которой являются теоретической основой многих технических наук. Так, к теоретической баллистике, изучающей движение брошенных тел, тесно примыкает практическая баллистика, рассматривающая поведение снаряда и оружия (например, пушки) при выстреле, действие на снаряд пороховых газов, траекторию его движения, влияние на нее сопротивления воздуха, вращения Земли, ветра и т. д.

На теорию движения тел переменной массы опирается ракетодинамика, посредством которой разрабатываются конструкции ракет, искусственных спутников и космических кораблей, а также способы управления ими в космическом пространстве.

Одна из частей механики — гидромеханика, изучающая движение и равновесие жидкостей, лежит в основе кораблестроения и гидравлики — науки об устройстве и действии гидравлических насосов и прессов, водяных колес и турбин.

Аэромеханика — теория движения и равновесия газов — является основой дирижаблестроения и самолетостроения — технических наук, с помощью которых конструируются дирижабли,

самолеты и вертолеты, рассчитывается мощность их двигателей и устойчивость в полете.

С помощью математики и механики ученые и инженеры решают многие практические задачи: проектируют и строят здания и мосты, каналы и плотины, шахты и туннели, водопроводы и нефтепроводы, автомобили и тепловозы, экскаваторы, бурильные станки, врубные машины и многое другое.

В этой книге, посвященной технике прошлого и настоящего и предназначенной для внеклассного чтения учащимся 6—8 классов, рассказывается, как применяются законы механики при использовании различных машин и при расчете тех сил, которые в них действуют. Механика — это мощное средство, позволяющее глубоко проникнуть в мир техники. Именно поэтому в начале каждой главы мы помещаем краткие сведения о законах механики и механических явлениях, связанных с содержанием данной главы. Для читателей, которые захотят сами испытать свои силы, в конце каждой главы приводятся задачи.

Бесконечно разнообразен и увлекателен мир современной техники, но вступить в него может только тот, кто вооружится глубокими знаниями.

Автор надеется, что книга явится полезным пособием к школьному курсу физики, а ее юные читатели найдут в ней много интересных дополнительных сведений.

Рекомендуемая учебная литература

1. А. В. Перышкин, Н. А. Родина. Физика. Учебник для шестого класса. Под ред. академика И. К. Кикоина. Изд. 7-е. М., «Просвещение», 1974.

2. И. К. Кикоин, А. К. Кикоин. Физика. Учебное пособие для 8 класса средней школы. Изд. 5-е. М., «Просвещение», 1974.

Примечание. В дальнейшем при ссылках на учебную литературу в квадратных скобках будет указан порядковый номер книги в списке литературы.

К главе I. [1]. § 32—38, 87—100.

[2]. Гл. 5, § 42—47; гл. 6, § 52—54; гл. 7, § 65—69; гл. 9, § 73—77.

К главе II. [1]. § 17—24, 30, 31.

[2]. Гл. 2, § 19—21; гл. 6, § 55—57; гл. 8, § 70—72.

К главе III. [1]. § 43—46.

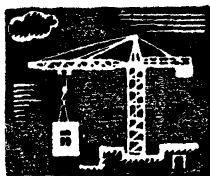
[2]. Гл. 5, § 48—50; гл. 6, § 59—61; гл. 9, § 79, 80; гл. 10, § 88.

К главе IV. [1]. § 50—55; 62—65; 70—72; 79—86.

К главе V. [2]. Гл. 5, § 50; гл. 6, § 61; гл. 10, § 92, 93.

К главе VI. [1]. § 98—103.

[2]. Гл. 3, § 22—27; гл. 10, § 81—87, 89, 90.



ПОДЪЕМНЫЕ МАШИНЫ И СИЛА ТЯЖЕСТИ

Г Л А В А I

§ 1. Всемирное тяготение

Повседневные наблюдения убеждают нас в том, что тела падают на Землю ускоренно. Ускорение сообщает падающим телам земной шар.

Большое влияние на скорость падения оказывает сопротивление воздуха, которое зависит от размеров и формы тел. Если тела разной массы имеют одинаковые размеры и форму, воздух оказывает им при их падении одинаковое сопротивление. В этом случае ускорения падающих тел незначительно отличаются друг от друга. К такому заключению впервые пришел Галилей, наблюдая падение шаров с вершины наклонной башни в Пизе. Шары были сделаны из разных материалов (дерева, свинца, мрамора), но имели одинаковые размеры. В безвоздушном пространстве, когда сопротивление воздуха полностью устранено, все тела падают с одинаковым ускорением. Этот вывод Галилея подтверждают и современные опыты, произведенные с помощью точных, совершенных приборов.

Ускорение, которое Земля сообщает всем телам, называют ускорением свободного падения и обозначают буквой g . Если поднять или переместить тело с полюса на экватор, величина g уменьшается (на полюсе $g = 9,83 \text{ м/с}^2$, на экваторе $g = 9,78 \text{ м/с}^2$, а на широте Москвы $g \approx 9,81 \text{ м/с}^2$).

Тело может получать ускорение только в результате действия на него силы со стороны другого тела. Следовательно, Земля, сообщаящая ускорение g любому телу, действует на него с некоторой силой F , которую называют силой тяжести. Как и ускорение g , сила F направлена к центру Земли и с увеличением высоты тела над земной поверхностью и его географической широты изменяется.

К Земле притягиваются с некоторыми силами все частицы тела. Сила тяжести, приложенная к телу, представляет собой равно-

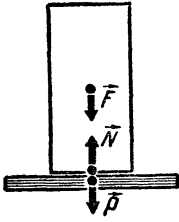


Рис. 1. Сила тяжести, вес и реакция опоры

действующую этих сил, а точка ее приложения называется центром тяжести тела.

Связь между массой тела m , действующей на него силой тяжести F и ускорением g , устанавливает второй закон Ньютона:

$$g = \frac{F}{m}.$$

Так как ускорение g не зависит от массы тела, то приложенная к телу сила тяжести F должна быть пропорциональна его массе, т. е.

$$F = mg.$$

Притяжение Земли влияет также на неподвижные, подвешенные или лежащие на опоре тела (рис. 1). Приложенная к телу сила тяжести \vec{F} деформирует его, в результате чего возникает сила упругости \vec{P} , с которой это тело действует на опору (или подвес). В свою очередь опора прилагает к телу силу \vec{N} , называемую реакцией опоры. По третьему закону Ньютона сила \vec{N} равна \vec{P} и направлена в противоположную сторону:

$$\vec{N} = -\vec{P}.$$

Сила \vec{P} , с которой тело вследствие его притяжения к Земле действует на опору (или подвес) называется весом тела. Вес зависит от всей совокупности сил, приложенных к телу, а не только от силы тяжести.

Если тело поднимают или переносят с полюса на экватор, вес, как и сила тяжести, уменьшается. На величину веса влияет также ускоренное или замедленное движение опоры. Пусть тело массы m находится на чашке пружинных весов в кабине лифта, которая движется вниз с ускорением \vec{a} (рис. 2). По второму закону Ньютона:

$$m\vec{a} = \vec{F} + \vec{N}.$$

Учитывая, что векторы \vec{F} , \vec{N} , \vec{a} параллельны вертикальной оси, вдоль которой происходит движение, и направив координатную ось X по вертикали вниз, можно записать:

$$ma = F - N.$$

Поскольку $|\vec{N}| = |\vec{P}|$, то

$$P = F - ma, \quad (1)$$

т. е. в данном случае вес тела P будет меньше силы тяжести F , стрелка весов покажет уменьшение веса.

При ускоренном движении лифта вверх:

$$P = F + ma.$$

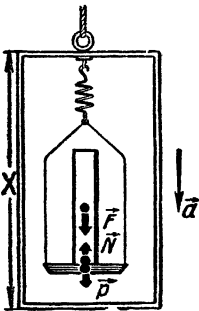


Рис. 2. Когда лифт движется ускоренно, вес тела меняется

В этом случае вес будет больше силы тяжести. Такое явление наблюдается в кабине космического корабля, набирающего скорость на вертикальном участке траектории перед выходом на орбиту. При взлете корабля его ускорение значительно превышает ускорение свободного падения, в силу чего возникает перегрузка: вес космонавта возрастает в несколько раз и он с силой вдавливаются в кресло.

Если кабина лифта покоится или движется равномерно вверх или вниз, ускорение $a = 0$. В этом случае вес тела равен силе тяжести $P = F$.

Поскольку $F = mg$, то формулу 1 можно записать так:

$$P = m(g - a).$$

Отсюда видно, что при $a = g$, т. е. когда кабина лифта движется вниз с ускорением свободного падения, $P = 0$, тело перестает давить на свою опору. Наступает явление невесомости. При этом внутри кабины не только исчезнут обуславливающиеся весомостью внутренние напряжения и деформации тел, но и не будет наблюдаться падение тел: гирия неподвижно парит в центре кабины, отклоненный маятник не качается, вода не выливается из перевернутой бутылки. Неподвижный наблюдатель вне кабины скажет, что гирия попросту не может догнать пол кабины, так как движется с тем же ускорением g и с той же скоростью, что и пол, а вода не выливается из бутылки потому, что не может обогнать бутылку. Невесомость исследуют обычно в кабине самолета, пикирующего вниз с ускорением g .

И вес и сила тяжести играют в жизни человека очень большую роль. При постройке зданий, плотин, мостов, при добыче в шахтах полезных ископаемых и во многих других случаях приходится преодолевать силу тяжести, поднимая строительные материалы, каменный уголь, руду и т. д. Подъемные машины, облегчающие человеку этот тяжелый труд, описаны в настоящей главе.

Сила тяжести выполняет для человека колоссальную работу. Она, например, вращает громадные роторы мощных гидротурбин на гидроэлектрических станциях, вырабатывающих миллионы киловатт-часов электрической энергии, а в шахтах перемещает вниз по наклонным путям к шахтному стволу тяжелые вагонетки с углем.

Сила притяжения тел к Земле, вызывающая их падение, действует между всеми без исключения телами природы. Благодаря этому взаимному притяжению, или всемирному тяготению, Луна движется вокруг Земли, а планеты — вокруг Солнца.

Рассматривая движение Луны около Земли, Ньютон вычислил величину этого притяжения, открыв этим закон всемирного тяготения: сила взаимного притяжения двух тел прямо пропорциональна произведению масс этих тел и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними:

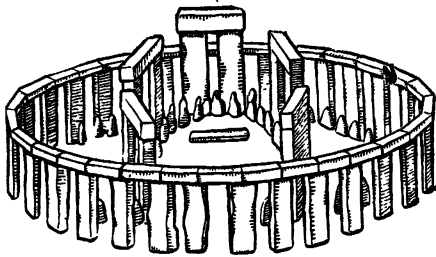


Рис. 3. Кромлех

$$F = \gamma \frac{Mm}{R^2},$$

где γ — постоянная тяготения.

Этот закон можно непосредственно применять лишь для тел, размеры которых во много раз меньше, чем расстояния между ними, т. е. для материальных точек.

Как показывают расчеты, закон можно применять и для однородных сферических тел,

даже если их размеры не малы по сравнению с расстоянием между ними. В этом случае под R понимают расстояние между центрами двух сфер.

Силы тяготения, или гравитационные силы, действующие между телами небольшой массы, очень малы, обнаружить и измерить их трудно (например, два человека с массой по 60 кг на расстоянии 1 м друг от друга притягиваются с силой лишь около $3 \cdot 10^{-7}$ Н). Именно поэтому гравитационную постоянную γ удалось вычислить только при помощи очень чувствительного прибора — крутильных весов. Численное значение $\gamma = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Нм}^2}{\text{кг}^2}$.

Для космических тел — планет и звезд, обладающих колоссальными массами, гравитационные силы достигают огромной величины и всецело определяют их движение.

Закон всемирного тяготения широко используется в астрономии для определения траектории движения небесных тел, предсказания затмений Солнца и Луны, с его помощью были открыты планеты Нептун и Плутон; на основе этого закона рассчитывают траектории полета искусственных спутников и межпланетных кораблей.

§ 2. Загадка древних сооружений и скульптур

В своей повседневной жизни человек постоянно сталкивается с силой тяжести, ее действие было хорошо известно и нашим отдаленным предкам, которые с помощью самых простых орудий труда умели поднимать очень большие грузы. В этом мы убеждаемся, изучая древние изваяния и постройки, сохранившиеся до наших дней в разных местах земного шара. Одно из таких сооружений,

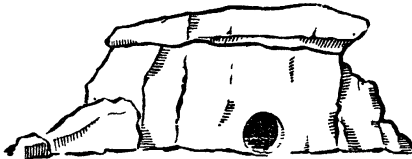


Рис. 4. Дольмен

называемое кромлех (рис. 3), находится в Англии около города Солсбери. Вертикально врытые в землю громадные (высотой по 7—8 м) тесаные каменные столбы расположены в виде правильной окружности дли-

ной 110 м. Столбы перекрыты сверху каменными плитами весом по 70 кН каждая. Эти плиты при помощи вырубленных в камне шипов и пазов соединены со столбами. Все сооружение напоминает выстроившиеся рядом друг с другом гигантские ворота. Уже много лет археологи не могут разгадать загадку кромлеха: для чего служил кромлех? Как могли древние строители, обладавшие лишь самой примитивной техникой, передвигать, поднимать и устанавливать эти огромные каменные плиты?

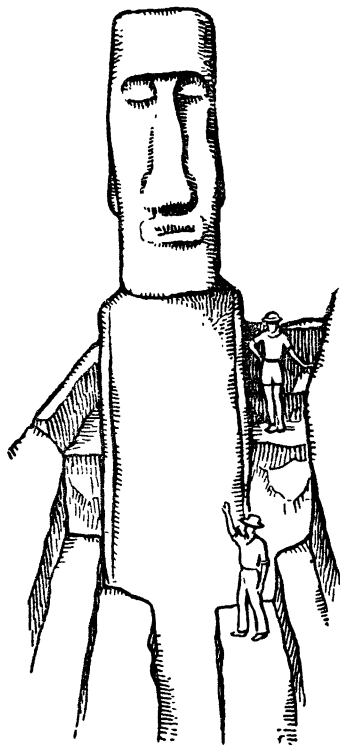
Немало доисторических каменных построек встречается и в нашей стране, например на Кавказе и в Краснодарском крае. Они обычно состоят из пяти каменных плит, образующих четыре стены и крышу, и похожи на каменные столы, или дольмены (рис. 4). Плиты связаны между собой специальными выступами и пазами, причем крышу нельзя было просто надвинуть на поставленные вертикально стены, ее следовало сначала поднять над ними.

Дольмены — погребальные постройки людей каменного века. Каким способом устанавливали они крыши, вес которых у ряда дольменов достигает 150—170 кН, в точности неизвестно.

Большое удивление ученых и туристов вызывают остатки гигантских древних сооружений около города Баальбека в Малой Азии. Две тысячи лет назад здесь по приказу римских императоров был построен Город Солнца — Гелиополь — с великолепными храмами, посвященными римским богам. Подобных храмов не строили даже в самом Риме. Наиболее роскошный из них — храм Юпитера занимал площадь более 7000 м², а его крыша опиралась на 62 колонны высотой по 20 м. В качестве фундамента храма римляне использовали акрополь — искусственный холм, воздвигнутый в незапамятные времена неизвестными строителями. Акрополь сложен из громадных каменных плит, обработанных и пригнанных друг к другу так, что даже иголка не войдет между ними. Каждый блок имеет размер 10 × 3 × 2,8 м и весит около 2000 кН. Лестница, ведущая к храму, сделана из трехгранных призм весом по 4000 кН, в одной из граней которых высечено 11—13 ступеней. Особенно большое впечатление производят три камня, лежащие в северо-западном углу акрополя. Они имеют размер 20 × 3,5 × 4,5 м. Средний вес каждого из этих монолитов 8500 кН! Это самые большие «кирпичи», когда-либо уложенные человеком при постройке зданий.

Каменоломня, из которой все эти гигантские блоки доставлялись на строительную площадку, расположена в километре от Баальбека. В ней и сейчас можно видеть приготовленный для перевозки блок — один из самых больших камней, обработанных когда-либо руками человека. Размер плиты 21,1 × 4,8 × 4,2 м, а вес 10 840 кН. Ни одним современным подъемным краном невозможно поднять такую тяжесть. Археологи подсчитали, что для доставки этого камня на строительную площадку понадобились бы совместные усилия 40 000 человек.

Не менее загадочна история происхождения каменных скульптур, изготовленных древними обитателями маленького вулканического острова Пасхи, расположенного в центральной части Тихого океана. Неизвестные ваятели с помощью каменных топоров вырубали в склоне потухшего вулкана более 600 гигантских фигур и, отделив их от крепкой, как кремль, горной породы, спустили с головокружительной высоты вниз, к подножию вулкана. Затем статуи тащили через горы и долины (на расстоянии до 10 км) к одному из храмов острова. Здесь серо-желтого истукана поднимали и устанавливали на постамент, а на его голову водружали цилиндрическую шляпу (пукао) из красного камня. Некоторые статуи острова Пасхи (рис. 5) имеют высоту шестиэтажного дома (22 м) и вес более 1000 кН. Объем наиболее крупных пукао достигает 18 м³, а весят они по 250—300 кН. До сих пор нет достоверных сведений о том, как немногочисленные племена, населявшие остров Пасхи, выполняли титаническую работу по транспортировке и поднятию статуй: леса на острове нет, металл островитянам не был известен, колесных повозок и катков они не имели. Еще труднее понять, как поднимали древние каменотесы на многометровую высоту каменную шляпу исполина: расположившись на макушке фигуры, сделать это невозможно, снизу же нельзя дотянуться и до пояса изваяния.



Исследуя вопрос о транспортировке статуй, ученые обнаружили на острове ископаемые семена пальм. Следовательно, раньше там росли деревья, из которых островитяне могли изготавливать рычаги для подъема тяжестей.

Интересную попытку разгадать тайну каменных великанов сделал знаменитый норвежский путешественник Тур Хейердал, производивший в 1955—1956 гг. археологические раскопки на острове Пасхи. Он предложил островитянам, среди которых сохранились предания о способах работы их предков, поднять и установить одну из статуй, низвергнутых во времена междоусобицы. 11 человек выполнили эту работу за 19 дней с помощью рычагов, сделанных из длинных бревен. Подведя концы бревен под голову фигуры и нажимая с силой на их свободные концы, рабочие понемногу поднимали ее, сразу же подкладывая камни в узкую щель,

Рис. 5. Великан острова Пасхи

образующуюся между корпусом статуи и почвой. Постепенно под статуей росла каменная горка. Статуя приняла сначала наклонное, а потом и вертикальное положение. По склону каменной горки, с помощью которой великан становился на ноги, легко было вкатить на его голову тяжелое пукао. Так была приоткрыта одна из тайн острова Пасхи. Ученые полагают, что подобным же способом водружались на стены каменные крыши дольменов.

§ 3. Подъемные машины древности

Грандиозные работы по поднятию больших тяжестей производились в странах древней цивилизации — Индии, Вавилоне и Египте. Египтяне широко использовали в своей трудовой деятельности металлы, им были известны простейшие подъемные механизмы: рычаг, ворот, блок, наклонная плоскость. С помощью этих механизмов сооружались знаменитые египетские пирамиды. Уже более четырех тысячелетий в нескольких километрах от Каира, около современного селения Гиза, высятся уходящие в небо три гигантские каменные громады, о которых в древности говорили: «Все боится времени, но и время боится пирамид».

Самая ранняя и грандиозная из трех пирамид — усыпальница фараона Хуфу (или Хеопса, как называли его греки) имеет высоту 147 м, а каждая сторона ее квадратного основания равна 233 м. Пять с половиной гектаров придавила собой толща пирамиды.

На строительство пирамид шли огромные каменные параллелепипеды (блоки) весом от 25 до 300 кН, а гранитные балки перекрытия склепа весили по 5000 кН.

Для подъема на пирамиду таких больших блоков египтяне использовали особые приспособления. Они состояли из деревянных брусьев, скрепленных с помощью веревок с медными крючьями для держания блоков. В камнях, на которые опускали очередной блок, делались углубления с таким расчетом, чтобы медные когти, держащие блок, попали в эти ямки и там утопились. Благодаря этому после установки блока он не зажимал крючья и его можно было легко освободить от них.

Мы точно не знаем, как приводились в действие эти приспособления из брусьев, веревок и когтей. По словам историка Геродота, египтяне использовали машины, установленные на каждой ступени пирамиды. Сначала камень поднимали с земли на первый уступ и клали его на стоящую здесь машину, которая поднимала его на второй уступ и т. д. Для подъема каменных плит строили также примыкавшие к пирамиде уклоны из камней и песка. Уложив плиту на сани с деревянными полозьями, строители втаскивали ее по такому уклону на пирамиду. При обработке плит египтяне использовали только каменные и медные орудия, однако блоки отшлифованы и уложены так точно, что между ними нельзя просунуть даже лезвие ножа.

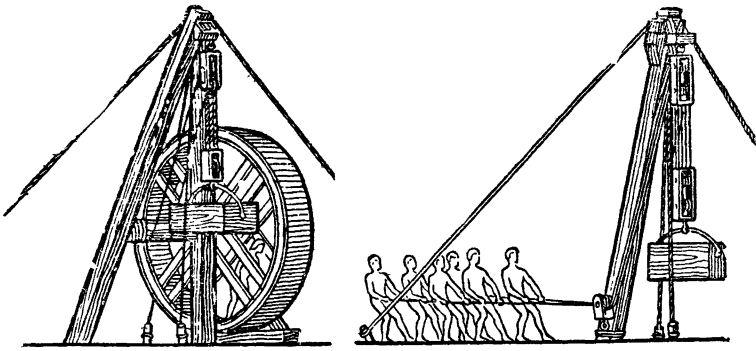


Рис. 6. Древнеримские подъемные машины

Строители древней Греции и Рима обладали уже гораздо более совершенными и мощными подъемными машинами, чем египтяне. Эти машины представляли собой систему ворот с зубчатыми передачами и полиспастами. Две из таких машин изображены на рисунке 6.

Величайший древнегреческий математик, механик и инженер Архимед (287—212 гг. до н. э.) является основоположником современной механики. Он изобрел целый ряд замечательных механизмов и машин, в том числе водоподъемный винт (рис. 7), бесконечный винт и полиспаст. Существует предание, что с помощью машины, построенной Архимедом, один человек мог вытащить на берег груженое морское судно. Машины Архимеда сыграли большую роль при обороне его родного города Сиракузы от войск римского полководца Марцелла. Подобные машины использовались против римского флота. Такая машина представляла собой громадный рычаг с особым захватом (когтями) на одном конце и тяжелым противовесом на другом. Когда вражеский корабль приближался к стенам осажденного города, машина захватывала его когтями, поднимала носом вверх, корма опускалась, корабль наполнялся водой и тонул.

Архимед открыл закон плавания тел, закон сложения параллельных сил, закон рычага и впервые дал точное определение центра тяжести как точки, относительно которой уравниваются все части тела.

Труды Архимеда оказали большое влияние на развитие механики, а изобретенные им механизмы широко используются и теперь.

Техника подъема больших тяжестей получила дальней-

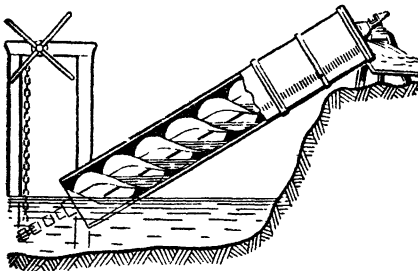


Рис. 7. Винт Архимеда

шее развитие в средние века. В это время появились новые конструкции подъемных кранов с полиспастами, вóрота, лебедками, с ручным и конным приводом, которые применялись при постройке зданий и крепостей, в горном деле, на погрузке и разгрузке судов.

На рудниках для подъема бадей с рудой начинают использовать большие вóроты, приводимые в движение водяными колесами. Водяное колесо такого подъемника (рис. 8) имело обычно две системы лопастей. Когда воду направляли на одну из них, колесо вращалось так, что бадя с рудой поднималась; с переключением воды на другую систему лопастей колесо вращалось в другую сторону и бадя опускалась.

На рисунке 9 изображен подъемный кран с ручным приводом, использовавшийся для погрузочных работ в средние века. Поворачивая стрелу крана и перемещая по ней тележку, можно было поднимать грузы, расположенные в любом месте круглой площадки, радиус которой равнялся длине стрелы.

Подъемные машины и устройства широко использовали мастера древней Руси. Известно, например, что еще в XI в. при возведении в Киеве знаменитого Софийского собора строители поднимали тяжести с помощью полиспастов, а на рудных промыслах и судовых верфях применяли блоки, вóроты и домкраты.

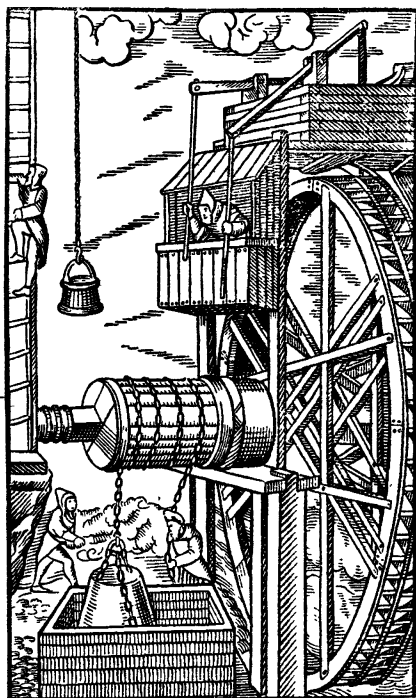


Рис. 8. Подъемник с водяным колесом

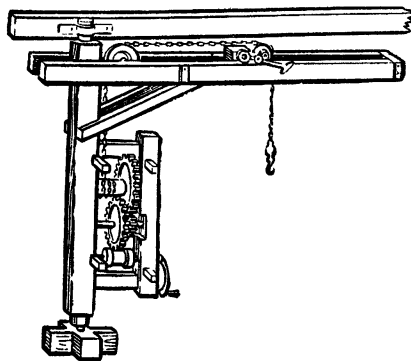


Рис. 9. Средневековый подъемный кран

§ 4. Современные подъемные машины

К подъемным машинам, которые широко используются в различных отраслях промышленности, транспорта и сельского хозяйства, относятся домкраты, лебедки, краны и подъемники (лифты).

Домкраты применяются для подъема груза на небольшую высоту (до 1 м). Они разделяются на ручные, гидравлические, пневматические и с электрическим приводом.

Ручной винтовой домкрат (рис. 10) состоит из чугунного корпуса 1 с неподвижной гайкой 2, в которой с помощью рукоятки 3 вращается стальной винт 4. Перемещаясь вверх, винт одновременно поднимает и удерживает груз. За один оборот рукоятки груз весом P поднимается на высоту h (шаг винта), при этом совершается работа Ph . (Трение мы не учитываем.) Рабочий, действуя силой F на рукоятку длиной l , за один ее оборот совершает работу $2\pi lF$. По закону сохранения энергии обе эти работы равны, т. е. $2\pi lF = Ph$.

Отсюда:

$$F = \frac{h}{2\pi l} P.$$

Следовательно, сила F , прилагаемая к рукоятке, во столько раз меньше веса P , во сколько раз шаг винта меньше длины окружности, описанной концом рукоятки.

Для подъема грузов используются также лебедки, как ручные, так и мощные механические с тепловыми или электрическими двигателями. Лебедки являются также составной частью кранов, лиф-

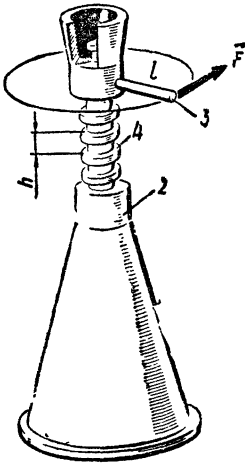


Рис. 10. Винтовой домкрат

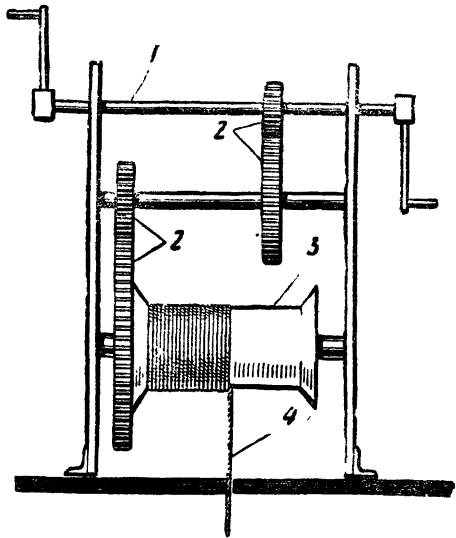


Рис. 11. Лебедка

тов и других подъемных и транспортных машин. Лебедка (рис. 11) состоит из приводного вала 1, который вращается от двигателя или ручным способом при помощи рукояток, системы зубчатых колес 2 и барабана 3, на который наматывается грузовой канат 4. Зубчатые колеса передают усилие от приводного вала барабану. У лебедки имеется храповик с собачкой, препятствующий обратному вращению колес при остановке двигателя. К.п.д. лебедки достигает 80%.

Основной характеристикой лебедки является передаточное число $\frac{n}{n_1}$, где n и n_1 — число оборотов в минуту барабана и приводного вала. Если, например, $n = 5$ об/мин и $n_1 = 900$ об/мин, то $\frac{n}{n_1} = \frac{5}{900} = \frac{1}{180}$. Следовательно, такая лебедка дает выигрыш в силе (без учета трения) примерно в 180 раз.

Скорость подъема грузов в портовых кранах с лебедками составляет 0,2—0,7 м/с, в монтажных и литейных кранах 0,5—0,7 м/с, в лифтах 1 м/с. В ряде случаев лебедки устанавливают на грузовых автомобилях и тракторах для самовытаскивания, если машина завязнет на плохой дороге. При этом канат, намотанный на барабан лебедки, другим концом закрепляется за дерево или грунт. Лебедка работает от двигателя автомобиля.

С помощью механических лебедок в ряде случаев поднимают очень большие тяжести. Так, например, лебедки использовались в 1964 г. при установке в Москве стометрового обелиска в честь выдающихся достижений советского народа в освоении космоса. Этот величественный монумент представляет собой взмывающую в небо металлическую ракету, оставляющую за собой блестящий параболический след. Высотная часть монумента весит 1600 кН и состоит из стального каркаса, основание которого заделано в мощный железобетонный фундамент объемом 2500 м³. На каркасе укреплен металлическая обрешетка, покрытая тонкими нержавеющейми листами титана. Каркас собирали на земле, один конец его был укреплен на поворотном шарнире, а другой опирался на клетку из деревянных шпал. Важной частью подъемного механизма являлись две качающиеся мачты, вершины которых были связаны стальными канатами с лежащей на земле высотной частью монумента. Ее поднимали пятью электрическими лебедками грузоподъемностью по 5т каждая с помощью полиспастов и стальных канатов, соединяющих концы качающихся мачт с барабанами лебедок. Эта весьма сложная, уникальная работа продолжалась всего два часа. Когда высотная часть монумента приняла нужное положение, ее прикрепили к фундаменту.

В народном хозяйстве используют также подъемные краны различных конструкций и размеров, однако все они имеют три основные части: опору в виде рамы, фермы или башни; подъемное устройство в виде лебедки и двигателя для перемещения груза, передвижения и поворота всего крана.

Особенно большую грузоподъемность (до 500 т) имеют мостовые краны (рис. 12). Такой кран состоит из фермы (моста) 1, которая может катиться на колесах по рельсам 2 вдоль верхней части цеха, и тележки 3, перемещающейся вдоль моста по рельсам 4. На тележке установлена грузовая подъемная электролебедка 5. Включая и выключая из кабины управления 6 электродвигатели, приводящие в движение мост и тележку, крановщик может расположить грузовой крюк над любым местом цеха.

Почти на каждой современной крупной стройке можно встретить башенные стреловые краны, значение которых особенно возросло в связи с использованием в строительстве сборных железобетонных конструкций (балок, плит и т. д.).

Башенный кран (рис. 13) опирается на ходовую тележку 1, на которой он может перемещаться по рельсам, уложенным вдоль строительной площадки. На тележке укреплена металлическая решетчатая башня 2. Верх башни, называемый головкой, состоит из неподвижного круга 3, несущего на себе поворотную часть крана со стрелой 4 и противовесной консолью 5. Стрела представляет собой балку, снабженную внизу рельсом, по которому движется грузовая тележка 6 с подвешенным к ней грузом. В качестве противовеса служит бетонная плита 7 и установленные на консоли лебедки. Противовес уравнивает стрелу и поднимаемый груз и не позволяет крану опрокинуться. Крановщик из кабины 8 управляет электрическими лебедками: стреловой 9, поднимающей стрелу; тяговой 10, перемещающей тележку 6 вдоль стрелы, и грузовой 11, поднимающей груз. В кабине находится также рубильник для управления электродвигателями, поворачивающими головку и перемещающими весь кран по рельсам. Груз этим краном можно доставлять в любое место строительной площадки, комбинируя различные виды движения: поднимать грузовой лебедкой, перемещать вокруг башни при повороте стрелы, а также вместе с грузовой тележкой или вместе со всем краном.

На кран во время его работы действует сила тяжести крана, препятствующая его опрокидыванию. Чем тяжелее кран, тем он устойчивее. К силам, стремящимся опрокинуть кран, относится

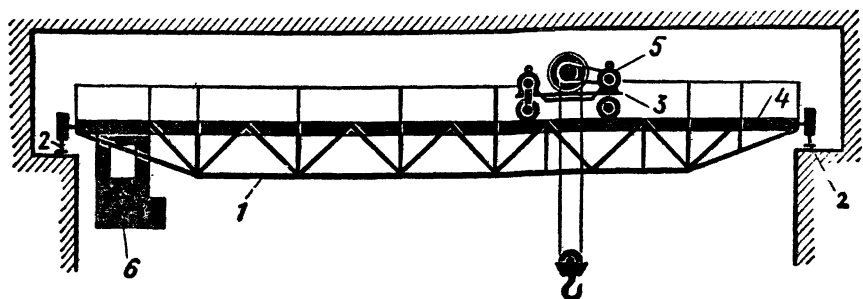


Рис. 12. Мостовой кран

сила ветра, сила тяжести поднимаемого груза и сила, которая возникает, если груз движется ускоренно вверх или замедленно вниз. Действительно, согласно второму закону Ньютона, чтобы сообщить телу ускорение, необходимо приложить к нему силу. Эта сила создает дополнительную нагрузку на конец стрелы. Определив моменты всех этих сил относительно контура, ограничивающего площадь опоры крана, можно вычислить коэффициент его устойчивости:

$$k = \frac{M - M_n - M_v}{M_r},$$

где M — момент силы тяжести крана; M_r и M_n — моменты силы тяжести груза и силы, возникающей при его ускоренном движении; M_v — момент силы ветра. Величина « k » характеризует устойчивость крана и, следовательно, безопасность его работы.

Грузоподъемность стреловых башенных кранов достигает 50 т и более, длина стрелы 30 м, а высота 100 м. Такую 100-метровую высоту имеет уникальный советский кран БК-300 грузоподъемностью 250 т. Кран обслуживают два слесаря, электрик и крановщик. В кабине крана, расположенной на головокружательной высоте, много света, а зимой жарко греет электрическая печь. На такую высоту не долетает уличный шум, здесь царствует тишина, зато явственно ощущаются порывы ветра и любое движение многометровой стрелы. Для работы на таком кране требуется высокое мастерство и большая смелость.

Какой точности и плавности работы достигают современные подъемные краны, показывают испытания нового 63-тонного крана К-632, изготовленного Воронежским экскаваторным заводом. Испытания проходили так. Железобетонная колонна весом 600 кН была плавно опущена на вертикально стоящий открытый спичечный коробок и закрыла его. После подъема колонны члены государственной приемной комиссии тщательно осмотрели коробок и не обнаружили на нем никаких повреждений.

Только подъемные краны сделали возможным сборное строительство, при котором многоэтажные дома не строят, а собирают из комнат или целых квартир, изготовленных на специальных заводах. Один из моментов такой сборки дома показан на цветной

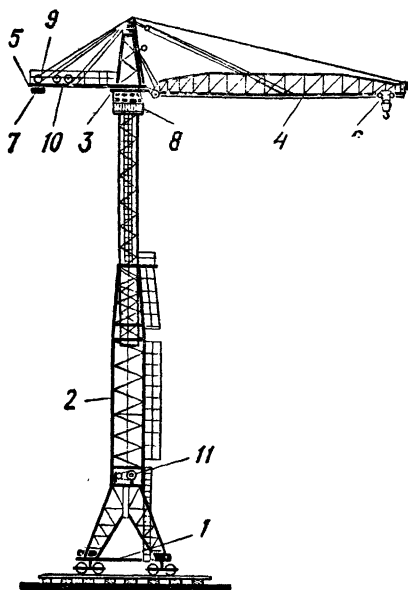


Рис. 13. Башенный кран

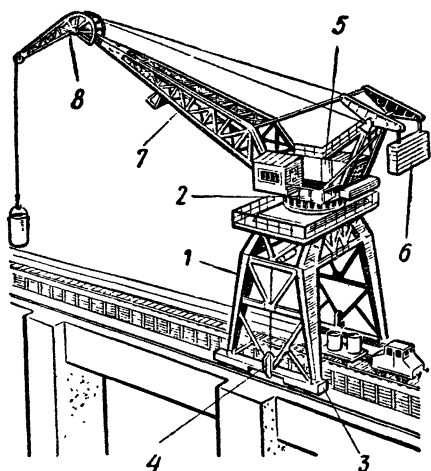


Рис. 14. Портальный кран

вклейке (рис. 1): готовую комнату со всем оборудованием и даже с балконом кран водружает на место.

Мощные башенные краны были использованы при спасении знаменитого египетского храма Абу-Симбел (цв. вклейка, рис. 3). В 1960 г. в Объединенной Арабской Республике на реке Нил было начато сооружение высотной Асуанской плотины, которая должна была поднять нильские воды и образовать громадное водохранилище — Асуанское море. Под угрозой затопления оказались многие сооружения древности, расположенные в прибрежных районах выше

плотины, в том числе и выдающийся памятник мировой культуры — гигантский храм Абу-Симбел, высеченный в гранитной скале на берегу Нила 3200 лет назад. Перед храмом, состоящим из двух залов, древние ваятели вырубили из скалы четыре громадные статуи фараона Рамзеса II высотой по 20 м. Ширина лица каждой статуи от уха до уха 417 см. Размер храма $38 \times 70 \times 33$ м, а общий вес достигает 2 500 000 кН. Для спасения храма его вместе со статуями разрезали стальными пилами на каменные блоки весом от 150 до 300 кН. Всего получилось более 1000 блоков. С помощью подъемных кранов эти блоки подняли и, погрузив на большегрузные автомашины, перевезли на специально подготовленную площадку, лежащую на 64 м выше того места, где находился храм (цветная вклейка 3). Здесь блоки смонтировали, а едва заметные линии разреза заделали особым составом. Беспримерные по своей сложности и объему работы продолжались пять лет. Кроме храма Абу-Симбела, из затопляемой местности сняли и перенесли на новые места еще 20 храмов меньшего размера.

Очень большой грузоподъемностью обладают порталные краны, которые используются для погрузочно-разгрузочных работ в крупных морских и речных портах и при возведении железобетонных плотин. Четыре громадные опоры (ноги) такого крана (рис. 14) напоминают грандиозную арку или портал. (От этого слова и происходит название крана.) Под аркой, между ногами крана обычно прокладывают железную или шоссейную дорогу, по которой ездят разгружаемые или нагружаемые составы и автомашины. На своих ногах 1, опирающихся на ходовые тележки 3, с помощью электродвигателей кран может передвигаться по специально проложенной очень широкой рельсовой колее. Во время подъема груза автомати-

чески включаются электродвигатели тормозного устройства, стальные клещи которого плотно обхватывают головки рельсов и предохраняют кран от опрокидывания. Наверху портала установлена поворотная платформа 2, где смонтированы все основные механизмы крана: стрела 7, уравновешенная противовесом 6, машинное отделение 5 с подъемными лебедками и электродвигателями для вращения поворотной платформы, а также кабина машиниста. Все управление краном автоматизировано. Особый автомат во избежание аварии всегда останавливает груз на определенном расстоянии от конечной части стрелы (хобота) 8 и крепко удерживает его в этом положении. Автоматы порталного крана оберегают его также от перегрузки: если вес поднимаемого груза больше величины, на которую рассчитан кран, подъемные лебедки автоматически выключаются. Грузоподъемность порталных кранов достигает нескольких десятков тонн. Еще большей грузоподъемностью (до 450 т) обладают так называемые козловые краны, установленные на наших волжских электростанциях — Куйбышевской, Волгоградской и др.

Кроме кранов большой грузоподъемности, существует много типов малых кранов специального назначения на автомобильном, гусеничном, железнодорожном ходу. Эти краны работают от электродвигателей, паровых машин или от двигателей внутреннего сгорания (рис. 14 а).

В современной технике большое распространение получили также подъемники, т. е. такие машины, которые используются для подъема грузов и людей в специальных закрытых камерах (кабинах, клетях, платформах и т. п.), перемещающихся вертикально или наклонно по особым рельсам (направляющим). Подъемники

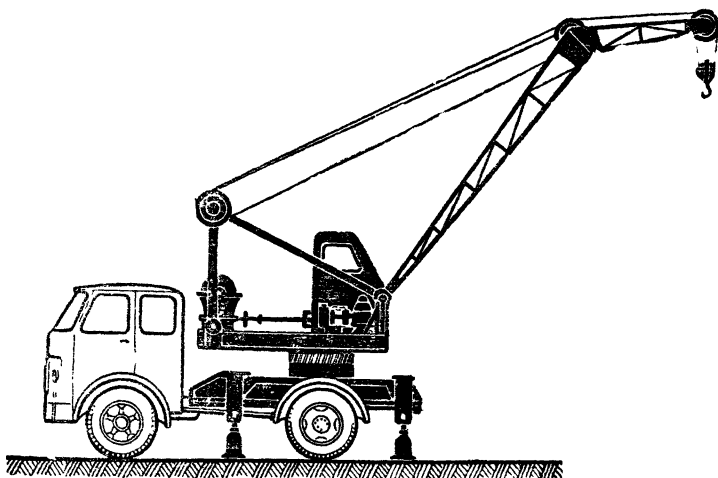


Рис. 14 а. Автомобильный кран

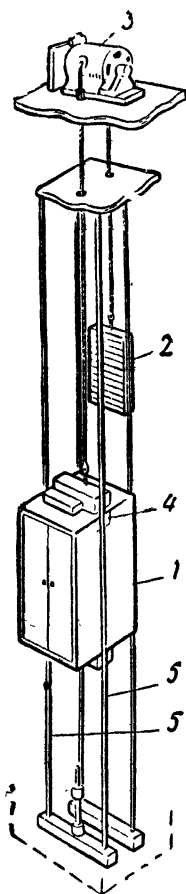


Рис. 15. Пассажирский лифт

в многоэтажных домах для людей называются лифтами, в шахтах для подъема руды — клетьевыми подъемниками, а для загрузки доменных печей — скиповыми подъемниками.

На рисунке 15 изображен пассажирский лифт многоэтажного дома. Пассажирская кабина 1 и тяжелый противовес 2, уравновешивающий часть поднимаемого груза, подвешены на стальном канате к электрической лебедке 3, установленной на чердаке здания. Применение противовеса позволяет значительно уменьшить мощность подъемной лебедки и расход электроэнергии. Чтобы во время движения кабина не раскачивалась, ее (так же как и противовес) снабжают четырьмя башмаками 4, которые скользят по направляющим 5 и не допускают смещения кабины в сторону более чем на 1—2 мм. Подъем в лифте совершенно безопасен, так как предел прочности подъемного каната в несколько раз больше веса кабины с пассажирами и противовеса. Тем не менее на случай обрыва каната кабина имеет специальные ловители. Каждый из них представляет собой клин, который при обрыве каната сильной пружиной прижимается к направляющему рельсу, а затем силой трения о рельс вдавливается падающей кабиной в зазор между рельсами и упорной колодкой. Чтобы увеличить трение, на обращенной к рельсу щеке клина насажены зубья.

Современная промышленность потребляет громадное количество угля, железной руды и других полезных ископаемых, которые в большинстве случаев залегают в земле на большой глубине. Доставка на поверхность этих рудных богатств представляет собой сложную техническую проблему. С каждым годом глубина подъема и количество поднимаемых материалов возрастает. Теперь уже нередки шахты глубиной 700—900 м. Некоторые из них достигают глубины 1500—2000 м, а есть горные выработки, расположенные еще глубже.

Какую колоссальную работу выполняют горные подъемные машины, показывает следующий пример. Из угля добытого и поднятого на-гора в Советском Союзе в 1974 г. можно было бы сложить 190 пирамид Хеопса. Для одновременной перевозки всего этого угля понадобилось бы 10 млн. вагонов, а составленный из них поезд опоясал бы земной шар по экватору 3 раза. Чтобы достигнуть большой производительности, скорость подъема угля и руды в глубоких шахтах (900—1000 м) доводят до 20 м/с.

Руду и уголь поднимают из шахты на поверхность земли с помощью клетки. Для этого нагруженные рудой или углем вагончики внизу шахты (на шахтном дворе) вкатывают в камеру, называемую клетью, и поднимают наверх (рис. 16). В это время другая клеть с пустыми вагончиками опускается вниз. Клеть состоит из нескольких стальных рам и обычно имеет от одного до восьми этажей, на каждый из которых помещают один-два вагончика. При движении в шахтном стволе клеть с помощью лап скользит по проводникам, сделанным из деревянных брусьев или стальных рельсов. Проводники прикрепляют к поперечным распоркам, закрепленным в стенках шахтного ствола. Благодаря этому клеть можно поднимать с большой скоростью, а движение становится спокойным и безопасным.

Колоссальные тяжести приходится поднимать при ремонте современных океанских судов. В прежнее время небольшие суда для ремонта с помощью ворот и катков выволакивали на берег. Более крупные суда ставили на якорь у отлогого песчаного берега и, зацепив канатами за мачты, клали набок так, что днище обнажалось до киля. Такие способы ремонта непригодны для больших современных судов. Один руль подобного судна весит более 1500 кН. Для ремонта таких гигантов созданы плавучие доки более крупные, чем самые большие корабли. Например, док с подъемной силой 1 000 000 кН имеет длину $\frac{1}{4}$ км и ширину более 40 м, и обслуживают его около 800 человек.

Плавучий док представляет собой гигантский поплавок, поперечное сечение которого напоминает букву «П» (рис. 17). Перед ремонтом судна цистерны дока заполняют водой и он погружается так, что над поверхностью остаются только палубы башен. Затем в док вводят судно (рис. 17, а), восстанавливают над затопленной килевой дорожкой и откачивают воду из цистерн.

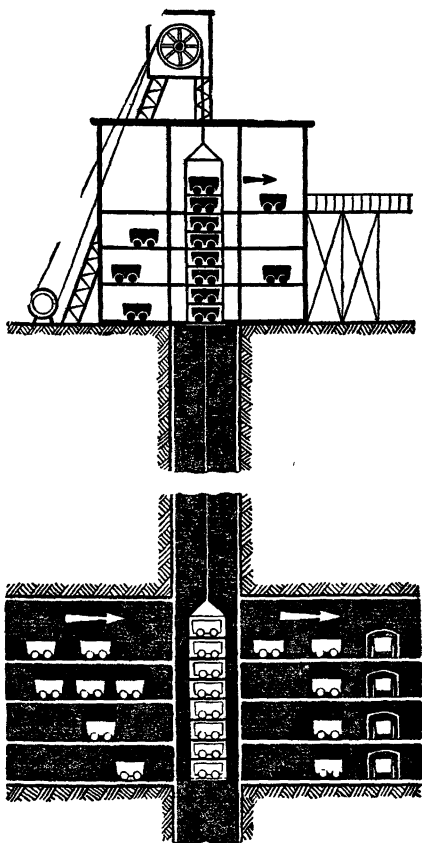


Рис. 16. Схема клетьевого подъема

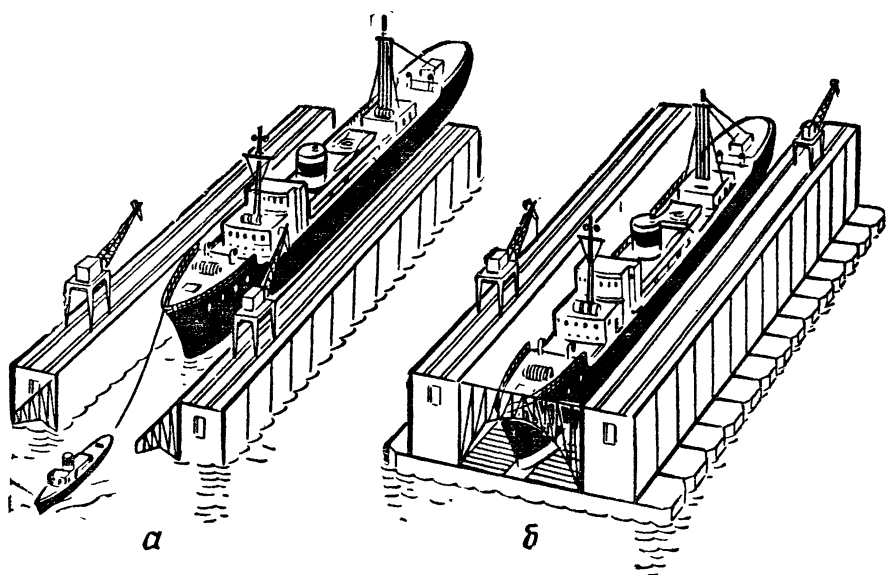


Рис. 17. Плавающий док

Док становится легче, архимедова сила выталкивает его из воды, а вместе с ним всплывает и судно (рис. 17, б). После ремонта цистерны снова заполняют, док погружается и судно выводят из него.

С 1959 г. в нашей стране для подъемных работ, производимых в сложных условиях, применяют вертолеты. С помощью вертолетов был восстановлен знаменитый Екатерининский дворец в городе Пушкино, пострадавший во время войны от прямого попадания тяжелого снаряда и пожара. Особенно сильно был разрушен большой зал дворца, над которым надо было заменить 32 деревянные фермы весом по 32 кН. Эту работу можно было выполнить за два дня подъемным краном, однако на его доставку и установку требовалось более месяца. Вместо крана использовали вертолет ЯК-24. Для подвески ферм на нем были устроены специальные амортизаторы, смягчавшие рывки при подъеме груза и позволявшие срочно сбрасывать его при аварии. С помощью вертолета легчики за несколько часов сняли со здания деревянные фермы и вместо них установили 11 металлических весом по 18 кН.

В настоящее время с помощью вертолетов поднимают и переносят на десятки километров многотонные опоры для высоковольтных линий, укладывают трубы газопроводов и нефтепроводов, вывозят лес с лесных делянок, устанавливают понтонные мосты и подвесные канатные дороги, а также выполняют целый ряд других сложных работ, связанных с подъемом тяжестей, например, вертолет Ми-10 может перенести целый дом (цветная вклейка, рис. 2).

Задачи

1. В лифте установлены пружинные весы, на которых подвешено тело массой $m = 1$ кг. Что покажут весы, если лифт будет двигаться с ускорением $a = 4,9$ м/с²:

- 1) вверх ускоренно; 2) вверх замедленно;
3) вниз ускоренно; 4) вниз замедленно?

2. Определите подъемную силу домкрата, изображенного на рисунке 10, если рабочий прикладывает к рукоятке длиной $l = 50$ см силу $F = 250$ Н. Шаг винта домкрата $h = 2$ см.

3. Передаточное число электрической лебедки шахтного подъемника $k = 0,008$, скорость приводного вала $n_1 = 500$ об/мин, а диаметр барабана $D = 1$ м. С какой скоростью лебедка поднимает клеть из шахты?

4. Электрическая лебедка поднимает груз массой $m = 500$ кг с ускорением $a = 0,6$ м/с². Какую работу совершит она при подъеме этого груза на высоту $h = 10$ м?

5. Канат лебедки шахтного подъемника выдерживает нагрузку до $F = 25 \cdot 10^4$ Н. С каким наибольшим ускорением можно поднимать груз массой $m = 2 \cdot 10^4$ кг, чтобы канат не разорвался?

Ответы

1. $P_1 = m(g + a)$, $P_1 = 14,7$ Н; $P_2 = m(g - a)$, $P_2 = 4,9$ Н; $P_3 = m(g - a)$, $P_3 = 4,9$ Н; $P_4 = m(g + a)$, $P_4 = 14,7$ Н.

2. $P = \frac{2\pi l F}{h}$, $P = 39\,200$ Н.

3. $v = \pi D k n_1$, $v = 12,56$ м/с.

4. $A = m(g + a)h$, $A = 5,2 \cdot 10^4$ Дж.

5. $a = \frac{F - mg}{m}$, $a = 2,7$ м/с².



Артиллерия, ракетная техника и баллистика

ГЛАВА II

§ 1. Понятие о баллистике

Сила тяжести влияет на движение брошенных тел (снарядов, ракет и т. д.), вызывая искривление траектории и их падение на землю. Это влияние приходится учитывать и рассчитывать ученым и инженерам, работающим в области оборонной и ракетной техники.

Наука, изучающая законы движения пуль, снарядов и ракет, называется баллистикой (от греческого слова «балло», что значит «бросать»). Она разделяется на две части — внутреннюю баллистику и внешнюю. Первая из них исследует движение снаряда в канале ствола орудия под действием пороховых газов, образующихся при горении порохового заряда. В связи с этим внутренняя баллистика изучает законы горения пороха, способы определения давления пороховых газов, их температуры и других данных, необходимых для конструирования орудий и боеприпасов.

Основная задача внешней баллистики, которой посвящен данный параграф, состоит в том, чтобы рассчитать поступательное и вращательное движение снаряда: форму траектории, наибольшую высоту подъема, время и дальность полета.

Внешняя баллистика позволяет определить, с какой начальной скоростью и под каким углом бросания должен лететь снаряд, чтобы поразить цель. При этом, кроме сопротивления воздуха, учитывают влияние ветра, вращение Земли, вращение снаряда, его форму и многое другое.

Следует, однако, указать, что величины, от которых зависит траектория движения снаряда, на практике не являются строго постоянными, а меняются от выстрела к выстрелу. Если даже не менять угол прицеливания орудия, траектории движения снарядов получаются различными, снаряды не попадают в одну точку, а разбрасываются по некоторой площади. Это явление называется рассеиванием снарядов. Внешняя баллистика изучает законы рас-

сеивания. Это помогает уменьшить его и определить условия, при которых с помощью минимального числа снарядов можно поразить цель.

Рассмотрим движение тела, брошенного в безвоздушном пространстве под углом α к горизонту с начальной скоростью v_0 (рис. 18). Траектория, которую при этом описывает тело, называется параболой. Как показывают вычисления¹, максимальная высота подъема тела h определяется формулой:

$$h = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g},$$

а дальность полета s :

$$s = \frac{2v_0^2 \sin \alpha \cos \alpha}{g}.$$

Если учесть, что $2\sin \alpha \times \cos \alpha = \sin 2\alpha$, то последнюю формулу можно выразить так:

$$s = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}.$$

Если $\alpha = 45^\circ$, $\sin 2\alpha = \sin 90^\circ = 1$, т. е. принимает самое большое значение. Следовательно, максимальная дальность полета достигается при $\alpha = 45^\circ$ и равна:

$$s_{\text{макс}} = \frac{v_0^2}{g}.$$

Так как $\sin \alpha = \cos(90^\circ - \alpha)$ и $\cos \alpha = \sin(90^\circ - \alpha)$, формулу для s можно записать и так:

$$s = \frac{2v_0^2 \sin(90^\circ - \alpha) \cos(90^\circ - \alpha)}{g}.$$

¹ См.: [2]. Гл. 6, § 55.

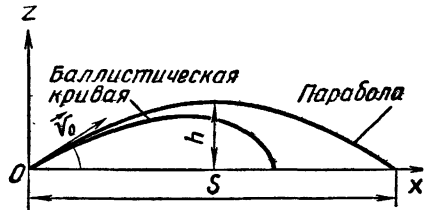


Рис. 18. Брошенное тело описывает параболу

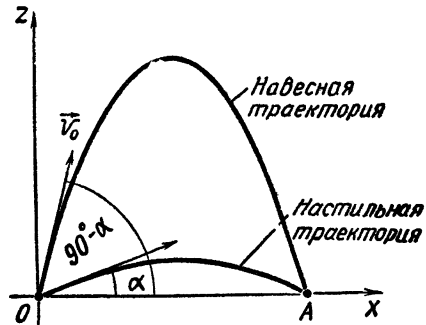


Рис. 19. Настильная и навесная траектория

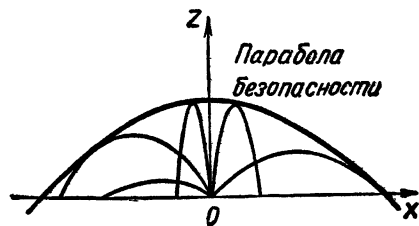


Рис. 20. Парабола безопасности

Отсюда следует, что при заданной начальной скорости v_0 снаряда в мишень A можно попасть по двум траекториям: первая из них образуется, когда угол между v_0 и горизонтальной плоскостью равен α , вторая — когда он равен $(90^\circ - \alpha)$. Одну из этих траекторий (более пологую) называют *настильной*, другую — *навесной* (рис. 19).

Если в безвоздушном пространстве из некоторой точки O (рис. 20) брошены под различными углами к горизонту, например, снаряды с одинаковой начальной скоростью v_0 , то каждый опишет в пространстве свою параболу. Можно доказать, что кривая, огибающая эти параболы, тоже является параболой. Она отделяет безопасную область пространства от поражаемой и поэтому называется *параболой безопасности*.

Сопротивление воздуха значительно изменяет траекторию и скорость полета тела. Например, при начальной скорости снаряда в 1000 м/с сила сопротивления воздуха в несколько раз превосходит его вес и уменьшает дальность полета (по сравнению с движением в вакууме) в 10—15 раз. Траектория полета тела в воздухе отличается от параболы и называется *баллистической кривой* (рис. 18).

Большое значение для развития баллистики и артиллерии имели труды великих русских математиков Н. И. Лобачевского, П. А. Чебышева, М. В. Остроградского, А. М. Ляпунова и выдающихся ученых-артиллеристов Н. В. Майевского и Н. А. Забудского, которые разработали многие вопросы баллистики и стрельбы из орудий.

§ 2. Артиллерия и боевая ракетная техника

Первые примитивные огнестрельные орудия появились в России в конце XIV в. Это были железные стволы, укрепленные на деревянных колодах. Задняя часть ствола (казенник) забивалась конусообразным куском железа. Сверху в казеннике находилась небольшая площадка (полка), и ствол в этом месте имел тонкое запальное отверстие.

Заряжая орудие, пушкарь через дуло ствола засыпал в него порох и плотно закрывал войлочным пыжом. Сверху пыжа клали каменное (позднее чугунное) ядро, на полку насыпали порох и зажигали его с помощью тлеющего фитиля. Огонь через запальное отверстие проникал в ствол, происходил выстрел: ядро летело вперед, а орудие откатывалось на несколько метров назад.

Большое значение для развития русской артиллерии имело создание в Москве в конце XV в. «Пушечного двора». Это был первый в мире государственный оружейный завод. Уже в те времена Россия имела выдающихся пушечных мастеров. Наиболее известный из них — Андрей Чохов в 1586 г. отлил знаменитую царь-пушку весом 400 кН, с небывало большим калибром — 890 мм¹.

¹ Калибром называют выраженный в миллиметрах диаметр канала ствола огнестрельного оружия.

В XVI в. орудия стали гораздо более совершенными; повысилась их прочность и надежность, уменьшился вес, стволы начали отливать из меди и бронзы вместе с цапфами, т. е. с цилиндрическими выступами в средней части ствола, которыми он опирался на основание (лафет) орудия. В это же время появляются короткоствольные гаубицы для навесной стрельбы. Два из таких орудий изображены на рисунке 21.

До середины прошлого века в артиллерии использовались гладкоствольные орудия, стрелявшие шаровыми ядрами (сплошными или разрывными), начиненными порохом. Такие орудия имели малую дальность и небольшую точность стрельбы.

Во второй половине XIX в. в развитии артиллерии произошел переворот. Появились орудия, заряжавшиеся с казенной части ствола продолговатыми снарядами, что облегчило и ускорило их обслуживание во время боя. В канале ствола стали делать винтовые нарезки, благодаря которым снаряд по вылете из ствола приобретал вращение вокруг своей продольной оси со скоростью до 350 об/с и летел устойчиво, не кувыряясь. Все это значительно повысило дальность и точность стрельбы.

В 1872 г. выдающийся русский изобретатель В. С. Барановский создал новую скорострельную пушку с противооткатным механизмом. У такого орудия при выстреле лафет оставался на месте, а откатывался назад только ствол. Пружины особого механизма — накатника, поглощая энергию отката, возвращали ствол на место. Барановский усовершенствовал и лафет орудия, снабдив его быстроедействующими механизмами для вертикального и горизонтального наведения ствола на цель. Он впервые применил в своей пушке оптический прицел, поршневой затвор с самовзводящимся ударным механизмом и патроны, в которых снаряд и пороховой заряд соединены в одно целое. Все эти нововведения широко используются и в артиллерии наших дней.

Основными типами современных орудий являются пушки и гаубицы. Пушки — это дальнобойные орудия, рассчитанные на большой заряд пороха и имеющие относительно длинный ствол. Большой заряд создает в стволе большое давление пороховых газов, а длинный ствол позволяет газам дольше действовать на снаряд,

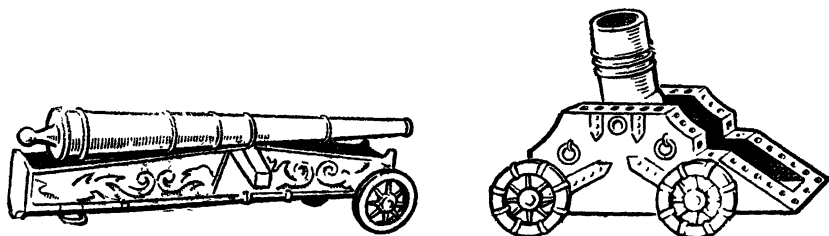


Рис. 21. Русская железная пищаль и гаубица XVII в.

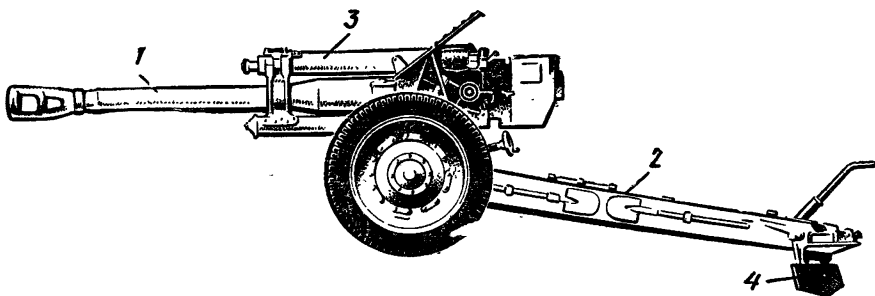


Рис. 22. Гаубица 152-миллиметрового калибра образца 1943 г.

сообщая ему большую начальную скорость (более 600 м/с). При стрельбе из пушек обычно используют настильные траектории при угле возвышения ствола¹ до 20°.

Чтобы поразить цель за холмом, надо придать стволу большой угол возвышения и забросить снаряд по навесной траектории. Однако устройство многих пушек не позволяет им стрелять под большими углами возвышения. Для навесной стрельбы по укрытым целям используют орудия, называемые гаубицами.

Современное орудие представляет собой сложную и совершенную машину, способную выдерживать большие нагрузки. При выстреле пороховые газы действуют не только на снаряд, толкая его вперед, но и в соответствии с третьим законом Ньютона с такой же силой давят на дно канала ствола пушки. Эта сила, называемая силой отдачи, даже у легких пушек достигает 600 кН. Пушка весьма экономичная тепловая машина: ее к.п.д. примерно такой же, как у дизеля — 35%.

Как бы ни разнообразны были орудия, по принципу устройства они мало отличаются друг от друга. Любое из них состоит из двух основных частей: ствола 1 с затвором и лафета 2 (рис. 22). Ствол изготавливают из высокосортной стали, но огромное давление и высокая температура пороховых газов, создающиеся в нем при выстреле, приводят его к быстрому износу. Он выдерживает примерно 10 тыс. выстрелов. Учитывая, что выстрел длится около 0,006 с, можно сказать, что орудие живет лишь 1 мин, после чего наступает «баллистическая смерть» ствола.

Для поглощения энергии отдачи орудие снабжают противооткатным устройством 3, состоящим из тормоза и накатника. В свою очередь каждый из этих механизмов состоит из скрепленного со стволом цилиндра с поршнем и штоком внутри. Обычно цилиндр тормоза помещается снизу ствола, в так называемой люльке, и наполнен маслом, цилиндр накатника — над стволом, он содержит сжатый воздух.

¹ Углом возвышения ствола называют угол между осью ствола и горизонтальной плоскостью.

Во время отката движущийся назад ствол увлекает за собой цилиндры тормоза и накатника. Оба штока и поршни остаются на месте, так как каждый шток прикреплен своим передним концом к люльке, которая в откате не участвует. В тот момент, когда цилиндр тормоза вместе с наполняющим его маслом движется назад, масло сжимается и с большим трением пробрызгивается через узкие каналы поршня из одной части цилиндра в другую. На преодоление этого трения уходит большая часть энергии отдачи, поэтому ствол отходит назад, всего примерно на 1 м. Точно так же при откате цилиндра накатника еще больше сжимается содержащийся в нем воздух. Когда откат закончится, этот воздух, стремясь расшириться, толкает переднюю стенку цилиндра, благодаря чему он, а вместе с ним ствол плавно возвращаются на прежнее место.

Для закрепления полевого орудия на грунте служат станины, концы которых имеют клинообразные выступы — сошники 4. Под действием силы отдачи сошники зарываются в землю и удерживают лафет на месте.

В современных армиях используют свыше двадцати типов нарезных орудий разного назначения. Широкое применение получили также гладкоствольные орудия — минометы, стреляющие невращающимися снарядами — минами, которые заряжаются с дула. Хвостовая часть мины имеет оперение (стабилизатор), придающее ей устойчивость в полете. Минометы предназначены для навесной стрельбы при углах возвышения ствола от 45° и выше.

В настоящее время наряду с обычной артиллерией широкое распространение в армиях всех стран получила ракетная техника. Простейшая ракета представляет собой систему двух тел — трубка (оболочка), закрытая с одного и открытая с другого конца, и содержащаяся в ней горючая смесь (например, порох). При горении горючей смеси раскаленные газы с большой скоростью выбрасываются из ракеты. Оболочка при этом летит в противоположную сторону на основе закона сохранения импульса. В отличие от аэроплана ракета может двигаться и приобретать ускорение в безвоздушном пространстве, воздух только мешает ее движению. После выгорания топлива ракета, подобно брошенному камню или снаряду, совершает свой дальнейший полет по баллистической траектории.

Законы движения тел с переменной массой, в частности ракет, были исследованы русскими учеными И. В. Мещерским и К. Э. Циолковским. Одно из уравнений И. В. Мещерского позволяет вычислить реактивную силу, действующую на ракету со стороны газов. Выведем это уравнение.

Пусть в некоторый момент времени скорость ракеты относительно определенной инерциальной системы отсчета равна v , а масса ракеты равна M . Спустя малый интервал времени Δt масса ракеты за счет истечения газов уменьшится и станет равной $M_1 = M - m\Delta t$, где m — масса, теряемая ракетой в единицу времени. Скорость ракеты увеличится и будет иметь значение $v + \Delta v$. За

это время из ракеты уйдет масса продуктов сгорания $m\Delta t$ и их скорость в данной системе отсчета будет равна $v - u$, так как до сгорания топливо имело ту же скорость, что и ракета, а после сгорания газы приобрели относительно ракеты скорость u , направленную против скорости v .

Тогда согласно закону сохранения импульса для системы ракета — газ будет иметь место равенство

$$Mv = (M - m\Delta t)(v + \Delta v) + m\Delta t(v - u).$$

Раскрыв скобки, получим:

$$Mv = Mv + M\Delta v - mv \cdot \Delta t - m \cdot \Delta t \cdot \Delta v + mv\Delta t - mu\Delta t.$$

Членом $m \cdot \Delta t \cdot \Delta v$ можно пренебречь по сравнению с остальными, так как в него входит произведение двух малых величин $\Delta t \cdot \Delta v$. После сокращения одинаковых членов уравнения будем иметь:

$$M \frac{\Delta v}{\Delta t} = mu,$$

или $Ma = mu$, где a — ускорение ракеты. Это одно из уравнений И. В. Мещерского для движения тела переменной массы. Стоящее в правой части выражение mu представляет собой реактивную силу, действующую на ракету со стороны газов. Эта сила определяется лишь скоростью u истечения газов относительно ракеты и быстротой выгорания топлива m , т. е. расходом массы топлива в единицу времени.

Основоположником теории реактивной техники по праву считается К. Э. Циолковский (1857—1935). В своей знаменитой работе «Исследование мировых пространств реактивными приборами», изданной в 1903 г., Циолковский впервые в мире научно обосновал идею космических полетов с помощью ракетных кораблей. Выведенная им в этой работе формула, устанавливающая связь между скоростью ракеты и ее массой, получила мировую известность и до сих пор широко используется для предварительных расчетов движения ракет. При выводе формулы Циолковский предположил, что сила тяжести и сопротивление воздуха отсутствуют, а скорость истечения газов относительно ракеты постоянна. Вот эта формула:

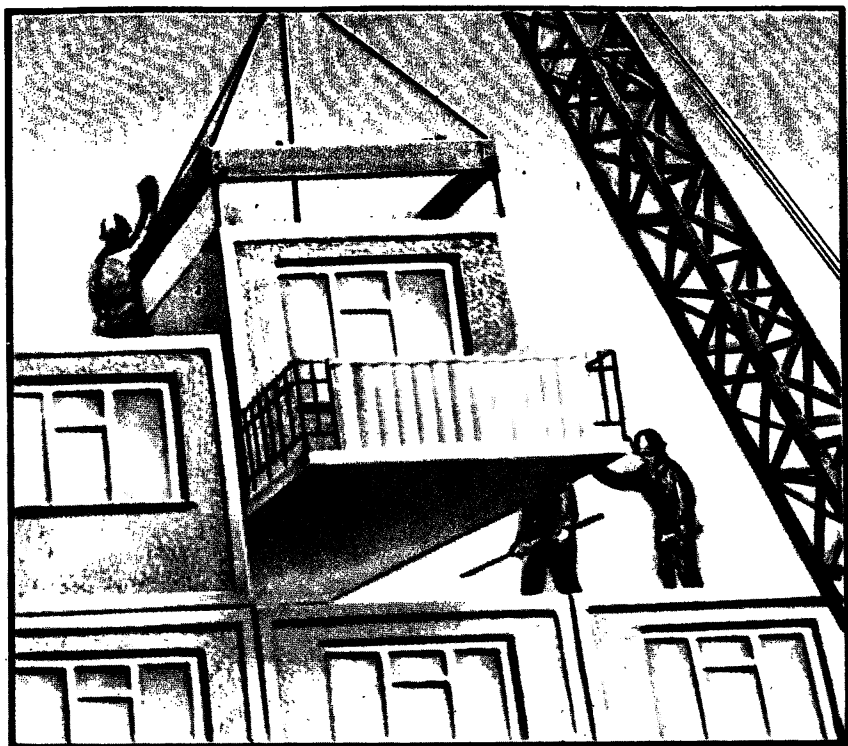
$$v = v_0 + 2,3u \lg \left(1 + \frac{m}{M} \right).$$

где v — абсолютная скорость ракеты после сгорания всего топлива; v_0 — начальная скорость ракеты до зажигания топлива; u — скорость истечения продуктов сгорания относительно ракеты; m — масса топлива; M — масса ракеты без топлива.

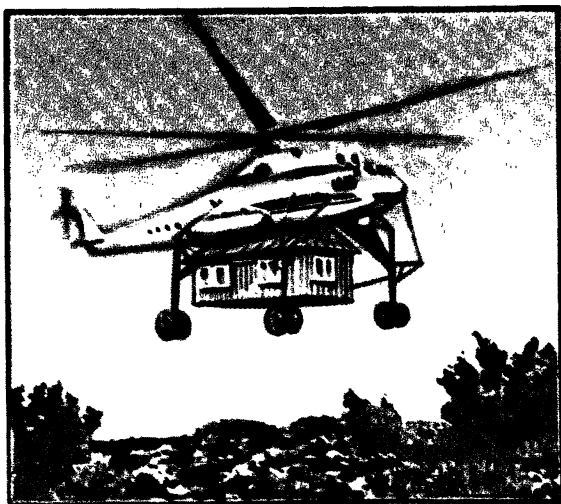
Из формулы Циолковского можно сделать такие выводы:

1. Скорость ракеты тем больше, чем больше скорость истечения продуктов сгорания. Следовательно, для ракеты надо брать высококалорийные сорта топлива¹.

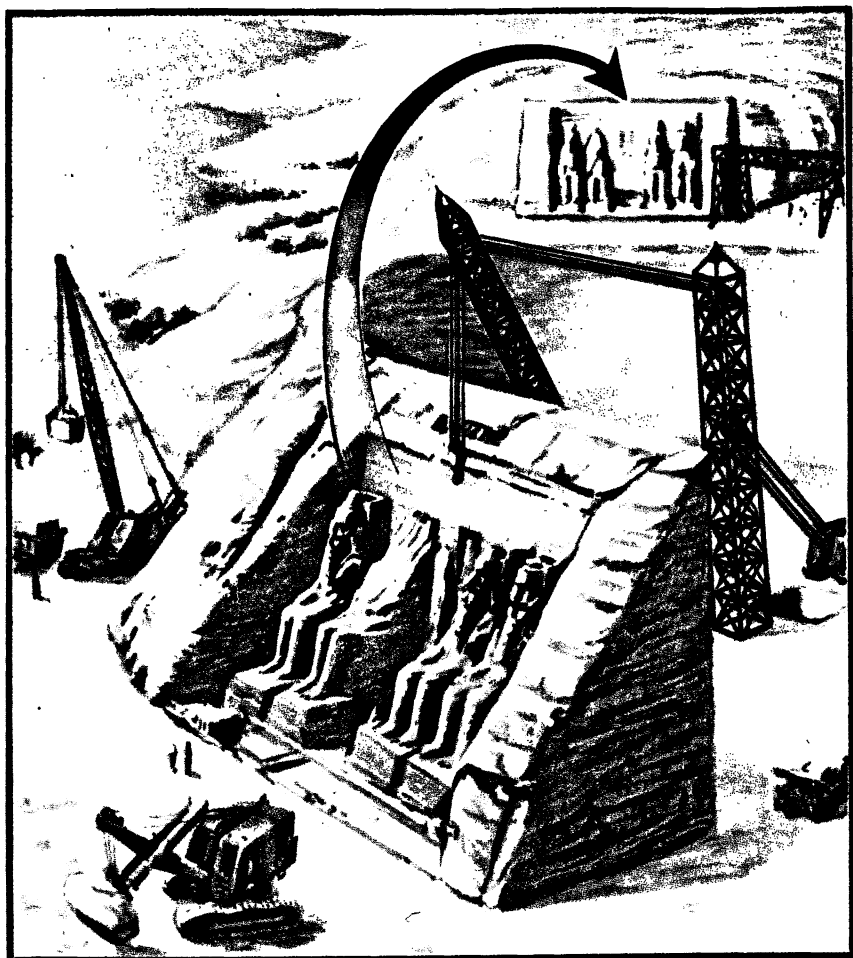
¹ Для лучших сортов топлива $u = 3500$ — 4000 м/с.



1. Кран поднимает готовую комнату с балконом.



2. Вертолет Ми-10 переносит дом.



3. Схема переноса храма Абу-Симбел.

2. Скорость ракеты тем больше, чем больше число Циолковского $\frac{m}{M}$, т. е. отношение массы топлива к массе ракеты¹.

3. Конечная скорость ракеты не зависит от закона изменения массы ракеты, т. е. от быстроты сгорания топлива. Этими выводами руководствуются ученые и инженеры при конструировании ракет. Рассчитывая движение ракеты, в формулу вводят поправки, учитывающие ее вес и сопротивление воздуха.

Первым проектом летательного аппарата тяжелее воздуха с ракетным (пороховым) двигателем был проект известного революционера Николая Ивановича Кибальчича. Осужденный царским судом за участие в убийстве императора Александра II, он, находясь в камере смертников, за 10 дней до казни подал администрации тюрьмы записку с описанием своего изобретения. По мысли изобретателя, аппарат должен был представлять большую цилиндрическую ракету, приводимую в движение силой отдачи истекающего газа, образующегося при постепенном сгорании пороха. Пассажиры размещались на площадке, окружающей аппарат. К сожалению, царские чиновники скрыли от ученых замечательный проект Кибальчича.

Циолковский для своего космического корабля (рис. 23) изобрел жидкостно-реактивный двигатель. В этом двигателе жидкое топливо (жидкий водород, бензин, керосин и т. д.) и окислитель (жидкий кислород) должны были постепенно поступать из особых отсеков в камеру сгорания. Здесь оно воспламенялось и, выходя через особую трубу (сопло), сообщало кораблю реактивную тягу. В своих трудах Циолковский выдвинул много идей, которые широко используются в современном ракетостроении. Он предложил охлаждать камеру сгорания жидким топливом и использовать для управления ракетой газовые рули, обосновал необходимость и возможность создания многоступенчатых ракет и искусственных спутников.

Аналогичные исследования затем выполнялись и известными учеными и изобретателями: Годдардом (США), Обертом и Брауном в Германии, Эно-Пельтри во Франции, Уитлом в Англии. В СССР ближайшими последователями и учениками К. Э. Циолковского были Ф. А. Цандер (1887—1933), В. П. Ветчинкин (1888—1950), С. П. Королев (1906—1966) и многие другие. Трудami этих выдающихся советских ученых и инженеров уже к 40-м годам

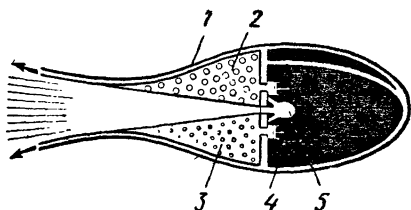


Рис. 23. Проект космического корабля К. Э. Циолковского:

1 — корпус ракеты; 2 — жидкий водород; 3 — жидкий кислород; 4 — помещение для людей и приборов; 5 — камера сгорания

¹ В наиболее удачных конструкциях ракет $\frac{m}{M} = 9-10$.

нашего века была выработана стройная теория современного ракетостроения и воплощены в жизнь многие идеи К. Э. Циолковского.

Особенно большое значение имеют труды Сергея Павловича Королева (1906—1966). Он был крупнейшим конструктором ракетно-космических систем, с помощью которых впервые в мире осуществлены запуски искусственных спутников Земли и Луны. Под руководством С. П. Королева были созданы первые в мире пилотируемые космические корабли, осуществлены полет человека в космос и его выход в космическое пространство.

Большое значение для создания советской ракетной техники имела организация в 1933 г. Реактивного научно-исследовательского института (РНИИ). В этом институте был сконструирован многозарядный реактивный гвардейский миномет БМ-13 «катюша» (рис. 24), смонтированный на трехтонном автомобиле. Артиллерийская часть миномёта БМ-13 состояла из направляющих 1, укрепленных на трубчатой опорной ферме 2. Ферма вращалась в вертикальной плоскости вокруг оси 3, укрепленной на поворотной раме 4, которая в свою очередь могла поворачиваться в горизонтальной плоскости. Для этого миномет имел поворотный механизм 5. На машине одновременно находились подготовленные к пуску 16 реактивных снарядов, которые могли быть выпущены за 8—10 с. Дальность полета снаряда составляла 8 км. Стреляла машина БМ-13 реактивными осколочно-фугасными снарядами 132-миллиметрового калибра. Такой снаряд состоял из двух основных частей: головной и ракетной. Головная (боевая) часть имела разрывной заряд весом 50 Н. Ракетная часть представляла собой пороховой реактивный двигатель с воспламенителем, который при выстреле поджигался электрическим током. Два направляющих штифта на наружной поверхности ракетной камеры удерживали снаряд и служили для направления движения при выстреле. Снаряд был снабжен хвостовым оперением, обеспечивающим устойчивый полет. Первое боевое

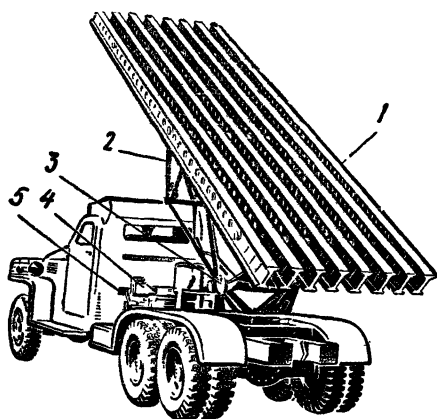


Рис. 24. Гвардейский миномет БМ-13 («катюша»)

испытание гвардейских минометов БМ-13 было произведено во время Великой Отечественной войны: 15 июля 1941 г. батарея реактивного оружия под командованием капитана И. А. Флерова произвела залп по железнодорожной станции Орша, забитой фашистскими воинскими эшелонами. Ураган огня смещал все с землей.

Гитлеровцы были ошеломлены внезапностью и мощностью удара и, понеся большие потери, бежали.

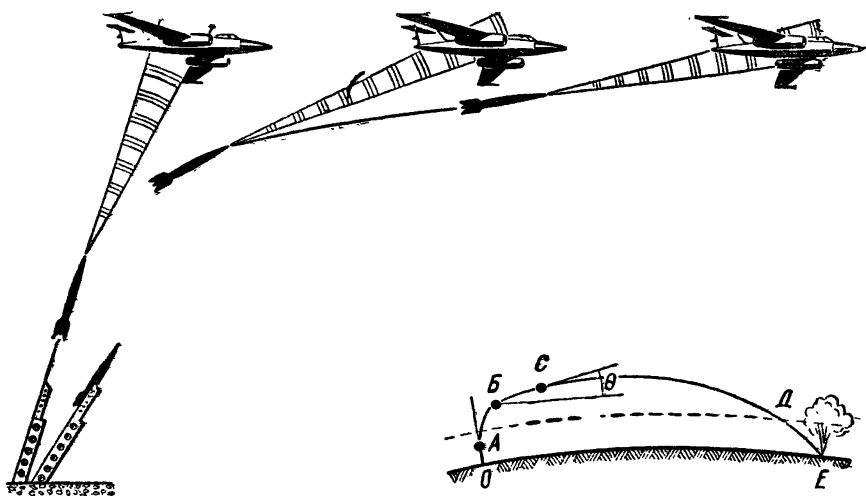


Рис. 25. Самонаводящаяся ракета

Рис. 26. Схема полета баллистической ракеты

Снаряды миномета БМ-13 были неуправляемыми: после сгорания пороха, создающего реактивную тягу, они двигались по инерции. Неуправляемые снаряды имеют большое рассеивание попаданий и потому используются лишь для поражения больших неподвижных целей. Для борьбы с малыми быстроподвижными целями они недостаточно эффективны, и в этих случаях применяют управляемые ракеты ближнего действия. Такие ракеты представляют собой небольшой летательный аппарат, состоящий из корпуса, двигателя (обычно РДТТ), крыльев и оперения. В корпусе помещается боевой заряд и радиоприемное устройство, связанное с органами управления ракеты. Ракета наводится на движущуюся цель с командного пункта по радио.

В современной ракетной технике широкое применение нашли самонаводящиеся управляемые ракеты. На борту такой ракеты находятся радиопередатчик и вся аппаратура управления. Передатчик излучает в пространство направленный пучок радиоволн (рис. 25), которые, отразившись от цели (например, от вражеского самолета), улавливаются антенной ракеты. Благодаря этому аппаратура управления следит за целью, рассчитывает наиболее выгодную траекторию движения для встречи с ней и, воздействуя на рули ракеты, ведет ее по этой траектории. Советские управляемые ракеты обладают большой точностью попадания. Когда американский летчик-шпион Пауэрс 1 мая 1960 г. проник на самолете У-2 в нашу страну, он был сбит ракетой советской зенитной батареи, хотя летел на высоте 20,5 км.

Тяжелые, весящие несколько тонн ракеты называются баллистическими. Дальность действия таких ракет достигает нескольких

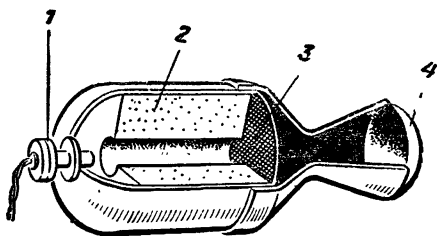


Рис. 27. Схема РДТТ

тысяч километров, а их боевые заряды могут состоять как из обычного, так и из ядерного взрывчатого вещества. Траектория движения баллистической ракеты делится на два участка (рис. 26): активный АБС и пассивный СДЕ. Ракета стартует вертикально (участок ОА), затем система управления поворачивает ее в плоскости стрельбы (участок АБ) на заданный угол Θ . На участке ВС ракета снова движется почти прямолинейно и в точке С достигает заданной скорости. В этот момент двигатель выключается и всякое управление ракетой прекращается. Дальше, на пассивном участке траектории, ракета летит по инерции. Огромная, неограниченная дальность полета баллистических ракет объясняется тем, что они разгоняются тягой двигателя на протяжении десятков, а иногда сотен километров и потому в конце активного участка приобретают скорости, в 5—10 раз превышающие скорость артиллерийского снаряда. Кроме того, почти на всем протяжении пассивного участка, который в десятки раз больше активного, ракета движется в высоких слоях атмосферы, где давление воздуха и его сопротивление ничтожно малы.

Некоторые виды баллистических ракет снабжены ракетным твердотопливным двигателем (РДТТ), типичная схема которого изображена на рисунке 27. Заряд твердого топлива 2, в центре которого сделан цилиндрический канал, расположен в толстостенной камере. В ней находится также запальное устройство 1, состоящее из электрической нити накаливания, окруженной черным порохом. При прохождении по нити тока порох воспламеняется и зажигает основное топливо. Между соплом и топливным зарядом ставят решетчатую диафрагму 3, она не позволяет отколовшимся кусочкам топлива вылетать из ракеты, не сгорая. Чтобы при запуске двигателя в камере сохранилось нужное давление, сопло закрывают крышкой 4, которая затем разрушается раскаленными газами.

В Советском Союзе ракетостроение развивается прежде всего в мирных целях, однако, чтобы не допустить развязывания капиталистами новой войны и защитить нашу Родину, советский народ создал мощное ракетное оружие, которым оснащены все виды Вооруженных Сил СССР. Мы располагаем реактивными установками, большими тактическими и межконтинентальными баллистическими ракетами.

§ 3. Аппараты для исследования космоса

17 августа 1933 г. в воздух поднялась первая советская жидкостная ракета, созданная сотрудниками группы по изучению реактивного движения (ГИРД) под руководством инженера Ф. А. Цандера. Сконструировал эту ракету М. К. Тихонравов. Длина ракеты составляла 2,4 м, диаметр 18 см, а весила она 180 Н. Горючим служил бензин, а окислителем — жидкий кислород. Во время испытания ракета достигла высоты около 400 м.

С этого времени советские ученые и инженеры создали и запустили не одну сотню мощных, совершенных ракет для научных исследований. Такая ракета состоит обычно из двух частей: двигательной установки и отделяемой головной части, которая называется контейнером. В контейнере размещают научную аппаратуру для измерения температуры, давления, плотности и состава атмосферы, напряженности магнитного поля Земли; приборы, регистрирующие солнечную радиацию и космические лучи, и т. д. Здесь же помещают парашют и в некоторых случаях подопытных животных. Когда ракета достигает высшей точки подъема, контейнер отделяется и на раскрывшемся парашюте медленно опускается на землю, где и изучают автоматически записанные показания приборов.

Исследования, производимые с помощью высотных ракет, продолжаются всего несколько минут и охватывают небольшое пространство над местом запуска. Поэтому научные исследования более удобно проводить с помощью искусственных спутников Земли, снабженных соответствующими приборами. Длительное время обращаясь вокруг Земли, ИС пролетают над многими областями земной поверхности, что позволяет исследовать обширные районы.

Чтобы тело стало искусственным спутником Земли, ему необходимо сообщить первую космическую скорость.

Как известно из курса физики, для движения по окружности радиуса R тело должно обладать центростремительным ускорением

$$a = \frac{v^2}{R},$$

где v — скорость тела. Поскольку в данном случае роль центростремительного ускорения играет ускорение силы тяжести g , то можно написать:

$$g = \frac{v^2}{R}.$$

Отсюда скорость кругового движения на расстоянии R от центра Земли $v = \sqrt{gR}$. В приближенных расчетах для движения спутника вблизи поверхности Земли принимают $R = 6400$ км, а

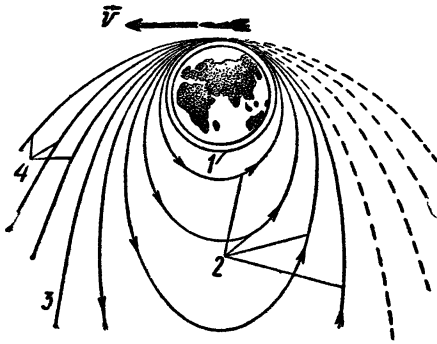


Рис. 28. Траектории тела при различных горизонтальных скоростях:

1 — окружность при $v = 7,9$ км/с; 2 — эллипс при $7,9$ км/с $< v < 11,2$ км/с; 3 — парабола при $v = 11,2$ км/с; 4 — гипербола при $v > 11,2$ км/с

форму эллипса (рис. 28). Двигаясь по эллиптической кривой, спутник то приближается к Земле, то удаляется от нее. Наиболее удаленная точка орбиты называется апогеем, наименее удаленная — перигеем. В перигее спутник движется быстрее, чем в апогее.

Скорость, которую необходимо сообщить, чтобы вывести спутник за пределы земного тяготения, называется второй космической или параболической скоростью. Тело, обладающее такой начальной скоростью, описывает в пространстве параболу и может удалиться от Земли на любое сколь угодно большое расстояние (предполагается, что при этом на тело не действуют никакие другие силы, кроме сил земного тяготения).

Чтобы найти вторую космическую скорость, надо подсчитать работу, необходимую для удаления тела массы m с поверхности Земли на расстояние, на котором силы, действующие со стороны Земли, приближаются к нулю.

Соответствующие вычисления показывают, что

$$v_{\text{пар}} = \sqrt{2\gamma \frac{M}{R}}.$$

где γ — постоянная тяготения, M — масса Земли, R — ее радиус.

Подставляя в эту формулу значения γ , M и R , получаем:

$$v_{\text{пар}} = 11,2 \text{ км/с.}$$

Чтобы осуществить полет с Земли к звездам, необходимо преодолеть солнечное притяжение, т. е. звездолету следует сообщить скорость, при которой он будет двигаться относительно Солнца по параболической или гиперболической орбите.

Минимальная скорость отлета с поверхности Земли, обеспечи-

$g = 9,81$ м/с. Подставляя эти значения в последнюю формулу, получаем:

$$v = 7,8 \text{ км/с.}$$

Формула справедлива и для спутников, обращающихся по далеким орбитам, но в этом случае g следует считать переменным, например при $R = 16\,400$ км, $v = 4,94$ км/с. Таким образом, с увеличением высоты полета спутника его круговая скорость уменьшается.

Если скорость запуска спутника в горизонтальном направлении превышает круговую, его орбита принимает

вающая выход космического аппарата за пределы поля тяготения Солнца, называется третьей космической скоростью:

$$v_{III} = 16,7 \text{ км/с.}$$

Полезно знать, что межзвездные полеты потребуют скоростей, во много раз больших, чем третья космическая скорость. Имея такую начальную скорость, корабль, выйдя за пределы сферы тяготения Солнца, будет двигаться по траектории, мало отличающейся от траектории Солнца. Поэтому вероятность встречи его с какой-либо звездой будет не больше, чем вероятность встречи с ней Солнца или Земли. Притяжение Солнца и планет влияет на движение космических кораблей, в силу чего их траектории не являются эллипсами, параболами или гиперболами, а представляют собой сложные пространственные кривые.

Теория движения тела, обращающегося по инерции вокруг Земли, была разработана еще Ньютоном, однако построить искусственный спутник удалось совсем недавно. Главным препятствием на пути создания таких спутников являлось получение больших космических скоростей. Ученые вычислили, что для достижения первой космической скорости ракета весом 50 кН должна израсходовать более 2000 кН топлива. Построить одноступенчатую ракету с топливными баками такой большой емкости невозможно. Проблема создания искусственного спутника была решена лишь после того, как для его запуска использовали многоступенчатую ракету, идея которой была выдвинута К. Э. Циолковским.

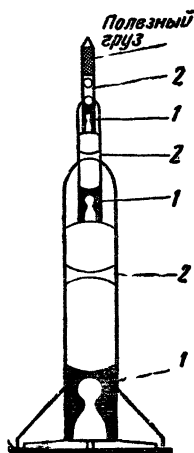


Рис. 29. Схема трехступенчатой ракеты:

1 — двигатели; 2 — топливные баки

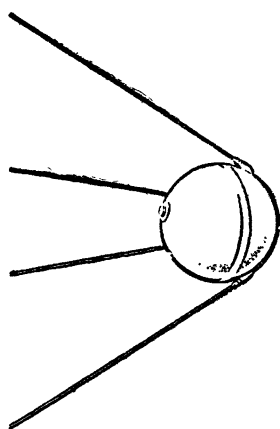


Рис. 30. Первый искусственный спутник Земли

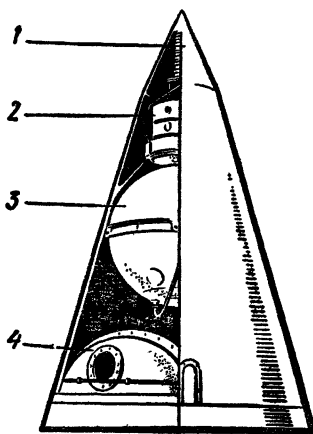


Рис. 31. Второй искусственный спутник Земли:

1 — защитный конус; 2 — прибор для исследования излучения Солнца; 3 — контейнер с радиопередатчиками; 4 — кабина для подопытного животного

Многоступенчатая ракета (рис. 29) состоит из нескольких частей (ступеней), каждая из которых имеет свои баки для горючего и окислителя и свой реактивный двигатель. Когда взлетает ракета, сначала сгорает все топливо первой ступени и она отделяется. При этом автоматически запускается двигатель второй ступени, он продолжает разгонять облегченную ракету. После отделения второй ступени вступает в действие третья ступень и т. д. Таким образом, ставшие ненужными части ракеты отбрасываются и их не надо разгонять.

Первый в мире искусственный спутник Земли был запущен 4 октября 1957 г. в Советском Союзе. Это историческое событие знаменовало собой вступление человечества в эру межпланетных полетов, гениально предсказанную К. Э. Циолковским еще полвека назад.

Спутник (рис. 30) был изготовлен из легкого алюминиевого сплава, имел форму шара диаметром 58 см и весил 830 Н. Внутри его размещались измерительная аппаратура, два радиопередатчика для передачи на Землю показаний приборов, источники тока и другое оборудование. Спутник запустили с помощью многоступенчатой ракеты-носителя. Когда ракета достигла первой космической скорости, спутник отделился от нее и стал двигаться самостоятельно, описывая по инерции вокруг Земли эллиптическую траекторию, направленную с юго-запада на северо-восток. Период обращения спутника составлял 1 ч 36,2 мин, а самая удаленная точка орбиты (апогей) отстояла от Земли на 947 км. Относительно неподвижных звезд плоскость орбиты спутника оставалась почти постоянной. Но так как Земля вращается вокруг своей оси с запада на восток, то при каждом новом обороте спутник проходил над разными районами нашей планеты, смещаясь на 24° по долготе за оборот. Благодаря тому что траектория спутника была наклонена к плоскости земного экватора под углом 65° , спутник облетел большую часть поверхности нашей планеты.

Воздух, несмотря на малую плотность на большой высоте, все же оказывает некоторое сопротивление движению тел. Поэтому первый искусственный спутник постепенно, теряя скорость, вошел в плотные слои атмосферы, раскалился и сгорел. За три месяца существования спутника с его помощью были сделаны весьма ценные научные наблюдения в околоземном космическом пространстве.

В том же 1957 г. в Советском Союзе был запущен второй искусственный спутник Земли (рис. 31). Он представлял собой последнюю ступень ракеты-носителя, в которой находились радиопередатчики и научные приборы для изучения физических свойств атмосферы и солнечной радиации. Сюда же для изучения жизнедеятельности организма в космосе поместили в особом контейнере подопытное животное — собаку по кличке Лайка. Контейнер был снабжен установкой для очистки воздуха и запасами пищи для животного. Второй искусственный спутник обращался на более высокой орбите, чем первый, с апогеем 1700 км и периодом обращения

1 ч 43,7 мин и просуществовал пять месяцев. С его помощью были проведены важные биологические исследования, в частности изучалось влияние невесомости на живые организмы.

До настоящего времени в Советском Союзе осуществлено более 700 запусков искусственных спутников и космических аппаратов. С их помощью получают новые научные сведения об атмосфере Земли и околоземном космическом пространстве, о космических лучах, приходящих к нам из мирового пространства и обладающих громадной энергией и скоростью.

Около Земли находятся радиационные пояса, т. е. области с повышенным содержанием заряженных частиц, начато их изучение, а также изучение ультрафиолетовых и рентгеновских лучей, испускаемых Солнцем, метеоритных потоков и магнитного поля Земли, что очень важно для безопасности космических полетов.

Искусственные спутники запускаются не только для научных целей, они имеют также большое практическое значение. Их используют, например, для ретрансляции ультракоротких радиоволн, в частности телевизионных передач, на большие расстояния. Как известно, короткие волны почти не огибают земной поверхности. Поэтому для передачи телевизионных программ на дальние расстояния через каждые 150—200 км приходится строить очень дорогие ретрансляционные станции. Летящий на громадной высоте искусственный спутник, оборудованный ретрансляционной аппаратурой, может заменить многие десятки подобных станций. Один из спутников типа «Молния-1», обеспечивающий двустороннюю сверхдальнюю телефонную и телевизионную связь между Москвой и Владивостоком, изображен на рисунке 32. Спутник имеет корпус 1, на котором установлены шесть панелей 2 с солнечными электрическими батареями для питания ретрансляционной и обслуживающей аппаратуры и две параболические антенны 3. Специальные приборы, которые называют датчиками, поддерживают постоянную ориентацию батарей на Солнце и на Землю. Ориентация производится микрореактивными двигателями, которые работают на сжатом воздухе, заключенном в сферические баллоны 4. Для исправления (коррекции) орбиты спутника служит реактивный двигатель 5 с датчиком 6.

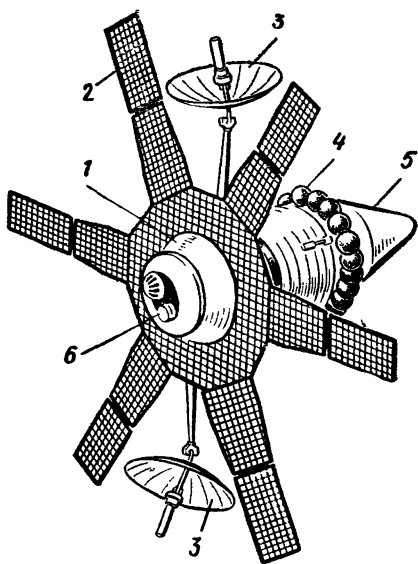


Рис. 32. Спутник связи «Молния-1»

При движении спутника территория СССР в течение 8—10 ч в сутки находится в зоне его видимости. В это время радиосигналы, отправленные из Москвы, принимаются радиоприемником на спутнике. Здесь они усиливаются и через антенну бортового радиопередатчика направляются вниз на Землю, где их улавливают приемные станции системы «Орбита».

Неоценимую помощь народному хозяйству оказывают метеорологические спутники. Двигаясь по орбите, они фотографируют полосу земной поверхности шириной 110 км и передают на Землю телевизионное изображение облаков, снежного и ледового покрова на дневной (освещенной) стороне Земли. Это позволяет судить о состоянии погоды, о движении циклонов, тайфунов, атмосферных фронтов и своевременно предупреждать о них летчиков, капитанов судов и население прибрежных районов. Регулярные сведения о границах ледового покрова, получаемые с помощью спутников, оказывают большую пользу в предсказании ледовой обстановки на Северном морском пути и позволяют правильно выбирать маршруты кораблей и самолетов.

С помощью спутника можно всю земную поверхность сфотографировать за непродолжительное время и использовать снимки для составления подробных карт местности (на что обычно специальные экспедиции затрачивают долгие месяцы и даже годы). Из космоса удобно обнаруживать лесные и степные пожары, очаги поражения леса вредителями, определять стадии созревания сельскохозяйственных культур, пригодные для обработки участки земли. В дальнейшем искусственные спутники предполагают использовать для разведки месторождений полезных ископаемых, предупреждения о землетрясениях и извержениях вулканов, для определения местонахождения в море косяков рыбы и многих других целей.

Многочисленные автоматические приборы, которыми оборудованы спутники, могут значительно быстрее человека производить сложные расчеты и научные измерения, а также управлять движением спутника. Однако эти приборы не могут полностью заменить человека-исследователя, так как они регистрируют лишь те явления, которые попали в поле зрения прибора. Именно поэтому создание корабля для космических полетов человека было не только величайшим достижением мировой техники, но и открыло новые возможности для изучения космоса.

Первый полет на космическом корабле таил в себе много неожиданностей и требовал от космонавта большой преданности науке и высокого мужества. Было неясно, как перенесет космонавт перегрузки при старте и спуске корабля, а также явление невесомости, возникающее во время его движения по орбите.

Рассмотрим это явление более подробно. Пусть на полу кабины корабля лежит груз массы m (рис. 33). На него действуют две силы: сила тяжести $F = mg$ и сила реакции пола N . Груз, как и корабль, движется с центростремительным ускорением $a = \frac{v^2}{R}$, где R —

радиус орбиты, а $v = \sqrt{gR}$ — первая космическая скорость. Допуская, что высота полета корабля над Землей пренебрежимо мала по сравнению с ее радиусом, можно считать, что R — это радиус Земли. Запишем для данного случая уравнение движения: $ma = F - N$, или $N = F - ma$.

Подставляя в эту формулу значения F и a , получим:

$$N = mg - \frac{mgR}{R} = 0.$$

Таким образом, в корабле, выведенном на орбиту, реакция опоры N равна нулю. Равен нулю, следовательно, и вес тела.

Космический корабль «Восток», на котором впервые в истории цивилизации человек проник в космос, был запущен 12 апреля 1961 г. в Советском Союзе, а первым в мире космонавтом стал советский гражданин Юрий Алексеевич Гагарин. Корабль-спутник «Восток» был выведен на орбиту вокруг Земли ракетой-носителем (рис. 34), длина которой составляла 38 м, а диаметр у основания — более 10 м. В сумме мощность пяти двигателей достигала громадного значения — 14,7 млн. кВт. Это в 3 раза больше мощности крупнейшей в мире Братской гидроэлектростанции на Ангаре.

Кабина корабля (спускаемый аппарат) представляет собой шар 1 (рис. 35) диаметром 2,3 м и весом 24 кН, на внешнюю поверхность которого нанесен специальный теплоизолирующий слой, предохраняющий аппарат от нагревания, когда он при спуске проходит через плотные слои атмосферы. При старте ракеты кабина закрыта коническим обтекателем, который затем автоматически сбрасывается. Снаружи кабины укреплены баллоны 2 и 3, одни с аварийным запасом кислорода, другие со сжатым воздухом. Вне кабины расположен также приборный отсек 4, в котором размещены электрические батареи, приборы для управления и спуска корабля, тормозной двигатель, радиоаппараты для телефонной и телевизионной связи с Землей и антенны 5 для них.

Во время взлета (на активном участке) ракета-носитель движется с ускорением, в несколько раз превышающим ускорение g . Поэтому на активном участке космонавт может быть прижат к креслу с силой, в несколько раз большей силы нормального притяжения. Эта сила вызывает в теле космонавта внутренние напряжения, его вес как бы увеличивается в несколько раз. Чтобы перенести столь большую

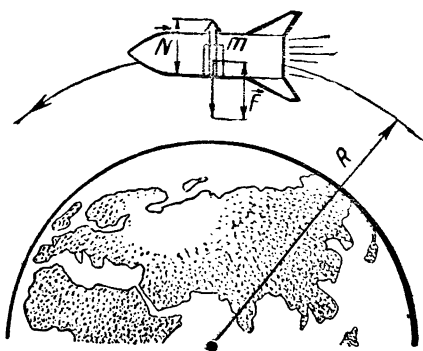


Рис. 33. Все предметы в кабине спутника на орбите невесомы

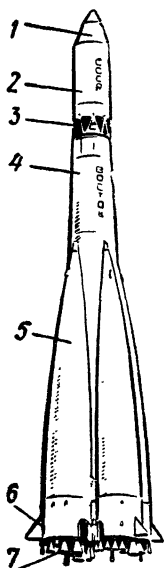


Рис. 34. Ракета-носитель первого в мире космического корабля «Восток»:

1 — головной обтекатель; 2 — блок третьей ступени с космическим кораблем «Восток» внутри; 3 — двигатель третьей ступени; 4 — центральный блок ракеты-носителя; 5 — боковые блоки ракеты-носителя; 6 — аэродинамические рули; 7 — сопла двигателей ракеты-носителя

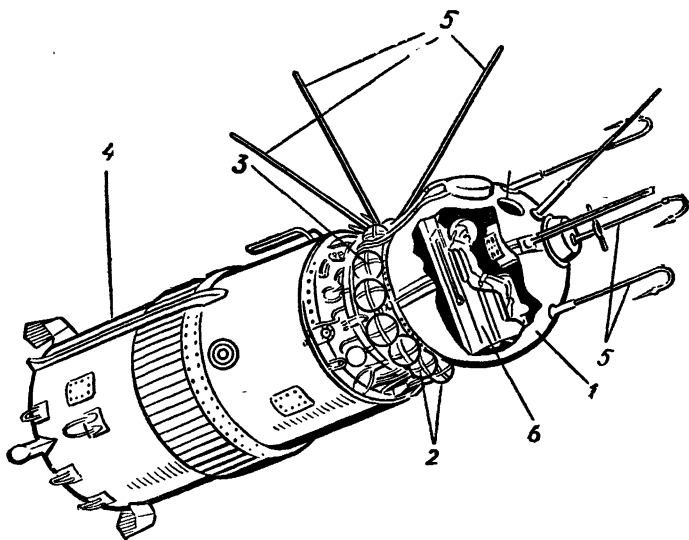


Рис. 35. Космический корабль «Восток»

тяжесть, космонавт располагается в кресле лежа, поперек движения ракеты.

Когда скорость корабля достигает первой космической (около 7,8 км/с), двигатели выключаются и корабль отделяется от ракеты-носителя. С этого момента кабина корабля вместе с приборным отсеком движется вокруг Земли по инерции, без затраты горючего. При этом в кабине космонавта вместо перегрузки возникает состояние невесомости.

С высоты 300 км через иллюминаторы, закрытые жаропрочным стеклом, Ю. А. Гагарин хорошо видел на Земле крупные реки и горы, покрытые белоснежными шапками снегов, прямоугольники возделанных полей, синие воды океанов, а на неосвещенной стороне Земли — россыпи городских огней.

Сложную техническую задачу представляет собой посадка космического корабля, причем главная трудность состоит в том, чтобы погасить громадную скорость его полета. Для этого космонавт разворачивает корабль на 180°, двигательной установкой вперед (рис. 36), и включает тормозной реактивный двигатель. Реакция вытекающих газов тормозит корабль, он постепенно сходит с орбиты на траекторию спуска, пересекающую плотные слои атмосферы. После окончания работы двигателя кабина отделяется от приборного отсека. При движении в атмосфере внешняя оболочка кабины нагревается до свечения, а температура пограничного слоя

воздуха вокруг нее достигает 6 000°. Внутри же кабины поддерживается нормальная температура. На определенной высоте (около 7 км) автоматически открывается крышка входного люка, из которого с помощью особого устройства катапультируется кресло с космонавтом и раскрывается парашют пилота. Затем кресло отделяется от космонавта и он на своем парашюте в герметическом скафандре спускается на Землю. Вместе с космонавтом на том же парашюте опускается аварийный запас пищи, радиостанция и резиновая лодка, автоматически надуваемая воздухом при спуске на воду.

Для спуска кабины также была использована автоматическая парашютная система. Конструкция корабля позволяла космонавту приземлиться, оставаясь внутри кабины.

Ю. А. Гагарин находился в полете 108 мин, совершив за это время один оборот вокруг Земли. Исторический полет космического корабля «Восток» не только явился величайшим достижением науки и техники, но и доказал возможность проникновения человека в космос.

Вслед за Ю. А. Гагариным совершили полеты в космос Г. С. Титов, А. Г. Николаев, первая в мире женщина-космонавт В. В. Терешкова и другие советские космонавты. С каждым последующим полетом увеличивалась их продолжительность и усложнялась программа исследований.

Большое значение для создания в будущем орбитальных научных космических станций имел замечательный эксперимент, осуществленный советскими космонавтами 18 марта 1965 г. В этот день на околоземную орбиту был выведен космический корабль «Восход-2», пилотируемый Павлом Ивановичем Беляевым и Алексеем Архиповичем Леоновым. Корабль имел герметическую кабину со шлюзом, который представлял собой небольшую камеру с двумя люками; один люк соединял ее с кабиной, другой — с наружным пространством. На втором витке А. А. Леонов, одетый в специальный скафандр, через шлюз вышел в космическое пространство.

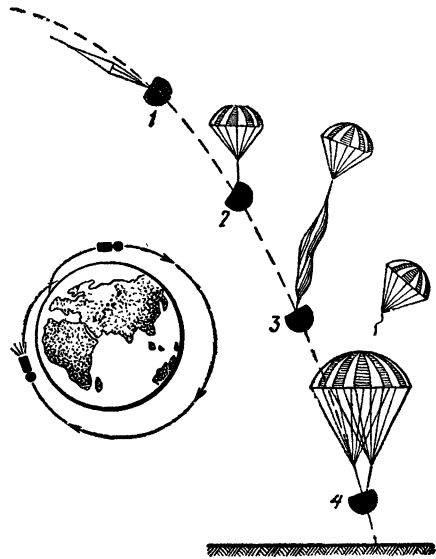


Рис. 36. Схема посадки космического корабля:

1 — отстрел люка и введение тормозного парашюта на высоте 4000 м; 2 — спуск на тормозном парашюте; 3 — отделение тормозного и введение основного парашюта на высоте 2500 м; 4 — снижение и приземление спускаемого аппарата на основном парашюте

во. Выход совершался в два приема. Сначала космонавт через первый (внутренний) люк проник в камеру шлюза и люк за ним закрылся. Затем был открыт второй (наружный) люк, через который пилот вышел наружу. Благодаря шлюзу в кабине сохранялись нормальные условия работы (нормальное давление воздуха, влажность, температура и т. д.). А. А. Леонов был соединен с кораблем специальным канатом (фалом), который одновременно служил линией телефонной связи с кабиной. Космонавт удалился от корабля на несколько метров, выполнил научные исследования и благополучно через шлюз вернулся в кабину. Всего в открытом космосе А. А. Леонов пробыл 12 мин. Все это время он свободно парил в безвоздушном пространстве и пролетел по инерции громадное расстояние — от Кавказских гор до Владивостока. Скафандр надежно защищал пилота от космического вакуума и вредных излучений, сохранял нормальную температуру тела и имел гибкость, необходимую для выполнения нужных движений.

Проведенный эксперимент явился бесценным вкладом в науку. Он убедил ученых, что человек в открытом космосе может совершать пересадки из одного космического корабля в другой, оказывать помощь терпящим бедствие космонавтам, проводить ремонтные работы, соединять между собой космические корабли, монтировать в космосе крупные научные станции и космодромы для запуска межпланетных кораблей. Отдельные части крупных орбитальных станций могут соединяться (стыковаться) в космосе и автоматически, без участия человека.

Первую автоматическую стыковку космических аппаратов осуществили советские ученые осенью 1967 г. Сначала был запущен спутник «Космос-186», а через два дня на другую орбиту — спутник «Космос-188», причем обе орбиты лежали в одной плоскости. Стыковка производилась с помощью установленных на спутниках радиолокаторов, осуществляющих взаимный поиск, и счетно-решающих устройств, которые вычисляли расстояние между спутниками и передавали команду двигателям. Причалив друг к другу и прочно соединившись, спутники в течение нескольких часов совершали полет как одно целое. Затем по команде с Земли произошла стыковка и с помощью бортовых двигателей спутники перевели на разные орбиты.

Более совершенное устройство и значительно большие размеры, чем корабли «Восток» и «Восход», имеют космические корабли типа «Союз» (рис. 37).

На кораблях типа «Союз» советские космонавты провели в космосе ряд важных научных исследований. Особенно замечательным был групповой полет кораблей «Союз-4» и «Союз-5» в январе 1969 г. Во время полета командир первого корабля В. А. Шаталов осуществил его причаливание и стыковку с кораблем «Союз-5», в котором находились космонавты Б. В. Волинов, А. С. Елисеев и Е. В. Хруцов.

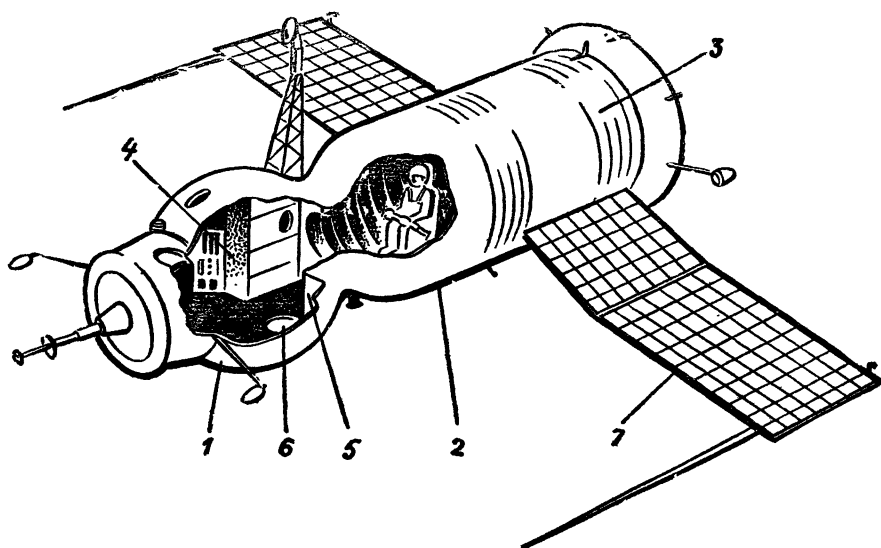


Рис. 37. Космический корабль «Союз-3»:

1 — орбитальный отсек; 2 — кабина космонавта; 3 — приборно-агрегатный отсек; 4 — рабочее место космонавта; 5 — место для отдыха; 6 — входной люк; 7 — солнечные батареи

Во время полета стыкованных кораблей космонавты Е. В. Хрунов и А. С. Елисеев провели выдающийся эксперимент. Они надели скафандры и вышли через люк из орбитального отсека корабля «Союз-5» в открытое космическое пространство. Они осмотрели корабль снаружи, вели астрономические наблюдения, производили фото- и киносъемки. Космонавты находились в открытом космосе около часа, затем перешли в орбитальный отсек другого корабля — «Союз-4», закрыли за собой люк, создали в отсеке нормальное атмосферное давление и сняли скафандры.

Этот эксперимент показал, что в космосе возможно выполнение таких работ, как замена экипажа космических станций, монтаж оборудования и спасение экипажей кораблей, потерпевших аварию на орбите.

В будущем, когда станут выполняться полеты к планетам Солнечной системы, понадобятся большие космические корабли с многочисленным экипажем. Такие корабли выгодно собирать на орбите. Успешная стыковка кораблей «Союз-4» и «Союз-5» (их полет продолжался четверо суток) свидетельствует, что это вполне выполнимая задача.

Важнейшей задачей космонавтики является изучение небесных тел Солнечной системы, и в первую очередь ближайшего к Земле тела — нашего вечного спутника — Луны.

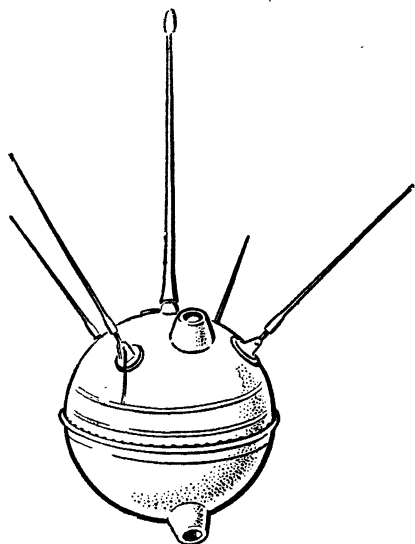


Рис. 38. Первый в мире искусственный спутник Солнца — «Луна-1»

Посылая к Луне автоматические станции и космические корабли, ученые надеются раскрыть тайну происхождения Луны, Земли и других планет, определить направление их дальнейшего развития, а следовательно, и судьбы человечества.

Начало изучению Луны космическими аппаратами было положено в Советском Союзе 2 января 1959 г., когда в сторону Луны запустили первую в мире ракету с автоматической межпланетной станцией (АМС) «Луна-1» (рис. 38). Последняя ступень ракеты несла на себе контейнер весом 3600 Н с измерительной аппаратурой и радиопередатчиками. Когда АМС удалилась на расстояние 113 000 км, специальное устройство выбросило искусственное

натриевое облако, облегчившее наблюдение в телескопы за полетом станции. 4 января ракета, удалившись от Земли на 370 000 км, прошла мимо Луны на расстоянии 6000 км и превратилась в первую созданную человеком планету солнечной системы. Орбита планеты лежит между орбитами Земли и Марса, а ее период обращения составляет 15 месяцев. С помощью АМС «Луна-1» ученые получили важные сведения о космической радиации, составе межпланетного газа, метеорных потоках, магнитном поле Луны и т. д.

12 сентября 1959 г. к Луне была направлена вторая АМС — «Луна-2», совершившая первый в мире полет на другое небесное тело. 14 сентября «Луна-2» достигла поверхности Луны и доставила туда вымпелы с изображением Государственного герба Советского Союза.

Как известно, в своем движении вокруг Земли Луна всегда обращена к нам одной стороной. За всю историю развития человеческого общества ни один человек не видел ее обратной стороны.

Запущенная 4 октября 1959 г. советская АМС «Луна-3» решила фантастическую задачу — позволила «взглянуть» на обратную сторону Луны. Совершая полет по очень сложной, точно рассчитанной траектории, станция обогнула Луну и сделала большое количество снимков ее обратной стороны с расстояния около 70 тыс. км. При этом специальная система ориентации по радиокоманде с Земли повернула станцию объективом фотоаппарата к Луне. Обработка заснятой киноплёнки производилась автоматами на борту станции.

Затем станция вернулась к Земле и, проходя мимо нее, с расстояния 47 000 км через каналы радиосвязи передала на Землю уникальные фотографии Луны и научные данные, зарегистрированные различными приборами. Фотографии показали, что в отличие от видимой стороны Луны на ее невидимой стороне преобладают горные районы, там мало «морей».

В дальнейшем советские ученые направили на Луну и к Луне еще целый ряд космических аппаратов. Это позволило добиться нового выдающегося успеха — осуществить 3 февраля 1966 г. мягкую посадку на поверхность Луны АМС «Луна-9», запущенной 31 января 1966 г.

Громадную техническую трудность представлял собой последний этап полета — торможение и мягкая посадка станции на поверхность Луны.

Как известно, Луна лишена атмосферы и для гашения скорости падения станции, которая в 3 раза превышает скорость пушечного ядра, нельзя использовать ни крыльев, ни парашюта. Поэтому торможение производилось специальным реактивным двигателем, ось которого с помощью датчиков была направлена строго перпендикулярно поверхности Луны. Двигатель был включен радиовысотомером на высоте 75 км и снизил скорость падения станции с 2600 м/с до нескольких метров в секунду у самой поверхности. Конец торможения был рассчитан так, чтобы он точно совпадал с моментом прилунения. Иначе станция, свободно падая, могла бы вновь развить большую скорость и разбиться. Кроме других научных данных, станция «Луна-9» (рис. 39) передала на Землю уникальные фотографии лунной поверхности вокруг места посадки, имеющие большую ценность.

Осуществление мягкой посадки на Луну имело огромное значение для решения технических проблем, связанных с полетом на Луну человека.

3 апреля 1966 г. у Луны появился искусственный спутник, созданный руками людей, — советская космическая станция «Луна-10».

Замечательным вкладом в изучение Луны явился полет советской автоматической станции «Зонд-5», запущенной в сентябре 1968 г. Облетев Луну и выполнив научные измерения, станция через семь суток после старта вернулась на Землю и, пройдя атмосферу, приводнилась в заданном месте Индийского океана. Здесь она была поднята на борт ожидающего ее судна.

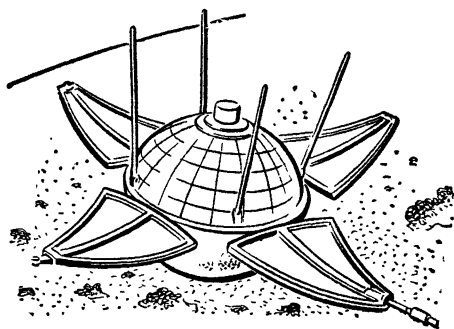


Рис. 39. Станция «Луна-9» на лунной поверхности

Возвращение космической станции на Землю со второй космической скоростью впервые осуществлено в нашей стране.

Систематические исследования Луны и планет ведет также вторая космическая держава мира — США. Выдающийся полет вокруг Луны совершили американцы Ф. Борман, Дж. Ловелл и У. Андерс. Космический корабль «Аполлон-8», на котором летели астронавты, был запущен 21 декабря 1968 г. с помощью ракеты «Сатурн-5». Вес всей космической системы приближался к весу миноносца — она унесла в небо около 3500 т горючего — керосина, жидкого водорода и кислорода. Через три дня экипаж корабля приблизился к Луне и включил тормозной реактивный двигатель. Скорость «Аполлона-8» была частично погашена, и он перешел на селеноцентрическую орбиту высотой около 113 км над поверхностью Луны. Совершив за 20 ч 10 оборотов вокруг Луны и выполнив важные научные наблюдения, космонавты снова включили двигатель. Скорость корабля увеличилась, он перешел на траекторию полета к Земле и 27 декабря благополучно приводнился около Гавайских островов в Тихом океане.

Полеты кораблей типа «Аполлон» являлись частью американской программы «Аполлон» по освоению космоса, имевшей конечной целью посылку экспедиции на Луну. На работы по осуществлению этой программы, продолжавшиеся около 10 лет, США затратили огромные средства — свыше 20 млрд. долларов. В работах были заняты до 20 тыс. фирм и до 400 тыс. человек — ученых, инженеров, конструкторов и рабочих.

Система, с помощью которой была совершена историческая высадка первых людей на Луну, состоит из

1. Ракеты-носителя «Сатурн-5», развивающей силу тяги 35 020 кН. Общий вес ракеты с установленным на ней кораблем 29 430 кН, высота 109 м, диаметр 10 м.

2. Основного блока, который в свою очередь состоит из отсека экипажа и двигательного отсека.

3. Лунной кабины, включающей в себя взлетный и посадочный отсеки. Ее общий вес 147 кН, на Луне она весит лишь 24 кН. Лунная кабина имеет настолько тонкую стенку из алюминиевого сплава, что человек в состоянии пробить ее ногой. Но в космосе после заполнения лунной кабины кислородом она приобретает жесткость.

В состав экипажа корабля «Аполлон-11» входили космонавты Нейл Армстронг, Эдвин Олдрин и Майкл Коллинз. Старт корабля состоялся на мысе Кеннеди в США 16 июля 1969 г.

19 июля в 20 ч 22 мин, находясь около Луны, космонавты включили главный двигатель основного блока на торможение и перешли на окололунную орбиту с высотой периселения 99,4 км и высотой апоселения 121,5 км¹.

¹ Периселением и апоселением называются две точки на орбите, первая — наименее и вторая — наиболее удаленная от Луны:

Вечером 20 июля Олдрин и Армстронг надели скафандры и, перейдя в лунную кабину, отделили ее от основного блока, в котором на орбите остался Коллинз. Когда лунная кабина, совершая полет по собственной орбите, находилась в 15 км от Луны, космонавты включили двигатель посадочного отсека. Над Морем Спокойствия аппарат начал спуск. Однако выбранная заранее площадка не годилась для прилунения, так как внизу лежал кратер размером в футбольное поле. В считанные секунды (задержка была недопустима, так как не хватило бы топлива) космонавты перешли на горизонтальный полет и благополучно прилунились, подняв вокруг себя небольшое облако пыли. Это историческое событие произошло 20 июля около 23 ч.

21 июля после шестичасового отдыха Армстронг вышел из кабины и ступил на поверхность Луны. Через несколько минут за ним последовал Олдрин. Вокруг простиралась равнина, покрытая множеством камней и кратеров различных размеров и формы. Поверхностный рыхлый слой затруднял передвижение, ноги скользили, и, чтобы не упасть на спину, приходилось широко расставлять ноги и нагибаться. Космонавты, соединенные с кораблем канатами, установили телевизионную камеру для передачи изображений на Землю, и различного научное оборудование: отражатель лазерного излучения, сейсмометр, регистрирующий сейсмические колебания лунной почвы, развернули алюминиевую фольгу для улавливания частиц инертных газов в солнечном излучении. Армстронг и Олдрин находились вне корабля свыше 2 ч. Большую часть этого времени они посвятили фотографированию и сбору образцов лунных горных пород.

Около 20 ч 21 июля космонавты во взлетном отсеке лунной кабины стартовали с Луны. Посадочный отсек остался на Луне. В момент старта Армстронг и Олдрин находились от основного блока на расстоянии 500 км. Через 3 ч с помощью двигателя и радиолокатора космонавты сблизились с основным блоком и стыковались с ним. Затем они перешли в отсек экипажа к ожидавшему их там Коллинзу. Взлетный отсек лунной кабины, выполнивший свою задачу, был отделен от корабля, и последний перешел на траекторию полета к Земле. Перед входом в земную атмосферу отсек экипажа отделился от двигательного отсека и 24 июля на трех громадных парашютах приводнился в Тихом океане около острова Джонсона. Здесь отважных космонавтов принял на борт авианосец. Американцы совершили еще несколько космических полетов с высадкой людей на Луну. При этом для поездок по поверхности Луны они использовали доставленный туда электрический «лунобиль».

Советские ученые исследуют Луну и планеты посредством гораздо более дешевых и безопасных автоматических аппаратов. 12 сентября 1970 г. в Советском Союзе была запущена автоматическая станция «Луна-16», которая, осуществив в полете ряд сложных маневров, через 8 дней совершила мягкую посадку на Луну в районе Моря

Изобилия, взяла с помощью особого бура образцы лунного грунта, а затем космическая ракета, стартовавшая с этой станции, доставила их на Землю. Это был первый в истории беспилотный полет на Луну и обратно, представлявший собой изумительное достижение космонавтики.

17 ноября 1970 г. другая советская автоматическая станция — «Луна-17» доставила на Луну самоходный аппарат «Луноход-1». После посадки станции луноход по специальному трапу сошел с нее на лунную поверхность.

«Луноход-1» снабжен восьмиколесным шасси с электрическим приводом, солнечной батареей, антеннами и другим сложным оборудованием. Управляемый с Земли по радио «Луноход-1» в течение многих месяцев передвигался по лунной поверхности и выполнил обширную научную программу. Аппарат исследовал химический состав и механические свойства лунного грунта, интенсивность космических лучей и многое другое. Все эти данные вместе с фотографиями лунных ландшафтов были переданы на Землю.

Дальнейшие успехи физики, биологии, геологии, астрономии и других наук во многом зависят от космических исследований планет, в первую очередь Венеры и Марса. Изучение планет позволит уточнить и, возможно, совсем изменить существующие представления о происхождении нашей Земли и ее развитии, а также решить ряд практически важных вопросов (например, происхождение нефти и природного газа).

Советские и американские ученые уже начали изучение Венеры и Марса с помощью АМС, направленных к этим планетам.

Осуществление таких полетов представляет собой задачу необычайной трудности. Достаточно указать, что Земля, с которой стартует станция, движется вокруг Солнца со скоростью 30 км/с, а станция, прежде чем достигнуть планеты, находится в космосе несколько месяцев. За это время и «стрелок», т. е. Земля, и космическая «мишень», т. е. Венера (Марс), перемещаются по своим орбитам на миллионы километров. Точность, с которой необходимо вывести АМС на орбиту, весьма велика: если скорость ракеты-носителя (при полете к Венере) в конце активного участка траектории будет всего на 1 м/с отличаться от расчетной, это вызовет отклонение траектории АМС у планеты на 30 000 км.

При движении Венеры вокруг Солнца она периодически располагается между Землей и Солнцем, а ее расстояние до Земли становится наименьшим (40 млн. км). Если незадолго до этого момента, когда Земля и Венера находятся соответственно в точках З и В (рис. 40, а), заставить «падать» космический корабль на Солнце, то всего лишь через 25 суток произойдет его встреча с Венерой в точке V_1 . Для этого следует прежде всего «погасить» гелиоцентрическую скорость корабля, т. е. сообщить ему скорость $v_t = 29,76$ км/с и направить ее в сторону, противоположную движению Земли по орбите вокруг Солнца. Кроме того, для преодоления силы земного притяжения надо сообщить кораблю еще вторую космическую

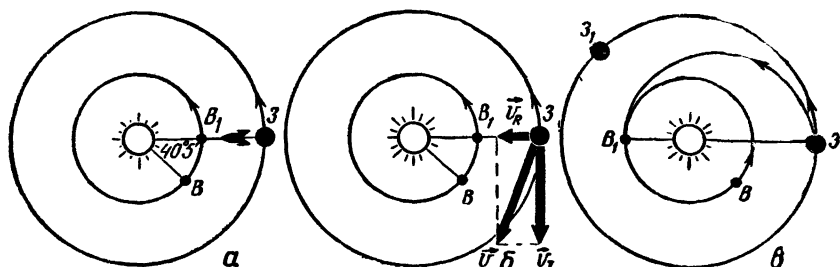


Рис. 40. Схема запуска космического корабля к Венере: З и В — положение Земли и Венеры в момент старта АМС, З₁ и В₁ — положение Земли и Венеры в момент спуска АМС на Венеру

скорость $v_R = 11,2$ км/с (рис. 40, б). Тогда скорость для осуществления такого «падения» будет равна геометрической сумме этих скоростей и ее можно вычислить по теореме Пифагора: $v = 31,7$ км/с. Для современной техники такие скорости недостижимы. Поэтому в настоящее время запуск АМС к планетам производят другим способом — по касательной к орбите Земли (рис. 40, в).

Венера — самая близкая к нам планета Солнечной системы — всегда покрыта густым слоем облаков, которые скрывают ее поверхность. Это очень затрудняет изучение загадочной планеты. Ученые могли только высказывать предположения о ее химическом составе, периоде вращения, давлении, плотности, температуре и составе ее атмосферы и т. д. Непосредственные данные о свойствах космического пространства около Венеры и о ее атмосфере впервые были получены с помощью советской АМС «Венера-4».

Станция «Венера-4» имела вес 11 500 Н и состояла из двух основных частей: орбитального отсека и спускаемого аппарата. Орбитальный отсек представлял собой герметический корпус цилиндрической формы, внутри которого размещалась научная аппаратура, системы ориентации и управления, химические источники тока и другое оборудование. К корпусу орбитального отсека крепились жидкостно-реактивный двигатель для коррекции траектории, панели солнечных батарей, антенны и датчики научных приборов.

Спускаемый аппарат, предназначенный для научных исследований в атмосфере Венеры, имел вес 3800 Н и форму, близкую к шару диаметром 1 м. Он разделялся на два герметических отсека — приборный и парашютный. В парашютном отсеке размещались два парашюта — тормозной и основной, сделанные из ткани, способной выдержать нагревание до 450°C , а также радиопередатчик, радиовысотомер, блоки автоматики и научная аппаратура.

Станция «Венера-4» была запущена 12 июня 1967 г. На всем протяжении полета станция производила научные исследования и передавала по радио их результаты на Землю. Измерялась интенсивность космических лучей и ультрафиолетовых лучей, испускаемых

Солнцем, напряженность магнитного поля, концентрация частиц водорода и кислорода и т. д.

Совершая полет по гелиоцентрической траектории под действием притяжения Солнца, как планета Солнечной системы, станция прошла путь около 350 000 000 км. В момент сближения с Венерой станция находилась от Земли на расстоянии около 78 000 000 км. При входе станции в атмосферу Венеры от нее отделился спускаемый аппарат. С увеличением плотности атмосферы торможение спускаемого аппарата вначале резко возрастало, он стал двигаться замедленно, а ускорение этого движения более чем в 300 раз превышало земное ускорение. Когда скорость станции снизилась до 300 м/с, раскрылся малый тормозной парашют, а затем и — основной парашют. В этот момент включился радиопередатчик спускаемого аппарата и начал передавать на Землю сведения о физических свойствах атмосферы. Полет автоматической станции от Земли до Венеры продолжался 128 суток.

Данные, полученные с помощью АМС типа «Венера», имеют громадное значение для науки и дальнейшего изучения Венеры. Оказалось, что атмосфера Венеры почти целиком (на 95—97%) состоит из углекислого газа, количество азота не превышает 2%, кислорода менее 0,1%, водяных паров около 1%. Непосредственно измерена температура и давление атмосферы планеты. Наибольшее значение температуры, зарегистрированное на поверхности планеты, составляет 475 ± 20 °С, а давление около 90 атм.

Полеты советских автоматических станций к Венере и Марсу приближают время, когда к далеким планетам будут совершаться экспедиции на обитаемых кораблях. Однако для этого надо решить много технических проблем.

За годы, прошедшие с момента запуска первого искусственного спутника Земли, советская и мировая космонавтика добилась поразительных успехов и оказала громадное влияние на развитие астрономии, электроники, биологии и других наук. Космическая техника уже сейчас имеет огромное практическое значение. Проникнув в космос, человек не только получил возможность лучше изучить свою колыбель — Землю, но и сделал первый шаг на пути освоения всей Солнечной системы.

Задачи

1. Из винтовки в воздухе произведен выстрел. Начальная скорость v_0 пули направлена под углом $\alpha = 45^\circ$ к горизонту и равна 900 м/с, а дальность полета составляет 5 км. Какое расстояние s пролетела бы пуля в безвоздушном пространстве?

2. Под каким углом α к горизонту надо произвести выстрел из орудия, чтобы высота подъема снаряда h была равна дальности полета s ? Спротивлением воздуха пренебречь.

3. За какое время ракета приобретет первую космическую скорость $v = 7,9$ км/с, если она будет двигаться с ускорением $a = 40$ м/с²?

4. Ракета, масса которой вместе с зарядом $M = 250$ г, взлетает верти-

кальню вверх и достигает высоты $h = 150$ м. Определите скорость истечения газов из ракеты, считая, что сгорание заряда происходит мгновенно. Масса заряда $m = 50$ г.

5. Третий советский искусственный спутник Земли двигался со средней скоростью $v = 7,9$ км/с. Какой кинетической энергией он обладал, если его масса $m = 1327$ кг?

6. С какой силой была прижата собака Лайка к своему лежаку во втором спутнике во время вертикального подъема, если ускорение движения ракеты ng , а масса Лайки m ?

7. Определите период обращения T корабля-спутника «Восток-3», считая его орбиту круговой и удаленной от поверхности Земли на $h = 220$ км.

8. Советский космический корабль «Восток-5» с космонавтом В. Быковским на борту $n = 81$ раз облетел Землю. Вычислите расстояние s , пройденное кораблем, считая его орбиту круговой и отстоящей от поверхности Земли на $h = 200$ км.

9. Межпланетная автоматическая станция «Марс-1» начала свой полет со скоростью $v_0 = 12$ км/с. Из-за притяжения Земли в конце первого миллиона километров ее скорость уменьшилась до $v = 3,9$ км/с. Считая движение равнозамедленным, вычислите время t , затраченное на этот перелет, и ускорение a .

О т в е т ы

$$1. s = \frac{v_0^2}{g}, s \approx 83 \text{ км.}$$

$$2. \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g} = \frac{2v_0^2 \sin \alpha \cos \alpha}{g}, \operatorname{tg} \alpha = 4, \alpha = 76^\circ.$$

$$3. t = \frac{v}{a}, t = 3,3 \text{ мин.}$$

$$4. v = \frac{(M - m) \sqrt{2gh}}{m}, v = 217 \text{ м/с.}$$

$$5. K = \frac{mv^2}{2}, K = 41 \cdot 10^6 \text{ кДж.}$$

$$6. F = (n + 1) gm.$$

$$7. \text{Круговая скорость равна: } v = \sqrt{\gamma \frac{M}{R+h}} \text{ (см. [2] § 55). Учитывая, что}$$

$$g_0 = \gamma \frac{M}{R^2}, \text{ имеем: } v = R \sqrt{\frac{g_0}{R+h}}. \text{ Разделив длину орбиты } 2\pi(R+h) \text{ на } v,$$

$$\text{получаем: } T = \frac{2\pi}{R} \sqrt{\frac{(R+h)^3}{g_0}}, T = 88,6 \text{ мин.}$$

$$8. s = 2\pi(R+h)n, s = 3,34 \text{ млн. км.}$$

$$9. t = \frac{2s}{v_0 + v}, t = 35 \text{ ч; } a = \frac{v - v_0}{t}, a = 6,5 \text{ см/с}^2.$$



СУХОПУТНЫЙ ТРАНСПОРТ И ТРЕНИЕ

ГЛАВА III

§ 1. Природа силы трения и ее свойства

При всех движениях, происходящих в природе и технике, перемещающиеся предметы всегда соприкасаются либо с другими предметами, либо с окружающей их сплошной жидкой или газообразной средой, например с воздухом или водой. Пешеход касается подошвами земли, трамвай колесами рельсов, пароход скользит по воде, а самолет рассекает крыльями воздух. Такое соприкосновение в большинстве случаев замедляет движение тел, сообщая им ускорение, направленное против относительной скорости движения. Это показывает, что на движущееся тело со стороны других тел или среды действуют силы, которые направлены вдоль поверхностей соприкасающихся тел. Они называются силами трения.

Величина силы трения зависит от состояния трущихся твердых поверхностей, а при движении твердого тела в воде или в воздухе — от его размеров и формы.

Главная особенность сил трения, отличающая их от гравитационных сил и сил упругости, состоит в том, что они зависят от относительной скорости движения тел, возрастая, как правило, с увеличением этой скорости, кроме того, с изменением направления скорости изменяется и направление силы трения.

Причиной трения является молекулярное сцепление между соприкасающимися поверхностями. Значительную роль играют также микроскопические бугорки и впадины, которыми всегда покрыты эти поверхности. При скольжении неровности обоих тел зацепляются, сминаются и разрушаются, молекулы начинают двигаться быстрее и трущиеся тела нагреваются.

Тепло, выделяющееся при трении, может быть очень велико. Так, при недостаточной смазке вагонных осей в подшипниках (буксах) выделяется столько тепла, что они начинают плавиться, и это может привести к аварии поезда.

Трение является причиной другого очень вредного явления — износа: изнашивается одежда и обувь, стираются и начинают пропускать газы поршневые кольца в цилиндрах моторов, срываются подшипники, разбалтываются и теряют плавность хода движущиеся части станков.

В технике для уменьшения сил трения, препятствующих движению, применяют различные способы: скользящие детали машин (цилиндры, поршневые кольца, ползунки, цапфы валов и т. д.) делают зеркально гладкими, смазывают их минеральными маслами, придают машинам форму, при которой трение воздуха минимально. Как показывает опыт, трение между разнородными поверхностями обычно меньше, чем между однородными. Учитывая это, вкладыши подшипников скольжения делают, как правило, из другого металла, чем цапфы вала. Замечено также, что, чем тверже скользящие поверхности, тем меньше трение. Вот почему подшипники в точных механизмах (например, в часах) изготавливают из очень твердых камней — агатов, рубинов и даже алмазов.

Однако во многих практически важных случаях трение полезно, без него не могло бы возникнуть и поддерживаться движение.

Рассмотрим, например, как движется автомобиль (рис. 41).

Сила трения \vec{F}_1 , действующая со стороны земли на ведомые передние колеса, и сила сопротивления воздуха \vec{F}_2 тормозят движение. Единственной внешней силой, способной привести автомобиль в движение, является сила трения \vec{F}_3 , толкающая ведущие задние колеса. Если бы не было этой силы, автомобиль буксовал бы на месте, несмотря на вращение ведущих колес.

Сила трения, действуя на ступни ног, сообщает телу ускорение, необходимое для начала движения или для остановки. Следует отметить, что силы трения возникают лишь в том случае, если какие-нибудь другие силы стремятся вызвать относительное движение тел (например, шин или ног относительно земли).

Для увеличения полезного трения также прибегают к различным средствам: в гололед дорогу посыпают песком; шайбы под гайками, чтобы они не отвергивались, делают с насечками; стальные стержни арматуры железобетонных конструкций снабжают ребристыми выступами и т. д.

Различают два вида трения: сухое, возникающее при скольжении или перекатывании твердого тела по твердому, и вязкое, которое наблюдается при скольжении твердого тела по жидкости или одного слоя жидкости относительно другого. Если тело скользит (например, сани по снегу или сухая ось в подшипнике), сухое трение называют трением скольжения, если тело

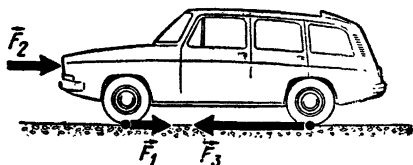


Рис. 41. Сила трения F_3 движет автомобиль

катится (например, бревно по земле или колесо по рельсам), сухое трение называют трением качения.

Примером вязкого трения может служить трение смазанной оси о втулку колеса, дирижабля о воздух, подводной лодки о воду. Вязкое трение в 8—10 раз меньше сухого. При смазке масло заполняет все неровности трущихся поверхностей и располагается между ними тонким слоем так, что они почти перестают касаться друг друга. При этом сухое трение сменяется вязким.

Пытаясь сдвинуть какое-нибудь тело, мы прикладываем к нему силу, параллельную поверхности, на которой оно стоит. Если сила недостаточно велика, тело остается в покое. Следовательно, при этом возникает сила, равная численно действующей, но направленная в противоположную сторону. Это сила трения покоя, которая с увеличением действующей силы тоже изменяется от нуля до некоторого максимального значения, оставаясь все время равной ей. Наконец, когда сдвигающая сила станет больше максимальной силы трения покоя, тело придет в движение. Именно сила трения покоя, приложенная со стороны земли к ведущим колесам автомобиля, движет его вперед. Действительно, соприкасающиеся места земли и шин находятся в относительном покое, а при проскальзывании шин колеса буксуют и автомобиль не движется.

Законы трения скольжения были открыты в XVII—XVIII вв. французскими учеными Амонтоном и Кулоном. Вот эти законы:

1. Сила трения $F_{\text{тр}}$ прямо пропорциональна силе нормального давления N тела на поверхность, по которой оно движется: $F_{\text{тр}} = \mu N$, где μ — безразмерный коэффициент, называемый коэффициентом трения.

2. Сила трения не зависит от площади контакта между трущимися поверхностями.

3. Коэффициент трения зависит от свойств трущихся поверхностей (качества обработки, материала, температуры).

4. Сила трения не зависит от скорости движения тела.

Триста лет исследований трения подтвердили правильность этих законов. Неверным оказался лишь четвертый закон. Опыты показали, что $F_{\text{тр}}$ скольжения уменьшается с увеличением скорости. Поэтому при остановке трамвайного вагона, когда скорость уменьшается, трение тормозных колодок о колеса увеличивается и во избежание толчка тормоз постепенно выключают.

§ 2. Транспорт на полозьях и на воздушной подушке

Выполняя работы по перемещению различных грузов, человек должен хорошо знать законы трения скольжения. А такие работы по перемещению громадных статуй и монолитов для строительства зданий приходилось выполнять еще людям Вавилона, Египта и других стран древнего мира. Так, например, в святилище фараона Менкаура вес многих каменных блоков достигает 2000 кН, а в хра-

ме фараона Хафра есть монолиты по 4300 кН. Все эти камни доставлялись к месту постройки на санях с деревянными полозьями. До сих пор около египетских пирамид на толстых дорожных плитах можно видеть глубокие борозды от полозьев, свидетельствующие о том, что здесь в течение многих лет возили огромные тяжести. На этих же санях сотни рабов, подгоняемых плетками надсмотрщиков, тянули каменные монолиты вверх на пирамиду по наклонной плоскости, сложенной из камней и песка. Сооружение такого склона само по себе было связано с большими работами, так как его объем достигал примерно пятой части объема пирамиды. Поверх склона на некотором расстоянии друг от друга укладывали бревна или брусья и настилали на них слой глины. Смоченная глина служила смазкой и облегчала скольжение саней.

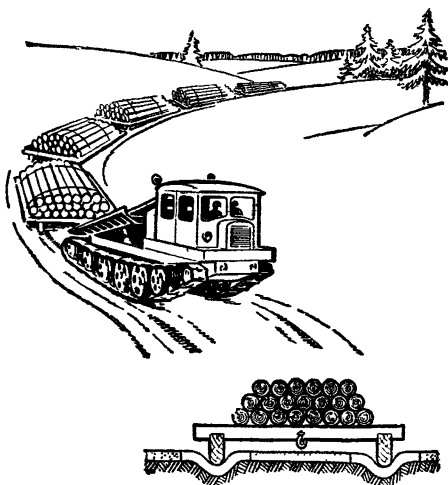


Рис. 42. Ледяная дорога

Перевозки на санях широко используются и в наши дни, например в лесной промышленности для доставки леса зимой по ледяным дорогам к сплавным рекам. При постройке такой дороги снег хорошо укатывают и обливают водой, которая после замерзания образует прочные ледяные «рельсы». Величина трения стальных полозьев о такие «рельсы» очень мала. Это объясняется особыми свойствами льда, небольшие участки которого под полозьями плавятся, образуя водяную смазку, уменьшающую трение. Поэтому по ледяной дороге можно перевозить громадные грузы. Пара лошадей, запряженных в сани, легко тянет по ней более 10 м³ дров, а с помощью трактора перевозят целые санные поезда, груженные лесом (рис. 42).

Неоценимым средством для доставки людей и грузов по необъятным снежным просторам нашего Крайнего Севера служат аэросани. Первые аэросани в России были построены в 1903 г. А. С. Кузиным. В разработке первых советских аэросаней принимали участие выдающиеся инженеры и ученые

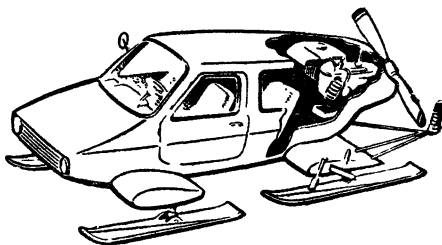


Рис. 43. Аэросани

Е. А. Чудаков, Б. С. Стечкин, А. Н. Туполев и другие. Одна из конструкций аэросаней, используемых полярниками для доставки почты, пушнины, золота и других грузов, изображена на рисунке 43.

Закрытый кузов этих аэросаней рассчитан на двух человек. Если аэросани провалятся в полынью, расположенные по бокам корпуса полые балки (поплавки) не дадут им утонуть. К поплавкам крепятся четыре лыжи, снабженные амортизаторами, благодаря которым резкие толчки почти не передаются корпусу. Лыжи, как и корпус, сделаны из стеклопластика и покрыты полиэтиленом, чтобы было легче сдвинуть сани в оттепель. Передняя пара лыж управляется обычным автомобильным рулем. Продольные ребра на лыжах, предохраняющие аэросани от бокового смещения, и широкая колея делают езду безопасной. Воздушный винт диаметром 1,6 м, создающий тяговое усилие, приводится во вращение четырехтактным бензиновым мотором, имеющим мощность 25 кВт. Запас бензина обеспечивает дальность хода 350 км, а максимальная скорость саней достигает 70 км/ч. В сильный мороз кабина подогревается специальным бензиновым отопителем.

Стремление увеличить скорость движения транспортных машин за счет наибольшего уменьшения трения привело к созданию аппаратов с воздушной смазкой или на воздушной подушке.

Большой вклад в обоснование идеи воздушной подушки внес К. Э. Циолковский. В своей книге «Сопротивление воздуха и скорый поезд» (1927 г.) он описал проект поезда на воздушной подушке (рис. 44).

Согласно проекту установленный в вагоне воздушный насос должен был засасывать воздух через переднее жерло Ж вагона В.

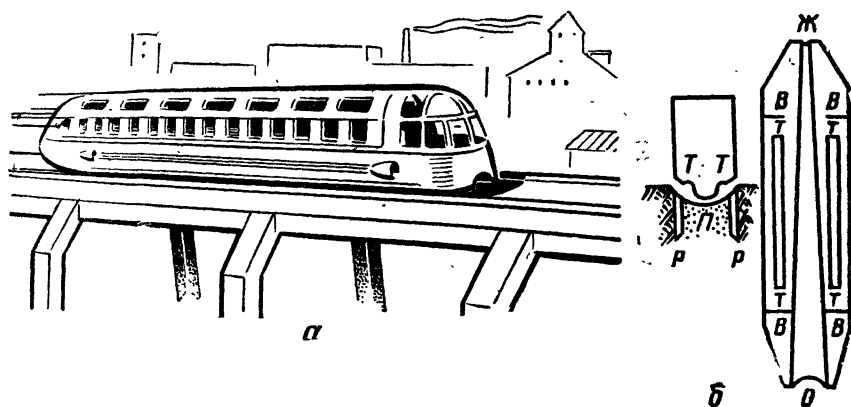


Рис. 44. Проект поезда на воздушной подушке, разработанный К. Э. Циолковским:

а — общий вид; б — схематическое изображение вагона (вид сверху)

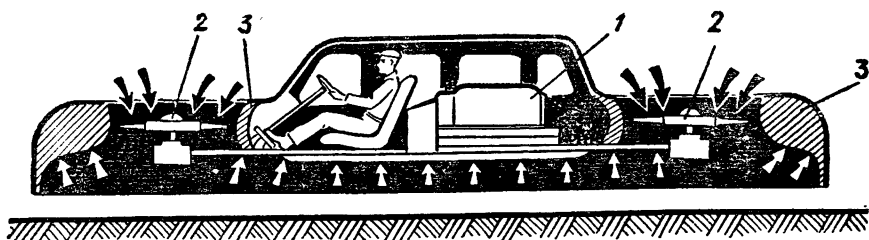


Рис. 45. Схема вездехода-автомобиля на воздушной подушке:
 1 — двигатель; 2 — вентиляторы; 3 — куполообразная воздушная камера

Далее насос сжимал этот воздух, причем часть сжатого воздуха выходила через заднее отверстие (сопло) *O*, создавая реактивную тягу, движущую вагон вперед. Другая часть сжатого воздуха накачивалась в полукруглые каналы *T—T* и распространялась в узкой щели между полотном дороги *П* и дном вагона. Поднимая вагон на несколько миллиметров, воздух вырывается по краям основания вагона. Таким образом, поезд не трется о полотно дороги, а висит на тонком слое воздуха и может двигаться почти без трения с большой скоростью.

Проекты и модели подобных поездов на воздушной подушке, очень похожие на проект К. Э. Циолковского, создаются и испытываются в настоящее время в ряде стран.

Идеи, впервые выдвинутые Циолковским, используются также при постройке безрельсовых аппаратов на воздушной подушке. Принцип действия такого аппарата поясняет рисунок 45. Установленный на машине двигатель *1* приводит во вращение два вентилятора *2*, нагнетающих сжатый воздух под куполообразное основание *3*. Под машиной образуется избыточное давление (воздушная подушка), поддерживающее ее в воздухе. Одна часть нагнетаемого воздуха вытекает наружу через щель между основанием машины и почвой; другая часть направляется в специальные боковые сопла и выпускается назад, благодаря чему создается реактивная горизонтальная тяга, движущая аппарат вперед. Во многих машинах тяга создается воздушным винтом, приводимым во вращение от отдельного двигателя или с помощью трансмиссии от основного двигателя. Для создания тяги применяют также турбореактивные двигатели.

Воздушная подушка распределяет вес аппарата на всю площадь основания, благодаря чему давление на почву составляет всего 700—1500 Н/м². Это во много раз меньше давления автомобиля (300 000 Н/м²) и даже трактора (до 20 000 Н/м²). Во время движения аппарат не касается земли и потому испытывает ничтожно малое трение. Все это обеспечивает машине большую скорость (до 250 км/ч) и вездеходность. Машины на воздушной подушке могут успешно

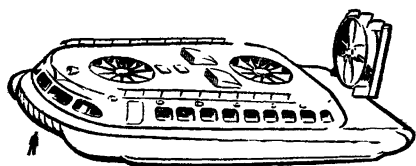


Рис. 46. Советское судно на воздушной подушке «Нева»

передвигаться над пашней и снегом, над водой и болотом, во время весенней распутицы и в половодье.

Управление аппаратами на воздушной подушке осуществляется, как и у самолетов, воздушными рулями. В ряде случаев используют аэродинамические

рули, которые устанавливают в потоке воздуха, отбрасываемого воздушным винтом или реактивным двигателем.

В настоящее время у нас и за границей конструируются машины на воздушной подушке двух видов:

- 1) речные суда для движения по малым рекам и мелководью и над руслами высохших рек;
- 2) автомобили-вездеходы для движения по бездорожью, распутию, топям и т. д.

К машинам первого вида принадлежит советское пассажирское судно «Нева», построенное в 1962 г. Центральным конструкторским бюро Министерства речного флота РСФСР под руководством В. А. Липинского (рис. 46).

Корпус судна образуют две лодки шириной по 1 м каждая. Эти лодки обладают плавучестью и позволяют судну держаться на воде без воздушной подушки. Длина корпуса судна 17,7 м, ширина 6,6 м. В центральной его части размещаются два больших вентилятора, приводимые во вращение двумя авиационными двигателями мощностью по 160 кВт. Третий двигатель вращает тянущий винт, установленный на корме в кольцевом канале. В воздушном потоке этого винта расположены два больших руля для управления судном на больших скоростях. При движении с малой скоростью судном управляют с помощью обычных опущенных в воду рулей. Управление рулями производят из двухместной кабины судна. Вентиляторы засасывают воздух через отверстие в надстройке судна и нагнетают его в воздушную камеру под основание судна. Расход воздуха через каждый вентилятор составляет $55 \text{ м}^3/\text{с}$. Судно может перевозить 38 пассажиров, которые размещаются в двух длинных салонах, расположенных по его бокам. Весит судно «Нева» около 120 кН, а скорость его доходит до 60 км/ч; на каждый 1 кВт мощности двигателей у него приходится около 270 Н веса, что в несколько раз больше, чем у самолетов и вертолетов.

Примером автомобиля-вездехода на воздушной подушке может служить советский аппарат «Вихрь» (рис. 47). Его корпус имеет прямоугольную

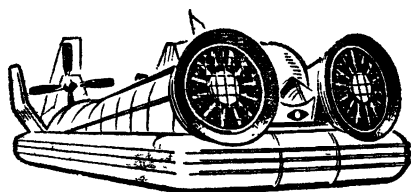


Рис. 47. Советский вездеход на воздушной подушке «Вихрь»

форму и снабжен сверху двумя длинными каналами. В их передней части находятся вентиляторы, направляющие воздух в кольцевое сопло. В задней части корпуса установлены воздушные винты, создающие горизонтальную тягу, и два аэродинамических рудя. Кабина экипажа расположена в носовой части аппарата между каналами. Некоторые автомобили-вездеходы на воздушной подушке снабжают также колесами для движения по хорошей дороге.

Аппараты на воздушной подушке открывают перед техникой большие возможности для увеличения вездеходности и скорости движения, однако они обладают еще многими недостатками.

Главным недостатком аппаратов на воздушной подушке является их низкая экономичность, вызываемая громадным расходом воздуха. Чтобы приподнять машину над почвой, приходится ставить вентиляторы большой мощности. Поэтому аппараты на воздушной подушке стоят значительно дороже и расходуют больше топлива, чем автомобили и водоизмещающие суда.

Кроме того, небольшие неровности почвы, например неглубокие ямы и овраги, небольшие волны на реке и т. д. сильно затрудняют движение таких аппаратов: пока они могут преодолевать только пологие подъемы с крутизной склонов не более $10\text{--}15^\circ$. Конструкторы упорно работают над устранением этих недостатков. В настоящее время в ряде стран разрабатывают проекты морских и сухопутных боевых машин на воздушной подушке. Такие машины будут преодолевать непроходимые для танков болота, высаживать на морское побережье десанты и выполнять другие операции.

§ 3. Транспортировка на катках и колесах

При качении круглого тела по поверхности другого тела возникает тормозящая сила трения, которую называют трением качения.

Теория происхождения сил трения качения еще мало разработана, однако при упрощающих предположениях можно сделать ряд заключений о их направлении и свойствах. Пусть стальной каток катится (по инерции) без скольжения по горизонтальной поверхности. При этом и каток и поверхность деформируются так, как это изображено (в увеличенном виде) на рисунке 48. Катку все время приходится «выбираться» из образующейся под ним ямки, подминающей под себя грунт. Постепенно каток останавливается,

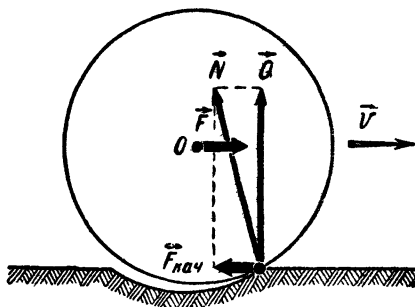


Рис. 48. Как возникает трение качения

причем его механическая энергия переходит в энергию теплового движения молекул катка и горизонтальной поверхности. Рассмотрим силу упругой деформации \vec{N} , с которой грунт действует на каток. Так как сила \vec{N} тормозит движение катка, ее направление должно проходить правее его оси O : только в этом случае момент силы \vec{N} относительно оси O может сообщить катку ускорение, направленное против относительной скорости. Разложим \vec{N} на две составляющие — горизонтальную $\vec{F}_{\text{кач}}$ и вертикальную \vec{Q} . $\vec{F}_{\text{кач}}$ и представляет собой силу трения качения, а \vec{Q} приблизительно равна силе давления P , прижимающей каток к поверхности, по которой он катится. Если на ось колеса станет действовать сила $\vec{F} = \vec{F}_{\text{кач}}$, оно покатится равномерно. При $\vec{F} > \vec{F}_{\text{кач}}$ движение будет ускоренным.

Опыт показывает, что сила трения качения прямо пропорциональна нормальному давлению P катящегося тела на поверхность, по которой оно катится, и может быть записана так:

$$F_{\text{кач}} = kP,$$

где k — коэффициент качения, который обратно пропорционален радиусу катящегося тела и зависит от материала и свойств как самого тела, так и свойств поверхности. При одинаковом давлении на поверхность трение качения в десятки раз меньше трения скольжения. Это свойство трения качения было хорошо известно строителям древнего мира, которые при передвижении каменных плит подкладывали под них катки. Много таких катков — цилиндров и шаров диаметром до 40 см, сделанных из очень твердого камня, было найдено археологами около пирамиды египетского фараона Джосера.

Примером транспортировки на катках больших тяжестей в более позднее время служит перевозка в XVIII в. постамента для знаменитой статуи Петра I в Петербурге. Подходящая для постамента каменная глыба весом 16 500 кН была найдена на Карельском перешейке, в 15 км от Сенатской площади, на которой стоит сейчас памятник. Гигантскую глыбу передвигали по особым желобам на медных шарах. Во время пути, продолжавшегося около двух лет, про-

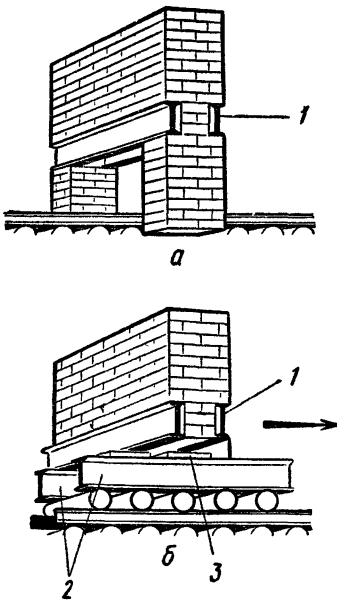


Рис. 49. Схема подготовки здания для передвижения на новое место

изводилась обработка камня, которому придали форму набегающей волны. В память о передвижении постаментов была выбита специальная медаль с надписью «Дерзновению подобно».

В наши дни с помощью катков передвигают еще большие тяжести, например громадные каменные здания высотой в несколько этажей. Передвигать дома приходится при расширении улиц или в тех случаях, когда на пути вновь прокладываемой улицы стоит здание. Чтобы передвинуть здание, надо прежде всего отделить его от старого фундамента. Для этого на уровне намечаемого среза в капитальные стены заделывают поясные стальные балки, образующие под зданием жесткую обвязку 1 (рис. 49). Затем под балками обвязки в стенах пробивают сквозные гнезда (рис. 49, а) и устанавливают рельсовые пути. На рельсы укладывают стальные катки (рис. 49, б), а на них — ходовые двутавровые балки 2, расположенные по направлению передвижения дома непосредственно под поясными балками. После этого между поясными и ходовыми балками забивают стальные клинья 3, благодаря чему нагрузка от здания передается на ходовые конструкции (ходовые балки, катки, рельсы и шпалы). Затем кладка стен под поясными балками разбирается.

Тяговое усилие, передвигающее здание, создается электрическими лебедками и домкратами. Скорость движения по каткам каменного здания достигает 10 м/ч. Вместе со зданием перемещаются и его жильцы. При этом нормальная жизнь дома не нарушается, так как предварительно трубы канализации, водопровода, а также электрические и телефонные кабели срезаются выше уровня поясных балок и с помощью временных вставок из гибких рукавов, шлангов и кабелей присоединяются каждый к своим сетям. Здание передвигают на катках до тех пор, пока оно не окажется на заранее подготовленном новом фундаменте. Затем все промежутки между путями от фундамента до ходовых балок заполняют кирпичной кладкой, выбивают клинья между поясными и ходовыми балками, вытаскивают по каткам из-под дома ходовые балки, убирают рельсы и шпалы. После этого заполняют кирпичной кладкой проемы в стенах, которые были заняты ходовыми конструкциями.

Трение качения играет огромную роль в современной технике. Оно возникает при вращении колес, барабанов, валков и катков, которые имеются

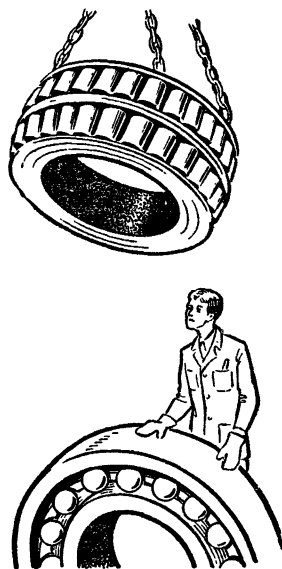


Рис. 50. Гигантские подшипники, изготовленные на Первом подшипниковом заводе в Москве

почти во всех станках и транспортных машинах. Одним из главных средств борьбы за уменьшение трения в машинах и механизмах является использование подшипников качения, в которых трение скольжения оси во втулке заменяется трением качения шариков или цилиндров (роликов).

Советская промышленность производит многие миллионы подшипников качения разных размеров, которые используются почти во всех отраслях техники. Например, для часовых механизмов и точных измерительных приборов изготавливают подшипники диаметром 1,5—2 мм с шариками диаметром 0,075 мм. Громадных размеров достигают подшипники качения, предназначенные для прокатных станов и подъемных кранов. Один из таких гигантов (1,5 м в поперечнике, весом 40 кН) изображен на рисунке 50.

Заменять трение скольжения трением качения люди научились еще в глубокой древности.

Величайшим событием в истории цивилизации было изобретение колеса, которое оказало громадное влияние на развитие всей техники, и особенно транспорта.

Качение колеса — это сложное движение. Действительно, колесо радиуса R , катящееся по плоской поверхности (рис. 51), участвует одновременно в двух движениях: все его точки движутся поступательно со скоростью v его центра O и вращаются с угловой скоростью ω .

Скорость каждой точки колеса есть геометрическая сумма скоростей поступательного и вращательного движения. Если колесо катится без проскальзывания, его нижняя точка O_1 должна находиться в покое относительно плоской поверхности. Следовательно, через точку O_1 проходит в каждый момент мгновенная ось вращения, меняющая непрерывно свое положение в пространстве. Скорость нижней точки складывается из скорости поступательного движения v , направленной вперед, и линейной скорости вращательного движения ωR , направленной назад. Поэтому $v - \omega R = 0$, или $v = \omega R$. Это условие качения без скольжения.

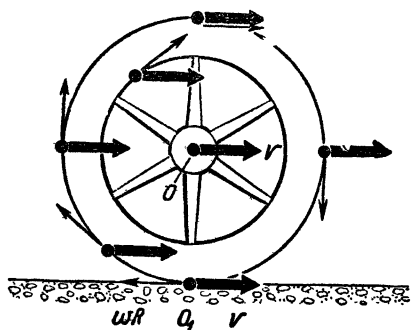


Рис. 51. Качение колеса — сложное движение

Первые колесные повозки (колесницы) появились 5000 лет назад в странах древнего Востока. Изображение такой колесницы (рис. 52) найдено при раскопке царских могил около древнего города Ура на побережье Евфрата. В колесницу, имевшую четыре колеса, изготовленных в виде сплошных деревянных дисков, запрягали ослов.

Значительно позже — в XVI в. до н. э. в Египте и Вавилоне появились колеса со

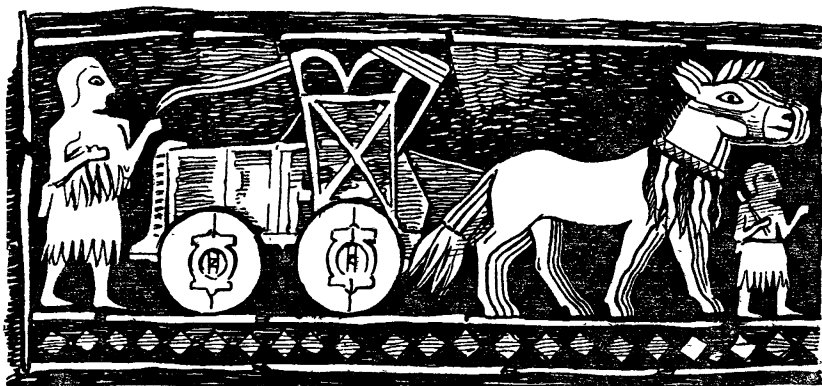


Рис. 52. Древнейшая повозка с колесами в виде сплошных дисков (3 тыс. лет до н. э.)

спицами. Это новшество позволило значительно уменьшить вес колесниц и увеличить их скорость.

Поскольку в древние и средние века специальных дорог для перевозок не строилось, то для передвижения приходилось делать очень крепкие и потому тяжелые повозки, иначе они сразу бы развалились от ударов колес о камни и рытвины. Перевозили на повозках главным образом грузы, а путешествовали или верхом, или в ручных носилках. Лишь в XV в. были созданы более удобные и спокойные экипажи-кареты. Кузов кареты подвешивали к раме повозки на ремнях, которые действовали как рессоры, смягчая толчки колес на ухабах.

Начиная с XVII в. в связи с ростом городов и развитием ремесленного производства и торговли появляется потребность в многоместных экипажах общественного пользования. Такие наемные экипажи (дилижансы, фиакры, «волчки» и т. д.) появляются сначала во Франции и в России, а затем в других европейских странах. В течение XV—XIX столетий мастера-каретники создали множество новых типов экипажей, однако все они имели один весьма существенный недостаток: для их движения использовались лошади и другие животные, которые нуждались в уходе и пище. В некоторые тяжелые экипажи по бездорожью приходилось запрягать до 18 лошадей.

Многие изобретатели XVII—XIX вв. были заняты поиском двигателя для экипажей, который смог бы заменить мускульную силу животных. Таким двигателем в XVII—XVIII вв. могли быть только мускульная сила человека и сила ветра, уже давно использовавшаяся для движения парусных кораблей и ветряных мельниц.

Первую сухопутную парусную повозку построил в 1599 г. известный голландский физик Симон Стевин. Она развивала весьма большую для того времени скорость (34 км/ч), вмещала 28 человек и совершала рейсы вдоль морского берега. Управляли повозкой

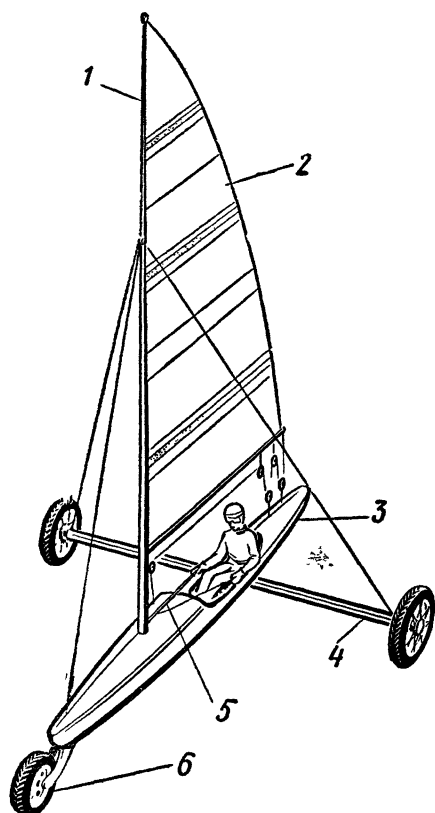


Рис. 53. Современный сухопутный парусник:

1 — мачта; 2 — парус; 3 — корпус; 4 — поперечный брус; 5 — румпель; 6 — рулевое колесо

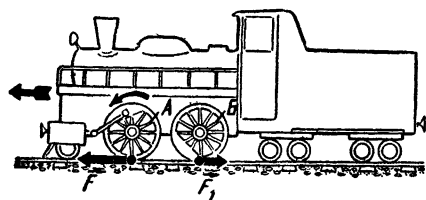


Рис. 54. Движение паровоза по рельсам:

F — сила трения покоя, создающая поступательное движение; F_1 — сила трения, тормозящая движение ведомых колес

с помощью длинного рычага, который поворачивал ось задних колес, укрепленную на вертикальном стержне (шкворне). Однако ветросиловые поправки распространения не получили, так как при слабом ветре и по холмистой местности они двигаться не могут. В настоящее время их используют для спортивных целей. Так, например, в 1967 г. под руководством французского спортсмена Жака Дю Буше состоялся переход длиной 2600 км на 12 сухопутных яхтах через Сахару. Сухопутный парусник представляет собой устойчивую раму на трех колесах с пневматическими шинами, на которой укреплена кабина спортсмена и большой парус (рис. 53). Парусник весит около 1700 Н и может двигаться по ровному грунту со скоростью до 70 км/ч, а по шоссе до 90 км/ч.

§ 4. Самодвижущиеся колесные экипажи

Самодвижущимся называют экипаж, который заключает двигатель в себе самом. Например, паровоз снабжен паровой машиной, троллейбус — электродвигателем. Согласно третьему закону Ньютона без действия нет противодействия. Поэтому ни одна машина сама по себе не может сообщить движение всему экипажу. Для этого необходимо второе тело, противодействию которого и движется экипаж. Таким телом обычно является земля, а противодействием служит сила трения между ведущими колесами и полотном дороги.

Рассмотрим движение паровоза по рельсам (рис. 54). При включении паровой машины возникают силы, которые должны вызвать вращение его ведущих колес A (в данном случае против часовой стрелки). Но если бы колеса начали вращаться, а локомотив оставался неподвижным, то ведущие колеса скользили бы по рельсам вправо. Поэтому между колесами и рельсами возникает сила трения покоя \vec{F} , действующая параллельно рельсам, против направления возможного скольжения колес, т. е. влево. Сила \vec{F} , не давая колесам скользить, заставляет их вращаться и движет паровоз вперед. Это действительно сила трения покоя: ведь точки колес локомотива, соприкасающиеся с рельсами, в момент соприкосновения неподвижны относительно них.

Когда включают паровую машину, по мере увеличения давления пара в ее цилиндре растет и сила F от нуля до наибольшего значения $F_{\text{макс}}$, которое пропорционально силе давления колес на рельсы. Поэтому, чтобы возросла тяга паровоза, надо не только ставить на него более мощную машину, но и увеличивать его вес.

Остановку поезда производят с помощью тормоза. Тормозные колодки с силой нажимают на бандажи колес, отчего между прижатыми поверхностями возникает трение, замедляющее вращение колес. Это в свою очередь вызывает появление силы трения колеса о рельс, которая направлена против движения поезда и останавливает его.

К самодвижущимся повозкам относятся мускульно-силовые экипажи, перемещающиеся благодаря мускульным усилиям человека. Наиболее удачные конструкции таких экипажей были разработаны в России.

Ни у нас, ни за границей мускульно-силовые экипажи на трех и четырех колесах не получили распространения, так как силы одного или двух человек слишком малы, чтобы двигать самокат с достаточной скоростью. При большем числе людей, обслуживавших экипаж, его приходилось делать более прочным и, следовательно, более тяжелым, и потому он оставался тихоходным.

Только двухколесные самокаты — велосипеды, рассчитанные на одного человека, удалось сделать в конце концов легкими и быстроходными. Первый велосипед был выкован из железа в начале прошлого века крепостным мастером Уральско-го завода Артамоновым. Велосипед Артамонова (рис. 55) состоял из легкой рамы, двух колес разного диаметра, руля и сиденья. Ось большого переднего колеса была снабжена педалями, с помощью которых

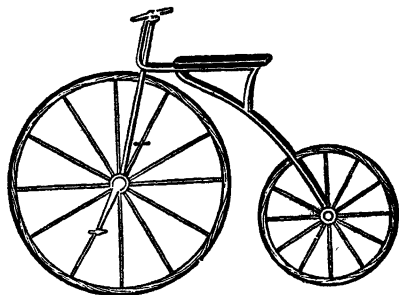


Рис. 55. Велосипед Артамонова (1801 г.)

седок приводил его во вращение и этим двигал велосипед. На своей машине изобретатель совершил далекое путешествие из уральского города Верхотурье в Москву и обратно; проехав по ухабистым дорогам свыше 5000 км. За это царь Александр I «пожаловал» Артамонову 50 рублей и «вольную», т. е. освобождение от крепостной зависимости.

Деревянная беговая машина на двух колесах (рис. 56), построенная через 12 лет Карлом Драйзом, которого в Западной Европе считают создателем велосипеда, не имела педалей, передающих усилие седока колесам. Седок, отталкиваясь от земли ногами, бежал по ней. Чтобы сохранить ботинки, он надевал на них железные носки. Для управления машиной служила длинная штанга, с помощью которой седок поворачивал переднее колесо. Беговая машина Драйза передвигалась со скоростью до 12 км/ч и использовалась почтальонами.

Понадобилось сто лет, чтобы велосипед приобрел современную форму. В 1840 г., через 28 лет после Драйза, независимо от Артамонова западные конструкторы приделали к переднему колесу педали, которые позволяли ездить, не касаясь земли ногами. В 1845 г. велосипед снабдили тормозом, а в 1865 г. — литыми резино-

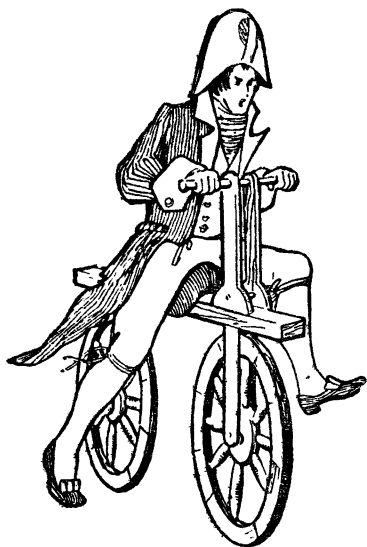


Рис. 56. Беговая машина Драйза (1813 г.)



Рис. 57. Велосипед конца XIX в.

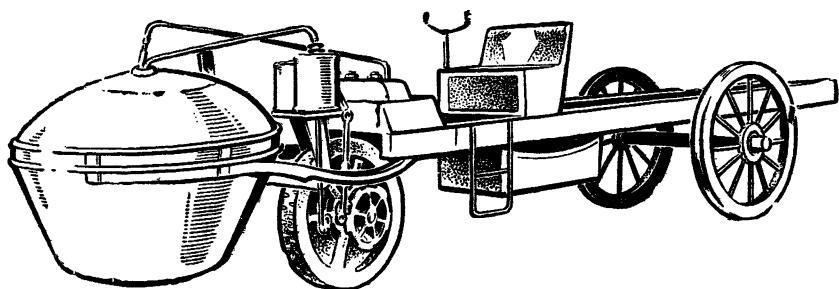


Рис. 58. Первый в мире самодвижущийся экипаж — паровая повозка Кюньо (1769 г.)

выми шинами. Еще через пять лет тяжелые колеса велосипеда заменили легкими металлическими ободьями, стянутыми тонкими спицами, а раму стали делать из полых железных трубок. Это очень облегчило машину и позволило увеличить диаметр переднего колеса (рис. 57). С таким колесом велосипедист за один оборот педалей проезжал гораздо большее расстояние. В 1869 г. велосипедные втулки снабдили шариковыми подшипниками, которые сразу повысили скорость и значительно уменьшили усилия седока. В 1884 г. была изобретена цепная передача. Теперь можно было, поставив на педалях крупную, а на заднем колесе малую шестеренку, совершая педалями один оборот, получить несколько оборотов заднего колеса. После этого отпала необходимость в большом переднем колесе и велосипед уменьшился в размерах. Через шесть лет англичанин Денлоп поставил машину на дутые резиновые шины. Она стала двигаться быстро, бесшумно и без тряски. Наконец, в 1897 г. велосипед получил механизм свободного хода. Так появился современный велосипед — замечательная по своим качествам машина — «жемчужина» конструкторского мастерства, как говорят о ней инженеры¹.

Создание многоместных самодвижущихся экипажей стало возможным только после того, как во второй половине XVIII в. была изобретена паровая машина.

Первую в мире самодвижущуюся повозку построил в 1769 г. французский инженер Николай Кюньо. Ее основу (рис. 58) составляла тяжелая дубовая рама на трех колесах. Переднее колесо несло на себе железный подрамник, на котором была закреплена двухцилиндровая пароатмосферная машина мощностью 1,47 кВт и висел котел с топкой. Для управления повозкой служила рукоятка, соединенная цепями с ведущим колесом. Вращая рукоятку, водитель поворачивал переднее колесо вместе с паровой машиной и котлом, вес которых достигал 20 кН. Повозка Кюньо могла дви-

¹ Об устройстве современного велосипеда см.: Книга для чтения по физике, ч. I. М., 1958, с. 145.

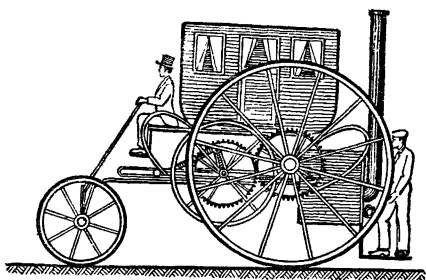


Рис. 59. Паровой автомобиль Р. Треветика

гаться со скоростью 2—4 км/ч, но была очень громоздкой и трудноуправляемой. Поэтому во время испытаний она налетела на каменную стену и разбилась. Кюньо не удалось усовершенствовать свою машину, и после смерти изобретателя, в 1804 г., ее сдали в Парижский музей искусств и ремесел, где она хранится до сих пор.

С начала XIX в. в связи с быстрым развитием торговли и промышленности проблема создания парового транспорта привлекла к себе внимание многих изобретателей. К этому времени относится постройка первого парового автомобиля (рис. 59), сконструированного англичанином Ричардом Треветиком. Паровая машина, имевшая один горизонтально расположенный цилиндр, была установлена вместе с котлом в задней части экипажа. Движение поршня с помощью кривошипно-шатунного механизма и зубчатых шестерен передавалось ведущим колесам автомобиля. Паровые машины того времени были тихоходны, и, чтобы экипаж двигался с достаточной скоростью, ведущие колеса пришлось сделать громадных размеров. Дороги Англии были непригодны для нового вида транспорта, автомобиль Треветика неоднократно ломался на ухабах, в силу чего и не получил практического применения.

Постепенно паровые машины были значительно усовершенствованы: уменьшился их вес и размеры, сократился расход топлива, а мощность возросла в 8—10 раз. Это позволило использовать их в качестве двигателя для многоместных пассажирских экипажей, которые появились на дорогах Англии в 30-х годах прошлого века и совершали рейсы со скоростью до 30 км/ч.

Паровые автомобили просуществовали до 20-х годов нашего века, когда их вытеснили автомобили с двигателем внутреннего сгорания.

Наряду с постройкой и применением паровых автомобилей происходило быстрое развитие рельсового парового транспорта. Рельсовые деревянные и железные пути использовались на многих рудниках еще в XVIII в. В конце века рельсы начали отливать из чугуна, а затем прокатывать из стали. Ричард Треветик был первым изобретателем, которому пришла мысль поставить паровой экипаж на рельсы и прицепить к нему «поезд» из вагонеток. Так был создан первый паровоз (рис. 60). Он имел только один паровой цилиндр, поэтому, чтобы сгладить толчки и сделать движение плавным, изобретатель применил тяжелый маховик, который аккумулировал энергию паровой машины. Передаточный механизм состоял из системы шестерен, связывающих маховик с ведущими

колесами. Такое устройство локомотива имело большой недостаток: при его торможении маховик продолжал вращаться, вызывая поломку шестерен. Поэтому все другие конструкторы паровозов применяли паровую машину с двумя цилиндрами без маховика. Пар поступал в цилиндры в разные моменты времени, что делало движение локомотива более равномерным.

Первые паровозы были очень несовершенны, часто ломались и пожирали слишком много топлива. Промышленники не проявляли интереса к постройке таких машин. Решение проблемы парового транспорта связывают обычно с именем выдающегося английского инженера Джорджа Стефенсона. Он построил лучший для того времени паровоз «Ракета», который в 1829 г. во время конкурсных испытаний превзошел паровозы других конструкторов по всем показателям. Паровоз «Ракета» (рис. 61) весил 173 кН, имел паровую машину мощностью 9 кВт и развивал небывалую для того времени скорость — 21,56 км/ч.

Большую роль в русском паровозостроении сыграли инженеры и ученые А. П. Бородин, Е. Е. Нольтейн, Н. П. Петров и другие. Самыми мощными и совершенными паровозами дореволюционной России были товарный паровоз серии «Э» и пассажирский серии СУ. Первый из них при весе 805 кН развивал мощность 1000 кВт при скорости 40 км/ч. Скорость паровоза СУ достигала 110 км/ч. После Великой Октябрьской социалистической революции паровозостроение в нашей стране стало развиваться гораздо более быстрыми темпами. Мощность советских паровозов достигает 2000 кВт, скорость товарных 80 км/ч, а пассажирских 150 км/ч.

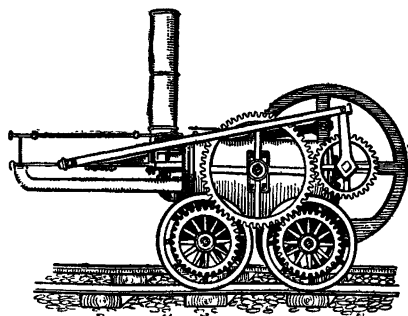


Рис. 60. Паровоз Р. Треветика

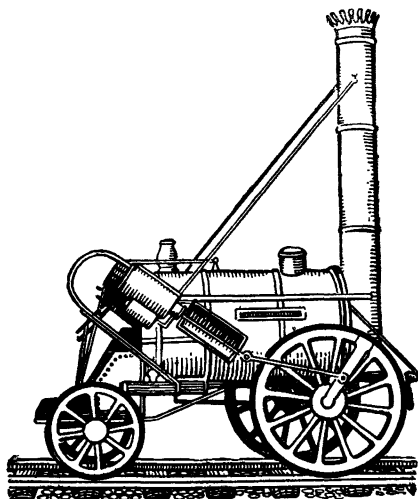


Рис. 61. Паровоз Д. Стефенсона
(1829 г.)

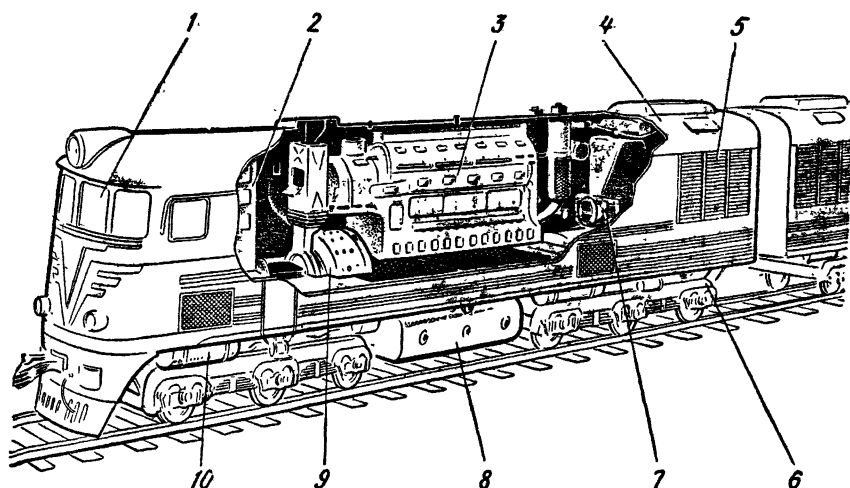


Рис. 62. Схема тепловоза:

1 — кабина; 2 — камера электрооборудования; 3 — дизель; 4 — кузов; 5 — холодильник; 6 — рама тележки; 7 — компрессор; 8 — топливный бак; 9 — тяговый генератор; 10 — воздушный резервуар

Паровозы внесли громадные изменения в сухопутный транспорт. За 160 лет существования паровых локомотивов земной шар покрылся густой сетью рельсовых путей, в тысячи раз возросли потоки перевозимых грузов. Однако паровозы обладают крупными недостатками: очень низок (7%) к.п.д. паровых машин, через каждые 100—150 км пути паровоз приходится отцеплять от состава и снабжать топливом и водой. В наши дни паровозы доживают свой век. Им на смену приходят более мощные и экономичные тепловозы и электровозы.

Тепловоз¹ представляет собой локомотив, приводимый в движение двигателем внутреннего сгорания — дизелем. Применение дизелей на транспорте первое время встречало большие трудности. Дело в том, что двигатель любого локомотива при малой скорости (например, при трогании с места или на крутом подъеме) должен развивать большую мощность. Наоборот, при спуске с горы, когда скорость возрастает, мощность идет лишь на преодоление трения и потому должна быть небольшой. Именно такими качествами обладает паровая машина, так как ее мощность легко регулировать, увеличивая или уменьшая количество пара, поступающего в паровой цилиндр. У дизеля мощность пропорциональна скорости движения его поршня. Чем быстрее движется поршень, тем больше топлива поступает в цилиндр и тем большую мощность развивает двигатель, и, если его вал механически соединить с ося-

¹ При описании тепловоза использована статья В. Сильвестрова «Хозяин стальных километров» из журнала «Юный техник», № 11 за 1966 г., с. 31.

ми ведущих колес, локомотив не сдвинется с места. Первый тепловоз, на котором изобретатель дизеля Р. Дизель установил свой двигатель, трогался с места при помощи сжатого воздуха. Лишь после разгона, когда локомотив приобретал достаточную скорость, включали дизель. Использование сжатого воздуха вызывало большие неудобства, однако Р. Дизель не смог усовершенствовать свой тепловоз, так как в 1913 г. загадочно исчез с парохода, плывшего из Бельгии в Англию. Лишь в 1924 г. советский ученый Л. М. Таккель построил первый тепловоз, пригодный для практического использования. Таккель вместо механической передачи движения от дизеля к ведущим колесам локомотива применил электрическую. В таких локомотивах (рис. 62) дизель вращает якорь генератора постоянного тока. От генератора ток поступает в электродвигатели, которые с помощью системы шестерен вращают ведущие колеса тепловоза. Гораздо дешевле обходится гидравлическая передача. В этой передаче дизель приводит в действие насос, который под большим давлением подает масло на лопатки турбины. Вращение колеса турбины передается через систему шестерен ведущим колесам тепловоза. Насос и турбину часто объединяют. Этот механизм называется гидромuftой. Тепловозы большой мощности с гидравлической передачей имеют, однако, сравнительно малый к.п.д. Поэтому она используется главным образом на тепловозах малой и средней мощности.

За 50 лет своего существования тепловозы неузнаваемо изменились. Если первый тепловоз при весе 20 кН имел мощность 6 кВт, то вес современных тепловозов достигает 200 кН, мощность 15 000 кВт, а к.п.д. 34%.

Наряду с паровозами, тепловозами и электровозами широко используется безрельсовый автомобильный транспорт. Пробразом современного автомобиля обычно считают самодвижущиеся повозки немецких механиков Г. Даймлера и Бенца. В 1883 г. Даймлер изобрел легкий двигатель внутреннего сгорания, работавший на смеси паров бензина с воздухом, и установил его на обычный конный экипаж. Несколько позже построил свой трехколесный автомобиль (рис. 63) Бенц, снабдив его довольно громоздким бензиновым двигателем, один маховик которого весил 300 Н. Самодвижущиеся повозки Даймлера и Бенца были весьма несовершенны.

Основные черты современного автомобиля складывались постепенно, благодаря работам целого ряда изобретателей различных стран. В автомобиле были использованы многие детали и механизмы велосипедов, мус-

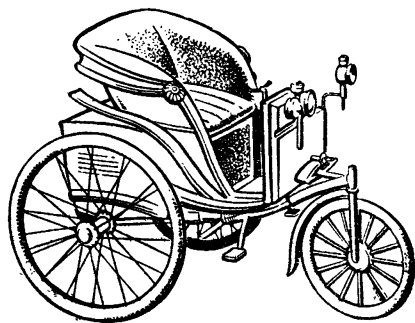


Рис. 63. Автомобиль Бенца

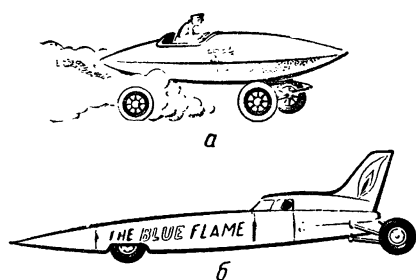


Рис. 64. Гоночные автомобили мировых рекордсменов:

a — Иенатци (1899 г.); *б* — Габелича (1970 г.)

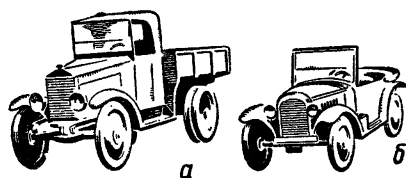


Рис. 65. Первые советские автомобили:

a — грузовик завода АМО (1924 г.); *б* — легковой автомобиль НАМИ-01 (1927 г.)

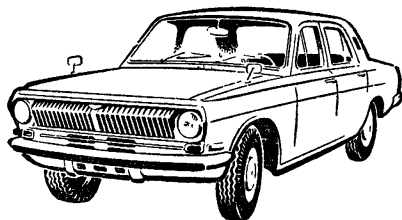


Рис. 66. Автомобиль «Волга» (ГАЗ-24)

кульно-силовых и паровых экипажей: дифференциал, допускающий вращение колес на одной оси с разными скоростями; коробка передач для изменения силы тяги за счет изменения скорости; цепная передача от двигателя к колесам; рессоры, резиновые и пневматические шины и т. д. Много проблем стояло перед конструкторами первых автомобилей. Например, не сразу было установлено, сколько колес должен иметь автомобиль. Некоторые из ранних автомобилей имели всего два колеса, равновесие на них достигалось за счет наклона корпуса водителя, как в мотоциклах.

Большое значение для развития автомобильной техники имели автомобильные гонки, которые помогали выявлять достоинства и недостатки машин разных типов. С помощью гонок было установлено преимущество бензиновых автомобилей перед паровыми, пневматических шин перед железными и сплошными резиновыми. Гидравлические амортизаторы, тормоза на все колеса, дисковые тормоза, обтекаемые формы кузовов — все это проверялось сначала на гоночных машинах, а затем становилось достоянием обычных автомобилей. Один из первых рекордов скорости принадлежал бельгийцу Иенатци, который в 1899 г. на электрическом автомобиле (рис. 64, *a*) развил скорость 106 км/ч. Современные гоночные автомобили движутся со скоростью самолетов. Так, в 1970 г. американский гонщик Гарри Габелич на автомобиле «Голубое пламя» (рис. 64, *б*) с турбореактивным двигателем мощностью 38 000 кВт достиг скорости 1001,5 км/ч (280 м/с). На таких уникальных гоночных машинах ведут гонки только по прямой линии, так как при скорости свыше 500 км/ч изменить направление движения очень сложно.

В царской России автомобильное производство было развито

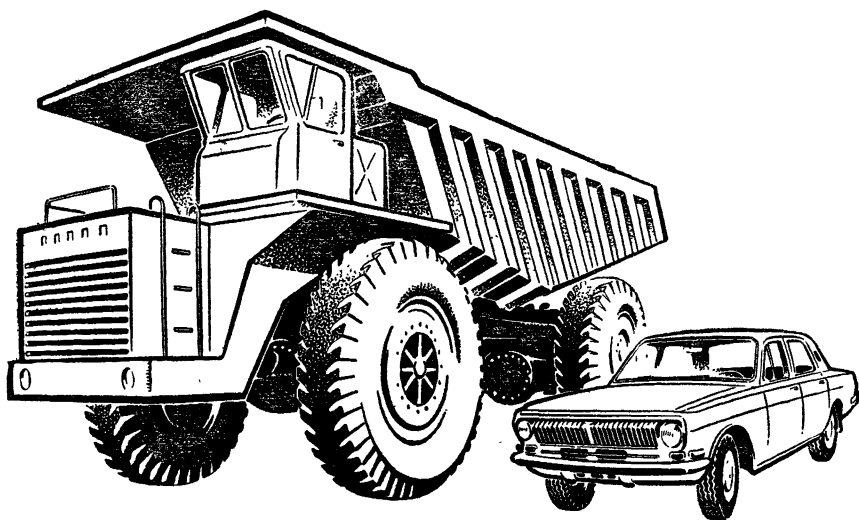


Рис. 67. Самосвал-гигант БелАЗ-549

слабо, поэтому после революции в нашей стране пришлось создавать автомобильную промышленность заново. В начале 20-х годов был организован Научный автотранспортный институт, а в 1924 г. Московский автомобильный завод (АМО) выпустил первую партию отечественных автомобилей (рис. 65). За годы Советской власти наша автомобильная промышленность достигла небывалого расцвета. Построены десятки крупных автомобильных и тракторных заводов.

Из легковых советских машин широкую известность получил автомобиль «Волга» (ГАЗ-24) (рис. 66). Эта комфортабельная пятиместная машина снабжена двигателем мощностью 72 кВт и развивает скорость до 145 км/ч. «Волга» имеет хорошую управляемость и устойчивость на дороге, зимой система отопления обогревает салон и струей теплого воздуха обдувает оконные стекла, предотвращая их замерзание.

Наша страна выпускает также много видов грузовых машин, в том числе такие гиганты, как самосвал БелАЗ-549 (рис. 67), способный перевозить до 800 кН груза со скоростью 65 км/ч. Максимальный вес нагруженного великана 1230 кН. На нем установлен самый сильный из автомобильных двигателей мощностью 600 кВт. Вместо обычной механической передачи БелАЗ-549 имеет электрическую.

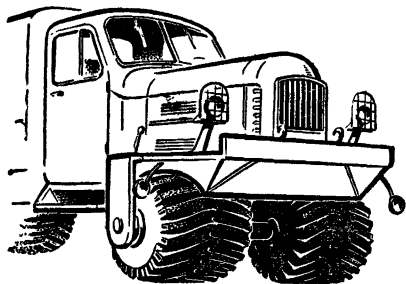


Рис. 68. Автомобиль на шинах высокой проходимости

Двигатель вращает генератор электрического тока, питающий электродвигатели, вмонтированные в задние колеса. Этим снижаются энергетические потери и вес машины, так как на ней нет коробки передач, карданного вала, полуосей и дифференциала. Впервые применены на грузовой машине независимые пневмогидравлические подвески, так что толчок от каждой неровности дороги воспринимается только одним каким-либо колесом. Гидропривод позволяет шоферу без особых усилий управлять тяжелой машиной. БелАЗ-549 предназначен для разного рода сыпучих грузов, например для доставки полезных ископаемых из карьеров. От пыли, от грохота камней и механизмов водителя надежно защищает герметическая кабина.

Жизнь выдвигает перед строителями автомобилей все новые и новые задачи. Одной из таких проблем является увеличение проходимости машин. Для специальных автомобилей — вездеходов у нас и за рубежом разработаны шины большой ширины и сверхнизкого давления (рис. 68), а также шины-гиганты диаметром до 3,5 м и шириной до 1,2 м.

Кроме автомашин мирного назначения, советские ученые и инженеры создали много типов военных автомашин. К ним относятся автомобили, оборудованные ракетными установками, лебедками для запуска привязных аэростатов, прожекторами, звукоуловителями, амфибии, способные передвигаться по земле и воде, автокухни, автобани, а также машины на гусеничном ходу, которым посвящен следующий раздел этой книги.

§ 5. Машины на гусеничном ходу

Типичным представителем машин на гусеничном ходу служит трактор. Основной особенностью конструкции этой машины являются две бесконечные гусеничные ленты, расположенные по ее бокам. Каждая гусеница приводится в движение от двигателя внутреннего сгорания с помощью ведущего зубчатого колеса.

Во время движения трактора нижняя часть каждой гусеницы неподвижно лежит на грунте, упираясь в него своими звеньями. Таким образом, гусеницы представляют собой как бы дорогу, которую трактор носит и подстилает под себя. Чтобы повернуть движущуюся машину вправо, тракторист затормаживает правую гусеницу, для поворота влево — левую.

Благодаря большой площади гусениц нагрузка трактора на единицу площади грунта (т. е. давление) оказывается малой, иногда даже меньше, чем давление ступней человека на землю. Поэтому гусеничный трактор легко передвигается по рыхлым и болотистым почвам, что и является его главным преимуществом перед колесными машинами.

Замечательную гусеничную машину — снегоход для транспортных и научно-исследовательских работ в Антарктиде создали со-

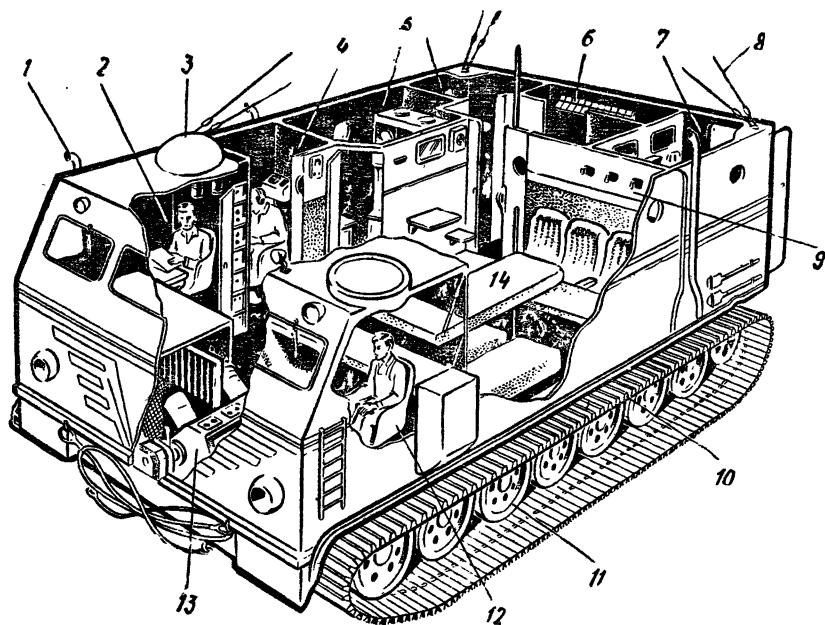


Рис. 69. Антарктический снегоход:

1 — патрубок вентиляции; 2 — место штурмана; 3 — купол астрокомпаса; 4 — радиорубка; 5 — кухня; 6 — сушилка; 7 — тамбур; 8 — антенна; 9 — рабочая комната; 10 — снегозацепы; 11 — опорные катки; 12 — место водителя; 13 — двигатель

ветские конструкторы. Снегоход (рис. 69) может успешно передвигаться по сыпучим снегам, высокогорной местности, при сильном ветре и очень низкой температуре (ниже -70°C). Общий вес снегохода составляет около 350 кН. Ходовая часть машины состоит из стальной рамы, опирающейся через обрезиненные катки на две гусеницы шириной по 1 м каждая. Силовое отделение, включающее в себя дизельный двигатель мощностью 750 кВт, расположено в передней части машины. В задней находится мощная лебедка для самовытягивания, 100-метровый трос и воздушно-нагреватели для отопления кабины.

Снегоход очень подвижен и устойчив. Он легко преодолевает подъемы крутизной до 30° , ему не страшны самые крутые крены. При благоприятных условиях скорость машины достигает 30 км/ч. Большой запас горючего позволяет снегоходу без дополнительной заправки совершать переходы до 1500 км, имея на крюке прицеп весом до 700 кН. Провалившись в воду, снегоход не тонет, а уходит в нее только до уровня пола кабины и, вращая гусеницами, может сам выбраться на лед.

На снегоходе имеется все необходимое для ведения разнообразной научно-исследовательской работы. Так, например, сейсмологи могут, не выходя из машины, на ходу с помощью взрывов изучать структуру грунтов и измерять толщину ледяного покрова.

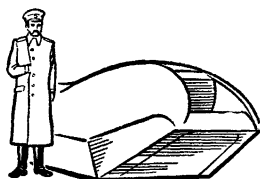
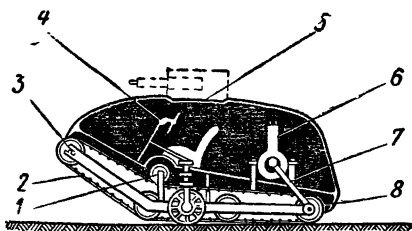


Рис. 70. Танк А. А. Пороховщикова (1915 г.):

- 1 — натяжной барабан; 2 — гусеница; 3 — натяжное приспособление; 4 — штурвал; 5 — место броневой пулеметной башни; 6 — двигатель; 7 — карданный вал; 8 — ведущий барабан

также освоению первого в мире испытанного в 1915 г. русским изобретателем А. А. Пороховщиковым. Его машина (рис. 70) содержала все основные части современных танков: броневой корпус, вооружение во вращающейся башне, двигатель внутреннего сгорания, гусеничный движитель. Основанием танка служила стальная рама с четырьмя полыми вращающимися барабанами, вокруг которых перематывалась одна широкая гусеничная лента. Натяжение ленты регулировалось с помощью натяжного барабана. Для управления машиной служили размещенные у бортов два поворотных рулевых колеса. При движении по твердому грунту танк опирался на эти колеса и на ведущий барабан, а на мягком грунте ложился на гусеничную ленту. Лишь через полгода появился первый английский опытный танк¹.

Первый советский танк «Борец за свободу тов. Ленин» (рис. 71) был построен сормовским заводом в 1920 г. Толщина брони танка составляла 8—16 мм, вес его равнялся 70 кН, а скорость 8,5 км/ч.

Высокими качествами обладали советские танки — тяжелый КВ и средний Т-34 (рис. 72) выпуска 1940 г. По своим техническим данным Т-34 намного превосходил зарубежные танки того времени. Впервые средний танк был вооружен длинноствольной 76-миллиметровой пушкой. Ее снаряды имели более высокую начальную скорость, чем снаряды любой танковой пушки того же калибра.

¹ «Танк» — английское слово, обозначает «бак». Так называли свои машины англичане, чтобы скрыть, какое новое оружие они приготовили для фронта.

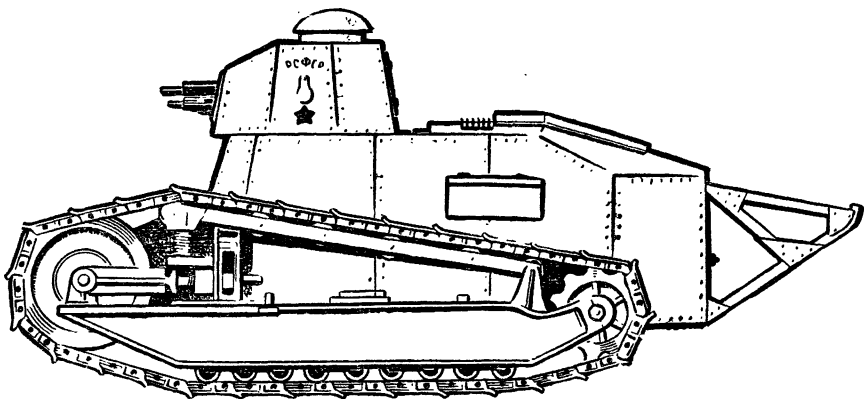


Рис. 71. Первый советский танк «Борец за свободу тов. Ленин»

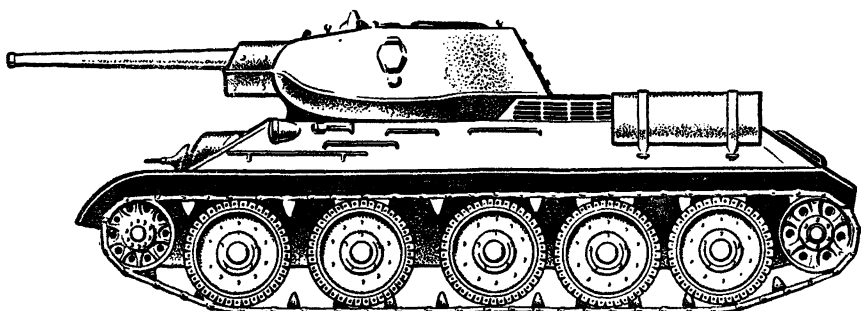


Рис. 72. Советский танк Т-34

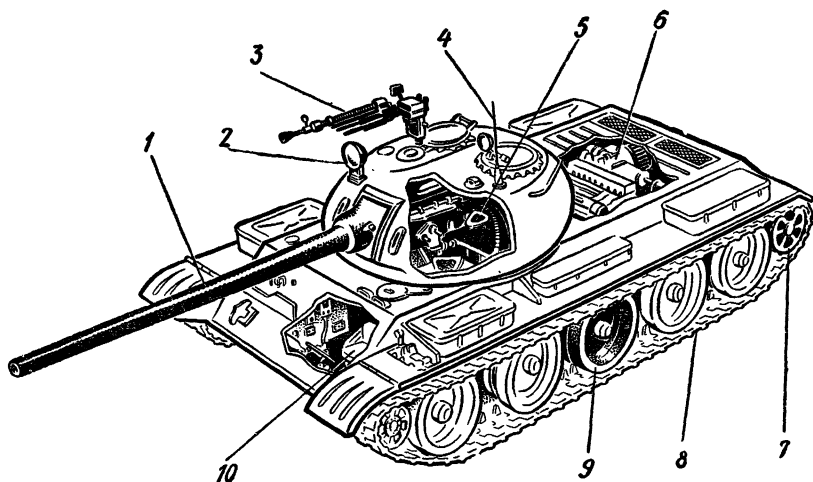


Рис. 73. Современный советский танк Т-54:

1 — пушка; 2 — прожектор; 3 — пулемет; 4 — антенна; 5 — место командира; 6 — двигатель
7 — ведущее колесо; 8 — гусеничная цепь; 9 — опорные катки; 10 — место механика водителя

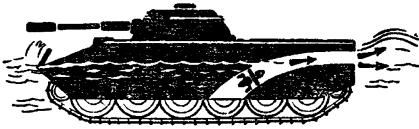


Рис. 74. Схема движения танка ПТ-76 на плаву

Иностранные танки 30-х годов имели бензиновые двигатели; танки КВ и Т-34 оснащались дизельными двигателями, которые значительно увеличивали запас хода машины и уменьшали возможность пожара. Совершенно новой была

у танка Т-34 форма башни, что повышало неуязвимость машины в бою.

На смену Т-34 пришел новый, еще более совершенный танк Т-54 (рис. 73). Корпус танка состоит из соединенных между собой листов броневой стали и защищает экипаж не только от снарядов, но и от радиоактивных излучений. На Т-54 установлен весьма мощный и выносливый четырехтактный 12-цилиндровый дизель.

Легкие советские танки могут не только проходить по любым дорогам, но и с ходу на большой скорости преодолевать реки и другие водные преграды. К таким плавающим машинам относится танк ПТ-76 с двигателем 175 кВт, весящий 140 кН (рис. 74). Кроме гусеничных движителей ПТ-76 имеет два водометных движителя, которые засасывают воду извне и стремительно выбрасывают ее через выходные камеры. Развивающаяся реактивная тяга движет танк вперед. Это необычная машина может использоваться для высадки морского десанта на берег. Средние советские танки хотя и не плавают, но могут переходить реки по дну, высунув из воды воздухопитательную трубу.

Важнейшей величиной, от которой зависит боеспособность танка, является его скорость. Выясним, от чего она зависит. Умножив скорость v танка на силу R сопротивления его движению, получим работу, которую надо совершить за 1 с, чтобы преодолеть это сопротивление, т. е. мощность N . Следовательно,

$$N = Rv.$$

Так как часть мощности двигателя (примерно 25%) теряется на трение в трансмиссии, гусеницах и вентиляторе, то мощность $N_{\text{дв}}$ равна:

$$N_{\text{дв}} = \frac{N}{0,75} = \frac{Rv}{0,75}.$$

При равномерном движении $R = F_{\text{тр}}$, или $R = kP$, так как $F_{\text{тр}} = kP$.

Учитывая, что для хорошей дороги $k \approx 0,06$, получаем:

$$N_{\text{дв}} = \frac{0,06}{0,75} Pv = \frac{2}{25} Pv.$$

Отсюда имеем:

$$v = 12,5 \frac{N_{\text{дв}}}{P}.$$

Отношение $\frac{N_{\text{дв}}}{P}$, т. е. мощность, приходящаяся на единицу веса танка, называется его удельной мощностью. Она показывает, что для увеличения скорости танка необходимо увеличивать мощность его двигателя и насколько возможно уменьшать вес танка.

Задачи

1. Время разгона автомобиля ГАЗ-24 («Волга») до скорости $v = 100$ км/ч равно $t = 22$ с. Масса автомобиля $m = 1300$ кг, коэффициент трения $k = 0,02$. Определите силу тяги ведущих колес.

2. На сухой шоссейной дороге при скорости $v = 30$ км/ч тормозной путь автомобиля весом $P = 3 \cdot 10^4$ Н не превышает $s = 7$ м. Определите силу торможения F (тормозным путем называется путь, пройденный автомобилем с момента включения тормозов до полной остановки).

3. Паровоз «ФД» равномерно ведет по горизонтальному пути товарный состав весом $P = 25\,000$ кН со скоростью $v = 72$ км/ч. Какую мощность он развивает, если коэффициент трения для вагонов $k = 0,003$?

4. Автобус двигался по горизонтальному участку дороги со скоростью $v = 40$ км/ч. После остановки двигателя — с выключенными тормозами — он прошел по инерции до остановки $s = 474$ м. Определите коэффициент трения для этой машины.

5. Найдите и сравните кинетическую энергию поезда и артиллерийского снаряда. Вес поезда $P = 5000$ кН, его скорость $v = 36$ км/ч. Вес снаряда $P_1 = 3600$ Н, его скорость $v_1 = 800$ м/с. Вращение снаряда вокруг своей оси не учитывать.

6. Вагон массой 20 т движется равнозамедленно под действием силы трения $F = 6000$ Н и через некоторое время останавливается. Начальная скорость вагона $v_0 = 54$ км/ч. Найдите работу сил трения и расстояние s , которое вагон пройдет до остановки.

7. Сравните давление на почву ступни идущего человека весом $P = 800$ Н и танка Т-34 весом $P_1 = 285$ кН. Площадь ступни $S = 150$ см², площадь соприкосновения одной гусеницы танка с почвой $S_1 = 4,9 \times 0,5$ м.

8. Мощность трактора на крюке 400 кВт. Какова сила тяги трактора на первой (3 км/ч), второй (4,2 км/ч) и третьей (5,9 км/ч) скорости?

Ответы

$$1. F = m \left(kg + \frac{v}{t} \right), F = 1900 \text{ Н.}$$

$$2. F = \frac{P}{g} \cdot \frac{v^2}{2s}, F = 15\,000 \text{ Н.}$$

$$3. N = kPv, N = 1500 \text{ кВт.}$$

$$4. k = \frac{F}{P} = \frac{ma}{mg} = \frac{v^2}{2sg}, k = 0,01.$$

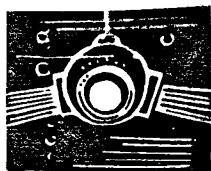
$$5. E = 2,5 \cdot 10^7 \text{ Дж; } E_1 = 11,5 \cdot 10^7 \text{ Дж.}$$

$$6. a = \frac{F}{m}; A = Fs = F \cdot \frac{v_0^2}{2a} = \frac{mv_0^2}{2}, A = 225 \cdot 10^4 \text{ Дж!}$$

$$s = \frac{A}{F} = \frac{mv_0^2}{2F}, s \approx 375 \text{ м.}$$

$$7. p = \frac{P}{s}, p = 5,53 \text{ Н/см}^2; p_1 = \frac{P_1}{2s_1}, p_1 = 5,84 \text{ Н/см}^2.$$

$$8. F = \frac{N}{v}; F_1 = 48 \cdot 10^4 \text{ Н; } F_2 = 34,3 \cdot 10^4 \text{ Н; } F_3 = 24,4 \cdot 10^4 \text{ Н.}$$



ГЛАВА IV

ТРАНСПОРТ И СИЛЫ АРХИМЕДА, ГЛУБОКОВОД- НЫЕ АППАРАТЫ

§ 1. Наука о корабле

На тело, погруженное в жидкость или газ, окружающая среда оказывает давление, которое с возрастанием глубины погружения увеличивается. Так как давление на нижние части больше, чем на верхние, то возникает результирующая сила, толкающая тело вверх. Эту выталкивающую силу называют архимедовой силой в честь великого древнегреческого ученого Архимеда, показавшего, как можно определить ее величину.

Из курса физики 6 класса известно, что выталкивающая (архимедова) сила равна весу жидкости (или газа) в объеме, занимаемом телом, направлена по вертикали вверх и приложена к центру тяжести вытесненного объема жидкости (газа). Следовательно, если вес целиком погруженного в жидкость тела больше выталкивающей архимедовой силы, тело утонет, если меньше — будет всплывать. Выходя постепенно из жидкости, всплывающее тело вытесняет все меньше и меньше жидкости, и поэтому выталкивающая сила уменьшается. Когда ее величина сравняется с весом тела, наступает равновесие сил. В этом заключается условие плавания тела: вес тела, плавающего на поверхности жидкости, равен весу жидкости, вытесненной погруженной частью этого тела.

Так, например, вес воды, вытесненной погруженной частью плавающего судна, равен весу судна с его механизмами, грузом, пассажирами, топливом и пр.

Наибольшая допускаемая глубина погружения судна в воду (осадка) отмечается на его корпусе красной линией, которая называется ватерлинией. Вес вытесняемой судном воды при его погружении до ватерлинии, равный весу судна со всем грузом, называется водоизмещением судна. Вычисление архимедовой силы является наиболее важной частью всех расчетов, которые производятся при конструировании подводных и надводных судов.

Важнейшими качествами каждого судна является плавучесть, устойчивость и непотопляемость. Они изучаются наукой, которая называется гидростатикой корабля.

Плавучесть — это способность судна держаться на воде со всеми находящимися на нем грузами. Чем больше объем подводной части судна, тем больше действующая на него выталкивающая сила (архимедова сила) и тем больше его плавучесть. Сила тяжести тела P , плавающего на поверхности воды, приложена к его центру тяжести C (рис. 75, *a*).

Архимедова сила Q , называемая силой поддержания, приложена к точке A , совпадающей с центром тяжести вытесняемой воды. Точка A называется центром величины. Когда судно находится в равновесии, центр его тяжести C и центр величины A расположены на одной общей вертикали. Если на таком судне сместить центр тяжести в горизонтальном направлении, то судно наклонится в сторону этого смещения. В этом случае форма подводного объема изменится, поэтому центр величины A тоже будет смещаться, пока не окажется на одной вертикали с центром тяжести C (рис. 75, *b*).

Под действием волн или ветра судно может наклониться, даже если его центр тяжести не меняет своего положения относительно судна. Поэтому каждое судно должно обладать остойчивостью, т. е. способностью не опрокидываться и возвращаться в положение равновесия, после того как силы, наклонившие его, исчезли. Высокой остойчивостью обладают суда, у которых центр тяжести C лежит ниже центра величины A (рис. 76, *a*). При крене судна, например, вправо левый борт частично выходит из воды. От этого центр величины смещается вправо и появляется возвращающий момент $M = Pl$ (рис. 76, *b*), под действием которого судно выпрямляется. У большинства судов центр тяжести C расположен выше центра величины A (рис. 77, *a*). Они тоже обладают остойчивостью, зависящей от положения метacentра. Так называют точку M (рис. 77, *b*), в которой ось симметрии поперечного сечения судна пересекается с вертикалью, проходящей через центр величины A . Расстояние MC называют метacentрической высотой. Если метacentр M расположен выше центра тяжести C , то корабль остойчив: при крене появляется возвращающий момент $M = Pl$ (рис. 77, *b*).

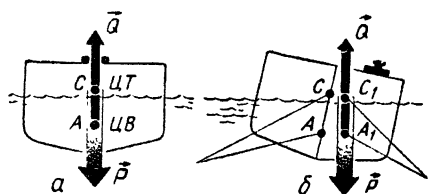


Рис. 75. Расположение силы тяжести P , силы поддержания Q , центра тяжести C и центра величины A :

a — до наклона судна; b — после наклона

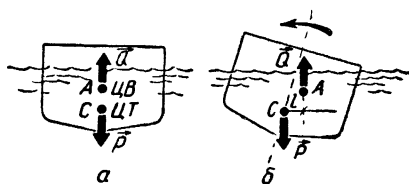


Рис. 76. При крене судна появляется момент сил, стремящийся выпрямить его

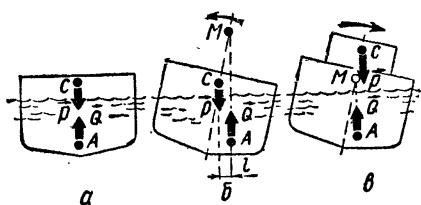


Рис. 77. Остойчивость корабля зависит от положения метацентра M

При увеличении метацентрической высоты MC растут и возвращающий момент M и остойчивость корабля. Если M лежит ниже C — корабль неустойчив: при крене момент M стремится еще больше наклонить и опрокинуть его (рис. 77, в).

Непотопляемостью судна называют его способность держаться на плаву после получения пробоины. Чтобы судно было непотопляемым, его корпус делят водонепроницаемыми продольными и поперечными переборками на отсеки. Судно считается непотопляемым, если при затоплении одного или двух отсеков оно остается на плаву. Когда судно получает пробоину от взрыва торпеды, при столкновении с другим судном или айсбергом, команда стремится быстрее заделать ее и откачать хлынувшую внутрь корабля воду. Однако, если пробоина большая, сделать это удается далеко не всегда. Известный судостроитель адмирал С. О. Макаров предложил при попадании в отсек воды для выпрямления крена судна затоплять соответствующий отсек с другой стороны судна. Выдающийся русский ученый А. Н. Крылов, продолживший исследования С. О. Макарова, в 1902 г. составил таблицы, с помощью которых можно было быстро определить, какой отсек надо затопить, чтобы выпрямить корабль. Если, например, вода попала в отсек I с левой стороны корабля (рис. 78), следует затопить отсек II с правой стороны. Осадка судна при этом увеличится, однако оно не опрокинется и сохранит плавучесть. Таблицы А. Н. Крылова были впервые испытаны в 1904 г. во время боя русского флота с японской эскадрой около острова Цусима. Русский броненосец «Орел», оборудованный водонепроницаемыми отсеками, получил тяжелые повреждения. Однако его командование, используя таблицы А. Н. Крылова, затопило некоторые отсеки корабля, и он остался на плаву. В то же время однотипные с «Орлом» боевые корабли «Бородино» и «Александр II», на которых не было таких таблиц, при менее значительных повреждениях перевернулись вверх дном и затонули.

Законы движения корабля изучает гидродинамика¹. Главным качеством плывущего корабля является ходкость, т. е. способность двигаться с заданной скоростью, затрачивая на это возможно меньше энергии. Кроме архимедовой силы поддержания, направленной вертикально вверх, на плывущий корабль действуют две горизонтальные силы. Первая из них — это тяга гребных винтов, гребных колес или других устройств, толкающих судно вперед, а вторая, равная первой и направленная противоположно ей, — сопротивле-

¹ Более подробно законы гидродинамики будут рассмотрены в следующей главе

ние воды. Большая часть энергии судовых двигателей идет на преодоление этого сопротивления. Гидродинамика создала много методов, позволяющих заранее, до постройки судна, определить сопротивление воды в зависимости от размеров судна, его формы, скорости и ряда других причин.

Плывущее судно своей носовой частью раздвигает воду, что вызывает появление расходящихся волн (рис. 79). Кроме того, стремясь заполнить освобождающееся за кормой свободное пространство, вода все время перетекает от носа к корме, образуя поперечные волны. Из-за возникновения волн распределение давления воды на корпус судна изменяется. Если при неподвижном судне горизонтальные составляющие этого давления уравновешиваются, то при движении судна их равнодействующая оказывается направленной навстречу его ходу. Эта равнодействующая R_w называется волновым сопротивлением. С возрастанием скорости судна волновое сопротивление значительно увеличивается, причем у короткого судна при одинаковой скорости оно больше, чем у длинного. Чтобы уменьшить образование волн, носовой части судна придают заостренную форму.

Второй причиной, обуславливающей сопротивление воды, является ее трение о корпус плывущего судна. Прилегающий к обшивке корпуса слой воды прилипает к ней и движется вместе с судном. Благодаря вязкости воды этот слой увлекает за собой второй слой, второй увлекает третий и т. д. Так как силы сцепления между частицами воды меньше сил, с которыми они прилипают к твердому телу, каждый следующий слой движется с меньшей скоростью, чем предыдущий, а на некотором расстоянии от судна вода остается в покое. Вся масса воды, увлекаемая судном, называется пограничным слоем. На приведение его в движение

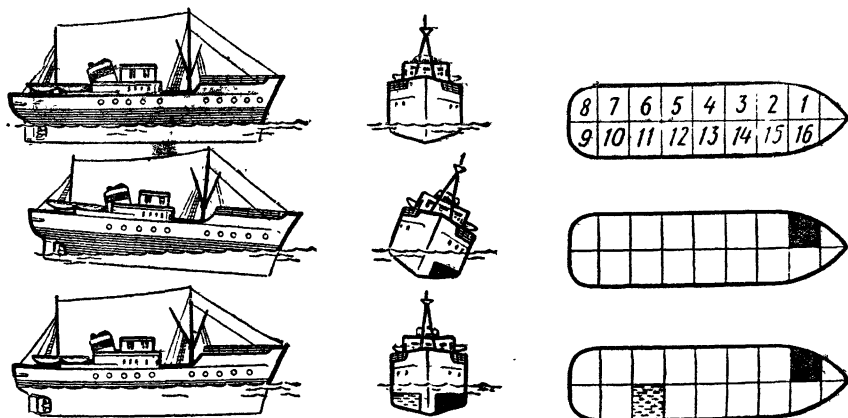


Рис. 78. Схема, поясняющая выравнивание крена корабля по методу А. Н. Крылова

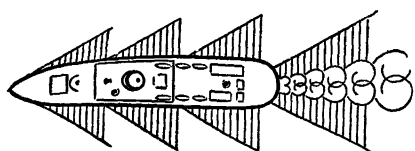


Рис. 79. Схема образования волн плавущим судном

затрачивается часть энергии судового двигателя. Сопротивление трения $R_{тр}$ судна зависит от скорости судна, от величины площади обшивки, трущейся о воду, и от коэффициента трения. Чем глаже обшивка, тем меньше этот коэффициент. При шероховатой обшивке в погранич-

ном слое возникают вихри, на образование которых затрачивается лишняя энергия двигателей. Поэтому обшивку стараются делать как можно более гладкой.

Когда два слоя воды, обтекающих с обеих сторон судно, устремляются в пространство, освободившееся за кормой, возникает завихренный попутный поток, который движется сзади судна почти с такой же скоростью, что и судно. В области завихрений образуется пониженное давление, благодаря чему появляется составляющая давления R_{ϕ} , направленная навстречу хода судна. Она получила название сопротивления формы, так как ее величина в значительной мере зависит от формы корпуса судна. Сопротивление формы обусловлено вязкостью воды. У коротких широких тихоходных судов (например, барж) оно может достигать 50% от полного сопротивления. Чтобы уменьшить сопротивление формы, корпусу судна и его выступающим частям (рулю, кронштейнам гребных валов) придают плавные очертания, а кормовую часть делают заостренной. Полное сопротивление воды при движении судна равно сумме сопротивлений: $R = R_v + R_{тр} + R_{\phi}$.

Суда, которые как на ходу, так и на стоянке удерживаются у поверхности воды силами Архимеда, называются водоизмещающими. Увеличить скорость таких судов очень трудно, так как потребная для этого мощность судовых двигателей возрастает пропорционально кубу скорости. Например, чтобы повысить скорость в 2 раза, надо увеличить мощность двигателя в 8 раз. Для повышения скорости сравнительно небольших судов современная техника использует принцип глиссирования (скольжения).

Глиссирующее судно, или глиссер, снабжено обычно винтовым двигателем, но в отличие от водоизмещающих судов имеет почти плоское дно. При движении глиссера вода действует на его дно с некоторой силой, называемой гидродинамической и направленной вверх под небольшим углом к вертикали. Поэтому осадка глиссера уменьшается и он начинает скользить по поверхности воды. Благодаря малой осадке сопротивление воды оказывается значительно меньше, чем у обычных судов, а скорость гораздо больше.

Исследуя движение пластин в воде, расположенных под углом к направлению этого движения, ученые пришли к идее создания судов на подводных крыльях. Как показали опыты, разрежение над верхней гранью движущейся пластины и давление на ее нижнюю грань создают гидродинамическую силу, поднимающую пла-

стину (рис. 80). Вертикальную составляющую этой силы называют подъемной силой, а горизонтальную — лобовым сопротивлением. Если снабдить судно подводными крыльями в виде пластин, то при достаточно большой скорости подъемная сила, действующая на крылья, станет равной весу судна и его корпус поднимется над водой. В этом случае сопротивление воды будут испытывать только крылья и поддерживающие их стойки. Величина этого сопротивления меньше сопротивления, которое вода оказывает на обычное судно, а потому и движется судно на подводных крыльях гораздо быстрее. Кроме того, при достаточно глубоком закреплении крыльев судно на волнах не подвергается качке.

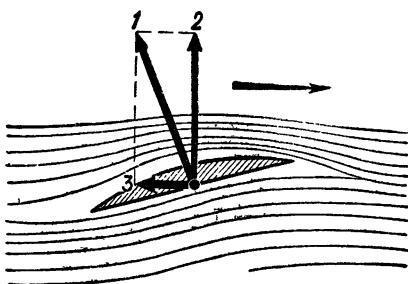


Рис. 80. Гидродинамическая сила 1 на подводном крыле:
2 — подъемная сила; 3 — лобовое сопротивление

Первое в СССР речное судно-теплоход на подводных крыльях, получившее название «Ракета», было спроектировано и построено на заводе «Красное Сормово» под руководством доктора технических наук Р. Е. Алексеева. Судно имело водоизмещение 23,7 т и вмещало 66 человек. Гребной винт судна развивал скорость 62,5 км/ч. Если пустить большой водоизмещающий теплоход с такой скоростью, то поднятая им волна сметет все береговые сооружения и указательные знаки. В нашей стране построены и морские суда на подводных крыльях (рис. 80, а).

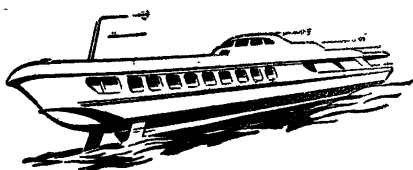


Рис. 80,а. Морской теплоход на подводных крыльях

Устройства, приводящие корабль в движение, называются движителями. Древнейшим движителем является парус, известный людям уже более 5000 лет. Управляя парусами, можно не только плыть по ветру, но и двигаться зигзагами (идти галсами) против ветра. При этом парус устанавливают так (рис. 81, а), чтобы его плоскость 1 делила пополам угол между направлением хода судна 2 и направлением ветра 3. Разложим силу ветра F , действующую на парус, на две

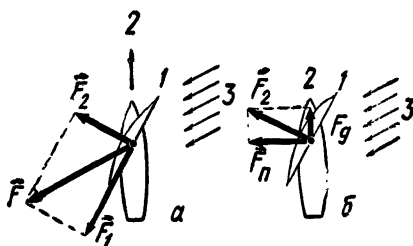


Рис. 81. К вопросу о движении парусного судна против ветра

составляющие: одна из них F_1 заставляет воздух скользить вдоль паруса, другая F_2 оказывает нормальное давление на парус. Если в свою очередь силу F_2 разложить на две составляющие вдоль и поперек килевой линии (рис. 81, б), то можно видеть, что первая заставляет судно двигаться вперед под углом к ветру.

К середине XIX в. парусное судостроение достигло своего высшего развития. Были созданы быстроходные трехмачтовые парусники-клиперы, у которых площадь парусов достигала 3500 м². Такие суда при сильном попутном ветре развивали скорость 18—20 узлов¹. Эра парусного флота закончилась в начале XX в., однако и в наше время существуют научно-исследовательские, учебные, промысловые и спортивные парусные суда. Основное преимущество парусов перед другими видами движителей состоит в том, что они используют даровую энергию ветра. Однако при штиле паруса становятся бесполезными и судам иногда приходится в течение многих недель дожидаться попутного ветра. Парусники уступают судам с гребными винтами в скорости хода и маневренности. Все это обусловило вытеснение парусов другими видами движителей.

В настоящее время большинство судов приводится в движение гребными винтами. Современные гребные винты изготавливают из нержавеющей стали, цветных сплавов и даже из пластмасс. Наибольшее распространение получили цельнолитые гребные винты (рис. 82, а), у которых ступица отлита вместе с лопастями. При плавании во льдах используют гребные винты со съемными лопастями (рис. 82, б). Если при ударе об лед лопасть сломается, ее заменяют новой. На судах с изменяющимся режимом плавания, например буксирах и ледоколах, ставят винты, снабженные сложным механизмом, позволяющим поворачивать лопасть (рис. 82, в). Благодаря этому можно, не изменяя числа оборотов и направления вращения гребного вала, изменять скорость судна и даже заставить его двигаться назад. О размерах гребных винтов современных океанских судов дает представление рисунок 83.

Суда, у которых гребной винт приводится в движение паровыми машинами, называют парходами. К началу XX в. судовые паровые машины достигли большой мощности — свыше 15 000 кВт. Однако паровые машины имеют низкий к.п.д. (не более 20%) и потому в настоящее время используются только на малых судах, а на крупных океанских и морских судах устанавливают паровые турбины или дизели, имеющие гораздо более высокий к.п.д. Суда, оборудованные турбинами, называются турбоходами. На современных судах-гигантах используют паровые турбины громадной мощности — до 150 000 кВт.

¹ Узел — широко распространенная в морском деле единица скорости, при которой судно проходит 1,852 км/ч.

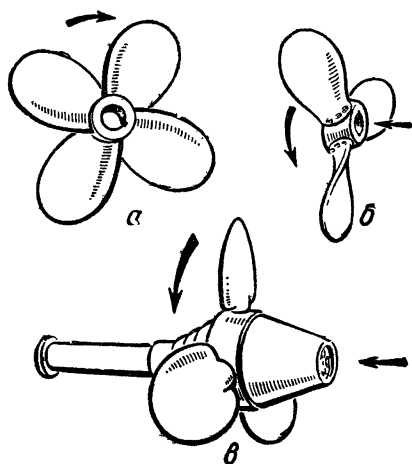


Рис. 82. Виды гребных винтов:
а — цельнолитой; *б* — со съёмными лопастями; *в* — с поворотными лопастями

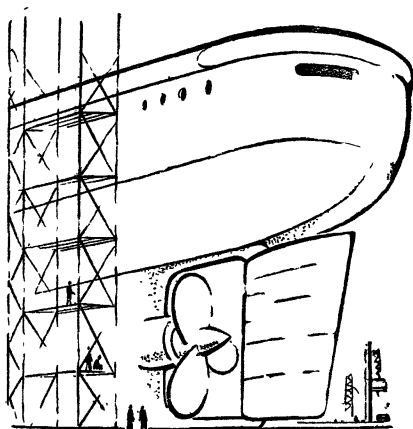


Рис. 83. Гребной винт океанского судна

Суда, приводимые в движение двигателями внутреннего сгорания, называют теплоходами. Для работы дизеля не нужны громоздкие паровые котлы, он имеет высокий к.п.д., достигающий 35%. Это обусловило широкое распространение теплоходов. Большой маневренностью и простотой управления обладают дизель-электроходы и турбоэлектроходы. Так называют суда, на которых дизели или соответственно паровые турбины приводят в действие

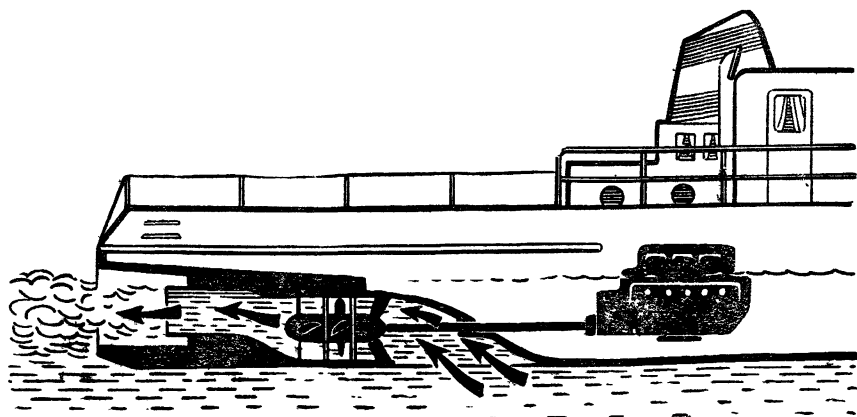


Рис. 84. Судно с водометным двигателем

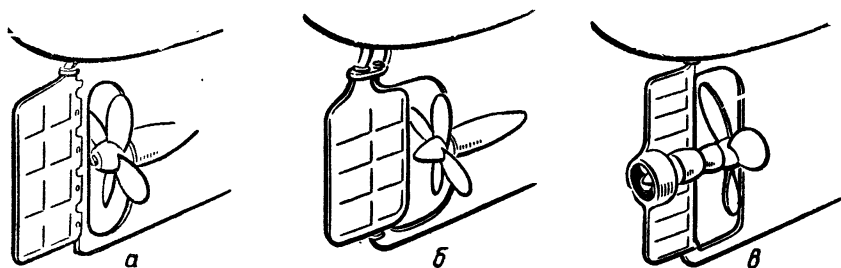


Рис. 85. Виды судовых рулей:
a — обыкновенный; *b* — балансирующий; *v* — активный

генераторы электрического тока. Этот ток поступает в электродвигатели, вращающие гребные винты судов.

На мелководье, на водоемах, засоренных предметами (льдом, бревнами), которые могут повредить гребной винт, широкое пространство получили суда с водометным двигателем (рис. 84). В днище таких судов делают всасывающее отверстие, защищенное решеткой. От него идет широкая труба, подводящая воду к многолопастной крыльчатке, которая засасывает воду и с большой скоростью выбрасывает ее через отливное отверстие в корме. Возникающая при этом реактивная тяга движет судно. Водометные двигатели имеют меньший к.п.д., чем гребные винты.

Для управления судном служит руль, представляющий собой большую плоскость (перо) обтекаемой формы, прикрепленную к вертикальному валу. При повороте руля набегающая вода давит на перо и поворачивает судно в ту же сторону, куда повернуто перо. Рули бывают трех видов: обыкновенный (рис. 85, *a*), балансирующий (рис. 85, *b*) и активный (рис. 85, *v*). У балансирующих рулей ось вращения проходит не с краю пера, а ближе к его середине. Это сделано для того, чтобы набегающий поток давил на дополнительную часть пера, помогая его повороту. На перо активного руля устанавливают небольшой гребной винт, действующий от электродвигателя.

Суда с активным рулем могут идти тихим ходом и разворачиваться с помощью одного вспомогательного гребного винта.

Во время стоянки корабля его удерживает на месте якорь (рис. 86), прикрепленный к нему стальной цепью. Вес якорей на больших кораблях достигает 300 кН, а длина якорных цепей 300 м. Для подъема якоря используется лебедка (брашпиль), устанавливаемая в носовой части судна.

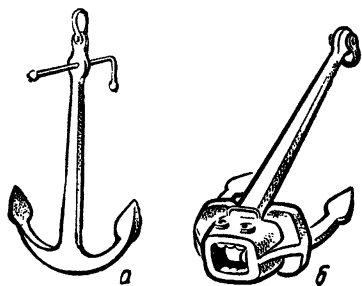


Рис. 86. Виды якорей:
a — адмиралтейский; *b* — якорь Холла

§ 2. Морской флот прошлого

До нашего времени дошло очень мало сведений о судостроении и мореплавании в древности. Сохранились лишь немногие изображения кораблей на каменных плитах египетских и римских памятников, на древних вазах и монетах, а также отрывочные указания в сочинениях древних писателей о морских судах и сражениях.

Первым «кораблем» первобытного человека, несомненно, было бревно, на котором переправлялся через водные потоки. Постепенно люди научились с помощью примитивных каменных и бронзовых орудий делать долбленые лодки и использовать весла, а затем и парус.

Большой вклад в развитие кораблестроительной техники внесли древние греки и римляне. Созданные ими типы судов и приемы морского боя были использованы другими народами в более поздние исторические эпохи. Основными типами древнегреческих судов были унирема (судно с одним рядом гребцов), бирема (с двумя рядами гребцов) и трирема (с тремя рядами гребцов) (рис. 87). Греческие триремы достигали значительных размеров: при длине до 40 м и водоизмещении 80—100 т они принимали на борт по 170 гребцов, 12 матросов и 20 воинов.

Со времени крестовых походов (XII—XIII вв.) в странах Западной Европы начинают строить большие торговые корабли и военные суда.

Основным типом военных судов этого времени были венецианские гребные галеры, достигающие 40 м длины, при ширине 5 м и осадке 2 м. Такую галеру приводили в движение с помощью 50 весел (длинной до 15 м) 150 гребцов. Эти суда имели руль (начиная с XI в. его применяли на всех судах). Скорость хода галеры под веслами достигала 7 узлов. Вспомогательным двигателем на галерах служили паруса.

Наряду с галерами получили распространение и исключительно парусные высокобртные суда, которые называли нефами и использовали для морской торговли. Торговые нефы нередко имели вооружение для защиты от пиратов. Более быстроходные нефы называли галионами (рис. 88). В XIV—XV вв. они входили в состав военных флотов Испании, Англии, Франции и вооружались пушками.

Под влиянием великих географических открытий, роста торговли и промышленности в передовых странах XVI—XVII вв. (в Англии, Франции, Испании, Голландии) происходит быстрое развитие судостроения, появляются новые типы торговых судов (каравеллы, карраки и т. д.), создаются постоянные военные флоты. Увеличиваются размеры судов, совершенствуется парусная оснастка, появляются громадные многопушечные корабли. Большие корабли с числом пушек от 80 и более и водоизмещением свыше 1000 т назывались линейными, так как во время морских сражений

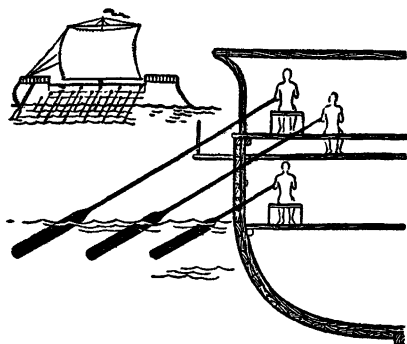


Рис. 87. Греческая трирема

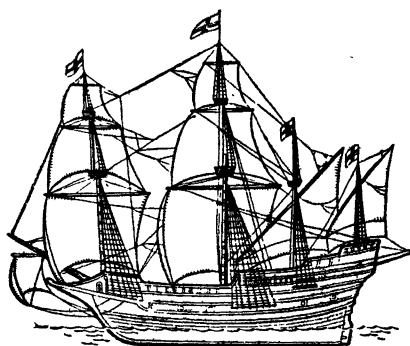


Рис. 88. Английский галион XVI в.

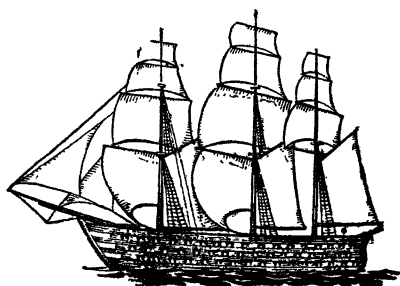


Рис. 89. 120-пушечный французский корабль «Valmy»

они располагались в одну линию друг за другом. Одним из наиболее совершенных военных парусных судов этого времени был «Valmy» (рис. 89) — 120-пушечный французский корабль, построенный в 1847 г. Более легкие суда водоизмещением до 1000 т и с числом пушек от 30 до 70 называли фрегатами или корветами.

В 60-х годах XIX в. закончилась эра парусного военного флота, на смену которому пришли железные бронированные суда с паровым двигателем.

Первый практически пригодный пароход был построен в 1807 г. американским изобретателем Фультоном. Пароход водоизмещением 160 т, получивший в дальнейшем название «Клермонт» (рис. 90), имел 40,5 м в длину и 4 м в ширину при высоте 2,2 м и осадке 0,6 м. В качестве двигателя использовалась одноцилиндровая паровая машина Уатта мощностью 15 кВт, которая вращала с помощью сложной передающей системы два гребных колеса.

Первый русский пароход «Елизавета» (рис. 91) был построен на заводе предпринимателя К. Н. Берда в 1815 г. Пароход имел деревянный корпус длиной 18 м. Кроме паровой машины мощностью 12 кВт, приводившей в движение два гребных колеса, судно было снабжено парусом. Первый рейс парохода «Елизавета» из Петербурга в Кронштадт, положивший начало использованию паровых судов в России, состоялся 3 ноября 1815 г. Через 5 лет по этой линии уже курсировало несколько пароходов

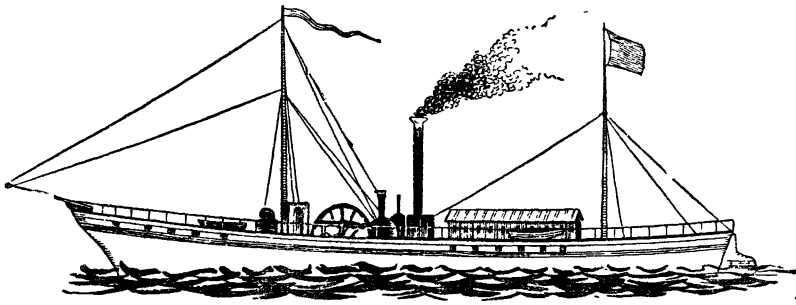


Рис. 90. Первый практически пригодный пароход «Клермонт» Р. Фультона (1807 г.)

улучшенной конструкции (с металлическими трубами, колесными кожухами и удобными каютами для пассажиров). Затем пароходы появились на Каме, Волге и других русских реках. Постепенно пароходы вышли и на океанские просторы.

Развитие пароходного транспорта шло на первых порах очень медленно. Это объяснялось главным образом высокой стоимостью и малой экономичностью судовых машин. Паровые котлы пожирали громадное количество топлива. Чтобы переплыть Атлантический океан, приходилось брать такие запасы угля, что судно почти до бортов погружалось в воду. Поэтому на первой стадии своего развития пароходы по сравнению с парусниками проигрывали даже в скорости. Потребовались десятилетия напряженной работы ученых и судостроителей, прежде чем парусные суда были окончательно вытеснены пароходами. Впервые совершить трансатлантический

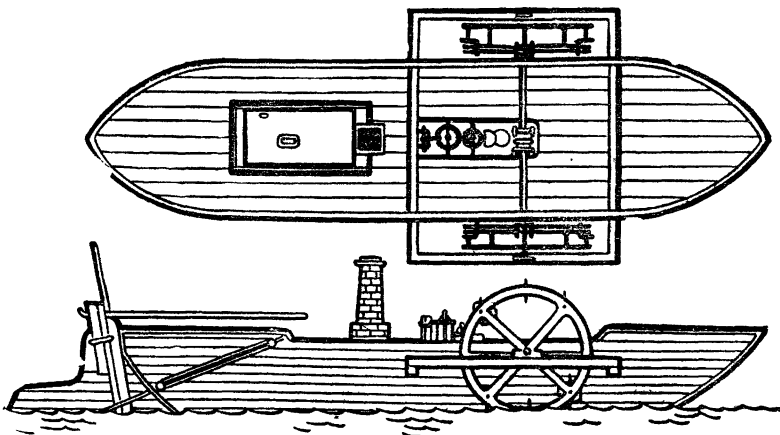


Рис. 91. Первый русский пароход «Елизавета» (1815 г.)

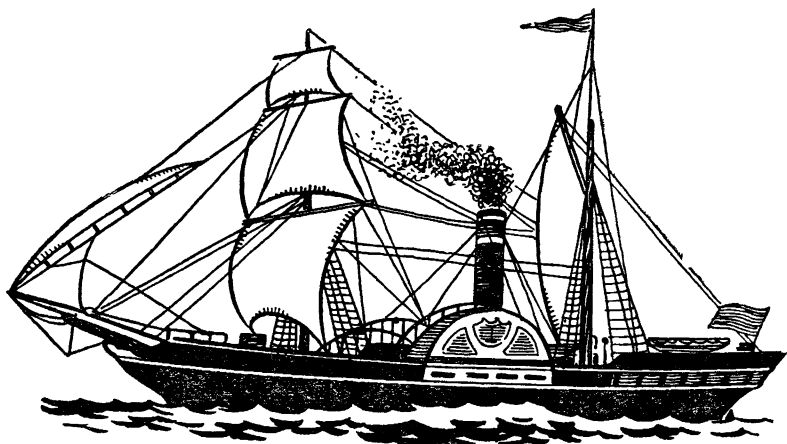


Рис. 92. «Сириус»—первый пароход, пересекший Атлантику без помощи ветра

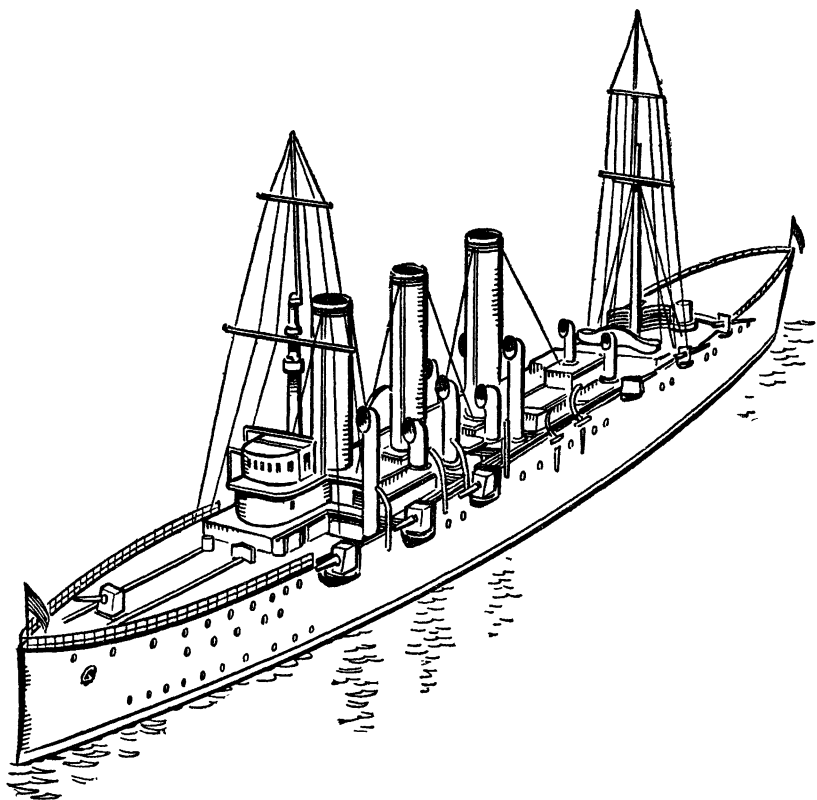


Рис. 93. Исторический корабль крейсер «Аврора» (1903 г.)

рейс без помощи парусов удалось в 1838 г. английскому пароходу «Сириус» (рис. 92).

Важным этапом в истории судостроения явился переход к постройке железных судов. К середине 70-х годов океанские пароходы стали строить только железными, многие из них уже не имели парусной оснастки. На смену громоздким, легкоповреждаемым волнами гребным колесам пришел гребной винт.

Вытеснение парусных судов пароходами в военном флоте началось позже, чем в торговом. Однако Крымская война (1853—1854 гг.) показала полное преимущество паровых судов, которые могли свободно маневрировать в любую погоду, в то время как парусные суда часто стояли из-за встречного ветра или штиля, легко повреждались пушечными ядрами и тонули. Поэтому начиная с 60-х годов прошлого века сначала в Англии и Франции, а затем и в других странах перешли на строительство железных паровых военно-морских судов.

Примером военных судов конца XIX и начала XX в. является русский боевой корабль «Аврора» (рис. 93). Длина корабля составляла 123,7 м, ширина 16,8 м, осадка 7 м, водоизмещение 6731 т. Помимо мощного артиллерийского вооружения, крейсер имел десантные орудия и торпедные аппараты. Силовая установка «Авроры» состояла из трех паровых машин общей мощностью 8500 кВт и развивала скорость 20 узлов. При полном запасе топлива корабль мог без захода в порты пройти 7000 км. Хорошими были мореходные качества корабля, его остойчивость, маневренность и устойчивость на курсе. Команда крейсера состояла из 570 человек.

§ 3. Надводный морской флот XX в.

Пассажирские суда. В 1911—1912 гг. в Англии один за другим были спущены на воду два исполинских лайнера — «Олимпик» и «Титаник», которые поражали своими размерами (длина 256 м, ширина 27,5 м, высота борта 29 м, водоизмещение 52 000 т) и роскошью внутренних помещений. Каждый из них, кроме 850 членов команды, мог принять на борт 2584 пассажира. Оба судна имели по три гребных винта, из них средний приводился в действие паровой турбиной, а крайние — паровыми машинами. Общая мощность силовой установки судна достигала 37 000 кВт. Судьба этих двух великанов оказалась различной: «Олимпик» проплавал до 1935 г., «Титаник» погиб во время первого рейса (в апреле 1912 г.) в северной части Атлантики, столкнувшись с айсбергом.

Наблюдатель, дежуривший на носу корабля, заметил ледяную гору, когда до нее оставалось всего лишь около 400 м, и трижды ударил в колокол. Рулевой резко повернул штурвал, но было уже поздно. Многотонный корабль, шедший с большой скоростью, обладал громадной инерцией и не смог уклониться от столкновения. Острая кромка подводной части айсберга разрежала его обшивку,

в образовавшуюся пробобину длиной до 100 м хлынула вода, и «Титаник» стал тонуть. Спасательных шлюпок хватило только для одной трети находившихся на «Титанике» людей, в шлюпки усаживали в первую очередь женщин и детей. Через 2 ч после столкновения носовая часть судна ушла под воду, а корма вместе с гребными винтами оказалась в воздухе. С грохотом, разрушая переборки сорвались с места паровые котлы. Затем на глазах потрясенных людей, находившихся в шлюпках, корпус Титаника принял вертикальное положение и ушел под воду. Пароход затонул на глубине 2000 м. Из 2200 человек, отправившихся в рейс, спаслось всего 711. Отчего же погиб этот совершенно новый пароход, построенный по последнему слову техники того времени? Главной причиной явились недостатки корпуса. Если бы он, кроме водонепроницаемых переборок, имел водонепроницаемую палубу, воздух, собравшись под ней в громадный пузырь, не дал бы пароходу потонуть.

Гибель «Титаника» послужила трагическим уроком для всех судостроителей, судовладельцев и капитанов. После нее на ряде международных конференций были установлены правила судовождения и постройки судов, обеспечивающие безопасность плавания, а также требования к противопожарным, сигнальным и спасательным средствам, предотвращающим морские аварии.

На протяжении первой половины нашего века ведущие судовые компании мира построили еще ряд пароходов-гигантов. Большой океанский лайнер представляет собой чудо современной техники и по размерам не уступает крупнейшим сухопутным сооружениям. Например, по своей длине (315 м) лайнер «Нормандия» превосходил высоту Эйфелевой башни, «Куин Мери» имел 12, а «Куин Элизабет» 14 палуб. На одной такой палубе можно разместить 10 футбольных полей. Диаметр дымовых труб этих судов так велик, что через каждую из них могут пройти по параллельным путям три железнодорожных состава. Мощность электростанции лайнера достаточна для освещения большого города. И это гигантское судно способно мчаться по океанским волнам со скоростью курьерского поезда. Каждый из этих больших лайнеров мира можно назвать плавучим городом. Например, в просторных, богато украшенных скульптурой, картинами и резьбой каютах «Куин Элизабет» размещались 2300 пассажиров. К каютам была подведена холодная и горячая вода, а каюты первого класса оборудованы ванными комнатами и телефоном. Для отдыха имелись танцевальные и спортивные залы, библиотеки, плавательные бассейны, два кинотеатра на 470 мест, рестораны и салоны. На кухне ресторанов под командой шеф-повара трудились 130 человек. Лайнер имел собственную поликлинику со стационаром, рентгеновским кабинетом и даже операционным залом. Также роскошно были оборудованы и многие другие океанские лайнеры.

Во время второй мировой войны (1939—1945 гг.) лайнеры «Куин Мери» и «Куин Элизабет» использовались в качестве военных транспортов. На каждом из них за один рейс перевозили через

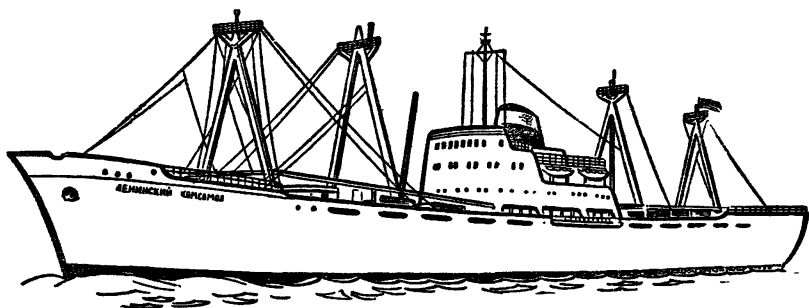


Рис. 94. Советское сухогрузное судно «Ленинский комсомол»

Атлантический океан целую дивизию — свыше 15 000 человек! Они уже отслужили свою службу: «Нормандия» и «Куин Элизабет» потонули после пожара, а «Куин Мери», превратившись в роскошный отель, навсегда застыл у берега.

После второй мировой войны в разных странах было построено много новых океанских лайнеров. Большим океанским флотом располагает наша страна. В его состав входят такие новые комфортабельные океанские лайнеры, как «Иван Франко», вмещающий 750 пассажиров. Длина подобных судов 176 м, мощность двигателей 15 000 кВт, а скорость хода 20 узлов.

Грузовые суда. Весьма сложное устройство имеют современные большие грузовые суда. К ним относится, в частности, советское сухогрузное судно «Ленинский комсомол» (рис. 94). Его длина достигает 170 м, а скорость составляет 18,5 узлов, что равно примерно средней скорости товарного поезда. «Ленинский комсомол» может принять в свои трюмы 13 000 т груза. Если сложить для сравнения грузоподъемность всех трех каравелл Христофора Колумба, на которых он шел в Америку, то она окажется в 22 раза меньше. Судно имеет две палубы и шесть трюмных помещений. Высота каждого трюма такая же, как у трех-четырёхэтажного дома. В центре судна расположен двигатель — паровая турбина мощностью 10 000 кВт. Электростанция судна обеспечивает электроэнергией радиопередатчики, радионавигационные и радиолокационные устройства, гирокомпас, осветительную и другие судовые системы. Для погрузочно-разгрузочных работ на судне установлены мощные электрические краны, оно оборудовано также насосами для быстрой откачки воды, которые включаются при образовании пробой в корпусе. Противопожарная система, состоящая из сети трубопроводов, позволяет начать тушение пожара в любой части судна. На нем имеется также вентиляционная установка и система кондиционирования воздуха, которая автоматически поддерживает заданную температуру и влажность воздуха, обеспечивая команде наилучшие условия для работы и отдыха во время плавания.

Танкеры. К судам специального назначения относят танкеры, которые служат для перевозки жидких нефтепродуктов. Корпус такого судна (рис. 95) разбит на ряд отсеков, в которые накачивают нефть. Чем крупнее танкер, тем дешевле обходится перевозка нефти. Поэтому в ряде стран строят очень большие танкеры, превосходящие по своим размерам суда всех других видов.

Морские суда-паромы. К этому типу принадлежат суда, перевозящие железнодорожные составы через моря и морские проливы. Применение морских паромов значительно сокращает время и стоимость перевозок сухих грузов. Одно из таких судов-паромов — «Советский Азербайджан» курсирует на Каспийском море между портами Красноводск — Баку и Красноводск — Махачкала.

Паром «Советский Азербайджан» (рис. 96) представляет собой трехвинтовой дизель-электроход водоизмещением 6000 т и длиной 134 м. На его закрытой вагонной палубе на четырех железнодорожных рельсовых путях размещается 30 вагонов грузоподъемностью по 50 т. Одновременно с грузом паром может перевозить около 300 пассажиров. Для этого используется верхняя палуба, на которой, кроме кают с мягкими спальными местами, имеется пассажирский салон, ресторан, парикмахерская и другие бытовые помещения. С помощью морских паромов осуществляется также прямое железнодорожное сообщение через Керченский пролив между Крымом и Кавказом.

Ледоколы. Северные границы Советского Союза на протяжении многих тысяч километров омываются Северным Ледовитым океаном. Большую часть года океанские воды покрыты бесконечным ледяным покровом, толщина которого достигает иногда нескольких метров. Для прохода судов через ледяные поля наших северных морей создан мощный ледокольный флот во главе с флагманским кораблем — первым в мире атомным ледоколом «Ленин», спущенным на воду в 1957 г. (рис. 97). В этом корабле длиной 134 м и водоизмещением 16 000 т имеется свыше 900 помещений, в том числе удобные каюты для команды, салоны для отдыха, клуб, библиотека, судовая поликлиника, врачи которой могут оказать любую медицинскую помощь, вплоть до сложных операций. Ледокол оборудован многочисленными новейшими приборами, в том числе двумя радиолокаторами, с помощью которых он может обнаружить встречные суда, скалы и другие препятствия в сплошном тумане на расстоянии до 40 км. На палубе размещаются два вертолета, используемые для ледовой разведки. В атомном реакторе 1 получают пар, нагревающий воду в теплообменнике 2, которая от этого тоже обращается в пар. Последний подают в турбогенераторы 3, питающие током электродвигатели 4, вращающие три гребных винта 5. Общая мощность турбин составляет 32 000 кВт, а гребных электродвигателей — около 30 000 кВт.

Ледокол «Ленин» по свободной ото льда воде развивает скорость свыше 18 узлов, а в мощных сплошных ледяных полях толщиной

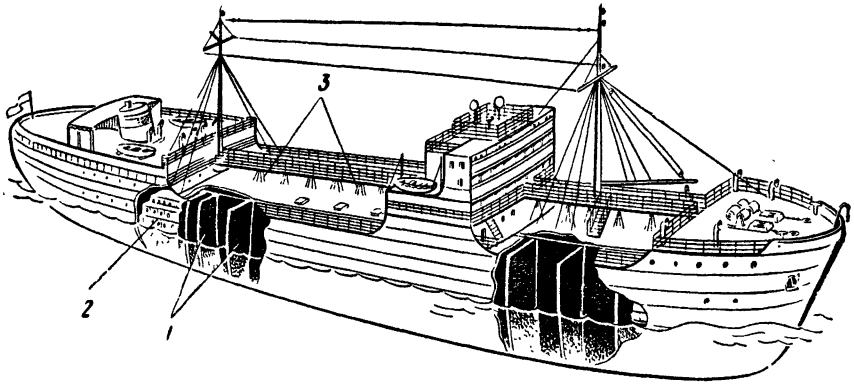


Рис. 95. Танкер:

1 — нефтяные цистерны; 2 — дизель; 3 — душ, охлаждающий палубу

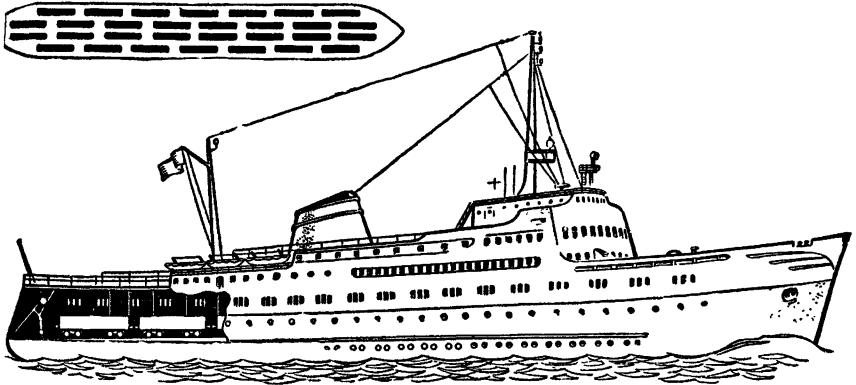


Рис. 96. Морской паром «Советский Азербайджан»

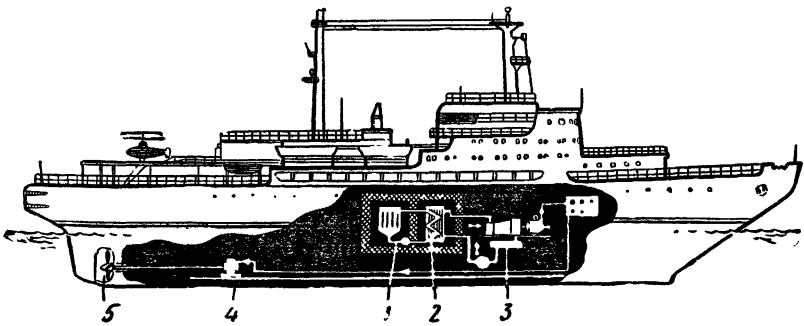


Рис. 97. Схема атомного ледокола «Ленин»

до 2,4 м может двигаться, не останавливаясь, со скоростью 2 узлов. Носовая часть ледокола, сделанная из прочной стали, резко скошена вниз. Поэтому, двигаясь во льдах, он вползает на лед и подламывает его своей тяжестью. Силовая установка ледокола потребляет всего несколько десятков граммов урана в сутки. Запас ядерного топлива позволяет кораблю совершать плавание, не заходя в порты, в течение года. За это время он мог бы совершить шесть кругосветных плаваний, на что обычному ледоколу понадобилось бы нефти гораздо больше, чем весит он сам.

Корабли и суда, входящие в состав военно-морских флотов крупнейших морских держав, разделяются на три большие группы: боевые корабли, вспомогательные суда и базовые плавучие средства. В свою очередь каждая из этих групп в зависимости от назначения корабля, или судна, разделяется на классы. В состав группы боевых кораблей входят следующие классы: линейные корабли, авианосцы, крейсера, миноносцы, торпедные катера, подводные лодки и др.

Линейные корабли (линкоры) — самые крупные и мощные корабли в военном флоте. Их водоизмещение достигает 70 000 т, мощность двигателей 150 000 кВт, скорость хода 35 узлов, а дальность плавания без пополнения горючим 20 000 км. Линкоры предназначены для уничтожения в морском бою неприятельских кораблей всех классов, а также береговых батарей и сооружений противника.

Линейные корабли имеют два и даже три днища, пространство между которыми разделено на множество отсеков. Поэтому, если корабль получит пробоину от взрыва мины или торпеды, морская вода не может распространиться по всему кораблю. С этой же целью весь линкор делится продольными и поперечными переборками на отсеки. Линкор снабжают всевозможными механизмами и приборами: радиолокаторами и гидроакустическими аппаратами для обнаружения самолетов и подводных лодок противника; приемно-передающими станциями, размагничивающим устройством для защиты от мин и т. д. Все механизмы и вооружение линкора приводятся в движение электричеством.

В настоящее время с развитием ракетного оружия и мощной бомбардировочной авиации роль линейных кораблей как основы военно-морской мощи заметно упала и их больше не строят.

Авианосцы (рис. 98) — это корабли, которые служат плавучим ангаром, стартовой дорожкой, ремонтной базой и бензозаправочной станцией для колесных самолетов всех типов. Самолеты крупных авианосцев используются для нанесения мощных торпедо-бомбовых ударов по боевым кораблям и береговым сооружениям противника. Для своей обороны авианосцы располагают сильной артиллерией, зенитными ракетами, большим количеством автоматических пушек и крупнокалиберных пулеметов.

Крейсера — это корабли океанского плавания, предназначенные для уничтожения в морском бою кораблей противника, нару-

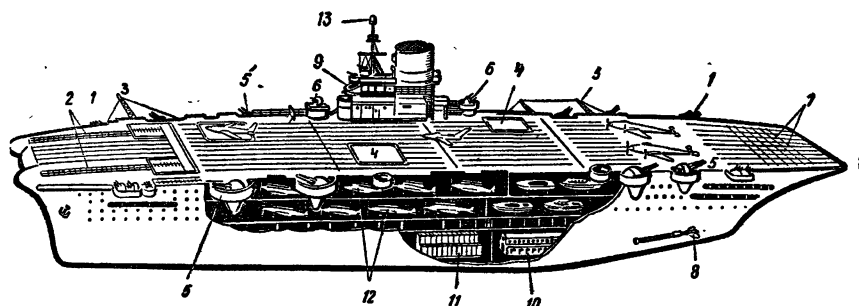


Рис. 98. Аваносец:

1 — многоствольные 20-миллиметровые зенитные автоматы; 2 — катапульта; 3 — мачты радиостанций, заваливаемые к борту при полетах самолетов; 4 — площадка лифта, поднимающего самолеты из нижележащих ангаров; 5 — 120-миллиметровые орудия; 6 — 40-миллиметровые зенитные автоматы; 7 — аэрофинишеры (тросы, тормозящие самолеты при посадке); 8 — гребной винт; 9 — «Остров» — командные пункты с боевыми постами; 10 — машинное отделение; 11 — котельное отделение; 12 — ангары для хранения самолетов; 13 — антенна радиолокационной станции

шения его морских сообщений, для дальней морской разведки, постановки минных заграждений и других боевых задач. Мощность двигателей крейсеров достигает 100 000 кВт, скорость хода до 34 узлов, а дальность плавания без пополнения запасов топлива 23 000 км. Кроме орудий, крейсера имеют на вооружении торпеды, а также самолеты и вертолеты, которые используются для разведки и корректировки артиллерийского огня. Все большее значение в настоящее время приобретают ракетные крейсера, вооруженные грозным ракетно-ядерным оружием.

Эскадренные миноносцы. Корабли этого класса (рис. 99) имеют водоизмещение 1500—3000 т, скорость хода до 37 узлов, дальность плавания до 10 000 км. Основное назначение эскадренных миноносцев — нанесение торпедных ударов по большим кораблям противника. Для борьбы с менее крупными кораблями, самолетами и подводными лодками миноносцы располагают артиллерией, зенит-

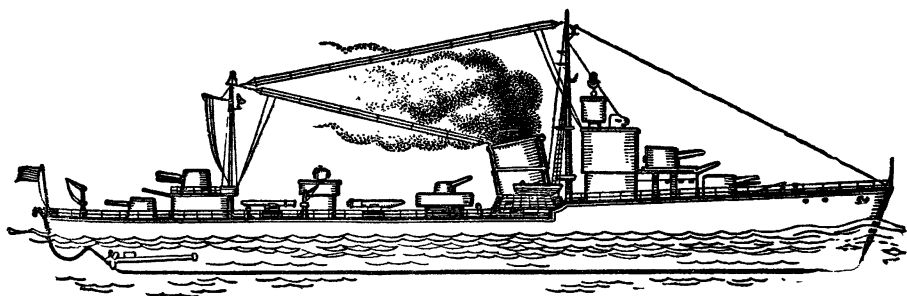


Рис. 99. Эскадренный миноносец

ными ракетами, автоматическими пушками и глубинными бомбами. Миноносцы используются также для обороны кораблей эскадры от подводных лодок противника, для разведывательной службы и постановки минных заграждений, для артиллерийской поддержки приморских частей армии и десантов. Благодаря сильному вооружению, большой скорости хода и надежным средствам связи эскадренный миноносец является грозным боевым кораблем. В наше время на миноносцах, как и на кораблях других классов, все шире внедряется ракетное и атомное оружие. Управляемыми ракетами можно наносить мощные и неожиданные удары с дистанции до 1000 км и более, а их разрушительная сила значительно больше, чем обычных артиллерийских снарядов. Поэтому миноносец, вооруженный ракетным оружием, становится опаснее линкора, вооруженного только нарезной артиллерией.

Торпедные катера представляют собой быстроходные корабли водоизмещением от 12 до 100 т, с легким корпусом глиссерной формы. Мощность двигателей от 250 до 550 кВт, дальность плавания катеров достигает 1000 км. Торпедные катера предназначены для нанесения торпедного удара по кораблям противника. Для этой цели они снабжены торпедными аппаратами. Кроме того, они вооружены пулеметами и зенитными автоматами. Катера не имеют бронирования, их защитой является большая скорость и высокая маневренность. Несмотря на небольшой размер, они очень опасны для крупных кораблей, а с помощью глубинных бомб успешно ведут борьбу с подводными лодками.

В состав современного военно-морского флота входят также подводные лодки, минные заградители и суда многих других классов, в том числе вспомогательные, предназначенные для снабжения флота топливом, боеприпасами, продовольствием и т. д.

§ 4. Глубоководные аппараты и подводные суда

Систематическое исследование океанских глубин началось сравнительно недавно, после того как были изобретены специальные средства для подводных работ и подводного плавания: глубоководные гидрологические лебедки, подводные лодки, гидростаты, батискафы, батисферы и другие аппараты, которые позволили ученым проникнуть на такие глубины, где царит вечная темнота и давление измеряется сотнями атмосфер. Изучение Мирового океана имеет не только научное, но и громадное практическое значение. Мировой океан может дать человечеству минерального сырья и продуктов во много раз больше, чем дает суша. По подсчетам ученых, в океанских водах растворены миллиарды тонн золота, серебра, иода, урана и других ценных химических элементов. В толще донных осадков скрываются богатые залежи железа, угля, никеля, кобальта. В ряде мест Атлантического и Тихого океанов прямо на поверхности дна лежат толстым слоем минеральные рос-

сыпи, содержащие до 50% железа и марганца. Мировой океан является почти неисчерпаемым источником продуктов питания. В нем ежегодно добывается до 40 млн. т рыбы, тысячи тонн китов, тюленей и др.

Очень велика энергия океанских приливов и отливов (свыше 2 млрд. кВт), однако она почти не используется.

Изучение океанских глубин имеет большое научное значение. Толщина земной коры, достигающая на материках от 30 до 80 км, под океанским дном составляет 10—11 км. Поэтому именно здесь ученые предполагают осуществить глубокое бурение и проникнуть в земную мантию — слой, в котором возникают месторождения полезных ископаемых.

Попытки проникнуть в морские глубины человек предпринимал уже давно. Известно, например, что древние греки с помощью водолазных работ добывали медную руду с глубины 4 м.

В русских летописях рассказывается, что древние славяне могли находиться под водой, дыша через тростниковые трубочки. Необходимо указать, что подобные водолазные приборы, в которых для дыхания используется воздух при атмосферном давлении, не позволяют погружаться на глубину более 1 м. Уже на такой глубине вода давит на живот и грудь человека с силой более 1300 Н, которую он должен преодолевать при каждом вдохе. С погружением на каждые 10 м давление водяного столба увеличивается на 10 Н/см². Следовательно, на глубине 1000 м давление достигает 1000 Н/см², а в самых глубоких впадинах Мирового океана оно превышает 10 000 Н/см². Покорение океанских глубин сопряжено с громадными трудностями. Сейчас в этом направлении сделаны только первые шаги. Недаром говорят, что многие участки океанского дна ученым известны гораздо меньше, чем поверхность Луны. Существуют два вида водолазных аппаратов, позволяющих человеку длительное время находиться под водой. В аппаратах первого вида (воздушном колоколе, мягком скафандре, акваланге) водолаз вдыхает воздух под давлением, равным давлению воды на соответствующей глубине. При этом воздух давит на тело изнутри и снаружи с одинаковой силой, и потому человек чувствует себя нормально. С увеличением глубины погружения (свыше 50 м) и, следовательно, ростом давления биохимические реакции в организме протекают иначе. Например, азот приобретает свойство легко растворяться в крови, вызывая азотное отравление, погубившее немало водолазов. Это и ставит предел глубине, на которой возможна безопасная работа в таких аппаратах.

Аппараты второго вида (жесткие скафандры, подводные лодки, батискафы и т. д.) представляют собой жесткую водонепроницаемую камеру, в которой создаются нормальные для жизни человека условия и которая защищает его от повышенного давления воды.

Первый спуск под воду в водолазном колоколе происходил в 1538 г. в испанском городе Толедо на реке Тахо. Колокол пред-

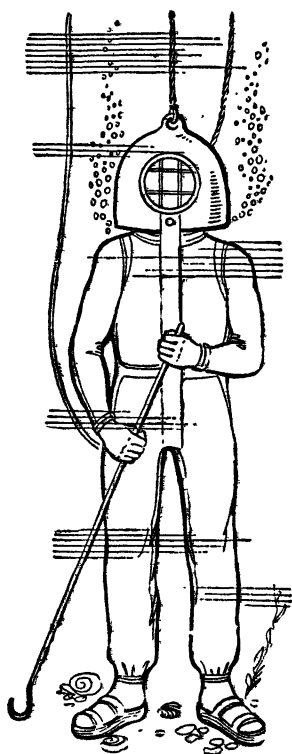


Рис. 100. Водолазный аппарат Гаузена

ставлял собой большой опрокинутый вверх дном горшок, внутри которого на помосте помещались два человека с зажженной свечой. Позже водолазные колоколы строились в Германии, Италии, России и в других странах. В 1717 г. английский астроном Галлей построил более совершенный колокол, в котором можно было опускаться на глубину до 20 м. Колокол Галлея имел отверстие для удаления испорченного воздуха, свежий воздух доставлялся в бочках и по шлангам поступал под колокол.

Одним из прообразов современного водолазного скафандра явился аппарат, созданный в 1829 г. русским изобретателем Гаузенем. Главной частью этого аппарата (рис. 100) был медный шлем, который удерживался на плечах железной шиной. Под шлем по гибкому шлангу накачивали с поверхности воздух для дыхания. Избыток воздуха выходил из-под краев шлема. Водолаз надевал также рубашку из водонепроницаемой ткани. Соединение шлема с рубашкой не было герметичным, и потому вода могла проникать под шлем, что было сопряжено с большой опасностью для жизни. Аппарат Гаузена использовался в русском флоте до 70-х годов прошлого века.

В 1837 г. англичанин Август Зибель предложил водолазный аппарат, у которого шлем герметично соединен с рубашкой. Этот аппарат по своему устройству уже близок к современному мягкому скафандру.

Мягкий скафандр (рис. 101) состоит из медного шлема и резиновой рубахи, которые образуют водонепроницаемую оболочку. В шлеме различают котелок 1 и манишку 2, снабженные фланцами 3. В шлеме имеются три круглых иллюминатора, закрытых толстыми стеклами 4. Сзади к особому рожку 5 привинчивается шланг для подачи воздуха. В рожке расположен клапан, пропускающий воздух только в шлем. Через другой рожок 6 в шлем проходит телефонный кабель. Сбоку котелка установлен золотник 7 (клапан для выпуска воздуха из скафандра). В котелке находятся также телефон, микрофон и пуговка для управления золотником. Водолаз влезает в рубаху через растягивающийся резиновый воротник, затем на него надевают шлем и фланец воротника зажимают болтами между фланцами котелка и манишки. После этого скафандр становится водонепроницаемым. Во время подводных работ в него непрерывно накачивают воздух, давление которого уравновешивает давление воды, сжимающей грудную клетку водолаза.

Чтобы архимедовы силы не вытолкнули водолаза из воды, на его плечи надевают свинцовые грузы весом до 350 Н, а на ноги — свинцовые галоши по 100 Н каждая, которые помогают ему сохранять в воде устойчивое положение головой вверх.

Работая под водой в мягком скафандре, водолаз все время связан с поверхностью воздушным шлангом, телефонным кабелем и сигнальной веревкой. Эти связи стесняют свободу движений, особенно когда работать приходится в сложных условиях, например в трюмах затонувших кораблей. Стремясь освободить водолаза от мешающих ему связей, французский изобретатель Жак-Ив Кусто в 1943 г. создал автономный (не связанный с поверхностью) подводный аппарат — акваланг (рис. 102). Необходимый запас воздуха под давлением 1500—2000 Н/см² содержится в баллоне 1 емкостью до 7 л. Из баллона воздух через клапан 2 попадает в камеру А. Когда давление в ней достигнет 70 Н/см², мембрана 3, прогибаясь вверх, закрывает клапан 2. Главной частью акваланга является легочный автомат БВ. Когда давление воздуха в его внутренней камере Б равно давлению воды, свободно поступающей во внешнюю камеру В, мембрана 4 выпрямлена. При вдохе давление в камере Б понижается, мембрана 4 про-

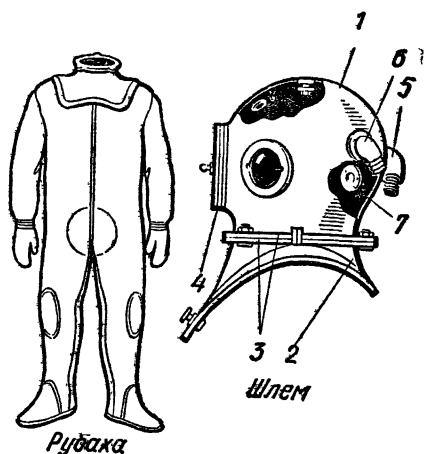


Рис. 101. Мягкий скафандр

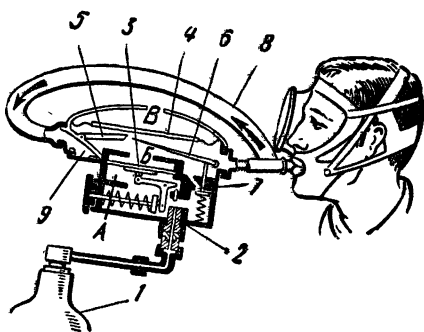


Рис. 102. Схема акваланга

вредно поступающей во внешнюю камеру В, мембрана 4 выпрямлена. При вдохе давление в камере Б понижается, мембрана 4 про-

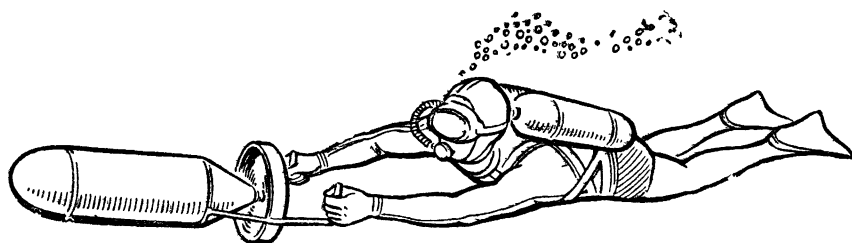


Рис. 103. Электрический подводный велосипед

гибается внутрь и с помощью рычагов 5 и 6 открывает клапан 7. Тогда из камеры А в камеру В поступает новая порция воздуха. При выдохе давление в камере В становится больше внешнего давления и клапан 7 закрывается. Выдыхаемый воздух выходит через патрубок 8 и невозвратный клапан 9 наружу. Таким образом, легочный автомат на любой глубине доставляет в легкие водолаза воздух под давлением, равным давлению воды.

Акваланги позволяют опускаться на глубину до 50 м и проникать в прежде недоступные места — подводные пещеры, расщелины между скал и коралловых рифов и т. д. Для передвижения под водой аквалангисты используют надетые на ноги ласты или электрические подводные велосипеды (рис. 103).

Для погружения на глубину до 200 м используют жесткий скафандр (рис. 104). Он состоит из стального корпуса и конечностей, соединенных между собой шарнирами, которые обеспечивают свободу действия рук и ног. Скафандр защищает водолаза от давления воды и позволяет дышать воздухом при нормальном давлении. В скафандре имеется люк для входа водолаза, иллюминаторы и осветительные приборы, а также запас сжатого до 1500 Н/м^2 кислорода в баллонах, укрепленных снаружи на корпусе аппарата. Кислород по шлангу подается в скафандр, в котором находятся химические поглотители выдыхаемого углекислого газа. Скафандр снабжен также приборами: глубиномером, манометром, термометром, телефоном для связи с поверхностью и т. д. На двух верхних конечностях установлены особые зажимы — руки, с помощью которых водолаз удерживает инструменты во время подводных работ. Скафандр, вес которого в воздухе достигает 4500 Н, опускают в воду на стальной канате. Под водой скафандр благодаря выталкивающей архимедовой силе становится гораздо легче и водолаз может свободно передвигаться по дну. Сзади и спереди к скафандру прикреплены заполняемые водой балластные цистерны. Вытесняя из них воду сжатым воздухом, водолаз может довести вес скафандра до 100 Н, а

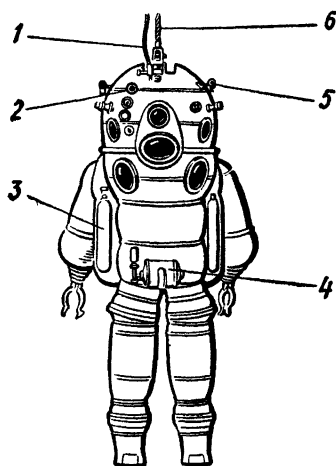


Рис. 104. Жесткий скафандр:

1 — кабель; 2 — микрофон; 3 — кислородный баллон; 4 — поглотитель углекислоты; 5 — глубиномер; 6 — канат

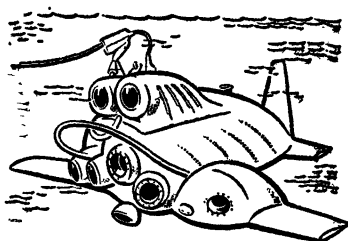


Рис. 105. Советский подводный планер «Атланта-1»

при обрыве каната самостоятельно всплыть на поверхность. 200—250 м являются пределом погружения в жестком скафандре. При больших глубинах вода так сильно зажимает резиновые прокладки между шарнирными сочленениями, что водолаз не может пошевелить ни рукой, ни ногой.

В 1963 г. в Советском Союзе для различных подводных исследований на глубине до 200 м (в частности, для наблюдения за работой рыболовного трала) был создан подводный планер «Атланта-1» (рис. 105) с прочным корпусом длиной 4,5 м и весом 18 000 Н. Аппарат снабжен крыльями, рулями поворота и глубины. Кабина наблюдателя с четырьмя иллюминаторами расположена в носовой части. Пять прожекторов освещают поле наблюдения и позволяют производить кино- и фотосъемки. Аппарат буксируют надводным судном с помощью троса-кабеля длиной 1 км. По этому же кабелю передается на планер электроэнергия и поддерживается телефонная связь. Для погружения на глубину свыше 200 м существуют три вида аппаратов: гидростаты, батисферы и батискафы.

На рисунке 106 изображен советский гидростат ГКС-6. Гидростат состоит из двух стальных цилиндров: верхнего диаметром 80 см и нижнего диаметром 68 см, соединенных стальным поясом в виде усеченного конуса. Высота гидростата 2,6 м, вес 12 кН.

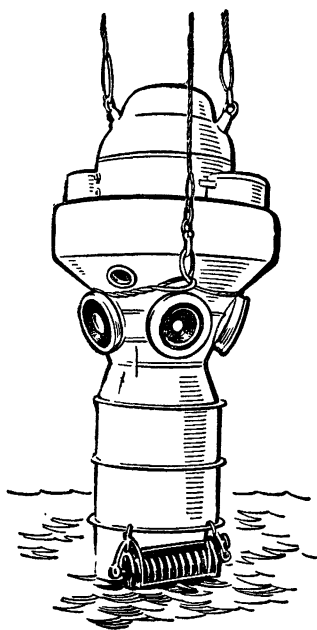


Рис. 106. Советский гидростат ГКС-6

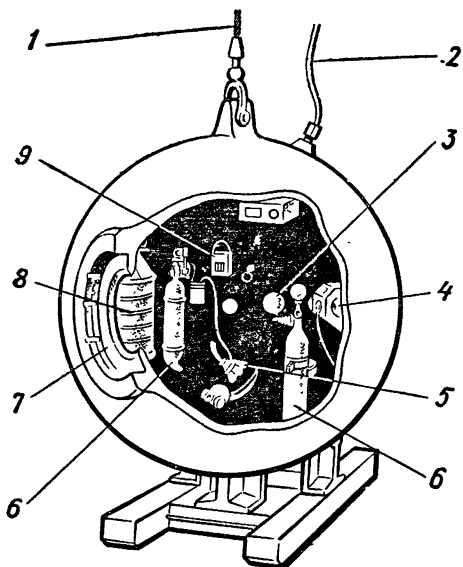


Рис. 107. Батисфера О. Бартона:

1 — канат; 2 — кабель; 3 — центральный иллюминатор; 4 — прожектор; 5 — телефон; 6 — баллоны с кислородом; 7 — входной люк; 8 — аппарат для поглощения углекислоты; 9 — термометр и гигрометр

Наблюдатель, сидящий внутри аппарата на вращающемся стуле, может свободно располагаться против любого из пяти иллюминаторов, закрытых стеклами из плексигласа. Гидростат опускается на стальном тросе до глубины 600 м.

Особенно большое давление воды могут выдерживать камеры сферической формы. Такую камеру-батисферу (рис. 107) построил в 1929 г. американский инженер Отис Бартон. Она представляла собой шар диаметром 1,45 м и весом 24 кН, отлитый из стали толщиной 32 мм. Аппарат имел три иллюминатора с толстыми стеклами и круглый входной люк, крышка которого, весившая 1810 Н, заворачивалась снаружи. В аппарате были установлены химические поглотители углекислоты, мощный прожектор, телефон для связи с судном-базой и различные научные приборы.

В 1934 г. Отис Бартон вместе с зоологом Вильямом Бибом в Атлантическом океане, вблизи Бермудских островов, опустился в батисфере на огромную глубину — 923 м. Через 15 лет, в 1949 г. О. Бартон в Тихом океане, недалеко от Лос-Анджелеса опустился в стальном шаре весом более 30 кН на рекордную глубину — 1372 м. Под водой Бартон пробыл 2 ч 19 мин. Подъем продолжался 51 мин.

Для исследования океанских глубин используются также подводные суда.

Каждый подводный корабль имеет балластные цистерны, которые во время плавания в надводном положении содержат воздух.

Если цистерны заполнить водой, корабль становится тяжелее и погружается в воду. При этом он приобретает нулевую плавучесть, т. е. его вес вместе с наполненными цистернами становится равным выталкивающей архимедовой силе. Если воду из балластных цистерн откачать, корабль всплывает на поверхность.

На протяжении XVII и XVIII вв. конструированием и постройкой подводных лодок для военных целей занимались многие изобретатели. Наиболее оригинальную лодку построил в 1798 г. американец Роберт Фультон. Эта лодка (рис. 108), названная «Наутилус» имела форму неправильного эллипсоида длиной 6,5 м и шириной 2 м. Полный внутри металлический киль 3 мог посредством насосов 4 либо наполняться водой, либо освобождаться от нее, что позволяло лодке погружаться или всплывать на поверхность. Команда из трех человек приводила в движение насосы, а также вращала гребной винт 5 диаметром 1,3 м. Управление лодкой осуществлялось посредством вертикального руля 6, а для

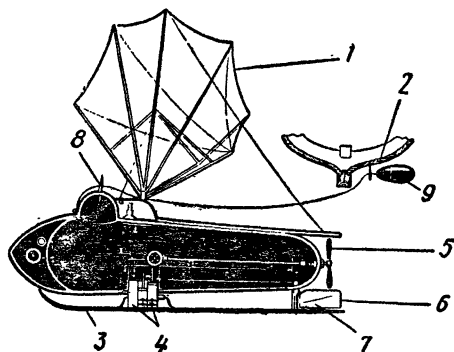


Рис. 108. Подводная лодка Р. Фультона:
1 — складной парус; 2 — днище атакуемого корабля

удержания ее на заданной глубине Фультон впервые применил горизонтальный руль 7. В верхней части рубки «Наутилус» имел отделяющееся острие 8 с отверстием, сквозь которое пропусклась длинная веревка, привязанная к мине 9. Атакуя неприятельский корабль, лодка должна была скрыто подплыть под него, острие вонзалось в днище корабля, и лодка отходила, подтягивая к нему мину. От удара мина взрывалась, когда лодка находилась уже на безопасном расстоянии.

Испытание «Наутилуса» состоялось 29 июля 1800 г. во Франции на реке Сене. Лодка, в которой находился с зажженными свечами Фультон и его помощники, погрузилась на глубину 8 м и находилась там около часа. Труды Фультона не встретили поддержки французского правительства, для которого строился «Наутилус». Не имея средств для дальнейших работ над своим изобретением, Фультон разобрал «Наутилус» на части.

Вначале подводные лодки имели гребной винт, приводимый в движение мускульной силой, однако эти лодки были тихоходны и маломестительны. Поэтому они не получили распространения. Главным затруднением для конструкторов подводных судов было отсутствие достаточно мощного и компактного двигателя.

Значительный шаг вперед в конструировании подводных лодок сделал в начале нашего века американец Джон Голланд. Он построил лодку с газолиновым двигателем внутреннего сгорания, приводившим в действие электрический генератор. Когда лодка шла по воде, двигатель вращал гребные винты, а генератор заряжал аккумуляторы. Для подводного хода использовались электродвигатели, питаемые током аккумуляторов. Двигатель внутреннего сгорания при этом останавливали. По такому же принципу действуют современные подводные лодки.

Современная подводная лодка (рис. 109) имеет прочный, стальной, водонепроницаемый внутренний корпус, заключенный в другой, более легкий и тонкий обтекаемой формы. Пространство между обоими корпусами разделено на камеры, образующие балластные и топливные цистерны. При плавании лодки под водой

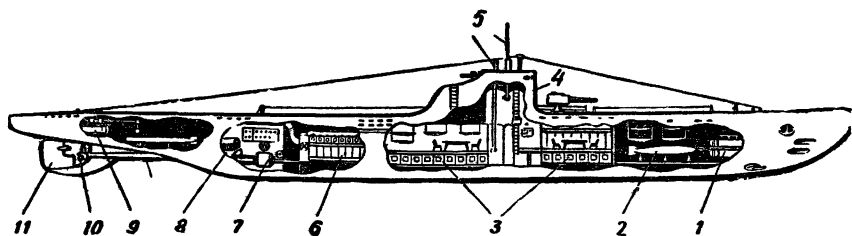


Рис. 109. Схема современной подводной лодки:

1 — торпедные аппараты; 2 — торпеды; 3 — аккумуляторные батареи и жилые помещения; 4 — боевая рубка; 5 — перископы; 6 — двигатель внутреннего сгорания; 7 — главный электродвигатель, вращающий гребной винт; 8 — компрессор; 9 — торпедные аппараты; 10 — гребной винт; 11 — рули

цистерны заполнены водой и через отверстия в своей нижней части сообщаются с забортной водой. Наружное давление воды на стенки цистерн уравнивается внутренним давлением, и потому их делают тонкими. Чтобы всплыть, воду из цистерн вытесняют сжатым воздухом. Верхняя водонепроницаемая часть легкого корпуса образует палубу, прикрывающую баллоны со сжатым воздухом, якорное устройство и другое оборудование. Пространство внутри прочного корпуса разделено поперечными водонепроницаемыми переборками на отсеки, в которых размещаются дизели, электродвигатели, торпедные аппараты, жилые помещения, аккумуляторные батареи и т. д. Над центральным отсеком установлена боевая рубка, играющая при ходе под водой роль поплавка и помогающая лодке сохранять устойчивое положение. Наверху боевую рубку венчает мостик с высокими, выше человеческого роста, сплошными бортами, снабженными небольшими окнами из плексигласа. Когда лодка движется над водой, дизели вращают гребные винты и роторы электрических генераторов, которые заряжают аккумуляторные батареи. При движении под водой гребные винты приводятся в действие электромоторами, питаемыми током от аккумуляторов. Своей способностью погружаться и изменять глубину плавания лодка обязана горизонтальным рулям в носу и корме. Для горизонтального поворота служит вертикальный руль. Лодка вооружена торпедами, несущими взрывчатый заряд огромной разрушительной силы. Торпеда выстреливается сжатым воздухом из торпедного аппарата и движется к кораблю противника с помощью собственного гребного винта, вращаемого также сжатым воздухом. Все виды подводных лодок снабжены приемно-передающими и локационными радиостанциями, гидроакустическими приборами, противопожарными и спасательными средствами, перископами для наблюдения за противником из-под воды, устройством для разрезания противолодочных сетей и другим сложным оборудованием.

Подводные дизель-аккумуляторные лодки имеют недостаток: через 2—3 ч подводного хода лодка должна всплывать на поверхность, чтобы запустить дизели и зарядить аккумуляторы.

Атомные подводные лодки имеют почти неограниченную дальность плавания и могут находиться под водой по несколько месяцев, так как для работы атомной силовой установки кислород не нужен. Недостатком атомных энергетических установок являются их большие размеры и вес. До 30% этого веса приходится на экран, защищающий экипаж лодки от радиоактивных излучений.

Наши атомные подводные лодки (рис. 110) совершили ряд блестящих переходов подо льдами Арктики, причем неоднократно достигали Северного полюса. В 1966 г. состоялось кругосветное плавание группы советских атомных кораблей под командованием контр-адмирала А. И. Сорокина. За полтора месяца корабли прошли, не всплывая на поверхность, 40 000 км. При этом они несколько раз пересекали экватор, шли вокруг Южной Америки, среди айсбергов и ледяных полей Антарктиды.

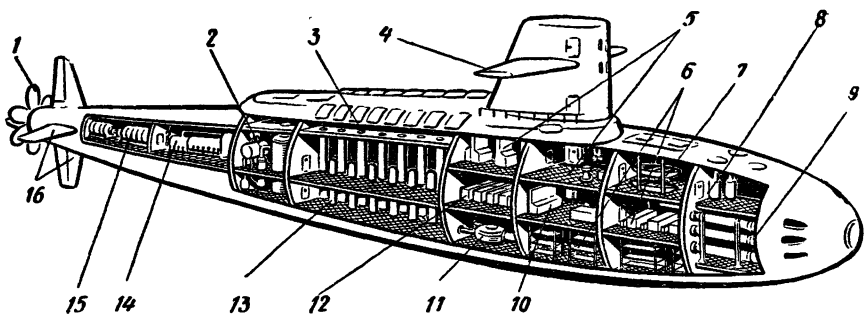


Рис. 110. Советская атомная подводная лодка:

1 — гребной винт; 2 — реакторный отсек; 3 — стартовые шахты с ракетами; 4 — ручные горизонтальные рули; 5 — центральный пост; 6 — жилые и бытовые помещения; 7 — каюта; 8 — торпедный отсек; 9 — торпедные аппараты; 10 — пост по управлению ракетной стрельбой; 11 — гироскопический успокоитель качки; 12 — аккумуляторные батареи; 13 — баллоны со сжатым воздухом; 14 — отсек вспомогательных механизмов; 15 — турбинный отсек; 16 — вертикальные и горизонтальные стабилизаторы с рулями

Большой научный интерес представляет изучение шельфа — материковой отмели, имеющей среднюю глубину 200 м и занимающей до 8% площади Мирового океана. В 1959 г. по идее изобретателя акваланга Жака-Ива Кусто была построена оригинальная автономная (т. е. не связанная тросом с поверхностью моря) малая подводная лодка (рис. 111) для биологических и геологических морских исследований шельфа на глубине до 300 м. Круглый корпус 1 лодки диаметром 2 м, сделанный из стальных листов толщиной 2 см, за свою форму получил название «ныряющее блюдо» (сокращенно НБ-2). Снаружи он закрыт второй оболочкой 2 из стекловолокна, а между стенками двух оболочек размещены электромоторы, аккумуляторы 10, насосы 9 и трубопроводы, баки для ртутного балласта 8. НБ-2 передвигается под водой с помощью водометного движителя, состоящего из двух насадок (сопел) 3, из которых под большим давлением, создаваемым гидравлическим поршнем 4, бьют водяные струи. Если повернуть насадки вверх, аппарат будет погружаться, при повороте вниз — подниматься.

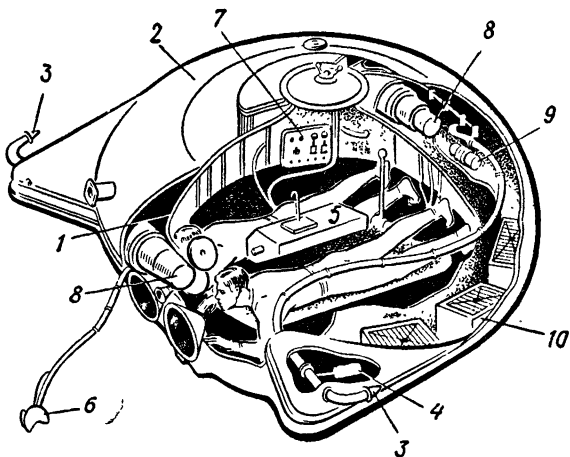


Рис. 111. Акваланг Жака-Ива Кусто

Когда насадки направлены назад, аппарат движется вперед, если выключить одну из них, под действием другой БН-2 повернется. В центре кабины между водителем и наблюдателем, которые располагаются лежа на полу, помещается 60-литровый бак для водного балласта, с помощью которого можно изменять общий вес аппарата, добиваясь нулевой плавучести. Для быстрого всплытия водитель поворотом ручного рычага сбрасывает две подвешенные под днищем НБ-2 чугунные чушки и аварийный груз весом 2000 Н. НБ-2 имеет 10 иллюминаторов для наблюдения, фотографирования и киносъемок подводного мира. Снаружи на выдвижном гидравлическом поршне смонтирован мощный осветитель. Аппарат снабжен также тремя ультразвуковыми эхолотами, излучающими волны вперед, вверх и вниз, с их помощью водитель следит за тем, что недоступно его зрению. Установленная снаружи гидравлическая «клешня» б позволяет захватывать и срезать растения со дна моря и брать пробы грунта. Внутри кабины находится множество различных научных приборов, контролирующих работу НБ-2. На панели 7 установлены экран эхолота, гироскопический компас, кнопки кино- и фотоаппаратов, осветителей, магнитофона для записи наблюдений. Кислород для дыхания, автоматически поступающий из баллонов, и поглотители углекислого газа позволяют исследователям находиться под водой в течение суток.

Весьма важной задачей океанографии является планомерное изучение максимальных глубин Мирового океана. Использование батисферы для этой цели связано с большим риском: в случае обрыва каната исследователи окажутся погребенными на дне океана. Ученые нуждались в аппарате, который при большой прочности был бы легче воды и при аварии всплывал на поверхность. Однако любая камера с прочными и, следовательно, толстыми стенками только в том случае имеет среднюю плотность меньше, чем плотность воды, если ее размеры очень велики. Это противоречие между требованиями легкости и прочности удалось разрешить знаменитому покорителю стратосферы — швейцарскому ученому (физику) Огюсту Пикару. Он предложил тяжелую, толстостенную камеру подводного корабля прикреплять к легкому поплавку с тонкими стенками, наполненному бензином, плотность которого на 30% меньше плотности воды. Воздух для этой цели не годится, так как он легко сжимается и поплавок сразу будет раздавлен многокилометровой толщей воды. Если же стенки резервуара сделать толстыми, он станет тяжелым и перестанет быть поплавком. Аппарат О. Пикара, названный им батискафом¹, снабжают балластом, который своим весом заставляет его погружаться в воду. При сбрасывании балласта батискаф становится легче воды и архимедова сила поднимает его на поверхность.

На рисунке 112 изображен батискаф-3 — один из трех батискафов, построенных Огюстом Пикаром и его сыном Жаком Пи-

¹ От греческих слов «батис» — глубина, «скафос» — судно.

каром. Гондола батискафа изготовлена из двух стальных полушарий диаметром 2,18 м. Она закрепляется под легким поплавком обтекаемой формы, сделанным из стальных листов толщиной 5 мм. Поплавок разделен переборками на ряд отсеков, которые сверху имеют отверстия для выхода воздуха и заполнения их бензином. Длина поплавок 16 м, диаметр 3,35 м.

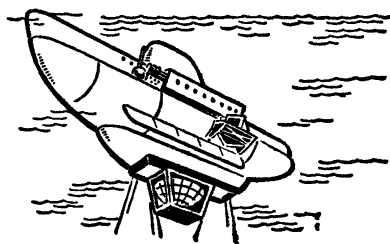


Рис. 112. Батискаф ФРНС-3 О. Пикара

При погружении батискафа давление воды возрастает и она через специальные трубы входит снизу в поплавок, сжимая бензин; при всплытии наружное давление падает, бензин расширяется и вытесняет воду из поплавка. Таким образом, давление внутри и снаружи всегда одинаково, благодаря чему вода не может раздавить поплавок даже на глубине 10 км. На палубе батискафа находится рубка, предохраняющая человека от морских волн. В рубке расположен входной люк в вертикальную шахту, через которую исследователи по трапу спускаются в гондолу. Перед погружением батискафа шахта и балластные цистерны заполняются водой и, утяжеляя его, помогают погружаться. Когда аппарат всплывает, вода из шахты и цистерн вытесняется сжатым воздухом. Источником электрической энергии на батискафе являются аккумуляторные батареи весом 12 кН. Ток от них поступает, в частности, в обмотки специальных электромагнитов, которые удерживают на месте как сами батареи, так и бункера с твердым балластом в виде чугуновой дробы. Другие электромагниты, установленные внизу бункеров, намагничивают дробь, благодаря чему она слипается и закупоривает выходные отверстия. Если выключить ток из обмоток этих электромагнитов, дробь размагничивается и, освобождаясь, высыпается наружу. При обрыве проводов или выходе из строя батарей выключаются электромагниты, удерживающие батареи и бункера, и они падают на дно моря, а облегченный батискаф устремляется вверх. При посадке аппарата подвешенная к гондole тяжелая цепь ложится на дно моря, благодаря чему вес батискафа и скорость опускания уменьшаются. Два электродвигателя мощностью по 1,5 кВт позволяют батискафу перемещаться по дну со скоростью 0,5 узла. Для наблюдения за жизнью моря снаружи батискафа установлены три прожектора, а в корме расположены ультразвуковые приборы, с помощью которых определяют расстояние до дна и поверхности воды. Ультразвуковой телеграф дает возможность исследователям поддерживать связь с судном-базой. Над палубой укреплен компас и измеритель скорости погружения (лаг), антенна приемно-передающей радиостанции, используемая только на поверхности. В снаряжении батискафа входят также глубинные пушки для поражения крупных

морских животных. Эти пушки действуют благодаря гидростатическому давлению и заряжаются гарпунами. Каждый гарпун соединен тросом с барабаном небольшой лебедки для подтаскивания убитого морского чудовища к батискафу. Через трос к гарпуну можно подвести электрический ток, парализующий животное. Все управление батискафом осуществляют из гондолы.

23 января 1960 г. Жак Пикар и американец Дон Уолш в батискафе «Триест» опустились на дно Марианской впадины в Тихом океане, достигнув предельной глубины — 10 919 м. На этой глубине манометры показали давление $115 \cdot 10^6$ Н/см², а нагрузка водяного столба на гондолу составила 1 700 000 кН. Здесь Жак Пикар и его спутник измерили температуру и радиоактивность придонных слоев, скорость подводных течений и выполнили целый ряд других научных исследований. Они наблюдали, как перед иллюминатором проплыли креветки и серебристая, похожая на камбалу рыба. Это очень важное наблюдение свидетельствует, что вся огромная толща океана — от поверхности до глубины 11 км — полностью населена. Опустившись на дно Марианской впадины, отважные исследователи доказали, что человеку доступны самые глубокие места Мирового океана. В этом состоит историческое значение их научного подвига.

§ 5. Аэростаты и дирижабли

История развития воздухоплавания насчитывает уже несколько столетий. Еще в 1670 г. итальянский ученый Франческо Лана предлагал сделать летательный аппарат легче воздуха, откачав воздух из четырех медных тонкостенных шаров. Этот проект был, конечно, неосуществим: атмосферное давление сплющило бы шары, а аппарат с толстостенными шарами был бы тяжелее воздуха. Правильную идею летательного аппарата легче воздуха выдвинули в 1768 г. английские химики Блэк и Кавалло, которые предложили построить его из тонкостенных шаров, наполненных водородом: известно, водород в 14,5 раз легче воздуха. Однако многочисленные попытки Кавалло поднять в воздух легкие оболочки, наполненные водородом, окончились безуспешно, так как газ быстро просачивался через поры бумаги и тканей, из которых они были сделаны.

Подобные же опыты производили в 80-х годах XVIII в. французские изобретатели — братья Жозеф и Этьен Монгольфье. Наблюдения за облаками, плавающими в небе, навели их на мысль наполнять бумажные оболочки водяным паром. Но пар быстро сгушался, а оболочки намокали. Замена водяного пара водородом также не принесла успеха. Как и в опытах Кавалло, бумажные оболочки быстро пропускали летучий водород. И только когда изобретатели наполнили бумажную шаровую оболочку дымом, она оторвалась от земли и продержалась в воздухе около 10 мин, поднявшись на высоту приблизительно 300 м.

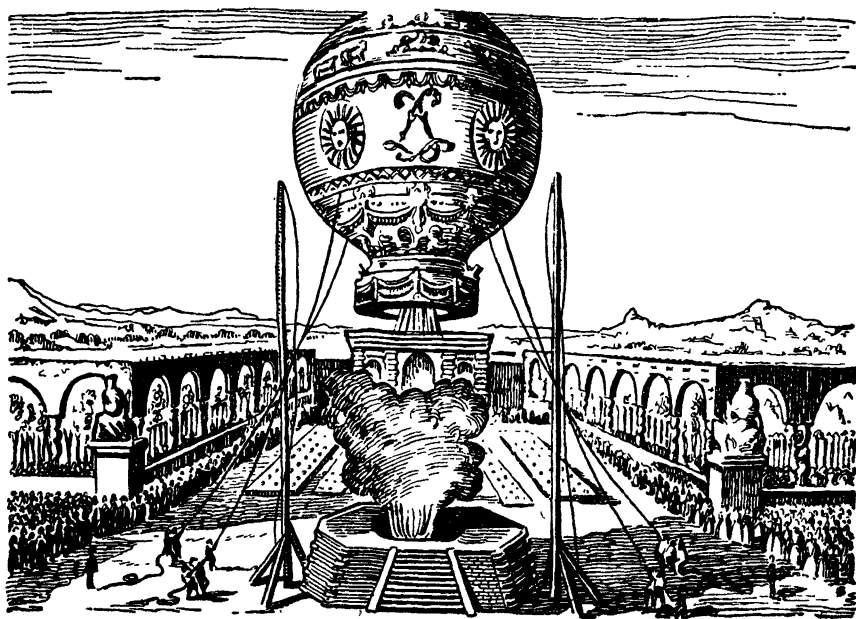


Рис. 113. Первый воздушный полет людей на монгольфьере 21 ноября 1783 г.

Первую публичную демонстрацию своего изобретения братья Монгольфье осуществили 5 июня 1783 г. во французском городе Аннонэй. Для этого они изготовили из холста, оклеенного бумагой, громадный шар диаметром 11,4 м, весивший 2270 Н. По экватору шара был нашит пояс со свисавшими вниз веревками, за которые удерживали шар перед его полетом. Внизу оболочка имела отверстие диаметром 1,5 м для наполнения дымом. Под шаром развели огонь и наполнили его дымом. Затем рабочие, удерживавшие шар, отпустили поясные веревки и он легко взмыл в воздух. Баллон поднимался около 10 мин, дойдя, по оценке зрителей, до высоты 2000 м. Потом ветер понес его горизонтально и наконец шар опустился на расстоянии 2,5 км от места подъема.

19 сентября 1783 г. в Версале под Парижем братья Монгольфье осуществили первый полет «монгольфьера» с «пассажирами», которыми были баран, петух и утка. Через 8 мин после того, как теплый воздух вышел из баллона, «пассажиры», пролетев около 4 км на высоте 500 м, благополучно опустились на землю.

Сразу же после этого полета братья Монгольфье приступили к постройке нового шара, пригодного для подъема людей. Шар имел диаметр 22,7 м и весил 6750 Н. Пассажиры размещались в кабине, имевшей форму кольцевой галереи шириной около 1 м, сплетенной из ивовых прутьев. Посредине нее был подвешен очаг в виде железной решетки для сжигания топлива и наполнения

баллона теплым воздухом. 21 ноября 1783 г. на этом шаре состоялся первый свободный полет людей (рис. 113), а первыми воздухоплатателями были французский физик Пилатр де Розье и спортсмен д'Арланд. Немалую опасность для летевших аэронавтов представлял огонь, который они поддерживали в очаге: искры прожгли во многих местах их одежду и оболочку «монгольфьера». Скоро оборвались некоторые из веревок, на которых была подвешена галерея. Пролетев за 20 мин 9 км, отважные воздухоплататели опустились на землю.

Изобретение братьев Монгольфье вызвало большой интерес и в мире ученых. Когда слухи о первом полете «монгольфьера» дошли до французского физика Жака Шарля, он приступил к постройке аэростата. Об опытах Монгольфье Шарль знал очень немного, поэтому в качестве несущего газа выбрал водород. Из легкой шелковой ткани, покрытой раствором каучука в скипидаре, Шарлю удалось изготовить шарообразную непроницаемую для водорода оболочку. Он добыл также нужное количество водорода, который тогда умели получать лишь в лабораториях небольшими порциями. Аэростат Шарля, названный «шарльером», имел диаметр 3,6 м и весил 120 Н; 25 м³ водорода давали ему избыточную подъемную силу всего 90 Н. Первый подъем «шарльера» состоялся 27 августа 1783 г. с Марсового поля в Париже. За две минуты шар поднялся на высоту около 2000 м и затем исчез в облаках. Полет продолжался всего четверть часа, так как в верхних слоях атмосферы расширяющийся водород разорвал оболочку и она упала в нескольких километрах от Парижа, около деревни Гонесс, сильно напугав работавших в поле крестьян. Ветер трепал оболочку с остатками газа, и крестьяне приняли ее за неведомое чудовище. Оправившись от испуга, они с вилами и цепями храбро напали на «шарльер», и через несколько минут от него остались одни клочья.

Сразу же после этого полета Шарль предпринял постройку нового аэростата объемом 400 м³ и диаметром 9 м, рассчитанного на подъем двух человек. При этом он разработал основные части конструкции и методы управления воздушным шаром, которые используются до нашего времени. Чтобы тяжесть гондолы равномерно распределялась по большой поверхности, Шарль подвесил ее на веревках (стропях) к сетке, облегавшей верхнее полушарие баллона. Он снабдил также баллон клапаном для выпуска водорода и открытым шлангом (аппендиксом), впервые использовал балласт и якорь, облегчившие посадку на землю.

Первый полет Шарля и его сотрудника Робера состоялся 1 декабря 1783 г. За $2\frac{1}{2}$ ч аэронавты пролетели свыше 40 км, поднимаясь временами на высоту до 3000 м.

Впервые перелет через Ла-Манш из Англии во Францию совершили 6 января 1785 г. французский аэронавт Бланшар и американец Джеффри. Местом старта они избрали город Дувр на берегу Ла-Манша, в наиболее узкой части пролива. На случай спуска

в море аэронавты захватили с собой только пробковые костюмы. Сначала попутный ветер нес их на высоте нескольких сотен метров к французским берегам. Однако после часового полета, когда отважные путешественники находились над серединой пролива, аэростат быстро стал снижаться. Пришлось выбросить за борт весь балласт, подзорную трубу, приборы, провизию, сапоги и даже верхнее платье. Ничто не помогало, аэростат неумолимо влекло к морю. Пилоты собирались уже прицепиться к сетке, покрывавшей баллон, и отрезать корзину. Однако в этот опасный момент теплый ветер с берегов Англии понес аэростат вверх и через 2 ч после старта воздухоплаватели оказались над сушей в окрестностях города Кале. Пролетая над рощей, они ухватились за большое дерево, выпустили из оболочки газ и оказались на земле. Французы торжественно встретили аэронавтов. В честь знаменательного полета на месте спуска был установлен памятник.

Пионером использования аэростатов для научных исследований явился русский ученый Яков Дмитриевич Захаров. В 1804 г., поднявшись на аэростате, он взял пробы воздуха и исследовал звуковые и электромагнитные явления. Пользуясь компасом и зрительной трубой, Захаров определил маршрут полета и нанес его на карту, положив начало аэронавигации — науке об управлении воздушными кораблями. Метеорологические и астрономические наблюдения с помощью аэростатов проводили многие ученые XIX в., в том числе русские ученые И. М. Рыкачев, Д. И. Менделеев и другие. В 1887 г. Д. И. Менделеев совершил полет на аэростате для наблюдения солнечного затмения.

Современные аэростаты в зависимости от своего назначения разделяются на свободные, привязные и управляемые. К свободным аэростатам принадлежат воздушные шары всех типов. Свободными они называются потому, что не могут по воле пилота изменять свой полет в горизонтальном направлении и свободно перемещаются вместе с воздушными слоями. Привязной аэростат всегда связан канатом с лебедкой, установленной на земле. Отпуская канат или наматывая его на барабан лебедки, изменяют высоту парения аэростата. Управляемые аэростаты, или дирижабли, снабжены рулями и воздушным винтом, приводимым в действие двигателем внутреннего сгорания. Пилот может направить полет дирижабля в любую сторону.

Свободный аэростат (рис. 114) состоит из оболочки (или баллона), подвесной системы (такелаж), снастей управления и гондолы. Оболочку аэростата делают из прочной ткани, склеенной в три слоя. Верхний,

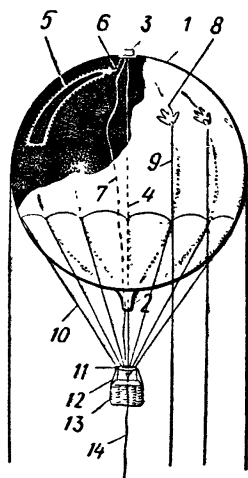


Рис. 114. Схема устройства свободного сферического аэростата

серебристый слой хорошо отражает солнечные лучи, предохраняя шар от нагревания. Объем оболочки у разных аэростатов изменяется от 150 до 4000 м³. Нижняя часть оболочки снабжена открытым рукавом (аппендиксом) 2, через который ее наполняют водородом, светильным газом или гелием. При подъеме аэростата газ расширяется и свободно выходит через аппендикс. У больших аэростатов длина аппендикса достигает 2 м, а диаметр 1 м. В верхней части оболочки также имеется отверстие, закрытое круглым металлическим клапаном 3, который особыми пружинами плотно прижимается к его краям. Клапан открывается внутрь оболочки с помощью веревки 4, выходящей наружу через аппендикс, он служит для выпуска газа. Чтобы после полета ветер не тащил аэростат по земле, оболочку быстро освобождают от газа с помощью разрывного устройства 5. Это большая щель вверху оболочки, заклеенная широкой прорезиненной лентой. К верхнему краю ленты прикреплен тонкий трос 6, который, если его потянуть из гондолы за веревку 7, называемую разрывной вожжей, разрезает ленту и открывает щель. К оболочке по параллели пришиты матерчатые «лапы» 8 с веревочными петлями. К ним прикрепляют поясные веревки 9, за которые аэростат удерживают на старте. Оболочка снабжена также матерчатым поясом, в нижний край которого заделан трос. К тросу с помощью металлических колец присоединены подвесные стропы 10, идущие вниз, к кольцам подвесного обруча 11. К этим же кольцам крепятся стропы 12, на которых подвешена гондола 13. Гондола представляет собой легкую корзину, сплетенную из ивовых прутьев, имеющую внизу дубовые полозья, на которых она скользит при посадке. В гондоле находятся пилоты, приборы и оборудование; снаружи к ней подвешивают мешки с песком (балласт). Кроме гондолы, к подвесному обручу подвешивают длинный толстый канат 14, свисающий вниз. При посадке часть каната ложится на землю, аэростат становится легче, что уменьшает скорость снижения.

Полеты аппаратов легче воздуха изучает аэростатика — наука о равновесии газов. Атмосфера, окружающая оболочку парящего аэростата, действует на нее с архимедовой силой Q , которая равна весу вытесненного воздуха и направлена вертикально вверх. Книзу аэростат тянет сила тяжести оболочки и сила P тяжести наполняющего ее несущего газа. Разность $F = Q - P$ называется подъемной силой, так как $Q = \rho gV$ и $P = \rho_1 gV$, то $F = (\rho - \rho_1)gV$, где ρ , ρ_1 — плотности воздуха и несущего газа, а V — объем оболочки, g — ускорение свободного падения.

Когда аэростат попадает в облака, его подъемная сила уменьшается, так как влажный воздух легче сухого; аэростат снижается. Наоборот, при нагревании солнцем оболочки и несущего газа он расширяется, подъемная сила возрастает и аэростат начинает подниматься. Чтобы подняться выше, воздухоплаватели выбрасывают часть балласта, чтобы опуститься, выпускают через клапан часть газа. Регулируя таким образом высоту полета, аэронавтам

иногда удается направить полет в нужную сторону. Однако бывают и такие случаи, когда аэростат, несомый воздушным течением, описывает замкнутую кривую или уносится в открытое море.

Ответственной частью полета является спуск и посадка аэростата. Начиная с высоты 300 м аэронавты уменьшают скорость снижения до 1 м/с и выпускают канат, часть которого ложится на землю и тормозит перемещение аэростата вдоль земной поверхности. Выбрав место для посадки, экипаж открывает клапан. Когда гондола окажется на высоте 3—4 м, с помощью разрывной вожжи вскрывают разрывную щель и выпускают из оболочки газ.

Свободные аэростаты позволяют ученым производить длительные научные наблюдения, перемещаясь в атмосфере вместе с воздушными массами. В этом состоит преимущество аэростатов перед самолетами, быстрое движение которых нарушает естественное состояние воздуха и искажает результаты исследований.

Привязной аэростат (рис. 115) имеет оболочку 1 вытянутой формы, сделанную из прорезиненной материи, заполненную водородом. Оболочки привязных аэростатов в зависимости от назначения бывают объемом от 100 до 1000 м³. К кормовой части оболочки прикреплены заполненные воздухом матерчатые мешки — стабилизаторы 2, которые обеспечивают устойчивость аэростата в воздухе. Если газ в оболочке от тех или иных причин (изменения высоты подъема, давления воздуха или его температуры) уменьшится в своем объеме, резиновые шнуры 3 стянут оболочку и ее форма не нарушится. В воздухе аэростат парит наклонно, как воздушный змей, вследствие чего ветер создает ему добавочную подъемную силу, поэтому привязные аэростаты называют также змейковыми.

Аэростат удерживается в воздухе и опускается при помощи привязного стального троса 4, который наматывается на барабан автосбедки. В случае обрыва привязного троса аэростат превращается в свободный. Посадку аэростата в этом случае можно произвести при помощи клапана 5, который открывается вручную клапанной веревкой 6, и разрывного полотнища 7, вскрываемого вожжей 8.

Привязные аэростаты беззащитны перед вражескими самолетами, и потому во время второй мировой войны их использовали главным образом для противовоздушной обороны городов, военных и промышленных районов, морских баз и т. п. Перед ожидаемым налетом вражеских самолетов в воздух поднимали большое количество аэростатов заграждения, располагая их рядами или в шахматном

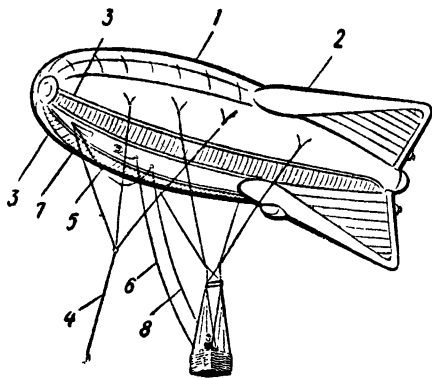


Рис. 115. Привязной аэростат

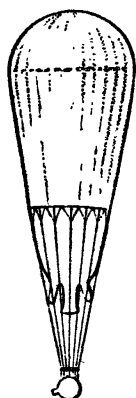


Рис. 116.
Стратостат
О. Пикара

порядке на одинаковой высоте или уступами. При столкновении со стальным тросом или самим аэростатом самолет терпит аварию. Это заставляет вражеских летчиков обходить стороной зону заграждения или подниматься на большую высоту, что снижает точность бомбометания.

Большой научный и практический интерес имеет изучение стратосферы. Из-за сильного разрежения и низкой температуры полет в стратосферу на обычном аэростате в открытой гондole невозможен. Для полетов в стратосферу используют специальные аэростаты — стратостаты с герметически закрытой гондолой, в которой поддерживаются нормальное давление и температура. Так как плотность воздуха в стратосфере в десятки раз меньше, чем у земли, его подъемная сила тоже очень мала. Чтобы поднять тяжелую гондолу, оболочка аэростата должна вмещать много несущего газа, и потому ее делают очень

большой. На старте несущий газ занимает только часть объема оболочки, благодаря чему она имеет вытянутую грушевидную форму, достигая высоты 100 м. По мере поднятия в стратосферу несущий газ расширяется и оболочка становится сферической.

Идею стратостата выдвинул в 1875 г. великий русский химик Д. И. Менделеев, а первый стратостат был построен в 1930 г. Огюстом Пикаром. Чтобы расширяющийся несущий газ не разорвал оболочку стратостата, сделанную из легкой прорезиненной ткани, Пикар снабдил ее тремя аппендиксами. Объем оболочки достигал 14 130 м³ при диаметре в 30 м. Стратостат (рис. 116) имел шарообразную гондолу (диаметром 2,10 м) с восемью иллюминаторами для обзора местности и двумя люками, открывающимися внутрь. Стенки гондолы толщиной 3,5 мм были изготовлены из листового алюминия. При подъеме стратостата в разреженные слои атмосферы внутренний воздух с силой прижимал крышки люков к уплотнительным резиновым кольцам и гондола становилась воздухонепроницаемой. Первый полет стратостата Пикара состоялся в 1931 г. Вместе с Пикаром летел его ассистент Кипфер. Через 28 мин после старта они достигли стратосферы, приборы показали высоту 15 781 м. В 1932 г. Пикар совершил второй удачный полет на стратостате, достигнув рекордной высоты — 16 201 м.

После этих полетов Пикара в ряде стран стали строить стратостаты, предназначенные для достижения еще более высоких слоев атмосферы. Уже в 1933 г. рекорд Пикара был побит советскими аэронавтами Г. А. Прокофьевым, Э. К. Бирнбаумом и К. Д. Годуновым, которые на стратостате «СССР-1» достигли высоты 19 000 м. 30 января 1934 г. состоялся полет советского стратостата «Осоавиахим-1» на высоту 22 000 м. Хотя во время спуска произошла катастрофа — гондола оторвалась от оболочки и отважные аэронавты П. Ф. Федосеенко, А. Б. Васенко и И. Д. Усыскин по-

гибли, тем не менее сохранившиеся записи приборов зафиксировали установление мирового рекорда.

В 50-х годах американцы стали делать оболочки стратостатов из сверхлегкой полиэтиленовой пленки толщиной 0,05 мм. Гондолу стратостата подвешивают непосредственно к баллону, для чего при изготовлении пленки в нее вводят жгуты из стекловолокна, каждый из которых выдерживает растягивающую нагрузку в 2500 Н.

В 1961 г. американский стратонавт Роос достиг высоты около 35 000 м на стратостате с такой оболочкой емкостью 283 000 м³.

Несмотря на поразительные успехи ракетной техники, использование стратостатов для изучения стратосферы никогда не теряет своего значения. Для выполнения многих исследований необходима полная неподвижность и устойчивость наблюдателей и записывающих приборов. Такие условия трудно создать в ракете или даже в самолете. Их может обеспечить только аэростат, устойчиво парящий в атмосфере.

Дирижабли. Проблема создания управляемого аэростата или дирижабля была решена лишь к концу прошлого столетия. В отличие от свободного аэростата, который перемещается вместе с воздушными массами, дирижабль в полете рассекает воздух и потому встречает большое сопротивление. Чтобы уменьшить это сопротивление, уже первые изобретатели дирижаблей придавали им вытянутую, обтекаемую форму.

Главным препятствием на пути создания дирижаблей было отсутствие легкого и в то же время мощного двигателя, способного перемещать его против ветра с достаточной скоростью. Некоторые конструкторы для этой цели пытались применять силу мускулов. Так, например, французский инженер Дюпюи де Лом построил в 1872 г. дирижабль объемом 3800 м³, снабженный громадным винтом (диаметром 9 м), который должны были вращать вручную 8 человек (рис. 117). Испытания показали, что при 27 оборотах винта в минуту

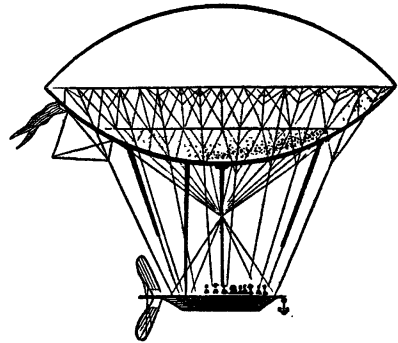


Рис. 117. Дирижабль Дюпюи де Лома, винт этого дирижабля вращала команда из восьми человек

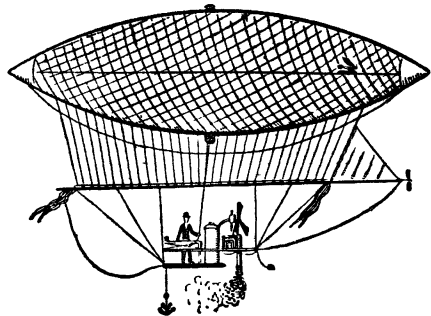


Рис. 118. Дирижабль с паровым двигателем Жиффара

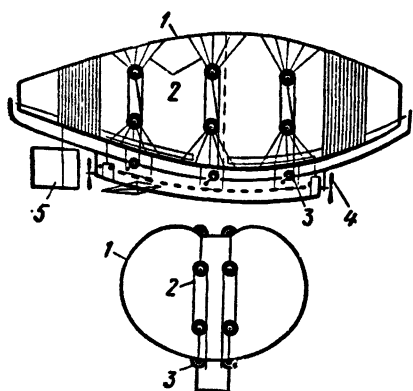


Рис. 119. Схема дирижабля К. Э. Циолковского:

1 — металлическая оболочка; 2 — полиспасты и тязи для изменения формы дирижабля; 3 — ворот для натягивания тязей; 4 — пропеллер; 5 — руль

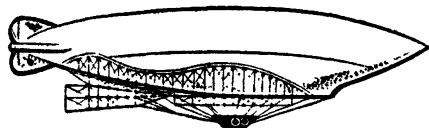


Рис. 120. Первый русский дирижабль «Кречет»

следования он изложил в капитальном сочинении «Теория и опыт аэростата», где теоретически обосновал конструкцию аэростата с тонкой эластичной металлической оболочкой. Согласно проекту оболочка с помощью стягивающей системы (рис. 119) могла изменять объем. Это позволяло дирижаблю сохранять постоянную подъемную силу при разных температурах и высотах. Проект Циолковского отвергли чиновники царского правительства.

Значительный вклад в дирижаблестроение внес бразильский изобретатель Сантос-Дюмон, построивший и испытавший во Франции в начале нашего века целый ряд дирижаблей мягкого типа с бензиновым двигателем.

В России первый дирижабль «Кречет» (рис. 120) объемом 600 м³ был построен в 1910 г. К началу первой мировой войны было построено еще 14 дирижаблей, в том числе «Гигант» (20 000 м³, конструктор А. И. Шабский). Русская армия использовала дирижабли для бомбардировки немецких позиций.

Первый летавший цельнометаллический дирижабль МС-2 объемом 5660 м³ был построен в США в 1927 г. Особенностью его конструкции являлась оболочка, сделанная из тонких листов дюралюминия. Несущим газом заполнялось пространство внутри металли-

скорость аэростата составляет около 3 м/с, что было недостаточно для движения даже против слабого ветра.

В 1852 г. французский изобретатель Жиффар для движения дирижабля пытался применить паровую машину. Построенный им аэростат (рис. 118) имел удлиненный баллон симметричной формы с заостренными концами. Под баллоном, наполненным светильным газом, была подвешена горизонтальная рея, несущая на заднем конце парус, служивший рулем. К рее была подвешена небольшая открытая платформа с паровой машиной, вращавшей пропеллер. Во избежание пожара дым из топки отводился вниз. При испытаниях аэростата тяга пропеллера оказалась меньше силы ветра.

В 1885 г. проблемой воздухоплавания заинтересовался К. Э. Циолковский. Свои ис-

ческой оболочки. Для поддержания нужного давления газа внутри оболочки имелись два мешка, наполняемых воздухом. Оперение дирижабля состояло из восьми стабилизаторов и прикрепленных к ним четырех рулей глубины и четырех рулей направления. Дирижабли жесткого типа являются наиболее совершенными.

Главный недостаток дирижабля — его сравнительная с самолетом тихходность и неповоротливость. В боевых условиях он мог быть легкой добычей самолета. Именно поэтому во время второй мировой войны дирижабли не применялись. Главное же преимущество дирижабля состоит в том, что он может долго (до двух недель без посадки) находиться в воздухе. При выходе из строя двигателей самолету грозит катастрофа, а у дирижабля это приводит к свободному полету, во время которого можно сделать ремонт. Особенно большую роль могут сыграть дирижабли при перевозке больших грузов в условиях полного бездорожья. Можно думать, что в будущем дирижабли найдут применение.

Задачи

1. Первый русский пароход «Елизавета» совершил свой первый рейс из Петербурга в Кронштадт, пройдя путь в 25 км за 2 ч 45 мин. Во сколько раз скорость современного советского судна «Ленинский комсомол», равная 18,5 узла, больше скорости парохода «Елизавета»?

2. Может ли буксирный пароход с помощью каната, выдерживающего натяжение $8 \cdot 10^6 \text{ Н}$, сообщить барже массой $m = 10^6 \text{ кг}$ ускорение $a = 0,1 \text{ г}$?

3. Балластный резервуар подводной лодки объемом $V = 5 \text{ м}^3$ заполнен водой. Для сброса балласта в верхнюю часть резервуара подается воздух от компрессора и вода через трубу сечением $S = 100 \text{ см}^2$, расположенную в нижней части резервуара, вытекает наружу. Какова должна быть минимальная мощность компрессора, чтобы лодка на глубине $h = 100 \text{ м}$ могла полностью освободиться от балласта за время $t = 50 \text{ с}$?

4. С какой силой вода давила на круглый иллюминатор гондолы батискафа «Триест», когда он в 1960 г. погрузился на дно Марианской впадины? Диаметр иллюминатора $D = 400 \text{ мм}$, глубина погружения $h = 11 \text{ км}$. Плотность воды считать всюду одинаковой.

5. Английский дирижабль R-101, погибший в 1930 г. при перелете из Англии в Индию, имел объем 140 600 м^3 . Найдите полную подъемную силу дирижабля, если его наполняли водородом.

6. Когда в 1918 г. аэростаты стали наполнять гелием вместо водорода, один физик сказал: «Гелий вдвое тяжелее водорода, поэтому подъемная сила аэростата уменьшится вдвое». Правильное ли было это заключение?

Ответы

$$1. n = \frac{v_2}{v_1}, n = 3,7.$$

$$2. F = ma, F = 9,8 \cdot 10^6 \text{ Н (канат разорвется)}.$$

$$3. N = Fu; F = pS = (p_{\text{атм}} + \rho_{\text{вод}} \cdot gh)S; u = \frac{V}{St}; N = \frac{(p_{\text{атм}} + \rho_{\text{вод}}gh)V}{t}, N = 111 \text{ кВт}.$$

$$4. F = \pi r^2 g \rho h, F \approx 14,9 \cdot 10^6 \text{ Н}, F \approx 14 900 \text{ кН}.$$

$$5. F = gV(\rho_{\text{возд}} - \rho_{\text{вод}}), F = 165 \cdot 10^4 \text{ Н}.$$

6. Составим отношение подъемных сил для гелия и водорода:

$$\frac{F_{\text{He}}}{F_{\text{H}}} = \frac{gV(\rho_{\text{возд}} - \rho_{\text{He}})}{gV(\rho_{\text{возд}} - \rho_{\text{H}})}, \frac{F_{\text{He}}}{F_{\text{H}}} = 0,92, \text{ т. е. подъемная сила почти}$$

не изменилась.



ЛЕТАТЕЛЬНЫЕ АППАРАТЫ ТЯЖЕЛЕЕ ВОЗДУХА И ВЯЗКОЕ ТРЕНИЕ

ГЛАВА V

§ 1. Основные законы гидроаэродинамики

Раздел механики, изучающий законы движения жидкостей и газов, а также силы сопротивления движению твердых тел внутри жидкости и газа, называется гидроаэродинамикой.

По своим свойствам жидкости во многом сходны с газами. Поэтому в данном параграфе мы будем знакомиться с законами движения жидкостей и газов вместе, применяя термин «жидкость» и к тем и к другим. Мы будем также вначале считать, что жидкость несжимаема и не подвержена действию трения. Это вполне допустимо, так как во многих практически важных задачах (в теории гидравлических двигателей, нескоростных самолетов и т. д.) сжимаемостью жидкостей и газов можно пренебречь. Несжимаемую, невязкую (т. е. лишенную трения) жидкость называют идеальной. Для изучения движения жидкостей введем понятие линий тока. Это линии, проведенные так, что касательные к ним совпадают по направлению со скоростями частиц жидкости в соответствующих точках этих линий. В местах, где скорость жидкости больше, линии тока проводят гуще.

Пусть движение жидкости стационарно, т. е. скорости частиц жидкости в ее разных точках остаются постоянными во времени. В этом случае линии тока также остаются неизменными и совпадают с траекториями отдельных частиц жидкости.

Рассмотрим наиболее важные законы движения идеальной жидкости. Выделим в потоке жидкости трубку тока, т. е. область, ограниченную линиями тока, настолько узкую, чтобы скорости течения частиц жидкости во всех точках какого-либо поперечного сечения трубки можно было считать равными (рис. 121).

За время Δt через произвольно взятые сечения S_1 и S_2 этой трубки протечет соответственно масса жидкости $\rho_1 v_1 S_1 \Delta t$, $\rho_2 v_2 S_2 \Delta t$, где ρ_1 и ρ_2 — плотности жидкости в сечениях 1 и 2, v_1 и v_2 — скорости потока в этих же сечениях. Поскольку в стационарном потоке линии тока нигде не разрываются, то за один и тот же ин-

тервал времени через два разных сечения трубки тока S_1 и S_2 протекают одинаковые массы жидкости, т. е.

$$\rho_1 v_1 S_1 \Delta t = \rho_2 v_2 S_2 \Delta t.$$

Учитывая, что жидкость мало сжимаема, можно приближенно считать $\rho_1 = \rho_2$. Тогда после сокращения получаем:

$$v_1 S_1 = v_2 S_2.$$

Это выражение, называемое уравнением неразрывности струи, показывает, что скорость потока в произвольно взятых сечениях трубки тока обратно пропорциональна площади этих сечений.

Энергетический подход к анализу течения жидкости или газа приводит к очень важным практическим выводам.

Схему протекания жидкости по трубке тока можно представить так. За малое время Δt тонкие поперечные слои жидкости массой m , находящиеся в сечениях 1 и 2, переместятся в положения 1' и 2'. Для каждой порции жидкости, заключенной в этих слоях, можно записать значения потенциальной и кинетической энергии:

$$\Pi_1 = mgh_1, \quad \Pi_2 = mgh_2,$$

где g —ускорение силы тяжести, а h_1 и h_2 —соответственно высоты сечений S_1 и S_2 над некоторым произвольно выбранным горизонтальным уровнем.

$$K_1 = \frac{mv_1^2}{2}, \quad K_2 = \frac{mv_2^2}{2}.$$

Тогда полная механическая энергия этих слоев будет:

$$E_1 = \Pi_1 + K_1 = mgh_1 + \frac{mv_1^2}{2},$$

$$E_2 = \Pi_2 + K_2 = mgh_2 + \frac{mv_2^2}{2}.$$

По закону сохранения энергии изменение энергии порции жидкости при ее течении вдоль трубки равно работе, совершаемой силами давления F_1 и F_2 со стороны частиц, расположенных до сечения 1 и за сечением 2:

$$E_2 - E_1 = A.$$

Сила $F_1 = p_1 S_1$, действующая на порцию жидкости со стороны сечения 1, направлена по течению, поэтому она совершает положительную работу на пути перемещения $v_1 \Delta t$, сила $F_2 = p_2 S_2$ — отрицательную

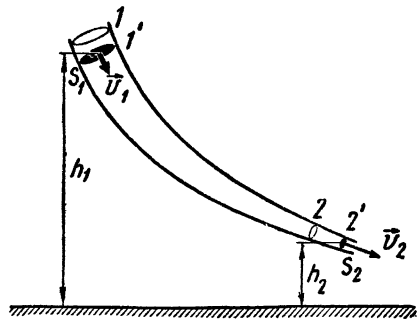


Рис. 121. К выводу закона Бернулли

(она «мешает» вытекать жидкости, направлена против течения) на пути $v_2 \Delta t$. Полная работа

$$A = A_1 - A_2,$$

или

$$A = p_1 S_1 v_1 \Delta t - p_2 S_2 v_2 \Delta t.$$

С учетом всего сказанного закон сохранения энергии можно теперь записать так:

$$mgh_2 + \frac{mv_2^2}{2} - mgh_1 - \frac{mv_1^2}{2} = p_1 S_1 v_1 \Delta t - p_2 S_2 v_2 \Delta t.$$

Разделив обе части этого равенства на равные объемы $v_1 S_1 \Delta t_1$ и $v_2 S_2 \Delta t_2$, учитывая, что масса m жидкости, деленная на объем ($\frac{m}{vSt} = \rho$), представляет собой ее плотность ρ , и разнося слагаемые с одинаковыми индексами по разные стороны от знака равенства, получаем уравнение, выведенное в 1738 г. выдающимся ученым, петербургским академиком Даниилом Бернулли:

$$\frac{\rho v_1^2}{2} + \rho gh_1 + p_1 = \frac{\rho v_2^2}{2} + \rho gh_2 + p_2.$$

Это одно из основных уравнений аэрогидродинамики, с помощью которого решают много сложных задач.

Наши рассуждения относились к любым сечениям трубки тока. Отсюда следует, что сумма

$$\frac{\rho v^2}{2} + \rho gh + p = \text{const},$$

т. е. сохраняет постоянную величину в любом сечении трубки. Другими словами: при стационарном движении полная энергия единицы объема идеальной жидкости, текущей без трения, есть величина, постоянная во всем потоке.

Мы видим, что закон Бернулли является прямым следствием закона сохранения энергии при стационарном течении идеальной жидкости по трубке тока. При горизонтальном потоке (когда $h_1 = h_2$):

$$\frac{\rho v_1^2}{2} + p_1 = \frac{\rho v_2^2}{2} + p_2,$$

т. е. в местах сужений трубки, где скорость возрастает, давление уменьшается, и наоборот. Уравнение Бернулли применимо к реальным, маловязким жидкостям, таким, как вода, а также к воздуху. В расчетах на движение скоростных самолетов и снарядов, где приходится иметь дело со скоростями порядка 1000 м/с, пренебрегать сжимаемостью воздуха нельзя. В этом случае в уравнение Бернулли вводят поправку на сжатие воздуха.

Во всех реальных жидкостях и газах при перемещении одних

слоев относительно других возникают более или менее значительные силы трения.

Со стороны слоя, движущегося более быстро, на слой, движущийся медленнее, действует ускоряющая сила. Наоборот, со стороны более медленного слоя на более быстрый действует задерживающая сила. Эти силы направлены по касательной к поверхности слоев и называются силами внутреннего трения. Жидкости и газы, в которых действуют силы трения, называются вязкими. Величина сил трения зависит от относительной скорости тела и потока. Поэтому для удобства рассуждений мы будем полагать, что поток обтекает неподвижное тело. Допустим, что в потоке вязкой жидкости находится какое-нибудь тело (рис. 122). Около него образуется пограничный слой жидкости, в котором скорость быстро возрастает от нуля на поверхности тела до скорости невозмущенного потока. Это порождает возникновение касательной к поверхности тела силы трения, которая тянет его по потоку назад.

В области A , где поток разветвляется, его скорость падает до нуля, а давление возрастает по сравнению с давлением в набегающем потоке. В обе стороны от точки A к точкам B и B_1 скорость потока возрастает, а давление уменьшается до его значения в набегающем потоке. Позади точек B и B_1 частицы пограничного слоя благодаря трению постепенно теряют скорость и, не достигнув точки A_1 , начинают возвратное движение. Около точек C и C_1 , где сталкиваются два встречных течения (прямое и обратное), поток отрывается от стенок цилиндра и образуются вихри, уносимые потоком. Таким образом, за телом возникает область, заполненная вихрями, давление в которой понижено. Поэтому равнодействующая сил давлений на обтекаемое тело оказывается направленной в сторону течения жидкости. Эта сила называется сопротивлением давления.

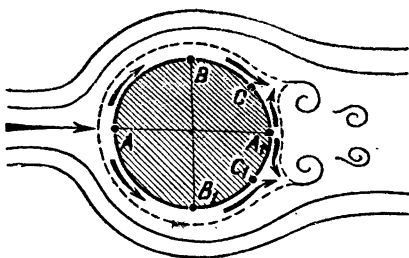


Рис. 122. Схема образования вихрей за телом, обтекаемым потоком вязкой жидкости

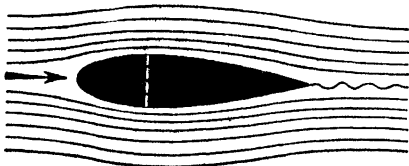


Рис. 123. Обтекаемое тело

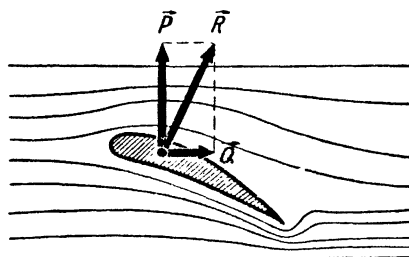


Рис. 124. Силы, действующие на тело в потоке жидкости

Лобовое сопротивление, которое испытывает тело со стороны обтекающей его вязкой жидкости, представляет собой сумму сопротивления трения и сопротивления давления. Чтобы уменьшить сопротивление давления, телам придают обтекаемую форму, при которой сзади тела почти не образуется завихренной области пониженного давления. При одном и том же поперечном сечении наименьшее сопротивление имеют сигарообразные тела (рис. 123), с тупым носом и заострением сзади. Как сильно влияет форма тела на его лобовое сопротивление, показывает такой пример: если у тела, изображенного на рисунке 123, отрезать по пунктирной линии заднюю часть, то его лобовое сопротивление возрастет в 6—7 раз. Поэтому дирижаблям, подводным лодкам, фюзеляжам самолетов, торпедам придают обтекаемую форму.

Если полная аэрогидродинамическая сила R , действующая со стороны потока на тело, направлена под углом к движению (рис. 124), ее можно разложить на составляющие — Q , направленную по потоку, и P , перпендикулярную ему. Q представляет собой лобовое сопротивление, P — подъемную силу.

§ 2 Самолеты и планеры

История авиации сохранила сведения о многих изобретателях, пытавшихся подняться в воздух на крылатых летательных машинах. Первый из таких аппаратов тяжелее воздуха, совершивших удачный полет, был создан капитаном русского флота Александром Федоровичем Можайским (1825—1890 гг.). Идея постройки воздухоплавательного снаряда возникла у А. Ф. Можайского еще в 1855 г. Много времени он затратил, изучая полет птиц и строение их крыльев, конструируя воздушные змеи с большой подъемной площадью, на которых неоднократно сам поднимался в воздух. В отличие от других изобретателей А. Ф. Можайский решил построить аэроплан не с машущими, а с неподвижными крыльями. Роль бечевы, тянущей змей и создающей подъемную силу в самолете, должен был играть пропеллер, действующий от паровой машины. Так, постепенно в голове изобретателя созрела идея летательного аппарата, который явился прототипом современного самолета. В течение многих лет, преодолевая громадные теоретические, технические и материальные трудности, работал А. Ф. Можайский над воплощением в жизнь своих замыслов. В 1882 г. на военном поле в Красном селе под Петербургом он наконец собрал свой самолет. Здесь же 20 июля 1882 г. состоялось испытание самолета.

Аэроплан (рис. 125) представлял собой лодку (фюзеляж) с деревянными ребрами, обтянутыми материей. К бортам лодки были прикреплены прямоугольные крылья площадью 300 м², выгнутые выпуклостью вверх, также обтянутые материей. Аппарат имел горизонтальный и вертикальный рули, а также подставку с четырьмя колесами. Вращение трех воздушных винтов осуществлялось двумя паровыми машинами облегченной конструкции

мощностью 7,5 и 15 кВт. Во время испытаний аэроплан Можайского, управляемый первым в мире летчиком И. Н. Голубевым, скатился по наклонной беговой дорожке, набрал необходимую скорость, поднялся в воздух и пролетел над полем более 200 м. Это был первый в мире полет аппарата тяжелее воздуха с человеком на борту, доказавший возможность таких полетов. В этом состоит его историческое значение. Во время приземления самолет наклонился набок и, зацепившись за землю, сломал крыло. Исправление самолета и его переделка требовали больших средств, которых изобретатель не имел. Не получая поддержки от царского правительства и истратив все свои сбережения, А. Ф. Можайский вынужден был прекратить дальнейшие работы по совершенствованию самолета.

Труды А. Ф. Можайского имели большое значение в истории авиации. Многие изобретатели, ознакомившись с описанием его самолета, опубликованном в русской и иностранной печати, приступили к конструированию аэропланов с неподвижными крыльями.

Самолет оригинальной конструкции построил в 1897 г. француз Адер. Подражая природе, Адер придал крыльям своей машины форму крыльев летучей мыши и даже сделал их складными (рис. 126). Аппарат, весивший 4000 Н, был снабжен двумя паровыми двигателями мощностью 30 кВт, вращавшими два винта. За крыльями размещался руль поворота, руля высоты не было. Попытки поднять эту машину в воздух оказались безуспешными.

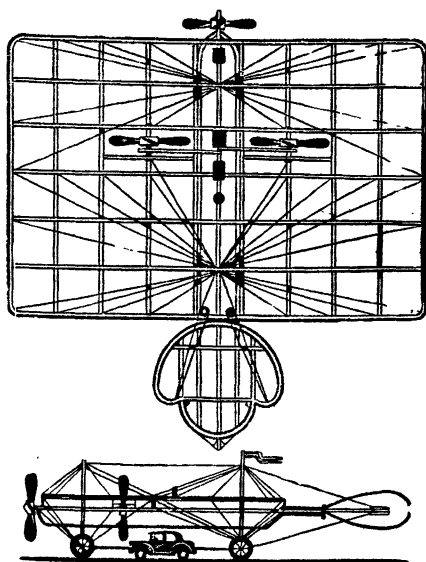


Рис. 125. Первый в мире летавший аэроплан А. Ф. Можайского



Рис. 126. Самолет Адера со складными крыльями по своей форме напоминал летучую мышь

Большое значение для поисков наиболее совершенных аэродинамических форм самолетов и овладения техникой полета имели работы немецкого инженера Отто Лилиентала. В 90-х годах прошлого века он построил и испытал десятки планеров — аппаратов для безмоторного лётания с помощью восходящих потоков воздуха. Лилиенталь совершил на своих планерах более двух тысяч парящих полетов с возвышенностей и холмов высотой до 80 м, причем ему удавалось держаться в воздухе по 20—30 с при дальности планирования 200—300 м. В 1896 г. этот отважный ученый и изобретатель во время полета упал на землю с высоты 15 м и разбился.

Чтобы планер превратился в аэроплан, нужно было установить на нем достаточно легкий и мощный двигатель. Этот важный в истории авиации шаг сделали американские изобретатели — братья Орвил и Уилбур Райт. Они усовершенствовали планер и снабдили его легким двигателем внутреннего сгорания мощностью 8,8 кВт, приводившим в движение два толкающих винта, расположенных сзади крыльев. Самолет не имел фюзеляжа, и в полете летчик лежал рядом с двигателем в специальной люльке, подвергаясь действию встречного ветра. Вместо шасси у самолета были устроены два полоза. Самолет должен был взлететь с небольшой двухколесной тележки, двигавшейся по рельсам. 17 декабря 1903 г. конструкторы совершили на своей машине четыре пробных полета. Первый полет продолжался лишь 12 с, причем аэроплан поднялся на 3 м от земли, во время четвертого полета он пролетел 250 м за 59 с. Более тяжелая машина с мотором в 15 кВт, построенная братьями Райт в 1905 г., могла уже продержаться в воздухе 40 мин при дальности полета до 40 км.

Первые самолеты представляли собой хрупкие конструкции, сделанные для облегчения веса из бамбуковых палок, легких, обтянутых шелком каркасов и проволочных растяжек (рис. 126, а). Современники недаром называли их «летающими этажерками». Эти самолеты нередко во время испытаний разваливались в воздухе от неизвестных причин или, потеряв управление, врезались в землю. Постепенно аэропланы совершенствовались, увеличивались дальность и продолжительность их полетов. Так, в 1909 г. всемирную известность приобрел авиатор Блерио, впервые в истории авиации перелетевший на аэроплане через пролив Ла-Манш из Франции в Англию. На английском берегу тысячи англичан восторженно приветствовали Блерио как героя. Этот перелет дальностью 30 км действительно требовал большого мужества, так как, при остановке мотора, что на заре авиации было частым явлением, гибель авиатора в море была бы неизбежной.

Россия была первой страной, приступившей к постройке тяжелых, многомоторных аэропланов. На Русско-

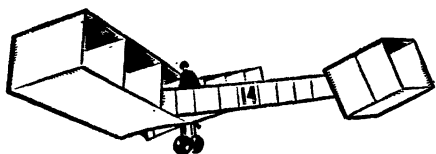


Рис. 126 а. Аэроплан Сантос-Дюмона

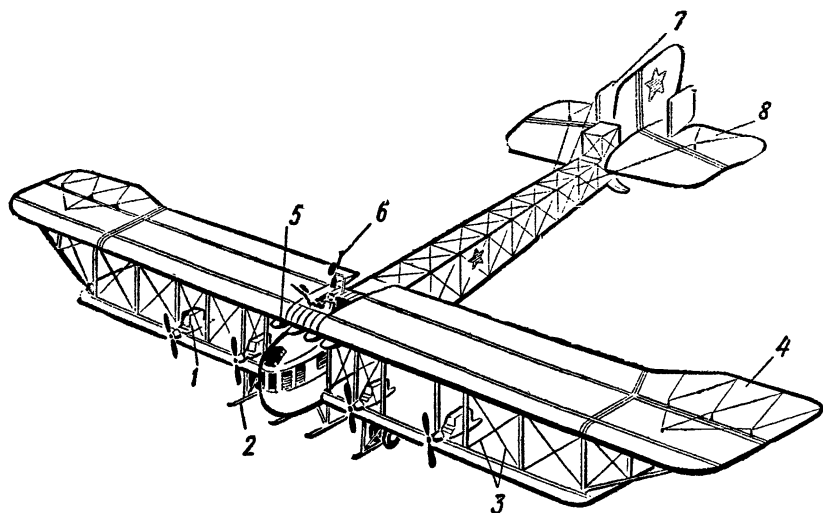


Рис. 127. Самолет «Илья Муромец»:

1 — двигатель; 2 — шасси; 3 — проволочные расчалки; 4 — элероны; 5 — бензобаки;
6 — пулеметы; 7 — рули направления; 8 — руль высоты

Балтийском заводе были построены два таких самолета — «Русский витязь» (1913 г.) и «Илья Муромец» (1914 г.) конструкции И. И. Сикорского. «Илья Муромец» (рис. 127) — большой биплан с четырьмя моторами мощностью 440 кВт — поднимал 10 пассажиров и мог совершать беспосадочные полеты продолжительностью 30 ч при скорости 135 км/ч. Во время полета командир сидел в удобном кресле, рядом с ним, стоя, располагались его помощник и механик. В средней части машины находился люк для бомбометания и пулеметного обстрела наземных целей. Здесь располагались артиллерийский офицер и штурман. В самом конце самолета помещался стрелок с пулеметом. Эскадрилья тяжелых самолетов «Илья Муромец» успешно бомбардировала немецкие тылы во время первой мировой войны.

В своей деятельности русские авиаконструкторы опирались на труды великого русского ученого — основоположника аэродинамики Н. Е. Жуковского. Теоретические исследования и многочисленные опыты привели Н. Е. Жуковского к открытию основного закона аэродинамики — закона о подъемной силе крыла самолета, который он изложил в 1906 г. в работе «О присоединенных вихрях». С помощью этого закона Н. Е. Жуковский установил, каким должен быть профиль (форма) поперечного сечения крыла самолета, чтобы оно обладало наибольшей подъемной силой при наименьшем лобовом сопротивлении. Такой профиль имеет изогнутую форму, причем переднюю его кромку делают округлой, а заднюю — острой (рис. 128). Отрезок *AB* называют хордой профиля, а угол α между хордой и направлением потока — углом атаки. Н. Е. Жуковский объяснил процессы, возникающие при обтекании крыла самолета.

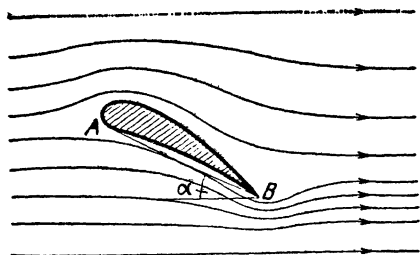


Рис. 128. Профиль крыла самолета

духа. На основе закона сохранения момента количества движения полный момент количества движения крыла и воздуха должен оставаться постоянным, в данном случае равняться нулю. Поэтому одновременно с разгонным вихрем вокруг крыла образуется циркуляционное течение воздуха по часовой стрелке, которое

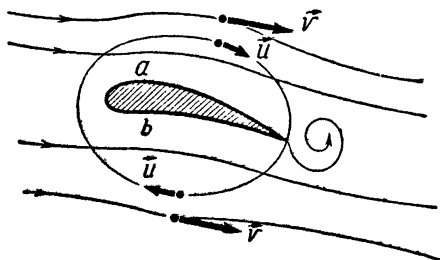


Рис. 129. Возникновение разгонного вихря и циркуляции вокруг крыла

складывается с движением воздуха навстречу крылу. Пусть угол атаки равен нулю. Обозначим величину скорости невозмущенного потока v и скорости циркуляционного течения через u (допустим, что величина u всюду одинакова у поверхности крыла). Тогда полная скорость над крылом равна $v + u$ и под крылом $v - u$.

На основании теоремы Бернулли давление должно быть больше там, где меньше скорость. Поэтому под крылом возникает область повышенного давления, а над крылом — пониженного. На рисунке 130 стрелки изображают распределение областей с повышенным и пониженным давлением по крылу.

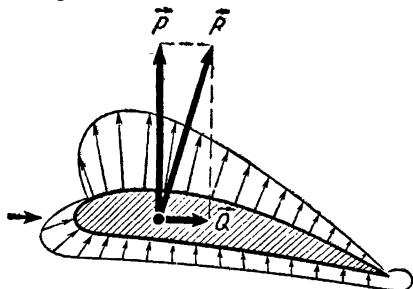


Рис. 130. Возникновение подъемной силы:

\vec{R} — полная аэродинамическая сила;
 \vec{P} — подъемная сила; \vec{Q} — лобовое сопротивление.

В самом начале движения самолета на задней кромке крыла из-за разности скоростей отдельных слоев, т. е. из-за наличия вязкости, возникает мощный разгонный вихрь, в котором воздух движется против часовой стрелки при движении крыла влево (рис. 129). Достаточно развшись, он отрывается от крыла и уносится потоком воз-

духа. Н. Е. Жуковский решил и другую важнейшую проблему аэродинамики: он создал вихревую теорию винта самолета. Вихревая теория Жуковского позволяет найти наиболее выгодную форму лопасти, а также рассчитать тягу пропеллера.

Тяга воздушного винта создается тем, что винт отбрасывает назад некоторую

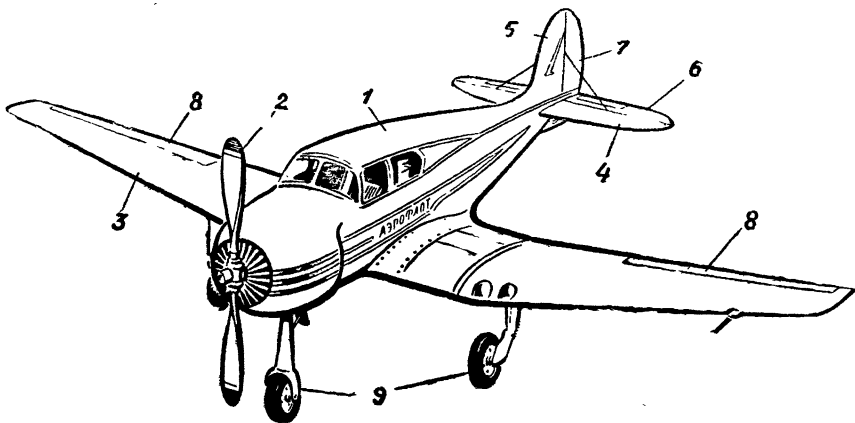


Рис. 131. Основные части самолета

массу m воздуха. Сила тяги винта при этом равна изменению количества движения воздуха за 1 с: $f = m \cdot \Delta v$, где Δv — добавочная скорость, которую винт сообщает воздуху. В результате работы винта перед ним создается пониженное давление, позади него — повышенное, и воздух, засасываясь передней частью винта и отталкиваясь его задней частью, половину добавочной скорости приобретает перед пропеллером и половину — за ним.

В каждом современном самолете (рис. 131) можно найти фюзеляж 1 (корпус самолета), в котором размещается двигатель, рычаги управления, экипаж и грузы. У гидросамолетов фюзеляж делают в виде закрытой лодки; силовую установку, состоящую из двигателя внутреннего сгорания и пропеллера 2; крыло 3, создающее подъемную силу. В нем обычно размещают баки с горючим, вооружение и другое оборудование; оперение, состоящее из ряда поверхностей: стабилизатора 4, киля 5, руля высоты 6, руля поворотов 7 и элеронов 8. Стабилизатор и киль наглухо прикреплены к фюзеляжу и обеспечивают устойчивость самолета в полете. Рули шарнирно прикреплены к стабилизатору и килю, а элероны — к крыльям; шасси-стойки с колесами 9, служащими для разбега аэроплана во время взлета и приземления.

Все самолеты конструируются так, чтобы они в полете сохраняли устойчивость, т. е. при случайных поворотах (под действием ветра, разрыва снаряда и т. д.) без участия летчика возвращались к прежнему положению. Когда самолет летит в горизонтальной плоскости равномерно и прямолинейно, действующие на него силы проходят через центр тяжести и уравниваются: сила тяжести 3 — подъемной силой 1, а лобовое сопротивление 4 — силой тяги 2, создаваемой пропеллером или реактивным двигателем (рис. 132).

Рассмотрим момент сил, возникающих при повороте самолета относительно каждой из трех взаимно перпендикулярных осей

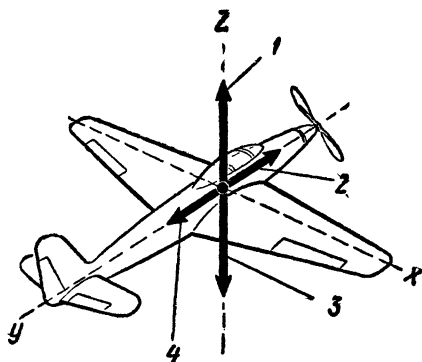


Рис. 132. При горизонтальном равномерном полете силы, действующие на самолет, уравновешиваются

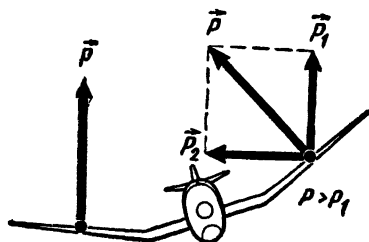


Рис. 133. При крене самолета возникают силы, возвращающие его в прежнее положение

X , Y , Z (рис. 132). При случайном повороте самолета около вертикальной оси Z направление полета сразу не успевает измениться, и тогда набегающий поток воздуха, действуя на киль, возвращает самолет к прежнему положению. Точно так же действует стабилизатор при повороте самолета около поперечной оси X : если хвост самолета опускается, возникает подъемная сила, толкающая стабилизатор вверх, если хвост поднимается, воздушный поток давит на стабилизатор вниз. В обоих случаях положение машины восстанавливается. Чтобы придать самолету устойчивость относительно продольной оси Y , концы крыльев приподнимают вверх. Как показывает рисунок 133, направленная вертикально вверх подъемная сила P для опустившегося крыла становится больше, чем сила P_1 для крыла, поднявшегося вверх. Благодаря этому самолет принимает прежнее положение.

Для управления самолетом служат руль поворотов, руль высоты и элероны. Так, например, чтобы повернуть самолет вправо,

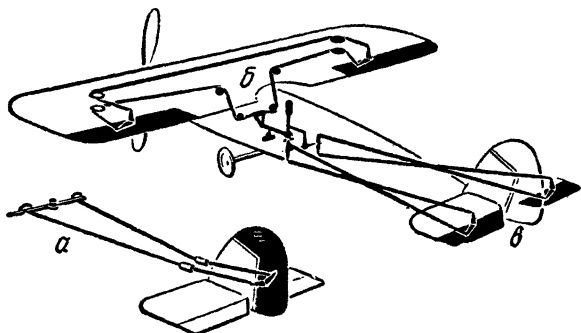


Рис. 134. Схема управления:

a — рулем поворотов; b — элеронами; $в$ — рулем высоты

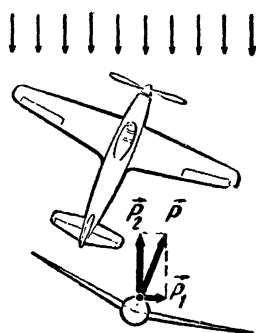


Рис. 135. Крен самолета при его повороте

пилот правой ногой нажимает на педаль ножного управления (рис. 134, а), которая с помощью троса отклоняет руль поворотов в ту же сторону. Под влиянием встречного воздушного потока возникает аэродинамическая сила, которая, действуя на руль, заставляет хвост самолета повернуться на некоторый угол вокруг вертикальной оси Z . При этом скорость воздуха относительно крыла, выдвигающегося вперед (на рисунке — левого), увеличивается, а поворачивающегося назад (правого) — уменьшается. Вследствие этого подъемная сила, действующая на правое крыло, уменьшается, а на левое — возрастает. Самолет наклоняется вправо (рис. 135). Результирующая подъемная сила тоже наклоняется вправо и дает горизонтальную составляющую P_1 , которая искривляет траекторию самолета. Крен самолета и его поворот можно вызвать также с помощью элеронов. Для этого пилот, передвигая ручку управления влево или вправо, отклоняет элероны в разные стороны (рис. 134, б), благодаря чему подъемная сила крыла с опущенным элероном возрастает, а у крыла с поднятым элероном уменьшается. Если летчик желает опустить нос самолета (рис. 134, в) вниз, он отодвигает ручку управления от себя. Она тянет трос, который опускает руль высоты. Возникает подъемная сила, толкающая хвост вверх. При этом нос самолета опускается. Чтобы поднять нос самолета, летчик поднимает руль высоты. Громадные современные самолеты снабжаются особыми гидроусилителями, которые позволяют летчику с помощью небольшого усилия управлять рулями и элеронами.

Громадную роль в деле развития отечественной авиации сыграл Н. Е. Жуковский, которого В. И. Ленин называл «отцом русской авиации». С первых же дней Советской власти Н. Е. Жуковский все свои силы посвятил подготовке специалистов в различных областях авиационной науки и техники. Он являлся первым ректором Института инженеров Красного воздушного флота, который в 1922 г. был преобразован в Военно-воздушную академию имени Н. Е. Жуковского. В этой академии получили образование А. С. Яковлев, С. В. Ильюшин, В. С. Пышинов, А. И. Микоян и многие другие выдающиеся ученые и авиаконструкторы. В 1918 г. по указанию В. И. Ленина был основан Центральный аэрогидродинамический институт (ЦАГИ), ставший впоследствии крупнейшим центром авиационной науки.

На отечественных самолетах наши летчики совершили целый ряд выдающихся международных перелетов. Так, в мае 1937 г. Герой Советского Союза летчик М. В. Водопьянов совершил на самолете АНТ-6 конструкции А. Н. Туполева беспрепятственный рейс на Северный полюс и доставил туда полярную экспедицию в составе Папанина, Кренкеля, Федорова и Ширшова. В июне того же года советские летчики В. П. Чкалов, Г. Ф. Байдуков и А. В. Беляков на самолете Туполева АНТ-25 совершили исторический беспосадочный перелет над ледяными торосами Северного Ледовитого океана через Северный полюс в Америку.

Во время Великой Отечественной войны показали свои превосходные летные качества самолеты конструкции А. Н. Туполева, Н. Н. Поликарпова, С. В. Ильюшина, В. М. Петлякова, А. И. Микояна, А. С. Яковлева и других выдающихся авиационных инженеров. Так, например, бомбардировщик Ил-4 успешно действовал в течение всей Отечественной войны. Именно на самолетах этой конструкции советские летчики совершили первые налеты на Берлин в августе 1941 г.

Лучшие достижения авиационной техники были воплощены в истребителях Як-9 и Ла-5. Хорошая маневренность и простота в управлении сочетались в них с мощным пушечным вооружением. По своим боевым и летным качествам они превосходили известные немецкие истребители «Мессершмитт-109» и «Фокке-Вульф-190». К концу войны скорость истребителей достигла 700 км/ч.

Чтобы самолет с поршневым двигателем летал еще быстрее, необходимо было увеличить скорость вращения воздушного винта. Однако при столь быстром, приближающемся к скорости звука движении лопасти винта возникает так называемое волновое сопротивление, которое во много раз превышает обычное трение лопасти о воздух, а к.п.д. винта резко падает. Таким образом, увеличение мощности мотора идет на преодоление волнового сопротивления и почти не влияет на скорость самолета.

Появление современных самолетов, обладающих скоростью свыше 2500 км/ч и способных подниматься в стратосферу, стало возможным лишь после внедрения в авиацию мощных и сравнительно легких реактивных двигателей. Идея создания самолета с реактивным двигателем была выдвинута и разработана Н. Е. Жуковским, К. Э. Циолковским, Ф. А. Цандером, Б. С. Стечкиным и другими выдающимися русскими учеными и изобретателями.

Существуют четыре типа реактивных двигателей: 1) жидкостно-реактивные (ЖРД) (см. стр. 33); 2) турбореактивные (ТРД); 3) турбовинтовые (ТВД); 4) прямоточные воздушно-реактивные (ВРД).

Первый реактивный полет в СССР был осуществлен в феврале 1940 г. летчиком В. П. Федоровым на ракетоплане СК-9 конструкции Сергея Павловича Королева — известного создателя космических кораблей.

Одним из создателей ТРД был советский инженер А. М. Люлька. В ТРД (рис. 136) окислителем служит атмосферный воздух, поступающий в его корпус через отверстие 1. Затем воздух попадает на вращающиеся лопатки компрессора 2, которые сжимают его и отбрасывают в камеры сгорания 3. Сюда через форсунки 4 взбрызгивается жидкое топливо. Соединяясь с кислородом воздуха, оно загорается, и раскаленные до 1800—2100° продукты сгорания попадают на лопатки рабочего колеса турбины 5, приводят его во вращение и выбрасываются через сопло 6 наружу, создавая реактивную тягу. Колесо турбины 5 закреплено на одном валу с ротором компрессора 2 и поэтому приводит его в действие. Чтобы

компрессор начал действовать, его раскручивают с помощью небольшого бензинового моторчика 7. Когда скорость вращения достигает 3000—4000 об/мин, включаются камеры сгорания и турбокомпрессор начинает работать самостоятельно, а моторчик 7 отключается.

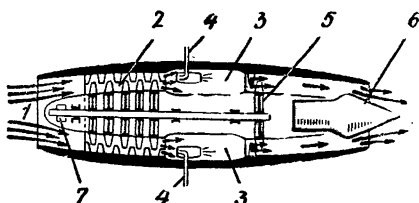


Рис. 136. Схема турбореактивного двигателя (ТРД)

Величину реактивной тяги, развиваемой ТРД, можно вычислить следующим образом. Очевидно, что сколько воздуха двигатель захватывает за единицу времени, столько и выбрасывает. Пусть самолет летит со скоростью v и двигатель при этом забирает и выбрасывает ежесекундно массу воздуха m_a , а ежесекундный расход топлива m_f . Обозначим скорость выброса газов (воздуха вместе с топливом) относительно самолета через c . Так как воздух в атмосфере был в покое, то на основании уравнения Мещерского (см. стр. 32) можно сделать вывод, что при заборе воздуха на самолет будет действовать назад реактивная сила $m_a v$. Точно так же при выталкивании газов (воздуха с продуктами сгорания) действует вперед реактивная сила $(m_a + m_f)c$. Следовательно, результирующая реактивная сила ТРД, направленная вперед, будет равна:

$$m_a(c - v) + m_f c.$$

Пренебрегая последним членом (так как обычно m_f значительно меньше, чем m_a), получаем, что реактивная сила ТРД равна:

$$m_a(c - v).$$

Из этой формулы следует, что для получения силы тяги необходимо, чтобы скорость c вылетающих частиц была больше скорости полета v . Для увеличения силы тяги надо увеличивать и скорость c и расход m_a воздуха через двигатель.

При движении со скоростью, близкой к скорости звука и превышающей ее, главной причиной резко возрастающего сопротивления тела является значительное повышение давления на его переднюю часть. Чем острее передняя часть тела, тем меньше тормозится воздушный поток и тем меньше сопротивление тела. Поэтому у большинства современных скоростных самолетов делают стреловидные или треугольные крылья и сильно скошенное назад хвостовое оперение. Площадь крыльев у реактивных машин обычно бывает меньше, чем у прежних самолетов, так как, имея большую скорость, несущие поверхности развивают достаточную подъемную силу и при малой их площади. Чтобы предохранить хвостовое оперение от действия струй вылетающих из сопла газов и воздушного потока, возмущенного крыльями самолета, стабилизатор и руль укрепляют на значительной высоте над фюзеляжем.

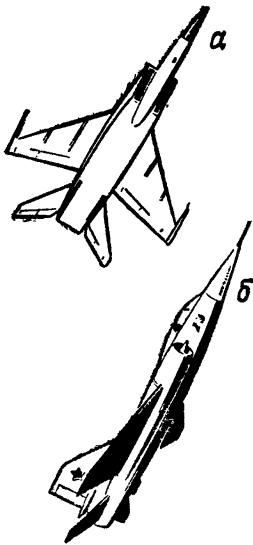


Рис. 137. Современные истребители:

а — сверхзвуковой истребитель-перехватчик; *б* — истребитель, обладающий сверхзвуковой скоростью как на больших, так и на малых высотах

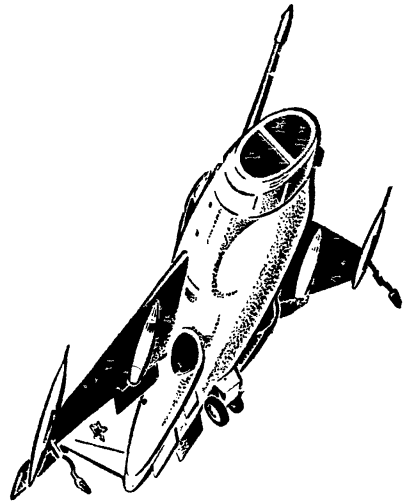


Рис. 138. Вертикально взлетающий реактивный истребитель

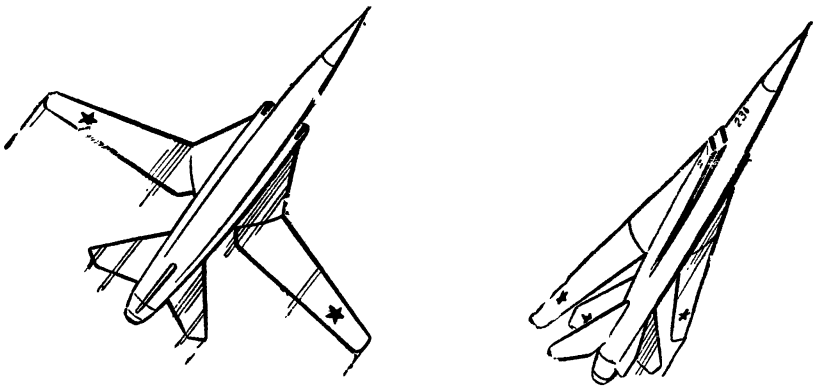


Рис. 139. Многоцелевой реактивный самолет с изменяющейся геометрией крыла

В послевоенные годы инженерные коллективы, руководимые А. Н. Туполевым, А. С. Яковлевым, С. В. Ильюшиным, С. А. Лавочкиным, А. И. Микояном, О. К. Антоновым и другими выдающимися советскими авиаконструкторами, создали целый ряд за-

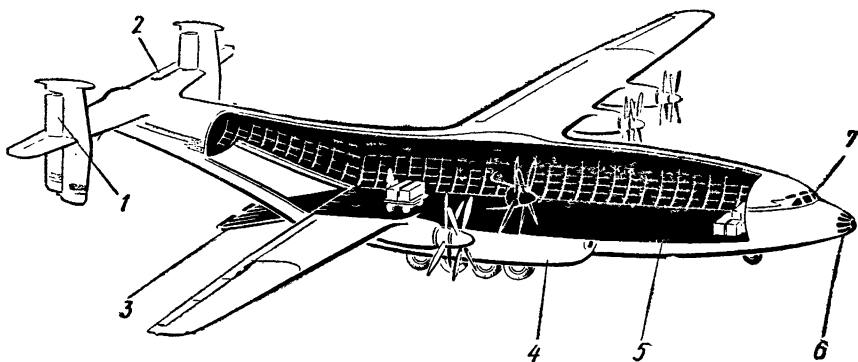


Рис. 140. Самый большой в мире транспортный самолет Ан-22:

1 — рули направления; 2 — рули высоты; 3 — грузовой трап; 4 — гондолы шасси;
5 — грузовая палуба; 6 — кабина штурмана; 7 — кабина пилота

мечательных реактивных самолетов для военной и гражданской авиации. Например, реактивный истребитель-перехватчик (рис. 137, а) благодаря особой аэродинамической форме может развивать скорость, в несколько раз превышающую скорость звука, и подниматься до высоты в 30 км. Другой реактивный истребитель (рис. 137, б) обладает сверхзвуковой скоростью как на больших, так и на малых высотах. Он предназначен для борьбы с крылатыми ракетами противника и его самолетами, которые подходят к цели бреющим полетом и из-за кривизны земной поверхности обнаруживаются радиолокационными станциями только в последний момент.

Вертикально взлетающий без разбега истребитель (рис. 138) для взлета и посадки не нуждается в специальном аэродроме. В мировой практике осуществлено пока 3—4 проекта самолетов, способных взлетать с ограниченной площадки. На советском самолете реактивная струя двигателя отклоняется специальными поворачивающимися соплами вниз, создавая этим вертикальную тягу, уравновешивающую вес машины. Взлетев на достаточную высоту, самолет может с помощью особых реактивных рулей развернуться по нужному курсу. Затем поворотом сопел пилот плавно изменяет направление газовых струй, машина разгоняется и переходит в горизонтальный полет. При посадке все происходит в обратном порядке.

Другим выдающимся достижением советской авиационной техники является реактивный самолет с изменяющейся геометрией крыла (рис. 139). Основная особенность такой машины состоит в том, что ее крылья способны поворачиваться вокруг вертикальных осей. При взлете пилот разворачивает их до предела, благодаря чему увеличивается подъемная сила и сокращается длина разбега. С развернутыми крыльями самолет движется с малой скоростью, зато может совершать длительные полеты, сопровождая и охраняя машины, обладающие дозвуковой скоростью. Для полета

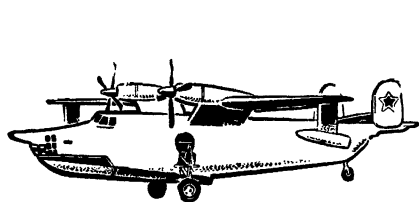


Рис. 141. Самолет-амфибия Г. Бериева

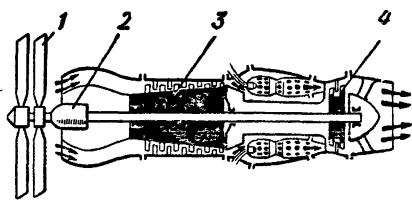


Рис. 142. Схема турбовинтового двигателя (ТВД)

со сверхзвуковой скоростью летчик переводит крылья в заднее положение, что превращает самолет в сверхзвуковой истребитель, способный вести борьбу с неприятельскими машинами всех типов.

Самый большой в мире транспортный самолет — АН-22 (рис. 140) конструкции О. К. Антонова. Длина АН-22 составляет 55,5 м, высота 12,5 м, размах крыльев 64,4 м, взлетный вес 2500 кН, максимальная грузоподъемность 80 т, скорость полета 740 км/ч, дальность беспосадочного полета с грузом 45 т 11 000 км. Мощность четырех двигателей АН-22 составляет 45 000 кВт. Это в 1,5 раза больше, чем мощность двигателей ледокола «Ленин». Огромная кабина размером 33 × 4,4 × 4,4 м позволяет перевозить все виды боевой техники, включая танки и тяжелые самоходные ракетные установки. В ней перевозят также тяжелые грузы большого размера — турбины электростанций, локомотивы и железнодорожные вагоны, подъемные краны, мостовые фермы и т. д. Чтобы транспортировать подобные грузы по железной дороге, их приходится разбирать на части. Весьма ценно, что АН-22 может совершать взлет не только с бетонированных, но и грунтовых аэродромов, пробежав по земле всего 1100—1300 м. При посадке ему достаточно лишь 800 м. Столь короткий пробег обеспечивают специальные воздушные тормоза и винты двигателя, создающие встречную тягу.

Прекрасными аэродинамическими качествами отличаются и самолеты, используемые в нашей военно-морской авиации. Один из них — самолет-амфибия инженера Г. Бериева — изображен на рисунке 141. Амфибия предназначена для борьбы с подводными

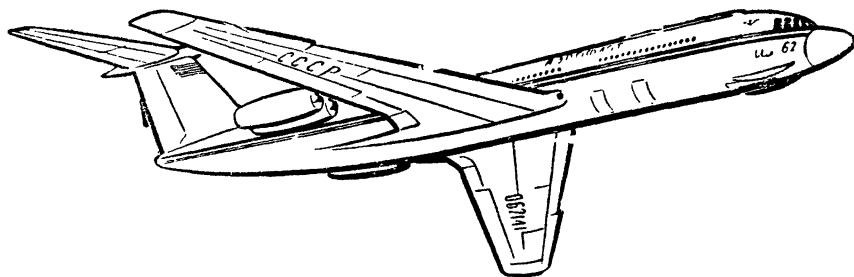


Рис. 143. Межконтинентальный пассажирский самолет Ил-62

лодками противника и способна передвигаться по земле, воде и воздуху. Ее крылья и двигатели подняты над фюзеляжем, сделанным в виде лодки. Благодаря этому она может совершать посадку на воду даже в шторм. Аппаратура амфибии позволяет обнаружить подводную лодку на большой глубине и уничтожить ее глубинными бомбами.

В послевоенные годы в Советском Союзе быстро развивается гражданская реактивная авиация. Начало массовым пассажирским перевозкам на реактивных машинах положил в 1955 г. 115-местный самолет Ту-104 конструкции А. Н. Туполева с турбореактивными двигателями. Английские и американские компании сумели осуществить такие перевозки лишь через 3—4 года. В 1957 г. под руководством А. Н. Туполева был построен крупнейший в мире турбовинтовой пассажирский самолет Ту-114, рассчитанный на 170 пассажиров.

В отличие от турбореактивных двигателей, турбовинтовой двигатель (ТВД) (рис. 142) снабжен воздушным винтом 1, укрепленным на одном валу 2 с ротором 3 компрессора и рабочим колесом турбины 4. У ТВД тяга создается за счет работы винта (как у обычного самолета) и благодаря реакции раскаленных газов, прошедших турбину и вылетающих из реактивного сопла. ТВД значительно легче поршневого двигателя одинаковой мощности.

Огромными достоинствами обладает самый большой из турбореактивных воздушных кораблей Аэрофлота — Ил-62 (рис. 143), созданный в 1963 г. под руководством С. В. Ильюшина. 186 пассажиров самолета располагаются в двух комфортабельных салонах на мягких креслах с откидными спинками. Во время полета в салонах поддерживается нормальное давление и температура. Иллюминаторы расположены так, что пассажиры могут свободно любоваться красотой земли и неба. Самолет Ил-62 оснащен многочисленными приборами для автоматического управления полетом и реверсом тяги двигателей, позволяющим ему при маневрировании на земле откатываться назад. Несмотря на внушительные размеры, Ил-62 требует очень малого разгона при взлете и посадке. Скорость Ил-62 составляет 900 км/ч, дальность полета 9200 км, высота полета 13 км.

31 декабря 1968 г. в Советском Союзе впервые в мире совершил полет сверхзвуковой пассажирский самолет Ту-144 (рис. 144), построенный под руководством А. Н. Туполева. Чтобы уменьшить лобовое сопротивление, конструкторы снабдили самолет тонким сдвинутым назад треугольным крылом. Передняя кромка крыла так остра, что при надавливании на нее рукой ощущается боль. Ту-144 лишен обычного горизонтального оперения, его роль выполняют элероны — «врезанные» в крыло органы управления, представляющие собой сочетание элеронов и рулей высоты. Зеркально-гладкий фюзеляж самолета почти не имеет выступов. Даже фонарь кабины пилотов «утоплен» в нем. Во время горизонтального полета лишь две узкие прорези позволяют пилотам видеть то, что

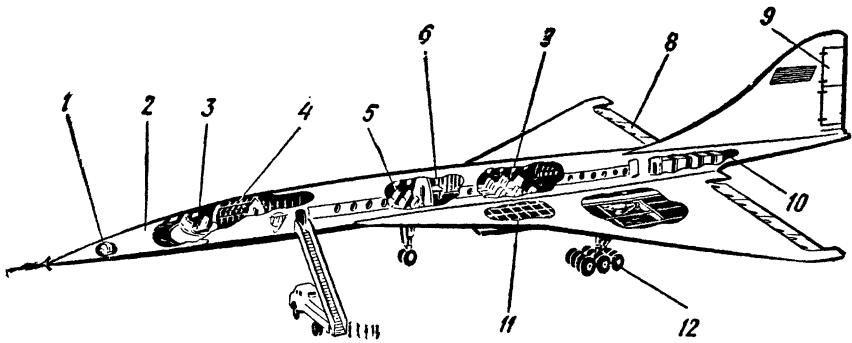


Рис. 144. Первый в мире сверхзвуковой пассажирский самолет ТУ-144:

1 — локатор; 2 — отклоняемый нос; 3 — место пилотов; 4 — электронное оборудование; 5 — пассажирский салон 1-го класса; 6 — буфет-кухня; 7 — задний пассажирский салон; 8 — элевоны; 9 — руль поворотов; 10 — контейнеры с багажом; 11 — топливные баки; 12 — стойка основного шасси

делается впереди. При взлете и посадке, когда пилотам необходимо видеть землю как можно лучше, носовая шпильевидная часть фюзеляжа отклоняется вниз, открывая спрятанные внутри лобовые стекла, обзор через которые также удобен, как и через ветровое стекло автомобиля. Для того чтобы уменьшить шум в пассажирских салонах от четырех мощных турбореактивных двигателей, их разместили почти у самого хвоста самолета. Скорость самолета огромна: он более чем в 2 раза обгоняет звук, а дальность полета составляет 20 000 км, высота полета 13 км. При такой скорости внешняя поверхность фюзеляжа нагревается от трения о воздух до температуры 130—150°C. Таким образом, если на обычном самолете воздух в салонах подогревают, на ТУ-144 его приходится охлаждать. Специальные установки на протяжении всего полета поддерживают в салонах нормальные условия — температуру, влажность и давление воздуха, который все время очищается и возвращается обратно. На ТУ-144 установлена электронная вычислительная машина, которая обрабатывает огромное количество сведений о полете и управляет им. Большая часть полета совершается автоматически. Машина не только выдерживает заданный курс, но и рассчитывает наилучшую траекторию, учитывает ветер, делает развороты, докладывает пилотам, где находится самолет, сколько осталось горючего, и даже вслепую заходит на посадку. Все это осуществляется с помощью электронных приборов.

Современная авиация идет к освоению новых, все больших скоростей полета. В авиации будущего видное место займет, очевидно, прямоточный двигатель (рис. 145), который при больших скоростях самолета оказывается экономичнее всех прочих видов двигателей. В прямоточном двигателе нет никаких движущихся частей (кроме насоса). При движении воздух с большой скоростью поступает через входное отверстие двигателя в камеру 1, где он насыщается жидким топливом, которое разбрызгивается из форсу-

нок 2. Попадая затем в камеру сгорания 3, эта смесь воспламеняется, давая высокую температуру и большое давление. Продукты сгорания вместе с избыточным воздухом вытекают с большой скоростью через сопло 4, создавая реактивную тягу. Чтобы самолет с таким двигателем начал двигаться, его необходимо разогнать с помощью добавочного двигателя или забуксировать другим самолетом.

Планеры. Планером называют аппарат для безмоторного летания, во всем похожий на самолет облегченной конструкции, но не имеющий двигателя. Полеты на планерах приносят громадную пользу для изыскания наиболее выгодных в аэродинамическом отношении и наиболее устойчивых в полете форм самолетов. Кроме того, планеризм используется при подготовке пилотов, а также является увлекательным видом спорта. Большое внимание теории и практике планеризма уделял Н. Е. Жуковский; многие из наших прославленных авиаконструкторов (А. Н. Туполев, С. В. Ильюшин, А. С. Яковлев и другие) прошли школу планеризма, что очень помогло им создавать замечательные самолеты.

Основной характеристикой планера является его «качество» — расстояние, которое он может пролететь в спокойном воздухе, потеряв 1 м высоты. Современные планеры, точно рассчитанные и «заглаженные», без единой выступающей заклепки, имеют качество до 55 м.

Чтобы планер мог лететь, его поднимают на какую-нибудь высоту (холм или гору) и запускают. Для этого планер за хвост привязывают к земле, а на носовой крюк надевают два длинных резиновых шнура. Несколько человек стартовой команды туго натягивают эти шнуры, а пилот отцепляет хвост планера от земли. Сообщив планеру значительную скорость, шнуры сами соскакивают с крюка, у крыльев планера возникает подъемная сила, и он, пробежав 10—12 м, взлетает в воздух. Во многих случаях планер запускают с помощью самолета. Для этого их связывают тонким тросом длиной 100—120 м, после чего они одновременно взлетают. Затем планер совершает полет самостоятельно. В спокойном воздухе планер скользит вниз (планирует) по наклонной плоскости, используя потенциальную энергию, полученную им при подъеме. Подняться самостоятельно выше места старта он, естественно, не может. Во время снижения силой тяги служит одна из составляющих силы тяжести, направленная против силы лобового сопротивления. Другая, нормальная составляющая, уравнивается подъемной силой крыльев.

Используя энергию восходящих потоков воздуха, планер может лететь без снижения и даже подниматься вверх (парить). Для парящих полетов используют особые планеры,

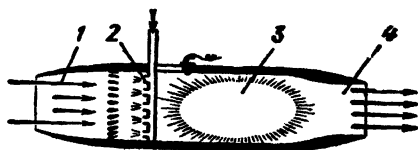


Рис. 145. Схема прямогочного двигателя

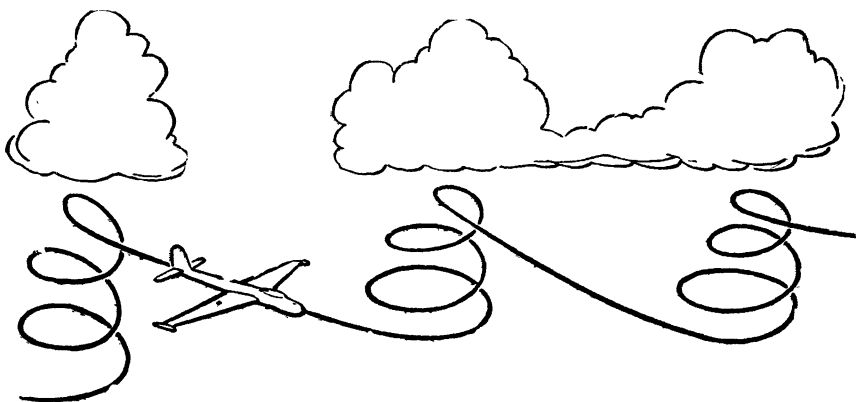


Рис. 146. Схема полета планера на дальность

обладающие большой прочностью и совершенными обтекаемыми формами. Воздушные восходящие потоки образуются обычно под кучевыми облаками. Схема полета на дальность под кучевыми облаками изображена на рисунке 146. Набрав высоту под одним облаком, планер, немного снижаясь, летит к другому, где снова поднимается и т. д. Перелетая от облака к облаку и искусно маневрируя, опытному спортсмену иногда удается пролететь без посадки многие сотни километров, а также подниматься до высоты 10 000 м.

Например, в 1967 г. советский планерист Ю. Кузнецов на планере с пассажиром пролетел по прямой 922 км. Рекорд длительности полета без посадки принадлежит советскому спортсмену В. Лисицыну, который, используя устойчивые восходящие потоки над склонами Крымских гор, парил в течение 38 ч.

§ 3. Вертолеты

Вертолет, как и самолет, принадлежит к летательным аппаратам тяжелее воздуха, однако подъемная сила у него создается не крыльями, а громадным воздушным винтом, который вращается в горизонтальной плоскости. Замечательным качеством вертолета является его способность взлетать отвесно без разбега и приземляться вертикально без пробега. Благодаря этому вертолет не нуждается в специальном аэродроме, взлетно-посадочной площадке для него может служить небольшая лужайка, палуба плывущего корабля или даже плоская крыша зданий. Это позволяет использовать вертолеты в гористых и отдаленных местностях, где постройка аэродромов невыгодна или невозможна. Следует, однако, отметить, что вертолеты обладают пока еще недостаточной устой-

чивостью и сравнительно малой скоростью (до 300 км/ч), сложны в управлении, а на войне более уязвимы, чем самолеты.

Идея вертолета (геликоптера) была впервые выдвинута еще в XVI в. великим итальянским художником и ученым Леонардо да Винчи. Среди его рукописей и рисунков, найденных в середине прошлого века в Милане, есть эскиз летательного аппарата, который должен был взлетать вверх с помощью архимедова винта, вращающегося на вертикальном валу. Это изобретение тем более изумительно, что в ту эпоху не знали даже гребного винта для морских судов. Леонардо да Винчи не догадывался, однако, что при вращении винта возникнет сила реакции, поворачивающая аппарат в другую сторону.

Первую действующую модель геликоптера построил и испытал великий русский ученый М. В. Ломоносов. Она поднималась в воздух двумя расположенными друг над другом винтами, которые вращались пружиной в противоположные стороны в горизонтальной плоскости. Благодаря этому реактивные силы, возникающие при вращении винтов, взаимно уравновешивались.

Появление аэростатов надолго отвлекло внимание изобретателей от конструирования летательных аппаратов тяжелее воздуха. Лишь со второй половины прошлого века в связи с изобретением двигателя внутреннего сгорания и широким использованием электродвигателей вновь возрастает интерес к вертолетам.

В 1909 г. оригинальную схему геликоптера разработал ученик Н. Е. Жуковского Б. Н. Юрьев. Геликоптер Юрьева имел большой несущий винт, создающий подъемную силу, и установленный на конце вертолета рулевой винт, который уравновешивал реактивный момент несущего винта. По схеме, впервые выдвинутой Юрьевым, строится сейчас большинство вертолетов. Он создал также замечательный механизм автомат-перекос, позволяющий пилоту управлять вертолетом с помощью несущего винта. В настоящее время автомат-перекосом снабжают все вертолеты.

Под руководством Б. Н. Юрьева был построен первый в мире летающий вертолет 1-ЭА (рис. 147). Он имел большой воздушный

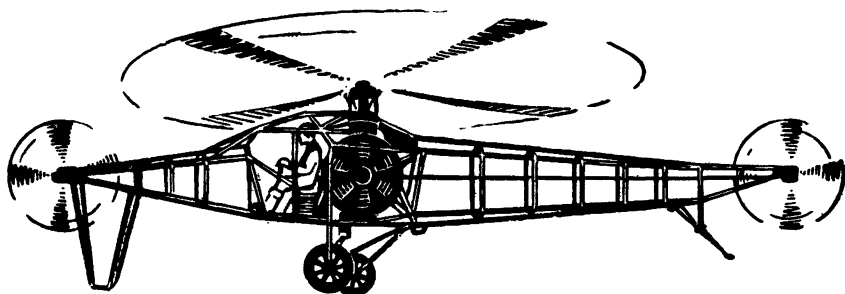


Рис. 147. Вертолет 1-ЭА ЦАГИ (1932 г.)

винт диаметром 11 м и два двигателя внутреннего сгорания общей мощностью 175 кВт. Для уравнивания реактивного момента, развиваемого несущим винтом, на концах корпуса, сделанного из стальных труб, было установлено по два малых винта.

Современные вертолеты отличаются друг от друга по количеству несущих винтов, по их расположению, по способу привода во вращение. Существуют следующие типы (схемы) вертолетов:

1. С двумя соосно расположенными винтами (рис. 148, а). Оба несущих винта находятся на одной оси, один под другим. Вал верхнего винта при этом проходит внутри полого вала нижнего винта. Винты вращаются в противоположные стороны, поэтому на фюзеляж передаются два реактивных момента, взаимно уравновешивающих друг друга. Изменяя в полете угол установки лопастей одного винта по сравнению с установочными углами лопастей другого, пилот добивается разности их реактивных моментов, передаваемых на фюзеляж. Благодаря этому аппарат поворачивается в нужную сторону. Вертолеты соосной схемы имеют относительно

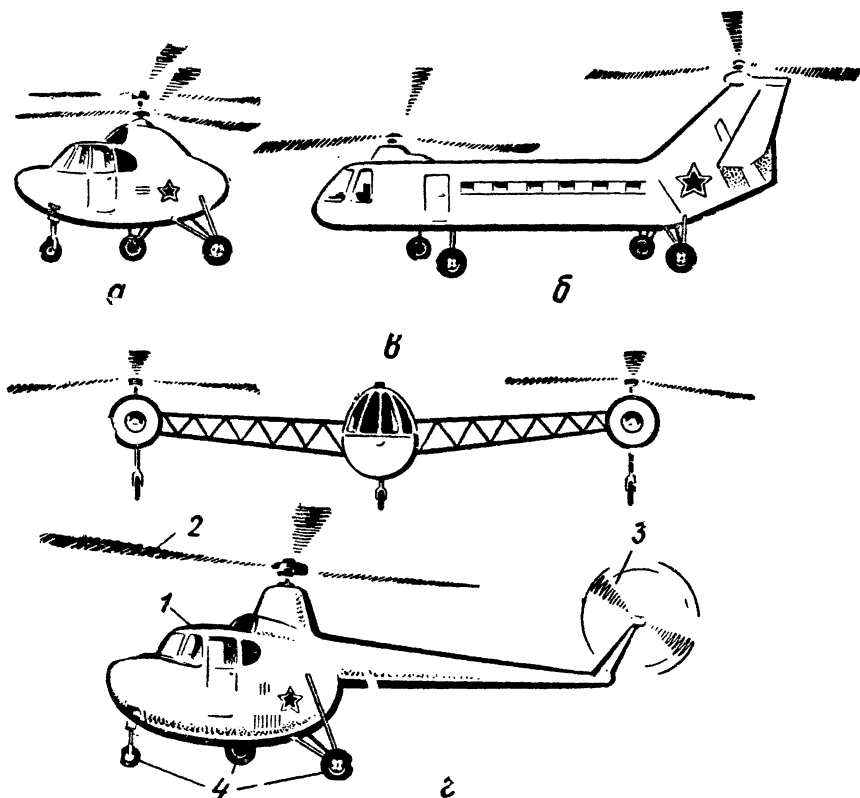


Рис. 148. Основные схемы вертолетов по расположению несущих винтов

малый вес, однако близкое расположение винтов снижает их к.п.д. и ухудшает устойчивость полета. Поэтому соосная схема используется только в машинах малой и средней величины.

II. С двумя продольно расположенными винтами (рис. 148, б). Согласно этой схеме один винт располагается над носовой частью фюзеляжа, а второй — над хвостовой. Винты вращаются в противоположные стороны, благодаря чему реактивные моменты взаимно погашаются. По этой схеме строят обычно тяжелые многоместные вертолеты, так как фюзеляж такой машины оказывается удобным для размещения грузов и пассажиров. Кроме того, он имеет хорошую продольную управляемость и относительно большую скорость, поскольку его узкий фюзеляж обладает малым лобовым сопротивлением. Однако при полете вперед задний винт работает в воздухе, возмущенном передним винтом, и это уменьшает его к.п.д.

III. С двумя поперечно расположенными винтами, вращающимися в противоположных направлениях (рис. 148, в). На таком вертолете каждый винт обдувается невозмущенным воздушным потоком, что выгодно отличает его от аппаратов, рассмотренных выше. Вертолеты этой схемы имеют хорошую поперечную управляемость, однако боковые фермы для винтомоторных установок создают большое вредное сопротивление.

IV. С одним несущим и одним рулевым винтом (рис. 148, г). Такие вертолеты безопасны и благодаря простоте конструкции получили наибольшее распространение. Они имеют следующие основные части (рис. 148, г): фюзеляж 1, в котором размещается двигатель внутреннего сгорания, рычаги управления, экипаж, пассажиры и грузы; громадный несущий винт 2 с пятью длинными лопастями, напоминающими очень узкие крылья самолета. Винт вращается вокруг вертикальной оси, создавая подъемную силу, величина которой возрастает с увеличением скорости вращения; рулевой или хвостовой винт 3, тяга которого уравнивает реактивный момент, возникающий при вращении несущего винта. Чтобы повернуть вертолет вокруг вертикальной оси, летчик из кабины с помощью особого механизма изменяет угол атаки лопастей рулевого винта. От этого изменяется тяга винта, вертолет разворачивается и изменяет направление полета; трансмиссию, передающую движение от двигателя рулевому винту. На ней установлены редукторы, представляющие собой систему зубчатых колес, с помощью которых регулируются скорости вращения несущего и рулевого винтов; трехколесное шасси 4, на которое опирается вертолет при стоянке на земле.

Изменяя скорость вращения несущего винта, летчик регулирует величину подъемной силы R , называемой полной аэродинамической силой. Если R больше силы тяжести P вертолета, он поднимается, если меньше — снижается, при $R = P$ — висит в воздухе.

При внезапной остановке двигателя несущий винт автоматически от него отключается, но лопасти продолжают вращаться под действием набегающего на них снизу воздуха и создают

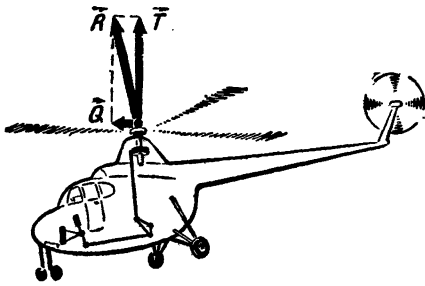


Рис. 149. Составляющая \vec{Q} аэродинамической силы \vec{R} движет вертолет горизонтально

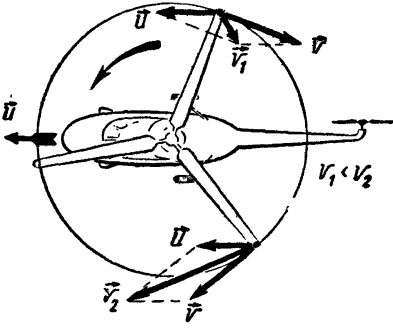


Рис. 150. Скорость лопастей относительно воздуха различна

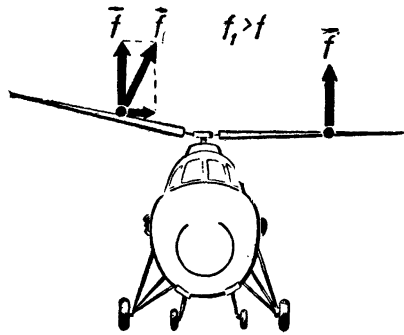


Рис. 151. Когда одна из лопастей приподнимается, действующие на лопасти подъемные силы становятся равными

подъемную силу. Поэтому вертолет не падает, а плавно опускается на землю. Вращение несущего винта набегающим воздушным потоком, называемое авторотацией, позволяет также буксировать вертолет с выключенным двигателем за самолетом.

Несущий винт не только поддерживает вертолет в воздухе, но и может двигать его в любом направлении. Действуя ручкой управления, летчик наклоняет автомат-перекос в нужную сторону, благодаря чему изменяется угол атаки каждой лопасти. С той стороны вертолета, которую лопасти проходят под большим углом атаки, развивается большая подъемная сила. Это вызывает наклон оси несущего винта, вместе с которой изменяется направление и полной аэродинамической силы \vec{R} (рис. 149). Вертикальная составляющая \vec{T} силы \vec{R} поддерживает вертолет в воздухе, а горизонтальная \vec{Q} перемещает его вдоль земной поверхности. Наклоняя с помощью автомата-перекоса ось несущего винта в нужную сторону, можно заставить вертолет лететь вбок, носом или даже хвостом вперед.

Лопасты несущего винта не только вращаются, но и движутся вместе с вертолетом, благодаря чему их линейные скорости относительно воздуха оказываются разными. Обозначим линейную скорость вращения лопастей

через \vec{v} , а поступательную скорость вертолета относительно воздуха через \vec{u} . Тогда скорость сложного движения лопасти относительно воздуха будет определяться векторной суммой этих скоростей, т. е. $\vec{u} + \vec{v}$ (рис. 150). Из этого следует, что величина линейной скорости относительно воздуха для лопасти, движущейся вперед, оказывается большей, чем для лопасти, движущейся назад. Но тогда и подъемная сила, действующая на первую лопасть, будет больше. Поэтому для устойчивости вертолета его лопасти укрепляют на горизонтальных шарнирах так, что при возрастании скорости лопасть немного приподнимается (рис. 151). Это уменьшает приложенную к ней подъемную силу, которая становится равной подъемной силе противоположной лопасти (рис. 151). Благодаря подобным маховым движениям лопастей полет вертолета становится устойчивым.

Советский гражданский и военный флот располагает вертолетами различных типов и размеров, начиная с маленьких одноместных машин и кончая такими гигантами, как вертолеты Ми-10, В-12.

Гордостью советской авиационной техники является вертолет-гигант одновинтовой схемы Ми-10 (цв. вклейка, рис. 2) конструкции М. Л. Мила. Несущий винт этого вертолета диаметром 35 м приводится во вращение двумя газовыми турбинами общей мощностью 8000 кВт. Ми-10 предназначен для перевозки самых разнообразных грузов, необходимых строителям, нефтяникам, геологам; он может поднять на высоту до 3 км и перевезти груз до 25 т. Основной особенностью Ми-10 являются его ноги, т. е. четырехстоечное шасси высотой 4 м. Ему не надо зависать над землей и жечь лишнее горючее, чтобы прицепить на тросе груз, он прямо наезжает на груз, который закрепляют между его ногами. В грузовом отсеке вертолета размещается до 30 человек, а в специальном контейнере под фюзеляжем можно поднять в воздух до 120 человек.

В 1968 г. коллектив конструкторов под руководством М. Л. Мила создал самый большой в мире вертолет-гигант В-12, имеющий максимальный вес 1050 кН. В-12 может поднимать груз 40 т на высоту более 2 км. Четыре двигателя общей мощностью 19 000 кВт позволяют ему развивать скорость до 260 км/ч. Длина В-12 37 м, ширина с вращающимися винтами 67 м, объем грузовой кабины 550 м³. Экипаж вертолета состоит из шести человек.

§ 4. Парашюты

Ускорение тела a при его падении в воздухе можно определить из второго закона Ньютона:

$$ma = P - F,$$

где m — масса тела, P — его сила тяжести, F — сопротивление воздуха. При увеличении скорости падения растет и сила

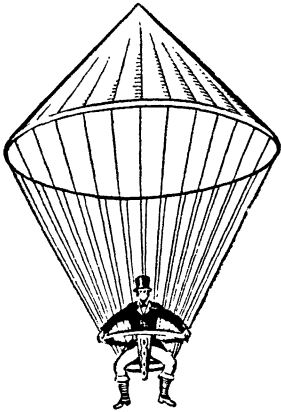


Рис. 152. Парашют Ленормана (1783 г.)

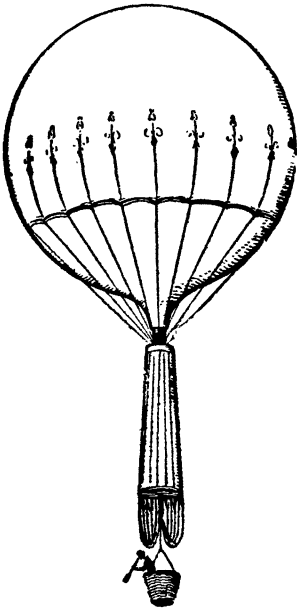


Рис. 153. Складной зонтичный парашют Гарнерена под баллоном (1797 г.)

сопротивления F . Когда абсолютное значение силы F' становится равным P , ускорение a обращается в нуль и тело начинает падать с постоянной (установившейся) скоростью, которая тем больше, чем больше вес тела.

Особенно большое сопротивление оказывает воздух телу, имеющему форму зонтика. Именно такую форму придают парашюту, который замедляет спуск с высоты и обеспечивает безопасное приземление.

Одновременно с полетами братьев Монгольфье и Шарля французский физик Ленорман производил опыты с зонтиками, спуская на них с высоты различных домашних животных. Затем с помощью двух зонтиков он совершил и сам удачный прыжок с крыши одноэтажного дома. Позднее Ленорман построил специальный зонтик для спуска человека с высоты, впервые назвав его парашютом. Аппарат Ленормана представлял собой конус (рис. 152) с диаметром основания 4,5 м и высотой 2 м, сделанный из ткани, оклеенной бумагой. В нижнюю кромку парашюта на тросах подвешивалась прочная плетенка из ивовых прутьев, служившая седлом для человека. На этом парашюте Ленорман в декабре 1783 г. совершил публичный спуск с башни парижской обсерватории Монпелье.

Первый складной парашют был сконструирован известным французским воздухоплателем Гарнереном, который решил испытать, пригодны ли парашюты в качестве спасательного средства при аварии аэростата в воздухе. Гарнерен изготовил из ткани зонтичную поверхность диаметром 10 м, в купол которой был вшит прочный деревянный обруч. От обруча вертикально вниз шли 4 троса, державшие прочную корзину для пилота. Кроме того, кромка парашюта была соединена с корзиной 36 стропами. Парашют в виде закрытого зонта (рис. 153)

подвешивали за обруч к воздушному шару, наполненному водородом.

Первое испытание парашюта происходило публично 22 октября 1797 г. в парижском парке Монсо. Поднявшись на высоту 600 м, Гарнерен перерезал связи, соединявшие парашют с воздушным шаром. Шар взлетел вверх, а испытатель в корзине под сложенным парашютом к ужасу зрителей камнем полетел вниз. Однако через мгновение зонтик начал вздуваться и вдруг раскрылся совсем. Отважный парашютист благополучно опустился вниз и прискакал на лошади к восторженно встречавшей его публике. Впоследствии Гарнерен в центре купола сделал отверстие с отходящим от него вверх коротким рукавом. Благодаря этому устранялось чрезмерное уплотнение воздуха под куполом, вызывавшее сильное раскачивание парашюта при спуске.

Первые парашюты были весьма громоздки, а обращение с ними оказалось настолько сложным, что использовать их для спасения воздухоплатователей было невозможно.

Коренное усовершенствование парашютов было сделано лишь через столетие, когда изобретение аэроплана вновь остро поставило вопрос о спасении летчиков при аварии. Прыжок из стремительно летящего самолета с громадным парашютом площадью 40—60 м² представлял собой сложную задачу. Естественно, что парашют, приспособленный к аэроплану, следовало сделать складным. Первые опытные парашюты для прыжков с самолета были слишком тяжелы и громоздки, так как изобретатели для раскрытия парашюта использовали пружинные приспособления или резервуары со сжатым воздухом. Такие парашюты укладывались в ранец за спиной летчика или в фюзеляж самолета.

Значительное улучшение в конструкцию парашюта внес француз Бонне. Его парашют имел лямки, которые застегивались на пилоте, а сам парашют прикреплялся за спиной пилота к корпусу самолета. Чтобы открыть парашют, пилот отпускал особое стопорное приспособление, и тогда освобождаемый купол раздувался встречным потоком воздуха и вырывал летчика из кабины.

Чрезвычайно упрощенный парашютный костюм без всяких дополнительных приспособлений изготовил парижский портной Рейхельт. Костюм имел слишком малую парашютирующую поверхность — всего 9 м². Это стоило изобретателю жизни. В феврале 1912 г. при публичном испытании парашюта Рейхельт спрыгнул в нем с Эйфелевой башни и разбился насмерть.

Наиболее удачный парашют был создан в 1911 г. русским изобретателем Г. Е. Котельниковым (рис. 154). Он ввел очень важное для успешного спуска разделение всех строп (веревочек) подвески на две группы, к которым привязывались лямки, а также поместил аппарат в ранце, закреплявшемся на летчике. Благодаря этому авиатор, прежде чем раскрыть парашют, мог удалиться от самолета на безопасное расстояние. Посредине купола парашют имел полюсное отверстие для выхода воздуха, вытесняемого из купола.

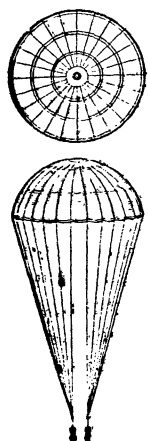


Рис. 154. Парашют Г. Е. Котельникова (1911 г.)

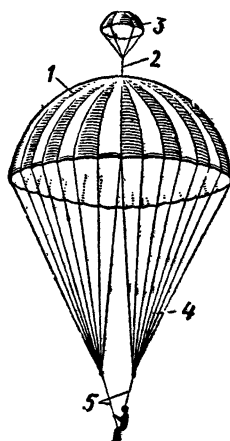


Рис. 155. Схема современного парашюта

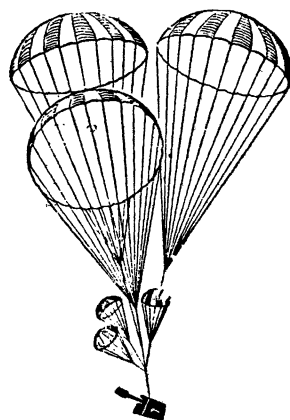


Рис. 156. Грузовой парашют

Почти также устроен современный парашют (рис. 155). Он состоит из шелкового купола 1 диаметром 7,4 м и площадью до 80 м². В верхней части купола имеется полюсное отверстие 2, здесь же крепится и вытяжной парашютик 3 диаметром около 1 м, который служит для ускорения вытягивания сложенного купола из ранца. В купол вшиты стропы 4, к которым крепится подвесная система 5, состоящая из двух лямок, спинных и ножных обхватов, грудной перемычки и пояса. Подвесная система рассчитана так, чтобы динамический удар, получаемый человеком при раскрытии парашюта, распределялся по всему телу равномерно. Парашют укладывают в ранец и прикрепляют к телу ленточка спереди на уровне бедер или так, что он служит ему сиденьем.

Парашюты разделяются на свободные и автоматические. Чтобы раскрыть свободный парашют, летчик дергает за особое кольцо и тем самым открывает ранец; пружинный механизм выбрасывает в воздух вытяжной парашютик, который в свою очередь вытаскивает из ранца купол со стропами. Вытянутый купол мгновенно наполняется воздухом, и падение замедляется.

Когда лобовое сопротивление купола парашюта становится равным силе тяжести парашютиста вместе с парашютом, начинается спуск с постоянной скоростью v .

В 50-х годах в нашей стране были созданы парашюты, имеющие в куполе сбоку щели и клапаны. Воздух, выходя из-под купола через щели, создает реактивные силы, направленные горизонтально. Благодаря этому парашютист, управляя клапанами, может перемещаться в нужную сторону, а не только вниз.

Парашют автоматического действия раскрывается с помощью короткой вытяжной веревки, один конец которой крепится к само-

лету, а другой — к летчику. Этот тип парашюта неудобен во время пожара или поломки самолета, так как не позволяет летчику раскрыть парашют на безопасном от самолета расстоянии. Парашют раскрывается в среднем в течение 2—2,5 с, а средняя скорость снижения при весе парашютиста 800 Н составляет около 7 м/с.

Трудную проблему представляет собой аварийное покидание сверхзвукового самолета, летящего на большой высоте. Для этого самолет снабжают системой катапультирования, представляющей собой сиденье, к которому ремнями прикрепляют пилота, одетого в специальный костюм для пребывания на больших высотах при низкой температуре. При аварии летчик нажимает рукоятку и сиденье по направляющим под действием порохового заряда со скоростью около 25 м/с выбрасывается вверх. Через секунду часовой механизм раскрывает парашют, на котором сиденье вместе с летчиком снижается до высоты 3000 м. На этой высоте включается другой часовой механизм, открывающий замки привязных ремней, летчик отделяется от сиденья и приземляется на втором (основном) парашюте.

Парашюты получили самое широкое распространение в современной авиации. Созданы специальные грузовые парашюты, которые имеют не один, а несколько куполов (рис. 156).

Задачи

1. Почему во время ураганов крыши домов не продавливаются, а всучиваются наружу и срываются вверх?

2. Как приближенно оценить скорость v катера, если вода поднимается вдоль его носовой вертикальной части на высоту $h = 1$ м?

3. Как выгоднее самолету взлететь — по ветру или против ветра?

4. Парашютист весом $P = 700$ Н свободно падал $h = 120$ м и затем раскрыл парашют. По прошествии $t = 5$ с после раскрытия парашюта скорость падающего человека достигает $v = 4$ м/с. Определите наибольшую силу натяжения стропов, на которых парашютист был подвешен к парашюту.

Ответы

1. В соответствии с уравнением Бернулли в потоке ветра, пронесящегося над крышей, давление становится меньше, чем в неподвижном воздухе на чердаке под крышей. Поэтому возникает подъемная сила, стремящаяся сорвать крышу с дома.

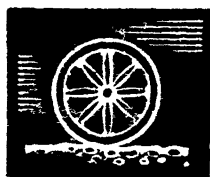
2. Применим закон Бернулли к двум сечениям трубки тока, омывающей катер. Одно сечение возьмем у носа катера, другое — вдали:

$$\rho + \frac{\rho v^2}{2} + \rho gh = \rho_0 + \frac{\rho v_0^2}{2} + \rho gh_0.$$

Учитывая, что $\rho = \rho_0$, $v_0 = 0$, $h_0 = 0$, имеем: $v = \sqrt{2gh} = 4,4$ м/с.

3. Скорости самолета относительно окружающего воздуха равны: при взлете против ветра $v + u$, по ветру $v_1 - u$, где v , v_1 — соответствующие скорости самолета относительно земли, а u — скорость ветра. Приравниваем: $v + u = v_1 - u$. Отсюда $v < v_1$. Следовательно, при взлете против ветра подъемная сила достигает нужной величины и самолет взлетает при меньшей скорости v , что во многих отношениях выгоднее и безопаснее.

$$4. v_0 = \sqrt{2gh}; F = m(g + a) = \frac{P}{g} \left(g + \frac{v_0 - v}{t} \right), F = 1330 \text{ Н.}$$



МАШИНЫ И ВРАЩАТЕЛЬНОЕ ДВИЖЕНИЕ

Г Л А В А VI

§ 1. Основные законы вращательного движения

Вращательным движением называется такое движение, при котором все точки тела движутся по окружностям, центры которых лежат на одной прямой — оси вращения.

Вращательное движение очень распространено в природе и технике. Вращаются воздушные массы атмосферы, образуя губительные смерчи, возникают круговороты на быстрых реках, в вечном вращательном движении пребывают громадные планеты в космическом пространстве и исчезающе малые электроны в атомах.

Бесконечно разнообразны примеры использования вращательного движения в технике. Почти в каждой машине есть вращающиеся детали: фрезы, сверла и резцы металлообрабатывающих станков, колеса, гребные винты и пропеллеры на транспортных машинах, маховые, водяные и ветряные колеса и роторы в энергетических установках.

Различные точки вращающегося тела за одно и то же время проходят пути разной длины: точки, близко расположенные к оси, проходят меньшие пути, чем точки, удаленные от оси. Поэтому и скорости и центростремительные ускорения этих точек различны и не могут служить для характеристики вращения всего тела в целом. Для этой цели используются угловые величины, одинаковые для всех точек вращающегося тела.

Рассмотрим сначала движение одной произвольной точки A вращающегося тела (рис. 157). За время t радиус r окружности, которую описывает точка A , повернется на угол φ , называемый углом поворота точки. Быстроту вращения точки характеризует угловая скорость ω . Угловой скоростью точки называется величина, равная отношению угла поворота ко времени, в течение которого произошел этот поворот:

$$\omega = \frac{\varphi}{t}.$$

Связь линейной скорости v точки и угловой скорости выражается формулой¹

$$\omega = \frac{v}{r},$$

где r — радиус окружности, описываемой точкой. Если с течением времени ω не меняется, вращение точки называется равномерным.

При неравномерном вращении точки быстрота изменения ее угловой скорости характеризуется угловым ускорением, обозначаемым буквой β .

Угловым ускорением называется величина, равная отношению изменения угловой скорости к промежутку времени, в течение которого это изменение происходит. Пусть за время t угловая скорость точки возросла от 0 до ω . Тогда угловое ускорение равно:

$$\beta = \frac{\omega}{t}.$$

Преобразуем эту формулу, так как $\omega = \frac{v}{r}$, то $\beta = \frac{v}{rt}$, или $\beta r = \frac{v}{t}$. Отношение $\frac{v}{t}$, представляющее собой изменение линейной скорости в единицу времени, называется тангенциальным ускорением и обозначается буквой a_τ . Следовательно, $a_\tau = r\beta$.

Рассматривая движение другой произвольной точки B вращающегося тела (рис. 157), можно показать, что за тот же промежуток времени t радиус окружности, которую она описывает, также повернется на угол φ . Следовательно, угол поворота φ одинаков для всех точек и может служить для характеристики вращения всего тела в целом. Он называется углом поворота тела. Очевидно, что ω и β также одинаковы для всех точек тела и поэтому тоже характеризуют его вращение. Их называют соответственно угловой скоростью и угловым ускорением вращающегося тела.

Вясним теперь, от чего зависит быстрота раскручивания и остановки тела, или, другими словами, его угловое ускорение β . Для этого мысленно разобьем тело, вращающееся вокруг оси (рис. 158), на столь малые частицы, что их размером можно будет пренебречь по сравнению с расстоянием до оси OO_1 . (Не будем рассматривать лишь частицы, заполняющие весьма узкий канал

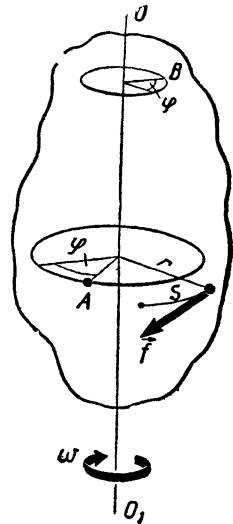


Рис. 157. Вращение тела в целом характеризуется угловыми величинами φ , ω , β

¹ См.: [2], гл. 3, § 24.

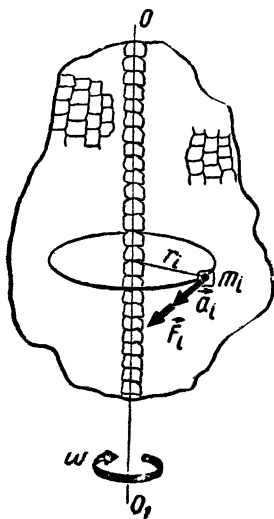


Рис. 158. К выводу основного закона вращательного движения

N , учитывая, что все частицы имеют одинаковые угловые ускорения:

$$F_1 r_1 + F_2 r_2 + F_3 r_3 + \dots + F_N r_N = \\ = (m_1 r_1^2 + m_2 r_2^2 + m_3 r_3^2 + \dots + m_N r_N^2) \beta.$$

Левая часть этого соотношения представляет собой полный момент внешних сил, действующих на тело, и обозначается через M . Выражение в скобках называют моментом инерции тела относительно оси OO_1 и обозначают буквой I . Подставляя M и I в последнюю формулу, получаем: $M = I\beta$. Эта формула выражает основной закон вращательного движения твердого тела, играющий большую роль в технике.

Из него следует, что

$$\beta = \frac{M}{I}.$$

Таким образом, чем больше момент M , тем больше угловое ускорение β и тем быстрее раскрутится маховик или другая деталь машины. С другой стороны, чем больше момент инерции I , тем труднее сообщить телу нужную скорость. Когда момент сил M ,

вдоль оси OO_1 , масса которых пренебрежимо мала по сравнению с массой всего тела, и потому они не повлияют на результаты расчетов.)

Рассмотрим частицу с номером i , имеющую массу m_i и движущуюся с тангенциальным ускорением a_{ti} . Обозначим равнодействующую всех внешних сил, приложенных к данной частице, через F_i и будем считать, что она направлена по касательной к окружности, которую описывает частица¹. Согласно второму закону механики $F_i = m_i a_{ti}$. Умножая обе части этого равенства на r_i и заменяя линейное ускорение угловым $a_{ti} = r_i \beta$, получаем: $F_i r_i = m_i r_i^2 \beta$.

Произведение $F_i r_i$ является моментом силы F_i относительно оси OO_1 . Составим такие равенства для всех N частиц тела и присуммируем их от 1 до

¹ Для простоты рассуждений мы не рассматриваем внутренних сил, действующих на данную частицу со стороны других частиц. Можно доказать, что это не влияет на конечные выводы, они останутся такими же и в более сложном случае, когда направление силы F_i не совпадает с направлением касательной.

действующих на тело, равен нулю, то и ускорение β равно нулю, т. е. тело вращается с постоянной угловой скоростью ω , если только момент инерции I остается постоянным. В частном случае $\omega = 0$, т. е. тело покоится. Изменяя момент инерции тела, можно изменять быстроту его вращения. Например, пустая бадья тем медленнее опускается в колодец, чем больше момент инерции I ворота относительно его оси вращения. Таким образом, если на два тела действуют силы, обладающие равными моментами, то быстрее раскрутится тело с меньшим моментом инерции. Его легче и остановить.

Момент инерции однородного тела относительно некоторой оси зависит от его массы, размеров и формы, а также от положения этой оси в теле. Например, момент инерции однородного диска относительно оси, проходящей через центр диска перпендикулярно его плоскости, равен $I = \frac{1}{2} mR^2$, а шара относительно оси, проходящей через его центр, равен $\frac{2}{5} mR^2$, где m — масса диска (шара), R — радиус диска (шара).

Определим теперь работу, совершаемую постоянным моментом сил M при повороте тела на угол φ . Пусть к твердому телу (рис. 157) приложена сила \vec{f} , момент которой относительно оси OO_1 равен $M = fr$. При повороте тела на угол φ точка приложения силы f переместится на длину дуги s , поэтому работа, совершаемая силой f , будет равна: $A = fs$. Но $s = r\varphi$. Следовательно, $A = fr\varphi$, или $A = M\varphi$.

Таким образом, работа, совершаемая при повороте тела на угол φ , численно равна произведению момента сил на угол поворота.

Кинетическая энергия каждого элемента массой m_i , вращающегося тела равна:

$$K_i = \frac{m_i v_i^2}{2},$$

или

$$K_i = \frac{m_i r_i^2 \omega^2}{2},$$

поскольку $v_i = \omega r_i$. Кинетическая энергия всего тела равна сумме энергий частиц:

$$K = (m_1 r_1^2 + m_2 r_2^2 + m_3 r_3^2 + \dots + m_N r_N^2) \frac{\omega^2}{2},$$

или

$$K_{\text{вр}} = \frac{I \omega^2}{2},$$

т. е. кинетическая энергия вращающегося тела прямо пропорциональна его моменту инерции и квадрату угловой скорости.

Кинетическая энергия вращающихся тел используется во многих машинах. Например, прокатные станы снабжают массивными маховиками (до 50 т каждый), приводимыми во вращение электро-

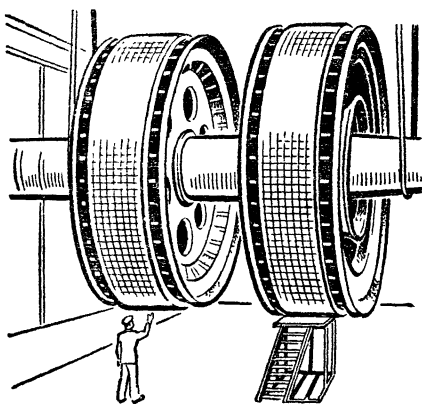


Рис. 159. Ротор электрического двигателя (с фотографии)

менного мощного электрического генератора, пробегают при своем вращении в течение суток путь, равный расстоянию от Москвы до Владивостока, а вес самого ротора достигает 4000 кН и более. При такой скорости и весе в детали возникают громадные напряжения, стремящиеся разрушить машину.

Рассмотрим в качестве примера вращение махового колеса (рис. 160).

Пусть его обод движется с линейной скоростью v . На любую его часть ab массой m со стороны спицы cd действует сила упругости F , заставляющая часть ab двигаться по окружности радиуса R с центростремительным ускорением $\frac{v^2}{R}$. По второму

закону Ньютона

$$F = \frac{mv^2}{R}.$$

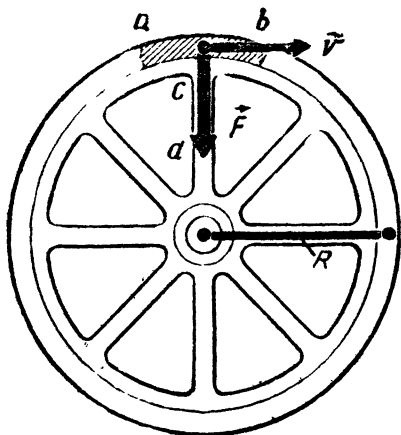


Рис. 160. Сила упругости \vec{F} заставляя часть ab описывать окружность

Чтобы при быстром вращении деталь машины не разрушилась, силы упругости должны быть очень велики. Пусть, например, ротор, предназначенный для успокоения качки большого парохода, имеет диаметр 4 м, весит 1100 кН и делает 15 об/с. При такой скорости силы упругости, действующие на какую-нибудь часть обода ротора, должны в 2000 раз превышать вес этой части. Если силы упругости оказываются недостаточными,

вращающаяся деталь машины разрывается на части, а образовавшиеся обломки благодаря инерции летят по касательным к тем окружностям, которые они ранее описывали.

Очень важное значение для работы машин имеет правильный выбор осей, вокруг которых вращаются ее детали. Так, например, если ось вращения не проходит через центр тяжести массивной детали, при ее вращении возникают огромные неуравновешенные силы, которые разрушительно действуют на подшипники и всю установку. Как указывал известный ученый В. Л. Кирпичев, у паровозных колес эти силы могут достигать 50 кН. При каждом обороте колеса, когда его центр тяжести оказывается ниже оси вращения, оно, подобно паровому молоту, с частотой 400 раз в минуту ударяет о рельсы. Рельсы и полотно дороги при этом сильно повреждаются.

Чтобы избежать вредного действия вращающихся деталей на свою опору, их уравнивают, т. е. добиваются, чтобы ось вращения проходила через центр тяжести. Для этого приходится иногда спиливать часть материала в одних местах или прикреплять небольшие грузики в других. Особенно тщательно уравнивают тяжелые детали. Например, маховые колеса весом до 400 кН при диаметре 4 м, используемые в прокатных станах, уравнивают так, что груз 0,3 Н, помещенный на ободу маховика, уже выводит их из состояния покоя.

§ 2. Центробежные механизмы

Силы, развивающиеся при вращении деталей машин и механизмов, называемых центробежными, используют для совершения полезной работы. К таким механизмам относится, например, центробежный насос. На рисунке 161 слева изображен его вертикальный разрез, продольный относительно оси 1, а справа — разрез того же насоса, перпендикулярный к той же оси. Главной частью этого насоса является колесо 2 с изогнутыми лопатками, которое насажено на ось 1 и расположено внутри цилиндрической камеры 3. При вращении колеса 2 (по часовой стрелке) лопатки захватывают воду, заполняющую камеру 3, сообщают ее частицам вращательное движение и они по инерции устремляются в напорную трубу 4. Это приводит к уменьшению давления в центре камеры, куда благодаря атмосферному давлению по трубе 5 засасывается новая порция воды. Насос снабжен двумя металлическими манометрами, один из которых показывает повышенное давление воды, выбрасываемой в напорную трубу, другой — давление в центре камеры.

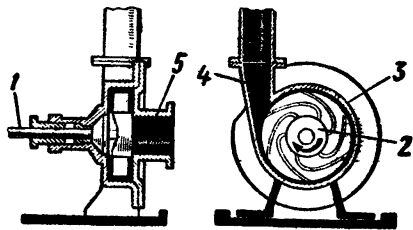


Рис. 161. Схема центробежного насоса

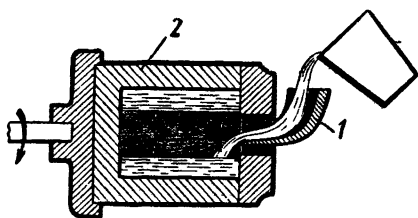


Рис. 162. Центробежное литье

может поднять воду по напорной трубе на высоту 40—80 м. Для откачки воды из глубоких шахт или подачи воды в горных местностях соединяют последовательно несколько центробежных насосов. Такие многоступенчатые насосы позволяют поднимать воду на высоту до 2 км, т. е. создают давление до 2000 Н/см².

Вращательное движение используется в центробежном литье, которое применяют для изготовления труб и других отливок, имеющих ось симметрии: маховиков, шестерен, дисков и т. д. Чтобы изготовить трубу, через лоток 1 (рис. 162) в быстровращающуюся со скоростью 600—1600 об/мин цилиндрическую форму 2 заливают расплавленный металл. Частицы жидкого металла, стремясь двигаться по инерции прямолинейно, удаляются от оси вращения формы, благодаря чему металл прижимается к стенкам формы и хорошо уплотняется. Застывая, он образует отливку в виде трубы. При этом способе литья форму можно использовать много раз. При обычном способе, когда извлекают отливку, форма разрушается.

Центробежным литьем получают очень точные и чистые отливки из черных и цветных металлов. Оно гораздо производительнее старых способов отливки и позволяет избежать сложной работы по изготовлению формы из формочной земли.

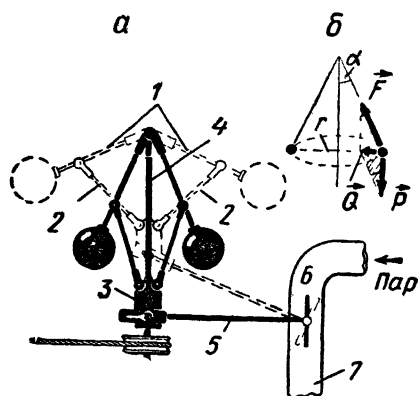


Рис. 163. Центробежный регулятор Уатта

Большим преимуществом центробежных насосов по сравнению с поршневыми является полное отсутствие клапанов. Поэтому мощный центробежный насос может засасывать с водой всякий мусор и мелкие камни, не засоряясь. Лопаточные барабаны таких насосов делают до 3000 об/мин. При этом насос

Центробежное литье используется и в строительном деле для изготовления полых железобетонных колонн. В круглой форме (опалубке), ближе к ее краям, предварительно собирают и натягивают арматуру из стальных стержней. Затем форму начинают вращать и внутрь ее заливают разжиженную бетонную массу. Полученные этим способом колонны обладают высокой прочностью и гораздо легче сплошных.

Для регулировки числа оборотов различных машин применяют центробежный регулятор (регулятор Уатта, рис. 163). Он

представляет собой систему стержней, соединенных по концам шарнирами и образующих фигуру в виде параллелограмма. Стержни 1 имеют на концах массивные шары и соединены стержнями 2 с муфтой 3, которая может скользить по вертикальному стержню 4. Последнему сообщается вращение от вала машины. Муфта 3 соединена рычагом 5 с заслонкой 6, регулирующей поступление пара в машину через паропровод 7. Получив боковой толчок от стержней 2, шары приобретают скорость v , направленную перпендикулярно плоскости чертежа (рис. 163, а). На каждый шар массой m действует сила тяжести $\vec{P} = m\vec{g}$ и тяга \vec{F} со стороны стержня 2. Равнодействующая этих сил \vec{Q} сообщает шару центростремительное ускорение¹ $a = 4\pi^2rv^2$, где v — число оборотов прибора в 1 с. Поэтому

$$Q = 4\pi^2rv^2m.$$

Но сила Q может быть определена также из заштрихованного треугольника (рис. 163, б):

$$Q = mg \cdot \operatorname{tg} \alpha.$$

Приравняв правые части двух последних выражений и заменяя r и $\operatorname{tg} \alpha$ по формулам

$$r = l \sin \alpha, \quad \operatorname{tg} \alpha = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha},$$

имеем:

$$\cos \alpha = \frac{g}{4\pi^2l v^2}.$$

Следовательно, при увеличении числа оборотов v машины $\cos \alpha$ уменьшается, отчего α растёт. Поэтому шары поднимаются, тянут муфту 3 вверх и она с помощью рычага 5 поворачивает заслонку 6 в паропроводе. Поступление пара в машину уменьшается, и число оборотов падает до прежнего значения. Регулятор используется также в двигателях внутреннего сгорания и в ряде других машин и механизмов.

§ 3. Машины для обработки металлов и добычи полезных ископаемых

Вращательное движение широко используется во многих видах металлорежущих станков: токарных, сверлильных, фрезерных, шлифовальных. Из этих станков наибольшее распространение в машиностроении получили токарные станки². На этих станках

¹ Эта формула выводится из формул $a = \frac{v^2}{r}$, $v = \omega r = 2\pi r v$. См. [2], гл. 3, § 24, 25.

² Об устройстве токарного станка см: Книга для чтения по физике, ч. 1. М., 1958, с. 167.

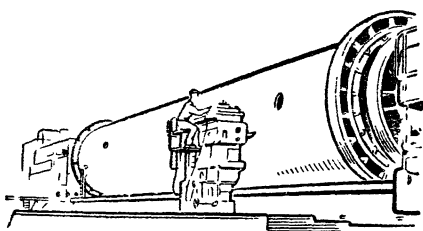


Рис. 164. Гигантский токарный станок

обработка изделий производится путем снятия стружки с металлической заготовки с помощью резцов. Заготовка вращается вокруг своей оси, а резец движется вдоль или поперек заготовки. Обработке точением подвергают многие детали современных машин и механизмов, начиная с крохотной оси ручных часов и кончая валом гигантской гидротурбины. Отсюда и разнообразие конструкций и размеров токарных станков. В различных отраслях техники можно встретить как малые, точно игрушечные, станки, так и многотонные гиганты, на которых обрабатывают детали длиной 10—15 м (рис. 164).

К токарным станкам относятся также карусельные станки для обработки очень больших деталей. Один из таких гигантских карусельных станков модели «1594» Коломенского завода тяжелого станкостроения изображен на рисунке 165. Станок состоит из трех основных частей: вращающегося вокруг вертикальной оси стола 1, на котором закрепляют обрабатываемую заготовку, портала 2 и суппорта 3 с резцом 4, закрепленного на поперечине 5. Портал может перемещаться по направляющим 6 над столом 1. В свою очередь поперечина может передвигаться в плоскости портала вверх и вниз, справа налево и обратно. Таким образом, резец можно установить над любой точкой стола. На станке «1594» можно обрабатывать 400-тонные детали диаметром до 20 м и высотой более 6 м. Диаметр его вращающегося стола равен 14 м, т. е. превышает

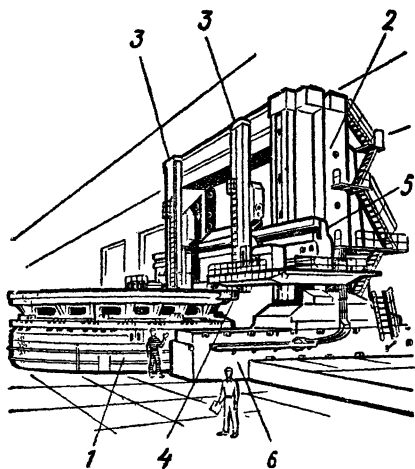


Рис. 165. Карусельный станок

диаметр цирковой арены. Высота станка над уровнем пола более 15 м, а вес 14 000 кН. Станок состоит из 77 000 деталей и приводится в действие 13 мощными двигателями, десятки моторов выполняют вспомогательную работу, обеспечивая смазку, вентиляцию, действие механизмов усилителей и т. д. Управляют этим гигантом с пультов простым нажатием кнопки. При перевозке станка «1594» из Коломны в Харьков понадобилось 70 платформ — целый железнодорожный состав.

Вращательное движение

лежит в основе действия роторных станков, используемых для проходки нефтяных скважин. Станок располагают у основания высокой ажурной вышки. Его двигатель вращает четырехгранную трубу (штангу), на конце которой укреплен режущий инструмент (долото). Затем штангу вынимают и на ее место ставят стальную бурильную трубу. По мере углубления скважины к колонне бурильных труб привинчивают все новые и новые трубы. Через эту колонну к забою скважины с помощью специальных насосов непрерывно накачивают глинистый раствор, который охлаждает долото и выносит на поверхность осколки разрушенной им горной породы. На поверхность раствор возвращается с наружной стороны колонны бурильных труб, укрепляя стенки скважины и закупоривая щели. Благодаря этому вода, нефть и газ из вышележащих пластов не могут проникнуть в скважину и выйти наверх.

Роторные станки обладают большими недостатками. Почти вся энергия двигательной установки уходит на вращение многометровой буровой колонны и лишь ничтожная часть — на полезную работу, т. е. на вращение долота и разрушение им горной породы. Если долото, войдя в твердую породу, застревает, буровая колонка перекрывается и нередко обрывается, а ее обломки закупоривают скважину. Извлечь наверх многотонную стальную пробку из тонкой скважины диаметром 25—30 см очень трудно. Всех этих недостатков лишена турбобуровая установка (рис. 166, а), идею которой выдвинул еще в 1924 г. советский инженер М. А. Капелюшников. Первые образцы турбобуров оказались малопроизводительными и быстро изнашивались. Лишь в результате многолетней работы П. П. Шумилова, Р. А. Иоаннесяна и ряда других советских инженеров был создан замечательный высокопроизводительный и износостойчивый турбобур, который в настоящее время широко используется не только в Советском Союзе, но и за границей.

Главной частью турбобура (рис. 166, б) является турбина, заключенная в длинном стальном цилиндрическом корпусе 1. Изнутри к корпусу прикреплено несколько десятков неподвижных дисков 2 с лопастями. Между статорными дисками расположены роторные подвижные диски 3, снабженные стальными лопастями, прикрепленными к валу 4 турбины. Конец вала непосредственно соединен с долотом 5. Глинистый раствор, нагнетаемый насосами с поверхности земли, проходит через полую буровую колонну и попадает на лопатки роторных дисков турбины, заставляя вращаться ее вал и связанное с ним долото со скоростью 700—800 об/мин, что во много раз превышает скорость вращения обычных роторных буровых станков. При этом сама колонна остается неподвижной, и потому почти вся энергия двигателей идет лишь на вращение турбины и долота. Использование турбобуров позволило увеличить скорость бурения в несколько раз. Так, например, скважину глубиной 2 км обычным роторным станком можно пройти за 4—5 месяцев, а турбобуром — за 2—3 недели. Создание турбобура является выдающимся достижением советской и мировой техники. Лицензии

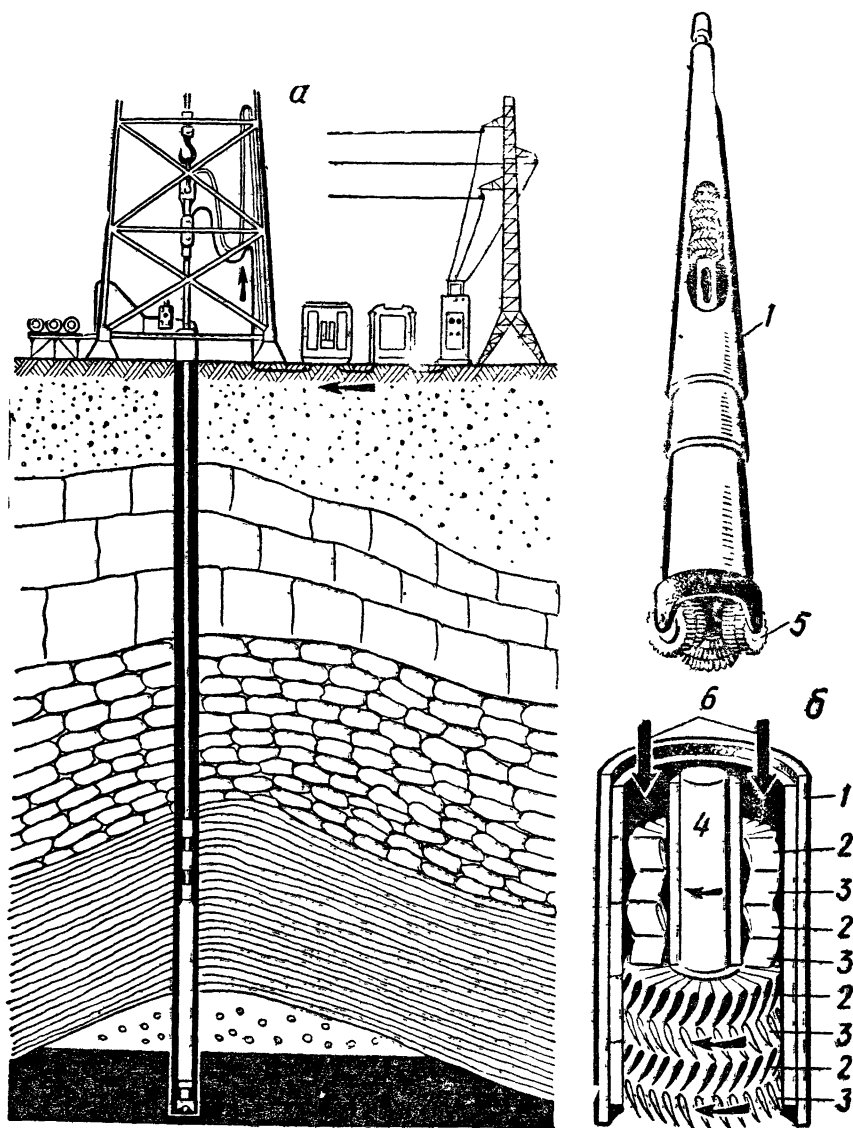


Рис. 166. Турбобуровая установка:
 а — бурильная установка; б — турбобур

на производство турбобуров приобрели у нас США, Федеративная Республика Германии и другие страны. В Советском Союзе до 85% всех буровых работ выполняется турбобуровыми установками и лишь 15% приходится на обычные роторные станки.

§ 4. Машины для превращения энергии вращательного движения

К XII—XIII вв. техника достигла такого уровня, при котором для приведения в действие новых сложных машин потребовались новые источники энергии, способные в отличие от человека и животных производить длительную работу, не зная усталости и не требуя пищи. Таким источником явилась энергия движущейся воды, которая называется гидравлической энергией. Встречая на своем пути препятствие — лопатки водяного колеса или колеса турбины, вода оказывает на них давление и вращает эти колеса, совершая работу.

Как показывает уравнение Бернулли (см. стр. 128):

$$\frac{\rho v^2}{2} + \rho gh + p = \text{const},$$

каждая единица массы движущейся жидкости обладает, во-первых, кинетической энергией $\frac{\rho v^2}{2}$ и, во-вторых, потенциальной энергией $\rho gh + p$, где ρgh — энергия положения жидкости и p — энергия давления. Уравнение Бернулли указывает на возможность создания гидравлических двигателей двух видов, использующих либо кинетическую $\frac{\rho v^2}{2}$, либо потенциальную $\rho gh + p$ составляющую полной энергии водяного потока.

Сооружения, служащие для превращения энергии текущих рек в электрическую энергию, называют гидроэлектростанциями.

Вода перемещается в реке от истока к устью под действием силы тяжести — из мест с более высоким к местам с более низким уровнем. При этом она приобретает некоторую скорость v и кинетическую энергию $\frac{mv^2}{2}$, где m — масса воды. Однако в большинстве наших равнинных рек вода течет медленно, и потому непосредственное использование движения речной воды малоэффективно. Чтобы сконцентрировать энергию водяного потока в одном месте, поперек реки около гидростанции строят плотину, которая создает большой перепад уровней воды в реке — напор. Подъем уровня воды перед плотиной увеличивает потенциальную энергию большой массы воды. Благодаря этому можно заставить воду падать со значительно большей скоростью, а чем больше скорость водяного потока, тем больше его мощность.

Потенциальная энергия массы воды зависит от высоты уровня, на котором она находится, и равна: $\Pi = mgh$. Отсюда можно получить величину мощности водяного потока.

Если с высоты h в 1 с падает объем воды Q , то от данного потока теоретически можно получить работу в 1 с (т. е. мощность), равную:

$$N_{\text{макс}} = \frac{\rho g Q h}{1000} \text{ кВт},$$

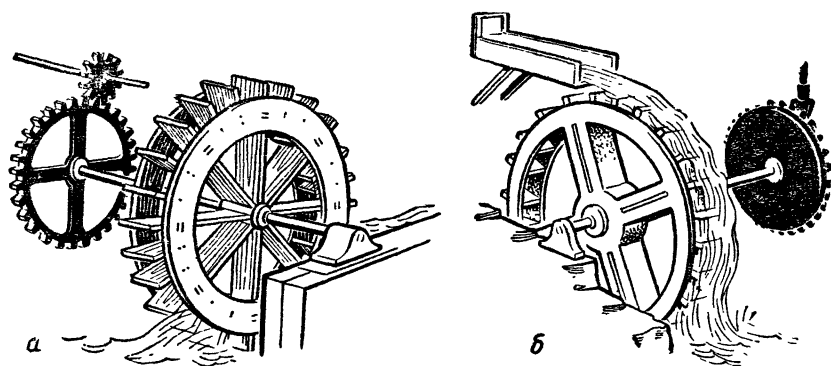


Рис. 167. Водяные колеса:
а — нижнебойное; *б* — верхнебойное

где ρ — плотность воды и g — земное ускорение. Благодаря потерям энергии действительная мощность потока будет меньше теоретически вычисленной:

$$N = \eta \frac{\rho g Q h}{1000} \text{ кВт,}$$

где η — к.п.д., величина которого для современных гидравлических установок колеблется от 0,75 до 0,95.

В XIII—XVIII вв. водяные колеса получили широкое распространение. Если раньше (с IV в.) водяное колесо использовалось лишь для привода мельничных жерновов, то теперь его применили для поднятия руды из шахт, распиловки бревен, сверления пушечных жерл, прокатки металлов и многих других целей.

Водяные колеса можно разделить на два вида:

1. Нижнебойное. Его устанавливают в свободном потоке. Напор текущей воды действует на лопажки колеса и приводит его во вращение (рис. 167, *а*).

2. Верхнебойное, которое вращается под действием веса воды, падающей на лопажки сверху (рис. 167, *б*).

Наиболее выдающейся гидросиловой установкой XVII в. считается водоподъемник, сооруженный в 1685 г. на реке Сене во Франции. Он состоял из 14 нижнебойных колес диаметром по 12 м, приводивших в действие 235 поршневых насосов. Вода поднималась на высоту 162 м, а затем поступала в акведук, направлявший ее к фонтанам королевских парков Марли и Версаля.

Еще более замечательное гидротехническое сооружение было создано в середине XVIII в. выдающимся русским механиком К. Д. Фроловым в Змеиногорске на Алтае. Фролов установил циклопические верхнебойные колеса диаметром до 17 м в огромных подземных камерах высотой в пятиэтажный дом, расположенных нисходящим каскадом. Поднятые плотиной воды речки Кораблихи

подводились к колесам по длинному подземному каналу. Одна и та же вода, опускаясь ниже и ниже, последовательно действовала на целую систему колес и, пройдя более 2300 м, вытекала обратно в речку много ниже плотины. В установке Фролова водяные колеса обслуживали все энергетические нужды предприятия: они двигали лесопилку, откачивали насосами рудничные воды с глубины 213 м на поверхность, поднимали по стволу шахты клетки с рудой и т. д.

Гидротехнические установки с водяными колесами обладают крупными недостатками. Они громоздки и тяжелы, их энергию можно использовать либо на месте, либо передавая на небольшие расстояния с помощью канатов, тег и т. д. Кроме того, они тихоходны и могут работать лишь при малом напоре воды — до 8 м.

Задачу использования громадной энергии водных потоков с высокими и средними напорами удалось решить только в XIX в., когда были созданы первые гидротурбины, действующие по другому принципу, чем водяные колеса. Основоположником теории водяных турбин является великий математик XVIII в. — петербургский академик Леонард Эйлер. Он установил, что низкий к. п. д. водяных колес обусловлен резким ударом струи о лопатки колеса, и указал, что энергетические потери могут быть значительно уменьшены, если направлять водяной поток по касательной к изогнутой поверхности лопаток. Для этого должен был служить особый, расположенный перед рабочим колесом турбины направляющий аппарат. Эта идея Эйлера используется в турбинах многих изобретателей.

Первые водяные турбины были построены французским ученым Бурденюном и его учеником Фурнейроном в 1827—1832 гг. Рабочее колесо 1 турбины Фурнейрона (рис. 168) было закреплено на вертикальном валу 2, который опирался на подшипник (подпятник) 3. Вода поступала на лопатки рабочего колеса через неподвижный направляющий аппарат 4 и двигалась в нем от центра к периферии.

В России первую водяную турбину (рис. 169) соорудил в 1837 г. плотинный мастер И. Е. Сафонов. Она была самой мощной в мире и успешно работала на Алапаевском металлургическом заводе на Урале.

В настоящее время гидротурбины используются главным образом для преобразования энергии воды в электрическую энергию. Громадные

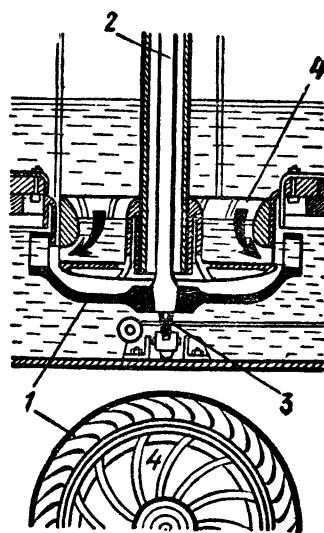


Рис. 168. Гидротурбина Фурнейрона с внутренним подводом воды

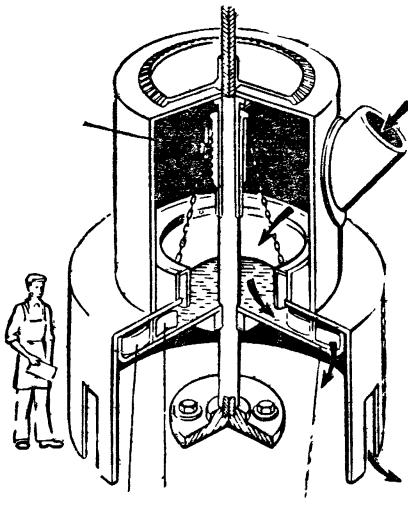


Рис. 169. Водяная турбина
И. Е. Сафонова

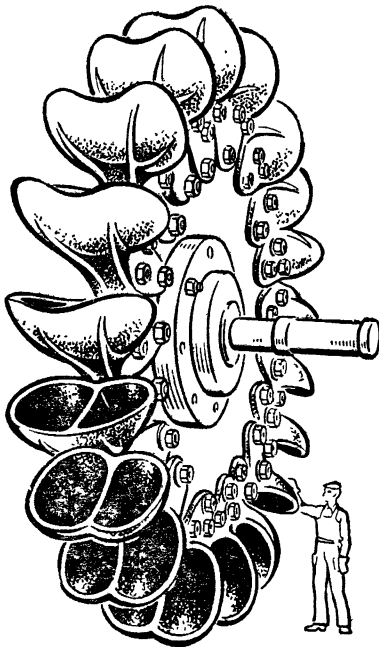


Рис. 170. Колесо мощной
активной турбины

(мощностью до 0,5 млн. кВт) гидротурбины вращают электрические генераторы на многих советских гидроэлектрических станциях (ГЭС), число которых непрерывно растет. Современные гидротурбины разделяются на два вида: 1) активные; 2) реактивные.

Активные турбины применяются при малых расходах и больших напорах воды — от 150 м и выше. Такие турбины располагают обычно в горном ущелье и направляют к ним воду по трубам из высокогорного озера. Лопаткам колеса активной турбины придают форму сдвоенного ковша с острым «ножом» посередине (рис. 170). Струя воды падает без удара на лопатку и отклоняется в обе стороны. При этом она теряет скорость и отдает колесу свою кинетическую энергию, за счет чего и происходит работа турбины. Ротор (колесо) турбины закрыт металлическим кожухом (рис. 171), а вода подводится через одну или несколько насадок. Поступление воды регулируют с помощью иглы, закрывающей отверстие насадки.

Основная особенность активной турбины состоит в том, что потенциальная энергия воды полностью переходит в кинетическую энергию только в насадке. Давление воды при выходе из насадки падает до атмосферного и в дальнейшем, когда вода проходит через лопатки, не меняется. Таким образом, лопатки воспринимают только кинетическую энергию воды.

Вытекающая из сопла струя, попадая на лопатку со скоростью v_0 , отклоняется от первоначальной

чального направления и стекает с лопатки со скоростью v . Если в секунду по лопатке сбегает масса воды m , то работа A , совершаемая водой ежесекундно, будет равна кинетической энергии, потерянной водой за это время:

$$A = \frac{mv_0^2}{2} - \frac{mv^2}{2}.$$

Мощность активных турбин доходит до 20 000 кВт, а скорость вращения ротора — до 200 об/мин. Подача воды к большим активным турбинам регулируется автоматически.

Большинство рек нашей страны течет по равнинам с малым уклоном. Например, уклон Волги между Куйбышевым и Волгоградом составляет 0,00004, т. е. на 1 км длины русло реки понижается на 4 см. На таких реках трудно создать большие напоры, необходимые для работы активных турбин. Поэтому широкое распространение у нас получили реактивные турбины.

Принцип действия реактивных турбин заключается в следующем. Вода под большим давлением поступает в каналы между лопатками неподвижного направляющего аппарата 1 (рис. 172). Благодаря сужению каналов скорость потока возрастает, а давление падает. Однако в отличие от активных турбин здесь потенциальная энергия воды не полностью преобразуется в кинетическую. Преобразование потенциальной энергии и возрастание скорости потока продолжается и на лопатках рабочего колеса 2, которые также образуют сужающиеся каналы. Это ускорение создает силу, действующая со стороны лопатки на струю. Такую же, но направленную противоположно реактивную силу F_1 вода прилагает к лопатке (рис. 173). Проходя по каналу, частицы воды изменяют не только величину, но и направление своей скорости. Бла-

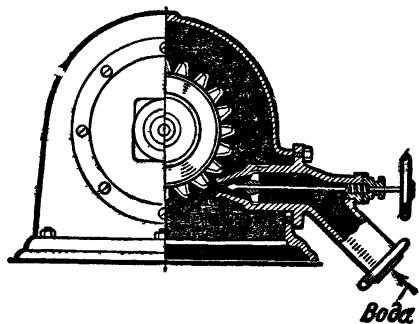


Рис. 171. Активная водяная турбина конструкции Пельтона

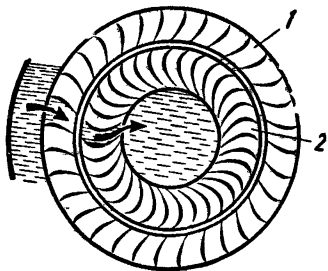


Рис. 172. Схема реактивной турбины

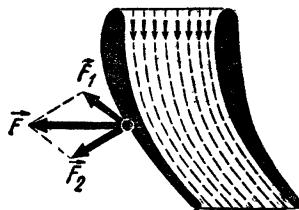


Рис. 173. Возникновение реактивной силы на лопатке турбины

годаря этому они действуют на лопатку с некоторой силой F_2 . Равнодействующая F этих сил вращает колесо. Вода покидает турбину при атмосферном давлении и со скоростью, примерно равной той, с которой она поступала в подводящую камеру. Таким образом, реактивные турбины используют всю потенциальную энергию воды, находящейся выше плотины.

Реактивные турбины можно разделить на три вида: 1) радиально-осевые; 2) пропеллерные; 3) прямоточные. Лопастей рабочего колеса радиально-осевой турбины имеют сложный изгиб, который обеспечивает плавное изменение скорости и направления течения воды между ними. Вода из направляющего аппарата поступает на лопасти рабочего колеса по радиусам, а затем уходит вдоль его оси вниз. Радиально-осевые турбины хорошо работают при водных напорах средней величины.

При больших расходах воды с малым напором используют пропеллерные турбины, рабочее колесо которых напоминает по внешнему виду корабельный винт. С помощью специального механизма, находящегося внутри втулки рабочего колеса, лопасти поворачиваются наиболее выгодным образом, в соответствии с расходом воды. Поэтому такие турбины называют также поворотными лопастными.

Прямоточные турбины (рис. 174) не нуждаются в специальном здании электростанции, их устанавливают вместе с генератором электрического тока в толще самой плотины. В этом состоит их преимущество перед турбинами других систем.

Одним из примеров использования вращательного движения в технике является работа ветряных двигателей, происхождение которых теряется в глубокой древности. В Египте около города Александрии до сих пор сохранились очень старые ветряные мельницы. Ученые считают, что каменные башни этих мельниц построены около трех тысяч лет назад. В Европе первые ветряки стали появляться в XIII в.

Энергия ветра принадлежит к постоянно возобновляемым источникам энергии, однако ветер дует неравномерно, и потому ветряные двигатели нельзя использовать для работ, требующих непрерывной подачи энергии, например на транспорте. Поэтому из громадного мирового запаса энергии ветра (150 000 млрд. кВт · ч в год) используется лишь ничтожная часть.

По конструкции ветрового колеса и его расположению в потоке ветра ветродвигатели

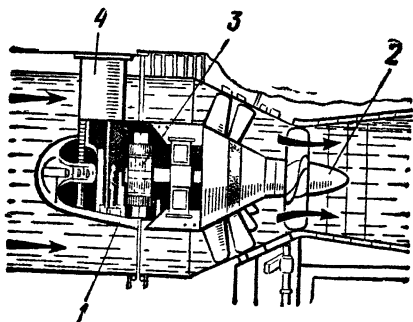


Рис. 174. Прямоточная турбина:

1 — водонепроницаемый корпус; 2 — рабочее колесо поворотной лопастной турбины; 3 — электрогенератор; 4 — входная труба

можно разбить на четыре вида: карусельные, барабанные, роторные и крыльчатые. Наилучшим типом двигателя является крыльчатый. Такие двигатели бывают быстроходные с малым числом лопастей и тихоходные — многолопастные, их к.п.д. достигает 40%. Сечение ветроколеса напоминает крыло самолета (рис. 175), поэтому действующие на них аэродинамические силы имеют одинаковое происхождение. Набегающий на лопасть воздушный поток движется по ее выпуклой поверхности быстрее, чем по плоской, благодаря чему возникает аэродинамическая сила \vec{R} , образующая некоторый угол α с направлением потока. Составляющая этой силы — сила P , лежащая в плоскости колеса, приводит его во вращение.

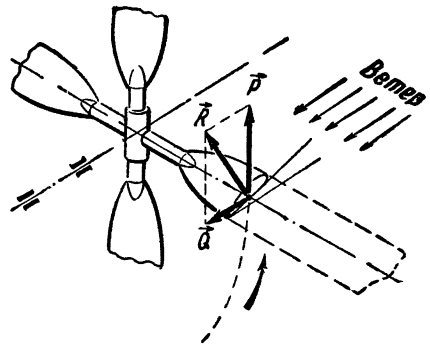


Рис. 175. Аэродинамические силы, действующие на лопасть ветродвигателя

Движение ветроколеса с помощью системы зубчатых колес и вертикального вала передается машине, потребляющей энергию, например штоку водяного насоса или валу электрического генератора. На рисунке 176 показана ветросиловая установка: 1 — ветроколесо, 2 — лопасть, 3—4 — центробежный регулятор скорости вращения, 5 — вспомогательное ветроколесо, 7 — коническая зубчатая передача, 8 — вертикальный вал, 9 — лебедка, передающая его вращение рабочей машине. Ветряк 5 неподвижен, пока находится в плоскости, параллельной направлению ветра. Как только оно изменится, ветряк 5 начинает вращаться и движет по кольцевому рельсовому пути тележку 6. Это движение прекращается в тот момент, когда ветряк 1 снова станет напротив ветра.

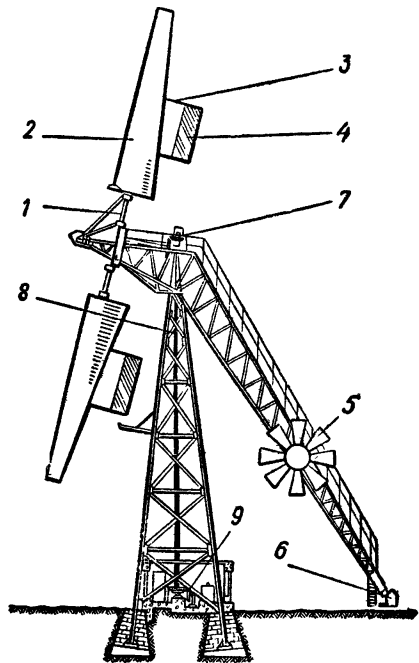


Рис. 176. Ветросиловая установка

Ветродвигатели широко используются в нашем сельском хозяйстве. Они приводят в движение электрические генераторы,

насосы, мельницы и т. д. В будущем ветроустановки, видимо, получат еще большее распространение. Будут окончательно решены и трудности, связанные с неравномерной работой ветродвигателей. Один из способов решения этой проблемы состоит в сочетании ветряных и гидравлических двигателей. В ветряную погоду ветряк вырабатывает электрическую энергию и накачивает воду в резервуар. При безветрии вода из резервуара вращает водяную турбину.

Задачи

1. Ротор паровой турбины, на котором закреплены лопатки, имеет диаметр $D = 1$ м и вращается со скоростью $n = 3000$ об/мин. Определите линейную скорость точек на ободе ротора и силу упругости, удерживающую каждый килограмм массы материала на этом ободе.

2. К колесу радиуса $R = 0,5$ м с моментом инерции $I = 20$ кгм² приложен постоянный момент сил $M = 50$ Нм. Найдите угловое ускорение и линейную скорость точек на ободе к концу десятой секунды, если в начальный момент колесо было неподвижно.

3. По касательной к ободу однородного диска радиусом $R = 0,2$ м приложена сила $F = 100$ Н. На диск действует также сила трения, момент которой $M = 5$ Нм. Найти массу диска, если он вращается с постоянным угловым ускорением $\beta = 100$ с⁻².

4. Маховик, имеющий вместе с валом момент инерции $I = 200$ кгм², вращается, делая $n_0 = 3$ об/мин. После того как на него перестал действовать вращающий момент, он повернулся на угол $\varphi = 360$ л и благодаря трению остановился. Считая трение постоянным, определите момент сил трения.

5. Токарный станок потребляет мощность $N = 7,8$ кВт. При $n = 800$ об/мин шпинделя он обтачивает детали диаметром $D = 100$ мм. Вычислите скорость резания и сопротивление, преодолеваемое резцом. Скоростью резания называется путь, пройденный режущей кромкой резца относительно поверхности обрабатываемой детали в 1 мин.

Ответы

$$1. v = \frac{\pi D n}{60}, v = 157 \text{ м/с}; \quad F = \frac{mv^2}{R}, F = 49\,298 \text{ Н} \approx 49,3 \text{ кН.}$$

$$2. \beta = \frac{M}{I}, \beta = 2,5 \text{ с}^{-2}; \quad v = \beta t R, v = 12,5 \text{ м/с.}$$

$$3. \frac{1}{2} m R^2 \beta = F R - M; \quad m = \frac{F R - M}{0,5 R^2 \beta}, m = 7,5 \text{ кг.}$$

$$4. M \varphi = \frac{I \omega_0^2}{2}, M = \frac{I \cdot 4\pi^2 n_0^2}{\varphi}, M = 62,8 \text{ Нм.}$$

$$5. v = \pi D n, v = 251,2 \text{ м/мин}; \quad F = \frac{N}{v}, F = 1860 \text{ Н.}$$

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	5
<i>Глава I.</i> Подъемные машины и сила тяжести	7
§ 1. Всемирное тяготение	10
§ 2. Загадка древних сооружений и скульптур	13
§ 3. Подъемные машины древности	16
§ 4. Современные подъемные машины	26
<i>Глава II.</i> Артиллерия, ракетная техника и баллистика	—
§ 1. Понятие о баллистике	28
§ 2. Артиллерия и боевая ракетная техника	37
§ 3. Аппараты для исследования космоса	56
<i>Глава III.</i> Сухопутный транспорт и трение	—
§ 1. Природа силы трения и ее свойства	58
§ 2. Транспорт на полозьях и на воздушной подушке	63
§ 3. Транспортировка на катках и колесах	68
§ 4. Самодвижущиеся колесные экипажи	78
§ 5. Машины на гусеничном ходу	84
<i>Глава IV.</i> Транспорт и силы Архимеда, глубоководные аппараты..	
§ 1. Наука о корабле	—
§ 2. Морской флот прошлого	92
§ 3. Надводный морской флот XX в.	97
§ 4. Глубоководные аппараты и подводные суда	104
§ 5. Аэростаты и дирижабли	116
<i>Глава V.</i> Летательные аппараты тяжелее воздуха и вязкое трение	126
§ 1. Основные законы аэродинамики	—
§ 2. Самолеты и планеры	130
§ 3. Вертолеты	146
§ 4. Парашюты	151
<i>Глава VI.</i> Машины и вращательное движение	156
§ 1. Основные законы вращательного движения	—
§ 2. Центробежные механизмы	161
§ 3. Машины для обработки металлов и добычи полезных ископаемых	163
§ 4. Машины для превращения энергии вращательного движения	167

Борис Феофанович Билимович

ЗАКОНЫ МЕХАНИКИ В ТЕХНИКЕ

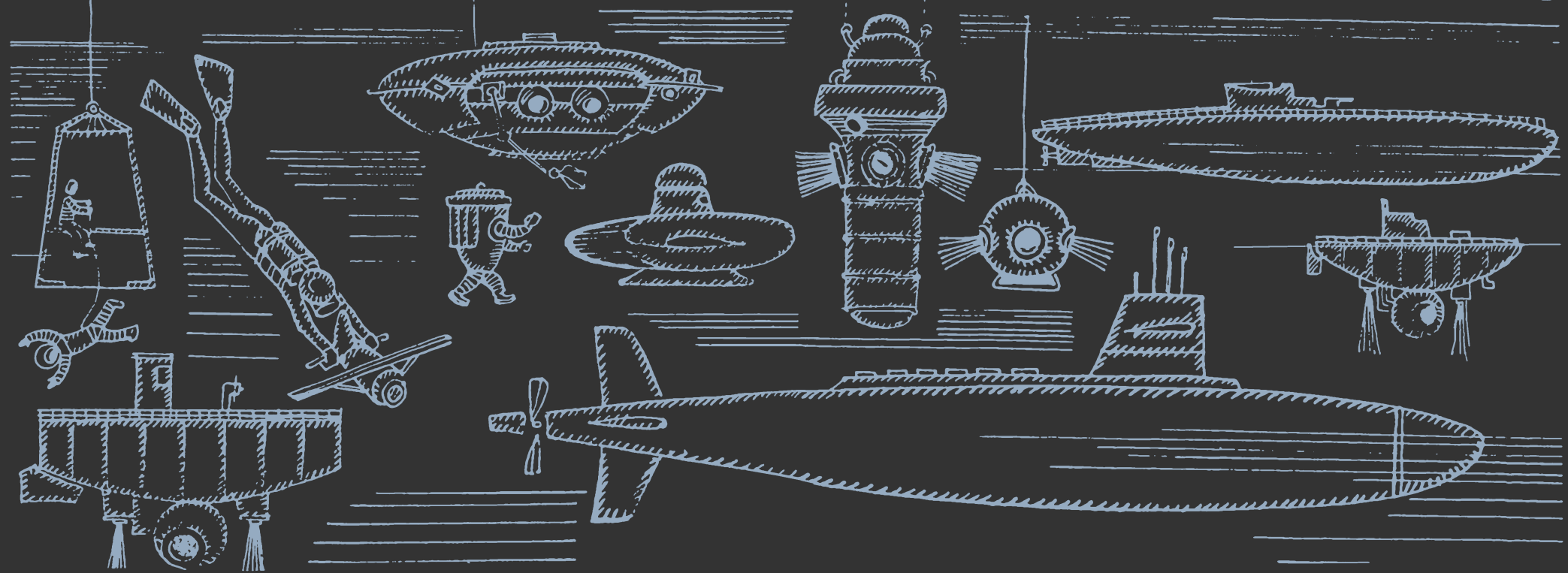
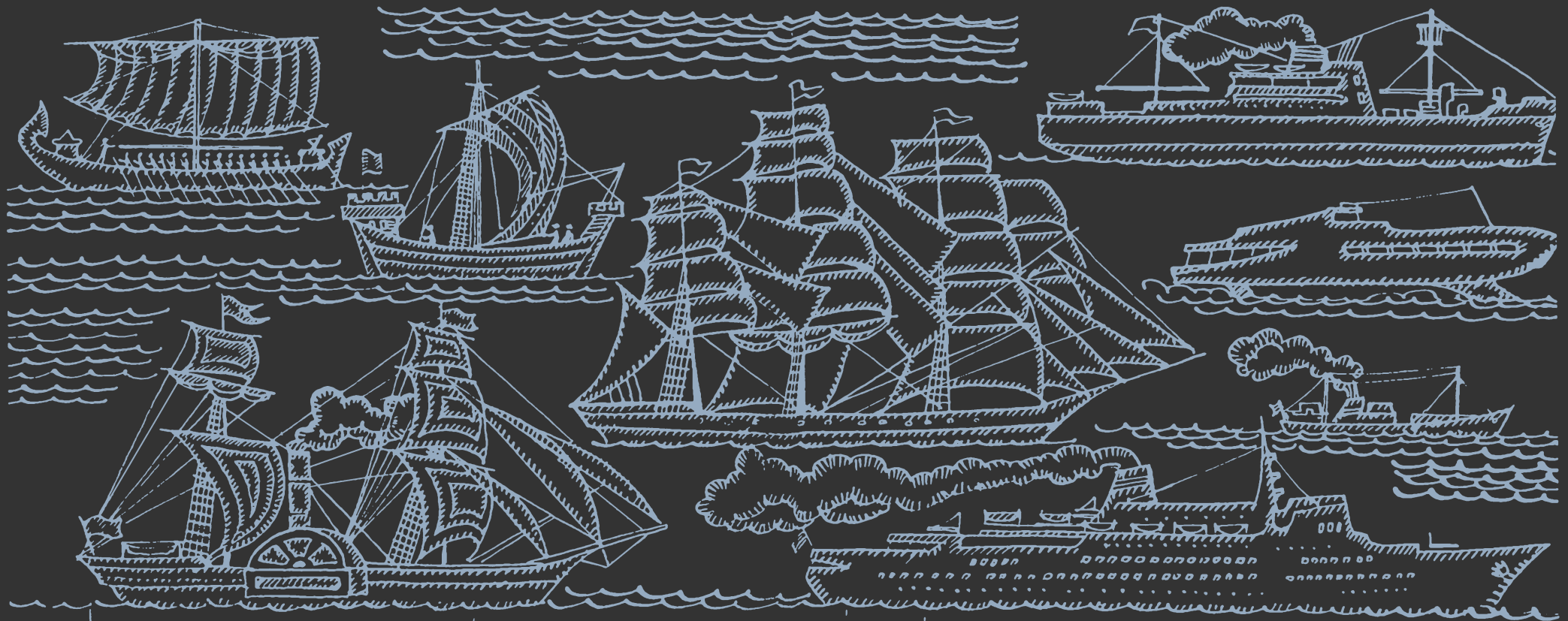
Редактор
Л. С. Мордовцева
Художник
А. Т. Яковлев
Художественный редактор
Т. А. Алябьева
Технический редактор
З. М. Кузьмина
Корректор
Н. М. Данковцева

Сдано в набор 30/1 1975 г. Подписано к печати 3/VI 1975 г. 60×90^{1/16}. Бумага типографская № 1. Печ. л. 11+вкл. 0,125. Уч.-изд. л. 11,55+вкл. 0,10. Тираж 80 тыс. экз. А05447.

Ордена Трудового Красного Знамени издательство «Просвещение» Государственного комитета Совета Министров РСФСР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. Москва, 3-й проезд Марьиной Рощи, 41.

Отпечатано с матриц Саратовского ордена Трудового Красного Знамени полиграфкомбината на Калининском полиграфкомбинате детской литературы им. 50-летия СССР Росглавополиграфпрома Госкомиздата Совета Министров РСФСР. Калинин, проспект 50-летия Октября, 46. Заказ 395.

Цена без переплета 32 коп., переплет 14 коп.



Цена 46 коп.

