

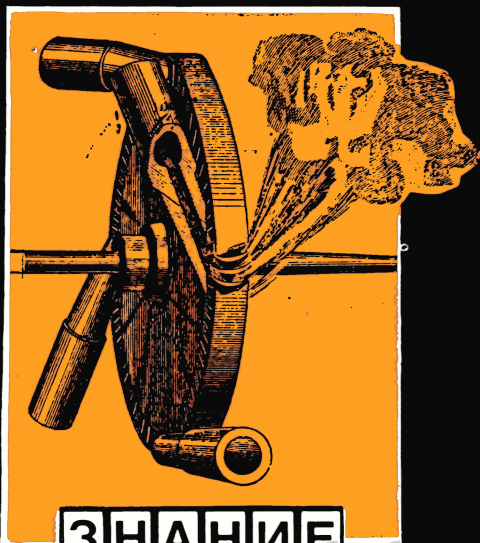
# ЖЗМ

ЖИЗНЬ  
ЗАМЕЧАТЕЛЬНЫХ  
ИДЕЙ

Александр Моравский  
Матвей Файн

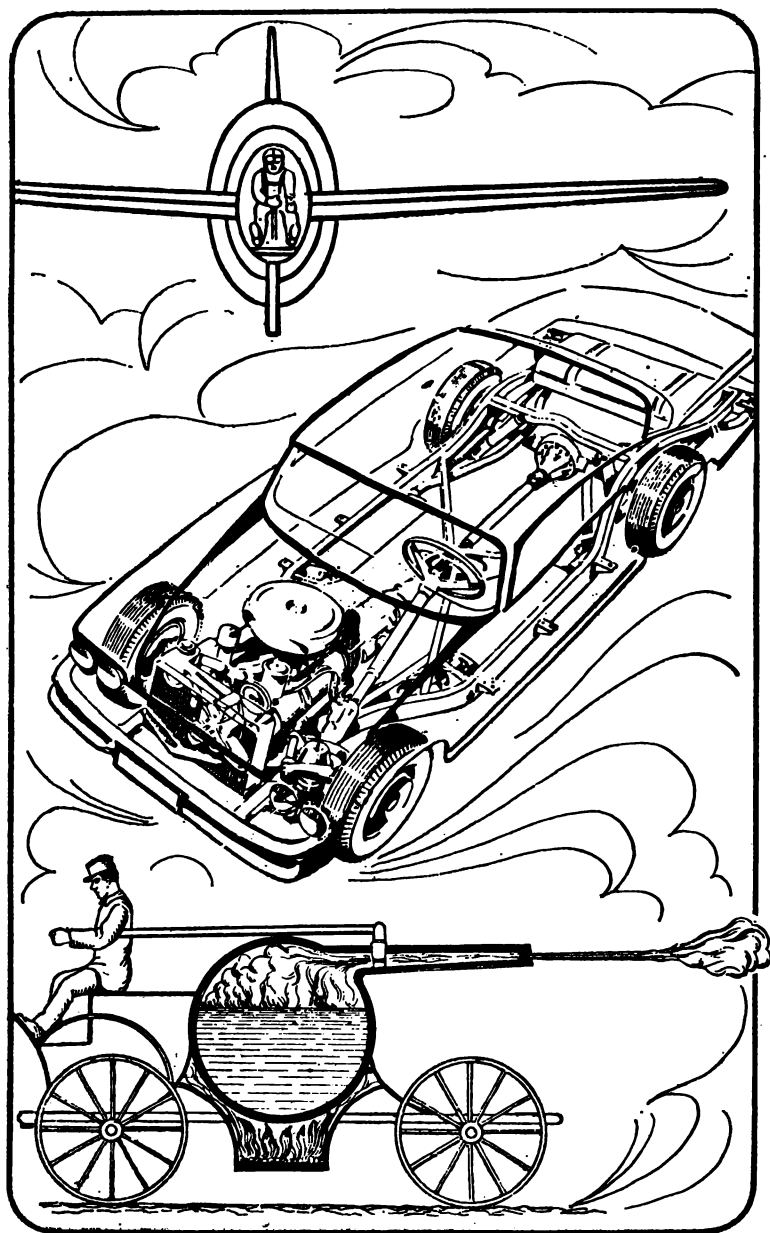
## ОГОНЬ В УПРЯЖКЕ

Книга рассказывает  
об истории изобретений  
в области паровых машин внутреннего сгорания,  
ракетных и воздушно-реактивных двигателей,  
паровых и газовых турбин  
от древних времен до наших дней.



ЗНАНИЕ

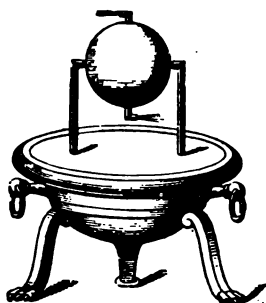
**ЖИЗНЬ  
ЗАМЕЧАТЕЛЬНЫХ  
ИДЕЙ**



*Александр Моравский  
Матвей Файн*

**ОТОНЬ  
В УПРЯЖКЕ,  
ИЛИ  
КАК ИЗОБРЕТАЮТ  
ТЕПЛОВЫЕ  
ДВИГАТЕЛИ**

*Издательство «Знание»  
Москва 1990*



ББК 31.365

М 79

Авторы: МОРАВСКИЙ Александр Владимирович — кандидат технических наук, специалист в области газотурбинных двигателей и экспертизы изобретений. Автор более 60 научных трудов по специальности.

ФАЙН Матвей Аронович — кандидат технических наук, специалист по тепловым двигателям и по экспертизе изобретений. Автор около 60 научных трудов по двигателям внутреннего сгорания.

Рецензент: Л. А. Шубенко - Шубин — академик АН УССР.

Редактор: С. Н. ПОПОВА,

**Моравский А. В., Файн М. А.**

**М 79** Огонь в упряжке, или Как изобретают тепловые двигатели. — М.: Знание, 1990. (Жизнь замечательных идей). — 192 с.

ISBN 5-07-000069-1

45 к.

50000 экз.

Книга рассказывает об истории изобретений в области тепловых двигателей с древнейших времен до наших дней. Эта история полна драматизма. Многие выдающиеся изобретатели окончили жизнь в нищете, пережив крушение всех своих надежд, другие быстро стали знаменитостями, в жизни третьих успехи и неудачи шли рука об руку.

Книга рассчитана на широкий круг читателей, интересующихся двигателями автомобилей, тракторов, судов, самолетов, ракет и знакомых с курсом физики в рамках программы средней школы.

М 2203050000—045

073(02)—90

29—89

ББК 31. 365

ISBN 5-07-000069-1

© Издательство «Знание», 1990 г.

## ПРЕДИСЛОВИЕ

*По истории тепловых двигателей написано много специальной и научно-популярной литературы. Имена Уатта, Ползунова, Дизеля известны, наверное, всем. Многие слышали о Севери, Ньюкомене, Лавале. Рассказать на эту тему что-нибудь новое или по-новому взглянуть на нее очень трудно. И все-таки авторам этой книги эту задачу решить, по-моему, удалось.*

*В чем же новизна книги? В ней очень интересно, с профессиональным знанием описана история патентования и патентных споров вокруг выдающихся изобретений. Обычно эта сторона дела в значительной мере ускользала от историков техники. А ведь большинство великих инженеров были великими изобретателями. Вопросы патентования занимали очень большое место в их жизни. Обладание патентом нередко делало человека обеспеченным и позволяло без помех заниматься любимым делом. Так было с Уаттом, Лавалем и многими другими.*

*В то же время лишение патента или неудачная защита изобретения могли быть причиной настоящей личной трагедии. Из этой книги читатель узнает о патентных «войнах», которые вели со своими конкурентами Уатт Парсонс, Дизель. Исход этих сражений подчас оказывал самое непосредственное влияние на развитие техники. Патенты Уатта на много лет блокировали создание паровых машин высокого давления, а знаменитый спор Парсонса со своими бывшими компаньонами на несколько лет задержал развитие паровых турбин. Некоторые машины (параллелограмм Уатта, радиальные турбины) своим рождением обязаны попыткам обойти запатентованные решения. Вообще патентные и технические аспекты изобретений в реаль-*

ной жизни всегда были неразрывно связаны между собой, и данная книга в этом отношении верно отражает историческую действительность, что является ее несомненным достоинством.

Другое достоинство книги — широта охвата темы. В ней вы найдете сведения по истории почти всех основных типов тепловых двигателей. Хотя порой эти сведения, несомненно, в связи с ограниченностью объема носят несколько конспективный характер, такой подход позволил добиться важного результата — продемонстрировать общие существенные черты развития различных двигателей, сходство и различие их судеб, неразрывную связь истории техники и истории общества.

В книге приведено множество интереснейших фактов, по-новому освещается ряд моментов в истории двигателей. С этой точки зрения книга будет интересной не только для любителей популярной литературы, но и для специалистов-теплотехников. И конечно же, она будет очень полезна изобретателям, особенно начинающим, которые почерпнут много поучительного в опыте великих изобретателей отдаленного и недавнего прошлого,

Профессор, доктор технических наук  
А. А. ШЕЙПАК

## О ЧЕМ ЭТА КНИГА

В течение многих тысячелетий огонь для человека был только источником тепла и служил для приготовления пищи. Затем человек научился использовать его для выплавки и обработки металла. И только к концу XVII в. люди поняли, что пользуются лишь ничтожной частью наследства Прометея. Они поняли, что огонь можно заставить двигать по земле экипажи, по воде — суда, забивать сваи. И все это под силу устройствам, преобразующим тепло в работу, — тепловым двигателям.

Сегодня любому школьнику известны такие двигатели, как паровые машины, паровые и газовые турбины, двигатели внутреннего сгорания, реактивные и ракетные двигатели. Существуют и менее известные конструкции, например двигатели с внешним подводом теплоты. Жизнь современного человека трудно представить без тепловых двигателей. На транспорте главным двигателем является двигатель внутреннего сгорания, около 80% электроэнергии вырабатывается на тепловых электростанциях. Все, что окружает нас и служит нам в повседневной жизни — дома, мебель, одежда и даже пища, изготовлено с помощью машин, приводимых этими двигателями. Наша зависимость от них значительно больше, чем зависимость наших предков от лошади.

Тепловые двигатели, которые окружают нас теперь повсюду, кажутся нам привычными. Но путь к их созданию был совсем не простым. Были и выдающиеся открытия. Были и разочарования.

Множество изобретений сделано на этом пути, однако это не означает, что в этой области все уже известно. Проблема дальнейшего совершенствования и повышения экономичности двигателей не теряет актуальности и в наши дни. Миллионы людей участвуют в создании и эк-



эксплуатации тепловых двигателей, и сотни тысяч из них являются изобретателями.

Естественным является стремление каждого изобретателя закрепить свое авторство с помощью авторского свидетельства или патента.

В чем же смысл патента и причина его появления? В древнем мире и в средние века секреты ремесел тщательно охранялись. Тайна была тогда единственной гарантией монополии производства и вытекающих отсюда выгод. Правительство Венеции, например, для сохранения тайны знаменитого венецианского стекла превратило остров Мурано в пожизненную тюрьму для многих мастеров-стеклоделов. Но даже строжайшие меры подчас оказывались неэффективными перед расторопностью конкурентов. Нередко, однако, случалось худшее. Секреты ремесел гибли с мастерами в столь частых тогда войнах и эпидемиях. Навсегда исчезал бесценный опыт, находки талантливых людей.

Такая практика тормозила развитие производительных сил, и набирающий силу капитализм не мог с ней мириться. Выход был найден в новой форме собственности — «интеллектуальной» и в документах, гарантирующих право монопольного пользования этой собственностью в течение определенного срока даже в случае раскрытия тайны.

Первым документом, провозгласившим исключительное право использовать свое изобретение, был изданный в 1624 г. английским королем Яковом Стюартом «Статут о монополиях». Патентные законы в других странах появились позднее. В царской России с 1812 г. существовала иная форма охраны «интеллектуальной» собственности — привилегия, отличавшаяся от патента по содержанию, но также ставящая ее обладателя в исключительное положение.

До последнего времени в нашей стране такая форма защиты изобретений, как патент, не являлась основной. Патенты выдавались сравнительно редко, преимущественно иностранным изобретателям. Гораздо чаще использовалась иная форма защиты — авторское свидетельство, по которому все права на использование изобретения принадлежат государству.

Современные охранные патентные документы обычно содержат специальный раздел — «формулу изобретения», в котором в сжатой форме специфическим «па-

тентным» языком излагается существо изобретения, характеризующее объем авторских прав. Однако так было не всегда. Например, в России до конца XIX в. привилегии не содержали формулы изобретения. Отсутствие формулы в патентных документах, а иногда и неумелая ее редакция часто служили препятствием для получения патентов на новые изобретения. История создания тепловых двигателей насыщена примерами, когда изобретателю не удавалось защитить свои права, и случаями, когда патенты выдавались без достаточных оснований.

Наша книга о том, как работали над созданием тепловых двигателей и как патентовали свои изобретения выдающиеся инженеры и ученые, создатели тепловых двигателей, о перспективах развития тепловых двигателей и о некоторых особенностях защиты авторских прав в этой области.

## СНАЧАЛА СОВСЕМ НЕМНОГО ТЕОРИИ

Прежде чем осветить проблемы, над которыми бились и бьются уже более трехсот лет создатели тепловых двигателей, вспомним основы теории этих двигателей, их термодинамики.

Начнем с определения: тепловой двигатель — машина для преобразования теплоты в работу. В этом определении есть два понятия, требующие разъяснения. Одно из них — работа (вернее механическая работа) — знакомо каждому со школьных времен: это произведение силы на перемещение точки ее приложения в направлении действия силы. Понятие достаточно простое, обычно не вызывающее затруднений. С теплотой куда сложнее. По земле уже всюду ходили паровозы, воды рек и морей бороздили пароходы, паровые машины вращали множество станков, откачивали воду из рудников, а ученые никак не могли разобраться в том, что же такое теплота. Одни считали, что теплота — это вещество — теплород, которое не возникает и не уничтожается, а только перераспределяется между телами. Сторонники этой так называемой вещественной, или материальной, теории теплоты считали, что термометр показывает концентрацию, т. е. число «градусов» теплорода в данном теле, представляющем смесь вещества тела и теплорода. Отсюда название «температура» (*temperatura* в переводе с латыни означает «смесь»). Ложность материальной теории была вскрыта еще М. В. Ломоносовым. Другие ученые, придерживавшиеся механической теории теплоты, утверждали, что теплота есть движение мельчайших частиц тела. В дальнейшем наука подтвердила — да, такое движение существует, однако оно определяет не теплоту, а тепловую энергию вещества. Таким образом, механическая теория теплоты также, по существу, оказалась не-

правильной. В соответствии с современными представлениями теплота — это форма передачи энергии. И по своей сути, и количественно это совсем не то, что тепловая энергия. Действительно, можно подсчитать тепловую энергию определенной массы перегретого водяного пара, просуммировав кинетическую энергию его молекул. Охладим этот пар вначале до температуры конденсации, а затем заморозим полученную воду. При этом, кроме теплоты, отведенной при охлаждении пара, выделятся также теплота испарения и теплота плавления, которые для воды очень велики. В результате в процессе охлаждения мы отведем теплоту гораздо большую, чем тепловая энергия, которой первоначально обладал перегретый пар. Бессмысленно говорить о запасе теплоты в каком-нибудь теле — она никак не связана с природой или состоянием тела или системы тел. Выделение или поглощение теплоты есть результат и функция процесса изменения состояния тел. Дрова, например, сами по себе не обладают теплотой. Она начинает выделяться в химическом процессе окисления органического вещества, проще говоря, горения дров.

Таким образом, теплота и подобно ей работа являются функцией процессов. В то же время всякое тело обладает определенной внутренней энергией, зависящей только от его состояния. Внутренняя энергия — сумма многих составляющих, в том числе внутриатомной и внутриядерной энергий. Однако в термодинамике тепловых двигателей принимают в расчет только те виды внутренней энергии, которые изменяются в термодинамических процессах. К ним относятся внутренняя кинетическая энергия (т. е. энергия поступательного, вращательного и колебательного движения атомов и молекул) и внутренняя потенциальная энергия (т. е. энергия, зависящая от взаимного положения частиц и связанная с силами межмолекулярного притяжения и отталкивания).

Известно, что термодинамическое состояние тела полностью определяется любыми двумя из трех параметров — давлением ( $P$ ), температурой ( $T$ ) и удельным объемом ( $V$ ) — отношением объема тела к его массе. Эти величины между собой связаны так называемым уравнением состояния. Таких уравнений известно довольно много. Самое нам знакомое — уравнение состояния идеального газа (уравнение Клапейрона-Менделеева):

$$PV=RT,$$

где  $R$  — газовая постоянная.

Теплота  $Q$ , полученная или отведенная от данного тела, совершенная им или над ним работа  $L$  и изменение его внутренней энергии  $\Delta U$  связаны уравнением

$$Q = L + \Delta U,$$

которое является математическим выражением первого закона термодинамики. Он означает, что теплота, сообщенная телу, расходуется на увеличение его внутренней энергии и на совершение работы. Первый закон термодинамики является частным случаем более общего закона сохранения энергии.

Вернемся непосредственно к тепловому двигателю.

Один из главных элементов любого теплового двигателя — так называемая расширительная машина, которая, собственно, и выдает готовую «продукцию» двигателя — механическую работу. Конструкции расширительных машин бесконечно разнообразны. На первых порах рассмотрим работу одной из самых старинных — поршневой машины, ее простейшего варианта. Эта машина (рис. 1) состоит из цилиндра и поршня со штоком, который непосредственно или через передаточный механизм связан с потребителем работы — приводным агрегатом. В начальный момент рабочего хода, когда поршень расположен в крайнем левом положении, в рабочей камере цилиндра находится сжатое и нагретое рабочее тело, например воздух или другой газ с параметрами  $P_1$ ,  $T_1$ ,  $V_1$ . Давление газа создает на поршне силу  $PS$  ( $S$  — площадь поршня). Под действием этой силы поршень начинает перемещаться вправо. По мере движения поршня происходит расширение газа, которое продолжается до тех пор, пока поршень не остановится в крайнем правом положении. Состояние газа в каждый момент процесса расширения, как мы знаем, вполне определяется параметрами  $P$  и  $V$ , т. е. оно может быть обозначено точкой на диаграмме  $P—V$ . Значит, сам процесс расширения, представляющий собой последовательный переход газа из одного состояния в другое, изобразится на диаграмме  $P—V$  в виде линии, соединяющей точку 1 (начальное состояние газа) и точку 2 — его конечное состояние. Однако состояние любой конечной массы газа можно обозначить точкой на диаграмме  $P—V$  только при одном условии: если

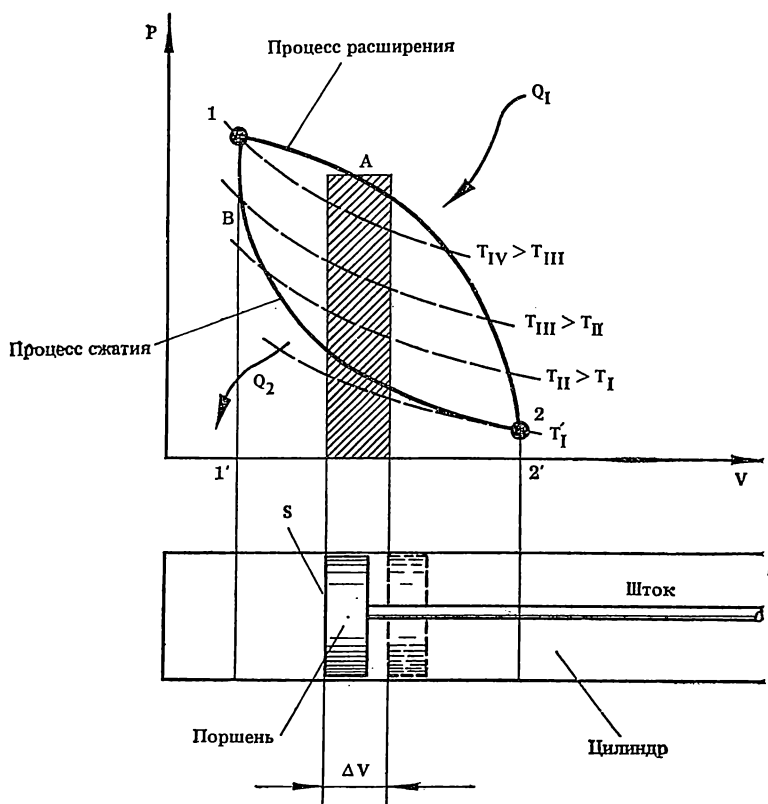


Рис. 1. Цикл тепловой машины в  $P$ — $V$ -координатах

значение этих параметров одинаково по всему объему, занимаемому газом. Такое состояние газа называют равновесным. Сохранение этого условия при переходе газа из одного состояния в другое (из одной точки процесса в следующую) возможно только тогда, когда этот переход происходит бесконечно медленно. Такие идеализированные, условные процессы, представляющие собой бесконечно медленную смену равновесных состояний, называют в термодинамике обратимыми.

Подсчитаем работу  $L_p$ , совершаемую газом в обратимом процессе расширения 1—2 (A). Очевидно, при переходе поршня из одного промежуточного положения в другое, находящееся на малом расстоянии  $\Delta l$ , газ совершает

работу  $\Delta L_p = P \Delta l$  ( $\Delta l$  выбираем настолько малым, что давление  $P$  на этом пути можно считать постоянным). Так как  $\Delta l S = \Delta V$ , то  $\Delta L_p = P \Delta V$  (здесь  $\Delta V$  — соответствующее изменение объема газа). Полная работа  $L_p$ , совершаемая газом в процессе 1—2, равна сумме элементарных работ  $\Delta L_p$ . Работа  $L_p$ , как это следует из рисунка, равна  $1A22'1'$  под процессом 1—2(A). Для того чтобы увеличить работу расширения, следует «поднять» процесс 1—2 (A). На диаграмме  $P$ — $V$  нанесены линии постоянных температур (изотермы). В соответствии с уравнением Клапейрона эти кривые — гиперболы ( $PV = \text{const}$ ). На рис. 1 видно, что  $L_p$  тем больше, чем при более высоких температурах происходит процесс расширения. Для осуществления нового рабочего хода газ необходимо привести в исходное состояние, т. е. сжать. Если, прикладывая усилие к поршню, перемещать его в обратном направлении, сжимая газ по той же линии A между точками 1—2, то, как нетрудно догадаться, работа сжатия будет равна работе, полученной при расширении, т. е. в результате за два хода поршня мы не получим работы даже от идеальной машины. В работоспособном тепловом двигателе работа, затрачиваемая на сжатие газа, всегда меньше работы расширения. Для достижения этого процесс сжатия между точками 2—1 должен быть расположен ниже процесса расширения (кривая B), т. е. сжатие должно осуществляться при более низких температурах газа, чем процесс расширения. Таким образом, перед расширением или во время него газ нужно нагревать, а после расширения или во время сжатия — охлаждать. Отсюда следует, что, кроме расширительной машины, любой тепловой двигатель должен иметь нагреватель, холодильник и машину для сжатия — только в этом случае возможно получение от двигателя работы с периодическим возвращением рабочего тела в исходное состояние. Замкнутая кривая, состоящая из процессов 1—2 (A) и 1—2 (B), называется циклом двигателя. Если обозначить теплоту, подведенную к газу от нагревателя в процесс 1—2 (A), через  $Q_1$ , а теплоту, отведенную от газа в холодильник в процессе 1—2 (B), — через  $Q_2$ , то теплота, полученная газом в течение цикла  $Q_{\text{ц}}$ , будет  $Q_{\text{ц}} = Q_1 - Q_2$ . Поскольку газ в замкнутом цикле возвращается в начальное состояние, изменение его внутренней энергии за цикл равно нулю. Следовательно, в соответствии с первым законом термодинамики

$$L_{\text{ц}} = Q_{\text{ц}} = Q_1 - Q_2,$$

т. е. работа газа за цикл равна разности значений подведенной и отведенной теплоты в течение цикла. С другой стороны, поскольку работа расширения равна площади под процессом  $1-2$  ( $A$ ), а работа сжатия — под процессом  $1-2$  ( $B$ ), то  $L_{\text{ц}}$ , равная разности работ расширения и сжатия, равна площади, заключенной внутри фигуры, ограниченной кривыми  $1-2$  ( $A$ ) и  $1-2$  ( $B$ ).

Эффективность цикла характеризует термический коэффициент полезного действия (кпд), представляющий собой отношение работы  $L_{\text{ц}}$  к подведенной теплоте:

$$\eta_{\text{т}} = L_{\text{ц}}/Q_1.$$

Величина  $Q_1$  определяет затраченный эффект — она пропорциональна количеству сжигаемого в двигателе топлива, а работа  $L_{\text{ц}}$  есть полезный эффект. Таким образом, при прочих равных условиях чем больше  $\eta_{\text{т}}$ , тем больше при тех же затратах топлива можно получить работы в течение цикла.

Выше рассматривалась работа поршневой машины — представительницы объемных расширительных машин. Поршень этой машины представляет собой как бы подвижную стенку сосуда (цилиндра), в котором заключено рабочее тело. В этой машине работа расширения или сжатия газа непосредственно, без всяких промежуточных процессов преобразуется в работу перемещения поршня положительную (потребляемую) при расширении и отрицательную (подводимую) при сжатии.

Иной принцип действия у так называемых динамических расширительных машин. Примером такой машины является реактивная турбина, показанная на рис. 2. Турбина состоит из камеры, сопла, вала и штанги, с помощью которой камера крепится к валу. Рабочее тело, например предварительно сжатый и нагретый газ, подводится в камеру через каналы в валу и штанге. Из сопла газ истекает с некоторой скоростью  $W$ , называемой относительной. Она измеряется в системе координат, неподвижно связанной с камерой 1. Под действием струи истекающего газа турбина вращается в сторону, противоположную  $W$ . Обозначим скорость камеры  $U$ . Эта окружная скорость в механике называется переносной. Чтобы определить абсолютную скорость газа  $C$ , т. е. его скорость в неподвижной системе координат (относительно



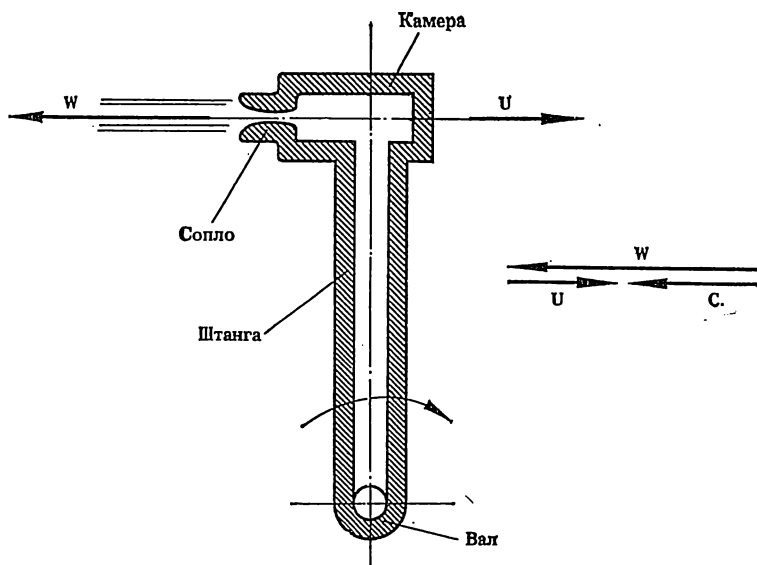


Рис. 2. Реактивная турбина

Земли), вспомним школьную задачу о пассажире, прогуливающемся по палубе парохода. Скорость пассажира относительно берега равна сумме скорости парохода (переносная скорость) и скорости пассажира относительно парохода

$$\overline{C} = \overline{W} + \overline{U}.$$

Приведенное уравнение векторное, так как скорость — векторная величина. Геометрически вектор  $\overline{C}$  является диагональю параллелограмма со сторонами  $\overline{W}$  и  $\overline{U}$  или, что то же самое, замыкает треугольник  $\overline{C}$ ,  $\overline{W}$ ,  $\overline{U}$ . В нашем случае, когда  $\overline{W}$  и  $\overline{U}$  имеют противоположные направления, стороны треугольника ложатся на одну прямую, как это показано на рис. 2.

Обозначим  $M$  массу газа, истекающего из сопла в единицу времени (массовый расход газа). За некоторый

промежуток времени  $\Delta t$  некоторая масса  $\Delta m = M \Delta t$  газа изменяет свою абсолютную скорость в турбине от почти нулевой до  $C = W - U$ , т. е. ускорение массы  $\Delta m$ , полученное в турбине, равно  $\frac{C}{\Delta t} = \frac{W - U}{\Delta t}$ . Зная ускорение, мож-

но, согласно второму закону Ньютона, найти силу, создавшую это ускорение

$$F = M \Delta t (W - U) / \Delta t = M (W - U).$$

По третьему закону Ньютона точно такая же сила, но противоположно направленная, действует со стороны газа на камеру. Эта сила, которую называют реакцией струи, вращает реактивную турбину. Работа этой силы в единицу времени, или мощность турбины, равна произведению  $F$  на переносную (окружную) скорость:

$$N = FU.$$

Работа реактивной турбины и других динамических расширительных машин отличается от работы поршневой машины прежде всего тем, что газ после сжатия и нагрева необходимо разогнать, преобразовав его располагаемую энергию в кинетическую. Это необходимо потому, что при данных массовом расходе газа и окружной скорости мощность турбины определяется скоростью истечения газа из сопла  $W$ . Разгон газа осуществляется обычно в соплах, представляющих собой сужающиеся у входа и расширяющиеся на выходе каналы, причем сопла могут быть вращающимися или неподвижными. Процесс разгона сопровождается уменьшением давления и увеличением удельного объема, и на  $P-V$  диаграмме он выглядит так же, как процесс расширения в поршневой машине. Глубокая разница в том, что в соплах расширяется движущийся газ, в котором уменьшение давления — следствие разгона (для того чтобы частица газа ускориалась, давление за ней или со стороны входа сопла должно быть больше, чем перед ней, — только в этом случае на частицу будет действовать сила, пропорциональная разности этих давлений и направленная к выходу сопла). В поршневых же машинах происходит расширение теоретически неподвижного газа вследствие увеличения объема рабочей камеры цилиндра в процессе движения поршня.

Все приведенные выше рассуждения относились к идеальному циклам, состоящим из обратимых процессов. Однако все действительные процессы необратимы, т. е. происходят не бесконечно медленно, а с конечной скоростью. Необратимость приводит к потерям. Рассмотрим простой пример. В обратимом процессе расширения поршень поршневой машины должен перемещаться бесконечно медленно. При этом условии в каждый момент времени параметры газа во всей рабочей камере одинаковы. В действительности же скорость конечна и может быть очень большой. Это приводит к тому, что газ, непосредственно прилегающий к поршню, увлекается им, в результате чего давление газа на поршень снижается. Значит, уменьшается сила, действующая со стороны газа на поршень, уменьшается и производимая им работа. В процессе сжатия, наоборот, давление газа непосредственно перед поршнем больше, чем в остальной части рабочей камеры, и это увеличивает усилие, необходимое для перемещения поршня, и работу, затрачиваемую на сжатие. Необратимость процессов есть также следствие конечной разности температур между нагревателем и рабочим телом, холодильником и рабочим телом, трения и т. д. Наличие потерь, связанных с необратимостью процессов цикла, приводит к уменьшению работы цикла:

$$L_{ц(обр)} > L_{ц(необр)}.$$

Эти потери учитываются так называемым внутренним относительным кпд цикла:

$$\eta_{вн} = L_{ц(необр)} / L_{ц(обр)}.$$

Работа цикла не вся передается тепловым двигателем потребителю. Часть ее тратится на трение в узлах двигателя и другие потери. Кроме того, не вся теплота, полученная при сжигании топлива, доходит до рабочего тела — часть ее теряется в виде тепловых потерь. Все эти потери учитываются эффективными кпд отдельных элементов двигателя  $\eta_{ef}$ .

А топливная экономичность теплового двигателя в целом, т. е. отношение переданной потребителю работы к теплоте, подведенной в результате сгорания топлива, определяется эффективным кпд двигателя

$$\eta_e = \eta_t \cdot \eta_{вн} \cdot \eta_{ef}.$$

Безусловно, эффективный кпд — важнейший показатель двигателя. Однако далеко не единственный. Как мы увидим далее, предпочтение сплошь и рядом отдается двигателям с более низким  $\eta_e$ , но обладающим другими преимуществами, решающими в данной области применения. К таким преимуществам относятся малые габариты и масса, простота и дешевизна конструкции, дешевизна и удобство эксплуатации, малые шумность и токсичность и т. д.

Таков минимум сведений, необходимый для понимания дальнейшего материала книги. Он элементарен и, в общем, укладывается в рамки школьного курса физики. Но какой длинный путь пришлось пройти, чтобы добыть эти знания, сколько труда, разочарований и гениальных находок на этом пути!

# ГЛАВА 1

# ПЕРВЫЕ ДВИГАТЕЛИ И ПЕРВЫЕ ПАТЕНТЫ



## ОТ ЗАБАВНЫХ ИГРУШЕК К ПОЛЕЗНЫМ УСТРОЙСТВАМ

Вокруг вопроса о том, кому принадлежит приоритет создания первого теплового двигателя, долго кипели страстные споры. Эти споры продолжаются и сейчас. Но, как указывает К. Маркс в «Капитале», ни одно изобретение XVIII столетия нельзя приписать одному лицу. Каждое изобретение имеет своих авторов, но включает опыт целого ряда предшествующих открытий и разработок. Это высказывание Маркса справедливо не только для XVIII в.

Первым устройством для превращения теплоты в работу могла быть паровая пушка «Архитронито». Ее название можно перевести как сильный гром. Описание этого прибора имеется у Леонардо да Винчи, приписывающего его Архимеду. Некоторые специалисты считают, что речь идет не о подлинном Архимеде и изобретение относится к более позднему периоду. Такая пушка вполне могла существовать, но ее нельзя, конечно, считать двигателем. Поэтому прообразом теплового двигателя считается созданный в I в. до н. э. выдающимся ученым и изобретателем того времени Героном Александрийским так называемый золипил (рис. 3).

Этот золипил представлял собой полый шар, который можно было заставить вращаться, разведя под ним огонь. Для этого в вертикальной плоскости шар был

снабжен двумя выступающими диаметрально противоположными изогнутыми трубками и под ним был установлен сосуд, частично заполненной водой. Когда под сосудом разводили огонь, вода в нем закипала, выделявшийся пар поступал во внутреннюю полость шара по паропроводам и вытекал из нее по изогнутым трубкам, вызывая вращение шара. По существу, эолипил — это не что иное, как паровая реактивная турбина, подобная той, которая показана на рис. 2.

Конечно, эолипил не соответствует формальному определению теплового двигателя, так как он ничего не приводит в движение, это просто красивая игрушка, но в нем, безусловно, теплота превращается в механическую работу, а идея использования энергии пара путем разгона его и подачи струй в окружном направлении была позднее использована при создании паровых турбин.

Сохранились многие трактаты Герона Александрийского. Они свидетельствуют о его величайшей образованности и изобретательности. В основном своем труде «Механика» он рассматривал теоретические вопросы, связанные с работой известных в то время механизмов: сложение скоростей, определение центра тяжести, работу ворота, винта, блоков. Им был создан «театр автоматов», в число которых включен эолипил. Но Герон не полностью представлял себе, что является рабочим телом в его машине, так как в те времена пар отождествляли с воздухом. Об этом свидетельствует даже название «эолипил» — в честь Эола, одного из богов ветра, воздуха.

Отрезок времени от создания эолипила до устройств, превращающих силу огня в полезную работу, очень велик.

В 1630 г. в Англии был выдан патент Дэвиду Рамсею на изобретение, цель которого — «поднимать воду из глу-

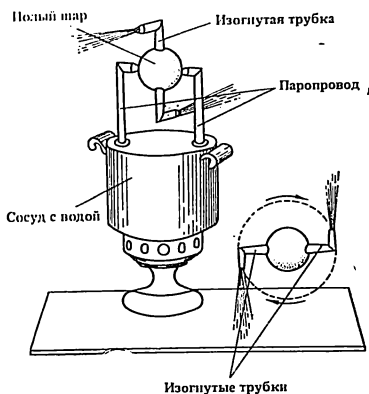


Рис. 3. Эолипил Герона Александрийского

боких колодцев посредством огня», но более подробных объяснений в этом патенте нет. В то время они не требовались; патентное законодательство не имело достаточного опыта, и предшествующие разработки не были зафиксированы.

Патент № 131 на оригинальное устройство для подъема воды, который был выдан в Англии 15 ноября 1661 г. Эдуарду Сомерсету, маркизу Вустеру, содержит более подробные объяснения. Суть предложения Вустера сводится к следующему. Стволы двух пушек устанавливали вертикально, заполняли водой и разводили под ними огонь. Образовавшийся пар выбрасывал воду фонтаном высотой до 40 футов (около 12 м). В описании изобретения указано: «Человек, управляющий аппаратом, должен поворачивать два крана таким образом, чтобы наполнять водой сосуд, когда он израсходовал всю воду, и в это время работать другим сосудом и продолжать эту работу попеременно, поддерживая постоянный огонь, что может сделать тот же человек в промежутки между поворачиванием кранов».

По неподтвержденным сведениям эта машина была построена в 1663 г. и проработала в течение четырех лет до смерти изобретателя.

Интересно, что авторские права Вустера подвергались сомнению на том основании, что идея заимствована им у Соломона де Ко. Этот французский инженер и архитектор фонтанов опубликовал в 1615 г. во Франкфурте книгу «Причины движущих сил с различными полезными и забавными историями». В ней глухо говорится о возможности подъема воды посредством огня из шара, в котором образуется пар. Полагают, что через крышку круглого сосуда почти до его дна проходила высокая труба. Шар заливали водой и герметически закрывали. Затем под ним разводили огонь. Образующийся пар давил на воду сверху. Вода поднималась по трубе, даже если она очень длинна. Когда сосуд опорожнялся, все начинали сначала. Кстати, из этой книги ясно, что С. де Ко, так же как и Герон, не видел разницы между паром и воздухом.

Для обвинений Вустера в том, что он заимствовал свою машину у де Ко, используется версия о его встрече с де Ко во Франции. Жизнь и приключения Вустера подробно описаны в интересной книге В. Карцева и

П. Хазановского «Тысячелетия энергетики», выпущенной в 1984 г. издательством «Знание».

Вустер в 1663 г. опубликовал книгу «Век тех имен и образы тех изобретений, которые приходят мне на память...». Под № 68 в книге описано изобретение, на которое выдан процитированный выше патент.

Сравнение описания этого изобретения с предложением де Ко свидетельствует, что претензии к Вустеру недостаточно обоснованны. Судя по всему, у Вустера вода не вытесняется давлением пара, образующегося над ее поверхностью при кипении, а увлекается вверх всплывающими пузырьками пара.

Справедливости ради следует отметить, что идея подъема воды из шара, в котором образуется пар, еще до де Ко в 1601 г. была высказана итальянцем Джованни делла Порта. Но конечно, Вустер пошел значительно дальше своих предшественников хотя бы потому, что сумел облечь свое предложение в конкретные формы.

И все-таки это пока еще не двигатели. Их время еще не наступило. Но эти изобретения демонстрировали возможность получения работы при помощи огня. Без достижений этих изобретателей создание тепловых двигателей не стало бы возможным.

## **ДРУГ РУДОКОПА**

Появление тепловых двигателей связано с возникновением и развитием промышленного производства в начале XVII в. или с первой промышленной революцией. И первые крупные изобретения в этой области были сделаны главным образом в Англии, самой промышленно развитой в то время стране. Ведущую роль в этом сыграло горное дело. Копи, в которых добывали руду, а впоследствии и каменный уголь, нуждались в устройствах для откачки воды. Но к концу XVII в. верхние горизонты английских месторождений уже истощились и глубина шахт стала достигать 200 м. При такой глубине конный привод откачивающих насосов уже не удовлетворял владельцев шахт, поскольку приходилось держать до пяти-сот лошадей на одном руднике. Для создания новых высокопроизводительных установок для откачки требовалось заменить лошадь в упряжке чем-либо более производительным. Речь шла буквально о жизни и смерти горнорудной промышленности. Один из создателей тер-



модинамики С. Карно, вклад которого в развитие теории тепловых двигателей будет освещен ниже, писал впоследствии, что деятельность угольных, а также железорудных и медных копей грозила «совсем заглухнуть вследствие все возрастающей трудности откачивать воду и добывать уголь». Эта чисто практическая задача и стала причиной того, что первым тепловым двигателем стала машина для откачки воды.

Но прежде нужно было понять условия превращения тепла в работу. В 1683 г. англичанин Сэмюэль Морленд издал сочинение, в котором впервые четко изложил мысль, что для подъема воды путем использования теплоты горения нужно вначале воду превратить в пар. В сочинении приводились даже размеры цилиндра, ход поршня и значение высоты, на которую можно поднять воду. Полученная по расчетам Морленда высота 1,2 м несопоставима с глубиной шахт, и работы Морленда не могли найти применения. Но признание необходимости превращения воды в пар—это большая заслуга Морленда. Водяной пар стал первым рабочим телом тепловых двигателей. На том этапе это было самым естественным, поскольку в машинах для откачки воды такое рабочее тело было, так сказать, «под рукой». Однако водяной пар в качестве рабочего тела широко распространен и сейчас. Причины этого — в доступности воды, нетоксичности, а также достаточно высоких теплофизических свойствах пара.

Но для использования водяного пара, кроме установленного Морлендом факта, нужно было выполнить еще одно важное условие. К пониманию этого условия подошли практически одновременно француз Дени Папен и англичанин Томас Севери.

Томас Севери в юности был рудокопом, затем моряком и даже капитаном торгового флота, но впоследствии стал шахтовладельцем и остро ощутил потребность в машине для откачки воды из копей. В 1698 г. Севери получил патент № 356 с формулировкой, что он выдан на устройство «для подъема воды и для получения движения всех видов производства при помощи движущей силы огня...». Подробное описание и формула изобретения в патенте не приводились. Впоследствии расплывчатая формулировка существа изобретения принесла Севери немалые выгоды.

Севери первым отделил рабочее тело (водяной пар)

от перекачиваемой воды. Для этого он сделал отдельный котел, а пар, который получали в котле, через кран выпускал в сосуд с водой, и пар вытеснял воду в напорную (верхнюю) трубу (рис. 4). В этой части предложение Севери очень напоминало предложение де Ко, но в отличие от де Ко и от Вустера Севери сумел реализовать повторение циклов. Это достигалось тем, что, когда вода полностью вытеснялась, а сосуд оставался заполненным паром, напорную трубу перекрывали и сосуд обливали холодной водой, вследствие чего пар в сосуде конденсировался, возникало разрежение и через впускную трубу всасывалась следующая порция воды. В 1702 г. Севери опубликовал описание машины под названием «Друг рудокопа». Название раскрывало ее основное назначение. Но машины Севери годились для различных целей: для водоснабжения городов и крупных зданий, для осушения болот и лугов. Правда, высота подъема воды у них была ограничена, и для глубоких копей они не годились.

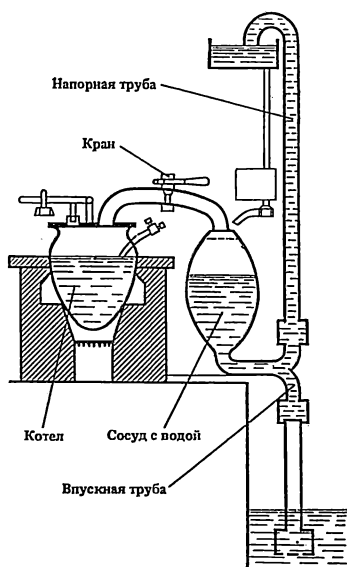


Рис. 4. Паровой водоподъемник Севери

Впоследствии машина Севери была усовершенствована Дезагюлье, предложившим охлаждать пар в сосуде путем впрыскивания в него воды. Это существенно сократило длительность конденсации и увеличило частоту рабочих циклов, т. е. производительность. Одна из таких машин была выписана Петром I и установлена в Летнем саду. Машины Севери мало соответствовали сложившимся позднее представлениям о паровой машине, так как у них не было движущихся частей. Теперь их называют термомеханическими насосами. Тем не менее это была первая машина, способная работать непрерывно. Она имела большой промышленный спрос, несмотря на то что

была крайне неэкономична (ее кпд, как выяснилось позднее, не достигал и 1%). Из-за отсутствия движущихся частей машины Севери оказались очень надежными и долговечными. Эти качества, свойственные термомеханическим насосам, являются причиной того, что интерес к ним сохранился и по сей день. Так, в конце XIX в. американский инженер Галль получил 29 патентов на усовершенствованный насос типа Севери, который под названием пульзометра, или парового насоса, широко использовался в заводском и железнодорожном водоснабжении. Позднее изобретатель Гауссман предложил установить между паром и водой гибкую пленку, чтобы уменьшить конденсацию пара. И сейчас время от времени появляются новые термомеханические насосы, используемые в тех случаях, когда экономичность не столь важна, как надежность и долговечность.

Большое влияние на дальнейшее развитие тепловых двигателей оказал Дени Папен. Папен — человек очень интересной судьбы, член многих академий, работал вначале в Париже с известным голландским физиком Христианом Гюйгенсом, а в 1675 г. переселился в Лондон, где долгое время работал с другим известным физиком Робертом Бойлем. В ходе совместных работ с Гюйгенсом Папен ознакомился с принципом получения работы за счет использования поршня в цилиндре. Эта идея первоначально развивалась парижским аббатом Жаном Готфрейлем.

Предложения Гюйгенса и Готфейля были очень похожи. В цилиндр помещали поршень и под ним поджигали порох. Под действием продуктов сгорания поршень поднимался, его фиксировали в этом положении, продукты сгорания охлаждали. В результате их объем уменьшался, под поршнем возникало разрежение. Под действием атмосферного давления поршень опускался и мог совершать полезную работу. Использование атмосферного давления было в то время естественным решением проблемы, навеянным влиянием открытого в XVII в. атмосферного давления, силу которого так наглядно продемонстрировал в 1654 г. бургомистр Магдебурга Отто фон Герике. Широко известен его опыт с магдебургскими полушариями, из которых был откачан воздух (их не могли разъединить 16 лошадей). Для того чтобы откачать воздух, Герике изобрел первый вакуумный насос (теперь такую конструкцию имеют велосипедные насосы,

отличающиеся от насоса Герике только расположением клапанов). Герике принадлежат и другие изобретения: первый барометр и один из первых термометров. Оба эти прибора украшали одну из стен его дома.

В 1654 г. Герике продемонстрировал в Регенсбурге еще один интересный опыт. Поршень зафиксировали в верхнем положении, создав под ним и над ним вакуум, и привязали веревку, перекинутую через блок. За конец веревки ухватились двадцать мужчин. Когда Герике открыл доступ воздуха из атмосферы в пространство над поршнем, то под давлением атмосферного воздуха поршень опустился, приподняв тех, кто хотел его удержать.

Именно эти опыты натолкнули в свое время Готфрейля и Гюйгенса на идею атмосферного двигателя. Разработки Гюйгенса и Готфрейля навели Папена на мысль заменить продукты сгорания паром, который можно конденсировать. Поскольку объем конденсата намного меньше, можно получить более высокое разрежение, и полезная работа будет больше. В его паровой машине, которую он предложил за 8 лет до появления машин Севери, цилиндр устанавливали вертикально и под поршень наливали воду. Затем дно цилиндра нагревали, и поршень поднимался под давлением пара. Разрежение под поршнем возникало, когда переставали нагревать дно цилиндра и пар охлаждался.

Эта машина сильно уступала машине Севери из-за того, что котел был объединен с цилиндром, и из-за продолжительности охлаждения цилиндра. Естественно, успеха она не имела. Но в 1698 г. одновременно с появлением патента Севери Папен опубликовал брошюру, в которой впервые указал на то, что, кроме превращения воды в пар, необходим процесс конденсации, и это одно из непременных условий получения работы, т. е. фактически описал замкнутый цикл работы пара в паровой машине.

В 1707 г., работая в Касселе, Папен под влиянием Севери возвращается к идее создания поршневой машины. Теперь котел уже отделен от цилиндра. Пар давит на поршень сверху, и он вытесняет из цилиндра воду через отверстие в дне. Эта машина тоже сильно уступала машине Севери, так как у нее не было всасывающего хода, и поэтому она тоже не получила распространения. Но важно, что процесс конденсации Папен вынес за пределы цилиндра (отработавший пар выпускался в атмо-

сферу). Кроме того, он предусмотрел подачу воды на лопатки водяного колеса для получения непрерывного вращения вала отбора мощности и в этом сильно опередил многих изобретателей.

К идее с водяным колесом возвращались затем неоднократно. У промышленника Ригеля в Манчестере, например, паровой насос Севери использовался для подачи воды на водяное колесо, которое вращало станки. Позднее эта же идея в несколько измененном виде легла в основу мокрогазовой турбины.

Вклад Папена в науку и технику не ограничивается работами над созданием паровой машины. До сих пор успешно применяется его изобретение — автоклав. Ему же принадлежит изобретение предохранительного клапана. Известны его работы по изучению свойств водяного пара.

На родине Папена, в маленьком французском городке Блуа, ему установлен красивый памятник. На вершине лестницы мраморный пьедестал, на котором стоит бронзовая фигура, прижимающая к боку цилиндр паровой машины.

В чем же заслуга изобретателей этого периода? Они впервые применили на практике главные условия преобразования тепла в работу. Мало иметь упругое рабочее тело и подводить к нему теплоту. Часть теплоты это рабочее тело должно отдать холодному источнику после расширения.

#### **ОБЩЕСТВО ИЗОБРЕТАТЕЛЕЙ УСТАНОВОК ДЛЯ ПОДЪЕМА ВОДЫ ПОСРЕДСТВОМ ОГНЯ**

Следующий важный шаг по пути создания тепловых двигателей совершил английский изобретатель, кузнец по профессии Томас Ньюкомен. Биографических сведений о нем не сохранилось, но известно, что он обладал обширными знаниями и навыками практической работы. Выполняя как-то заказ на детали для машины Севери, он пришел к мысли, что ее производительность и экономичность можно повысить, разделив функции насоса и двигателя, т. е. используя в машине Севери идею Папена.

Для реализации своих идей Ньюкомен в 1705 г. заключил соглашение с промышленником-стеклоделом Джоном Коули, и вскоре машины Ньюкомена получили широкое распространение. Вначале эти машины строи-

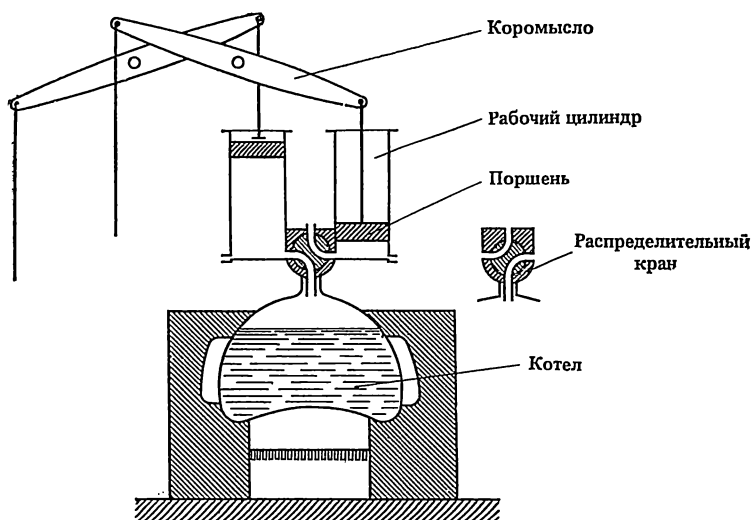


Рис. 5. Водоткачивающая машина Ньюкомена

лись только в Англии Ньюкоменом и Коули, но впоследствии их постройкой и усовершенствованием занялись и другие. В 1725 г. появилась книга немецкого инженера Леупольда, в которой представлена машина Ньюкомена с удвоенным числом цилиндров. Каждая такая машина (рис. 5) содержала два вертикальных рабочих цилиндра, и пар поступал под поршни этих цилиндров из общего котла через распределительный кран по очереди. Давление пара поднимало поршень, а после достижения последней наивысшей точки в цилиндр впрыскивалась вода, пар конденсировался и поршень под действием атмосферного давления опускался, совершая рабочий ход.

Насосные цилиндры были установлены параллельно рабочим, их поршни соединялись с поршнями рабочих цилиндров через качалку-коромысло. Когда один из поршней поднимался, другой опускался, и наоборот. Соотношение плеч коромысла определяло соотношение ходов поршней. Как правило, ходы были равны. Машины Ньюкомена были более производительными и удобными, чем машины Севери. Тем не менее получить патент на свою машину Ньюкомен не сумел. Этому препятствовала формулировка патента Севери. Максимум, чего удалось достигнуть,—это войти в соглашение с Севери о совмест-

ном использовании изобретения и создать в 1711 г. «Компанию обладателей правами на изобретение установки для подъема воды посредством огня».

Вначале Ньюкомен охлаждал пар в цилиндре так же, как и Севери (поливая цилиндр снаружи), а найти более удобный способ конденсации пара ему помог случай. Технология обработки металлов в то время была на таком уровне, что задача уплотнения поршня в цилиндре практически не решалась. И вот однажды по небрежности над поршнем рабочего цилиндра оказался слой воды, и она, просочившись в цилиндр по зазору между ним и поршнем, ускорила процесс конденсации пара. Ньюкомен заметил, что частота рабочих циклов машины возросла, и, обнаружив причину, немедленно применил охлаждение впрыском воды.

С машиной Ньюкомена связана легенда о мальчике Гемфри Поттере, который изобрел автоматическое парораспределение. Поскольку открывать кран для поочередной подачи пара в рабочие цилиндры было дело нехитрое, его поручали мальчику. Но целый день, не отвлекаясь, открывать краны очень утомительно, особенно для ребенка, которому хотелось играть со сверстниками. И вот сообразительный мальчик придумал возможность отлучаться от машины. Он взял две веревочки, привязал их к рукоятке крана, а другие концы привязал к коромыслу так, что, когда одно плечо коромысла поднималось, одна из веревочек натягивалась и открывала кран, а когда это плечо опускалось, веревочка ослабевала, но при этом поднимающееся второе плечо натягивало вторую веревочку и кран закрывался. Очень остроумно и просто. Но многие специалисты высказывают сомнение в достоверности этой истории, приводя следующие соображения. Во-первых, нужно было достаточно точно обеспечить натяжение и провисание веревок, а мальчику это было сделать непросто. Во-вторых, противолежащие плечи коромысла перемещаются в противоположных направлениях, и для того чтобы открывать и закрывать кран натяжением веревок с одного рабочего места, нужен был блок, и вряд ли в те времена ребенок имел возможность его раздобыть. И наконец, качающееся коромысло было на высоте около 3 м над краном, и трудно представить, чтобы можно было произвести сборку и отладку приспособления без остановки машины — хозяин сразу бы это заметил.

Но благодаря своей красоте эта легенда широко известна, хотя официально автоматическое парораспределение изобрел английский инженер Бейтон, и в 1718 г. ему выдан на это патент.

Машины Ньюкомена доминировали несколько десятилетий и постоянно совершенствовались. Уже говорилось, что в 1725 г. изобретатель Леупольд предложил увеличить число цилиндров. Одновременно он предлагал ввести вал отбора мощности, вращающийся с помощью колеса, на которое льют воду поршневые насосы, т. е. почти через 20 лет повторил предложение Папена. Он же опубликовал книгу «Театр машин», где дал подробное описание машин Ньюкомена—Коули. В 1772 г. Смитон построил машину Ньюкомена с двумя котлами, он же ввел регулирование момента впрыска воды в цилиндр, т. е. регулирование числа двойных ходов.

Авторитет Ньюкомена очень велик. В Англии даже существовало Ньюкоменовское общество, и это не удивительно, так как отделение двигателя от насоса представляло собой важный шаг, обеспечивающий возможность расширения диапазона использования тепловых двигателей. Но при всем этом двигатель в машине Ньюкомена не был универсальным; передача от поршня двигателя к поршню насоса привязывала двигатель к определенному виду приводимых устройств. Развивающуюся промышленность такой двигатель уже не удовлетворял. Она испытывала нужду в универсальном тепловом двигателе, т. е. в двигателе, который бы имел вал отбора мощности, пригодный для подсоединения к любому потребителю.

#### **ВОДООТКАЧИВАЮЩАЯ МАШИНА ПРЕВРАЩАЕТСЯ В ТЕПЛОВОЙ ДВИГАТЕЛЬ**

Первый универсальный тепловой двигатель был создан в России выдающимся изобретателем, механиком Воскресенских заводов на Алтае И. И. Ползуновым.

И. И. Ползунов родился в 1728 г. на Урале в семье солдата. В 1742 г. окончил арифметическую школу и начал служить на Екатеринбургском заводе. Когда ему исполнилось 19 лет, был переведен на Алтай на Колывано-Воскресенские заводы, принадлежавшие царской семье, где занимал низшие технические должности. Но



затем его назначили в Барнаульское комиссарское управление, где в 1754 г. он получил чин шихтмейстера, уравнивавший его в правах с первым обер-офицерским чином.

Ни в Екатеринбурге, ни на Алтае машин, действующих «при помощи движущей силы огня», не было. Но известно, что в 1762 г. Ползунов и другие специалисты обязаны были изучить «Наставление рудному делу», написанное президентом берг-коллегии и главным судьей монетной канцелярии И. А. Шлаттером, в котором описывались паровые водооткачивающие машины. Есть основания считать, что Ползунов изучил также книги Леупольда и Белидора, в которых также содержалось описание паровых водооткачивающих машин. Обе эти книги перевел на русский язык тот же Шлаттер. Но описанные в них установки не годились ни для чего, кроме откачки воды.

Изобретательность Ползунова не может не вызвать восхищения. Он первым понял, что можно заставить паровую машину приводить в движение не только насос, но и кузнечные мехи. Рабочие органы его машины передавали движение валу отбора мощности. Это качество придавало машине Ползунова свойство универсальности.

Проект своей машины Ползунов изложил в 1763 г. в записке, адресованной начальнику Колывано-Воскресенского горного округа А. И. Порошину.

Не имея опыта работы с огнедействующими машинами, Ползунов тем не менее не просто копирует машины, описанные в книгах, а вносит в проект своей машины существенные отличия от атмосферных машин того времени. Схема его машины представлена на рис. 6. Два поршня связаны с главным валом при помощи цепей. Ко второму (свободному) концу каждой цепи прикреплен балансир. Водораспределительный кран поочередно подает охлаждающую воду в подпоршневые полости. Парораспределительный кран служит для соединения этих полостей с котлом.

Машина была атмосферной. Когда одна из подпоршневых полостей соединялась с котлом, поршень под действием давления пара поднимался вверх, после чего парораспределительный кран поворачивался и отсекал подпоршневую полость от котла. Через трубку впрыскивалась вода, пар конденсировался и под поршнем соз-

давался вакуум. Под действием атмосферного давления поршень опускался и совершал полезную работу. В этой машине Ползунова напоминала машину Ньюкомена. Но на этом сходство кончалось. В ней впервые передача от двух попеременно действующих поршней осуществлена не к балансиру, а к шкивам при помощи цепей, а передача от шкивов осуществлена не только к насосу, но и к кузнечным мехам, т. е. впервые рабочие органы двигателя и потребитель его мощности не связаны друг с другом.

Кроме того, Ползунов внес серьезные усовершенствования в конструкцию рабочих органов двигателя, применил оригинальную систему паро- и водораспределения, и в отличие от машин Ньюкомена ось вала его машины была параллельна плоскости цилиндров.

Свою машину И. И. Ползунов начал строить в 1764 г. К нему прикомандировали четырех учеников, которых он должен был обучить не только теории, но и ремеслам.

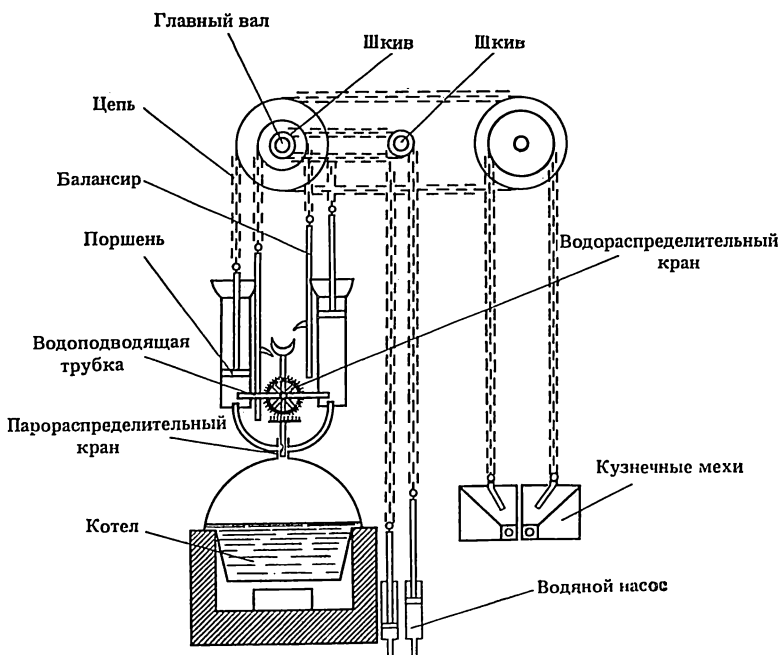


Рис. 6. Паровая машина И. И. Ползунова

Но Барнаульский завод был металлургическим и не располагал нужным металлообрабатывающим оборудованием, и следует полагать, что Ползунову приходилось изобретать способы обработки деталей своей машины. Машина была изготовлена в декабре 1765 г. А в мае 1766 г. ее создатель умер от чахотки. Машина была испытана уже после его смерти в октябре 1766 г. и работала, в общем, удовлетворительно.

Как всякий первый образец, она нуждалась в доработке, к тому же в ноябре обнаружилась течь котла. Но изобретателя не было в живых, а без него устранением недостатков никто не занимался. Машина бездействовала до 1779 г., а затем была разобрана.

История с машиной Ползунова в первую очередь свидетельствует об одаренности изобретателя. Расчеты выполнены очень точно с указанием на необходимость опытного определения некоторых сопротивлений. Но главное, при помощи цепной передачи и двух цилиндров впервые был осуществлен переход к непрерывному вращению, т. е. был создан первый универсальный двигатель.

К сожалению, из-за неосведомленности широких кругов об этом изобретении и ранней смерти изобретателя его создание не оказало заметного влияния на процесс развития тепловых двигателей.

Патента на свое изобретение в царской России И. И. Ползунов не испрашивал, и первый патент на универсальный тепловой двигатель был выдан в Англии Джеймсу Уатту 5 января 1769 г., на шесть лет позднее, чем датирована записка И. И. Ползунова.

Д. Уатт родился в 1736 г. в Шотландии. В 1754 г. он был отправлен в Глазго для обучения профессии механика, но перебрался в Лондон, а затем вновь вернулся в Глазго и работал там в качестве университетского механика. Там он поддерживал отношения со многими учеными и основательно изучал литературу по паротехнике. Уже около 1760 г. Уатт начинает заниматься самостоятельными разработками в области паротехники. Известно, что он прочел книги Дезагюлье и Белидора о паровых машинах, принимал участие в опытах Кевендиша и Пристли по анализу воды, измерял теплоту испарения воды и составил таблицу упругости водяного пара.

Вклад Уатта в создание паровых машин очень велик. Благодаря успешной работе машин Севери и Нью-

комена опыт Папена по вынесению процесса конденсации за пределы машины был забыт. Но в 1765 г. Уатт, изготовив макет машины Ньюкомена в Глазго по заказу местного университета и проводя на нем опыты, понял, что основной причиной ее низкой экономичности является охлаждение расширяющегося пара стенками цилиндра. И Уатт решает вынести процесс конденсации за пределы цилиндра. Это был шаг, завершивший формирование рабочего цикла паровой машины.

Считается, что идея вынесения конденсации за пределы цилиндра осенила Уатта внезапно. Но деятельность Уатта не подтверждает этого. Если бы Уатт не изучил глубоко свойства воды и пара, то вряд ли он понял бы причину низкой экономичности макета машины Ньюкомена и стал искать пути устранения этой причины. Все его помыслы были нацелены на поиски решения конкретной задачи. Вот как писал об этом впоследствии сам Уатт: «Однако все же эта задача настолько овладела моим умом, а мои обстоятельства настолько требовали вернуть потраченное время и деньги, что я не мог бросить этого дела. После того как я всячески обдумал вопрос, я пришел к твердому заключению, что, для того чтобы сделать совершенную паровую машину, необходимо, чтобы цилиндр был всегда горяч, как и входящий в него пар; но с другой стороны, конденсация пара для образования вакуума должна была происходить при температуре не выше 30°».

Поняв, что процесс охлаждения пара следует вынести за пределы цилиндра, Уатт берет свой первый патент на паровую машину.

Перед подачей заявки на патент Уатт провел большую экспериментальную работу. Он начал с создания модели, руководствуясь тем, что именно на модели машины Ньюкомена наиболее ярко проявились ее недостатки. Он окружил цилиндр модели деревянной теплоизоляционной оболочкой и присоединил к нему при помощи трубы отдельный сосуд — конденсатор (рис. 7). Одновременно Уатт внес еще одно важное усовершенствование. В машинах Ньюкомена на поршень действовал всегда один и тот же перепад давлений: разница между атмосферным давлением и давлением конденсации при температуре около 30°. Уатт пришел к выводу, который теперь кажется совершенно очевидным, — мощность машины можно увеличить, если использовать не атмосфер-

ное давление, а давление пара. Это открывало более широкие возможности: давление пара можно увеличить выше атмосферного; изменяя давление, можно регулировать мощность машины. Кроме того, Уатт сразу решил строить свою машину как универсальный тепловой двигатель и не связывал ее воедино ни с каким потребителем мощности.

Затратив на изготовление машины все имеющиеся у него средства, Уатт смог уже в конце 1765 г. продемонстрировать ее работу.

Но для изготовления машин на продажу требовались не только деньги, но и производство с очень высокой по тем временам культурой, и по совету своих друзей Уатт обращается к владельцу знаменитых Карронских заводов доктору медицины Ребеку. Карронские заводы нуж-

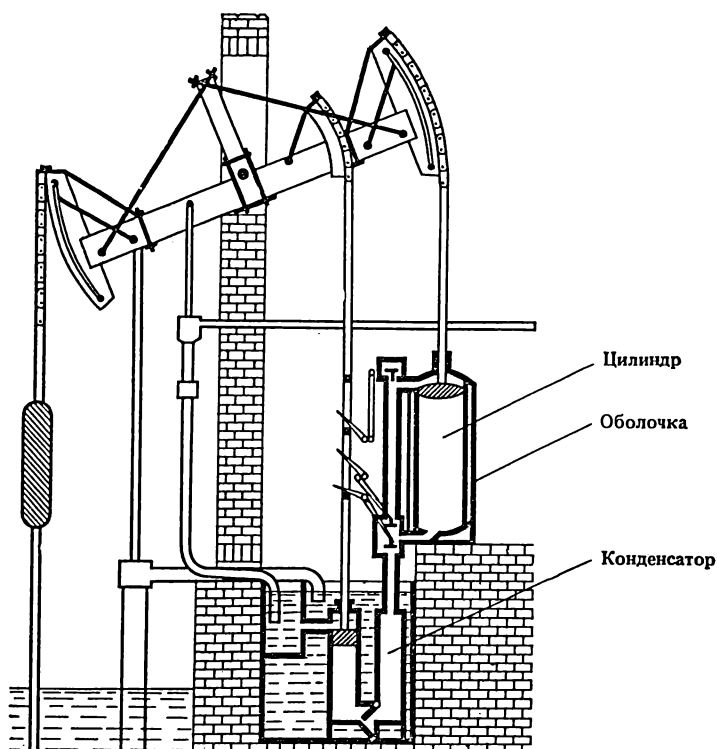


Рис. 7. Паровая машина Д. Уатта

дались в угле, и Ребек к тому времени приобрел каменноугольные копи, на которых сразу столкнулся с необходимостью откачки воды. При таких обстоятельствах он был очень заинтересован в сделке с Уаттом. По договору он принимал на себя все расходы с условием, что ему будут принадлежать две трети прибылей.

Уатт получил средства и мог заняться подготовкой производства. Но финансовые дела Ребека очень быстро пришли в упадок, и он прекратил финансирование работ над машиной. В это время Уатт получил предложение продолжить работу над машиной от Мэтью Болтона, богатого фабриканта, владельца металлообрабатывающего завода в Сохо. Стоящий на грани разорения Ребек легко уступил свои права Болтону, и в 1773 г. Уатт вплотную приступил к реализации своих идей.

Дело оказалось не таким простым, и к испытаниям машины Уатт смог приступить лишь в конце 1774 г., а первые результаты получил в 1775 г. Его машина, второй образец которой он назвал «Вельзевул», по экономичности превосходила атмосферные машины Ньюкомена в 2 раза.

Можно было заняться ее производством и начать получать прибыль. Но нужно было заинтересовать потребителей, привыкших к хорошо зарекомендовавшим себя машинам Ньюкомена. И Уатт с Болтоном предлагают приобретать у них машины на очень заманчивых условиях. Они дают свои машины бесплатно. Более того, они берут на себя расходы по монтажу новой машины и демонтажу машины Ньюкомена. А вместо платы каждый владелец новой машины в течение 25 лет будет отчислять им одну треть стоимости угля, сэкономленного по сравнению с атмосферной машиной. Не сразу после приобретения машины покупатели начинали понимать, как они прогадали.

Но, для того чтобы не потерять прибыль, Уатту и Болтону приходилось содержать штат высококвалифицированных инженеров, следивших за исправностью и правильной эксплуатацией. Кроме того, нужно было позаботиться о сроке действия патента, так как он был выдан на 14 лет, из которых уже прошло 6, и Уатт занялся хлопотами о его продлении. После долгих хлопот 22 мая 1775 г. его патент был продлен еще на 25 лет.

Уатт вообще был хорошо знаком с особенностями патентного права. Об этом прежде всего свидетельствует

формулировка его первого патента № 013 от 5 января 1769 г., приведенная в книге члена-корреспондента АН СССР А. А. Радцига, по праву считающегося создателем отечественной школы паротурбостроения. Патентная формула, как мы сказали бы сейчас, состоит из шести пунктов:

«1. Цилиндр или сосуд с паром сохраняется во все время работы столь же нагретым, как и входящий в него пар, и именно вследствие того, что цилиндр, во-первых, окружают оболочкой из дерева или из другого материала, плохо проводящего теплоту, во-вторых, вследствие того, что его окружают паром или другими нагретыми телами, и, в-третьих, вследствие того, что ни вода, ни другое какое-либо тело, более холодное, чем пар, не приходит в соприкосновение с цилиндром во время его работы.

2. В машинах, которые должны полностью или частью работать посредством конденсации пара, обращение пара в воду должно происходить в сосудах, отделенных от цилиндра, но могущих приходить с ним иногда в соприкосновение. Эти сосуды я называю конденсаторами, и их нужно во время работы машины посредством воды или другого холодного тела сохранять холодными с температурой не ниже температуры окружающего воздуха.

3. Воздух и другие газообразные упругие тела, не сгущенные вследствие низкой температуры конденсатора и мешающие работе машины, должны удаляться из конденсатора посредством насосов, приводимых в действие самой машиной или другим каким-либо образом.

4. Во многих случаях я рассчитываю применить упругую силу (давления) пара на поршень или другие части, заменяющие его, таким же образом, как применяется атмосферное давление в теперешних обыкновенных огненных машинах. В тех случаях когда не хватает холодной воды, машины могут работать исключительно силой пара, причем последний по совершении работы выпускается прямо в атмосферу».

В пятом пункте формулы говорится о ротационных паровых машинах, в которых поршень вращается. Такая конструкция имеет ряд преимуществ, в частности отпадает надобность в преобразователе поступательного движения поршня во вращательное.

В шестом пункте идет речь о неполной конденса-

ций (ухудшенном вакууме), об уплотнениях и о других частях машины.

Конечно, приведенная выше формула изобретения не соответствует современным требованиям к ее изложению, но она прекрасно выполняет свои функции: дает полное представление о сути изобретения и надежно защищает права изобретателя.

Защите своих изобретательских прав Уатт уделяет много внимания. В 1781 г. он берет патент на связь поршня с валом при помощи шестеренчатой передачи, явившейся прообразом планетарного редуктора. Появление этого патента, так же, как и более позднего патента на широко известный «параллелограмм Уатта», связано с тем, что патент на применение шатунно-кривошипного механизма в паровых машинах уже был выдан ранее в 1779 г. изобретателям Вайсброу и Пикару. Выдачу патента на применение известного в то время механизма Уатт считал совершенно неправомерной. Он писал: «Истинный изобретатель кривошипного механизма был человек, создавший обыкновенный токарный станок (следует помнить, к какому уровню развития техники относится эта цитата. — Авт.). Применить его в паровой технике было так же легко, как воспользоваться ножом, предназначенным для резки хлеба, для разрезания сыра».

В 1782 г. он патентует расширение пара в цилиндре. К 1784 г. относятся последние крупные изобретения Уатта, описанные в знаменитом патенте № 1432: подача пара с обеих сторон поршня — двойное действие пара; двухцилиндровая машина; центробежный регулятор и параллелограммный механизм для передачи движения оси поршня к балансиру. К этому времени было окончательно отлажено производство на заводе Болтона, разработаны инструкции по сборке, монтажу и эксплуатации паровых машин. Дальнейшая деятельность великого изобретателя свелась к незначительным усовершенствованиям конструкции и технологии машин, решению текущих вопросов, связанных с финансами и конкуренцией. В 1785 г. Уатт склоняется к тому, чтобы «прекратить опыты новых изобретений». Он пишет Болтону: «... в особенности не следует ничего пробовать, что сопряжено с какой-либо опасностью неудачи или может причинить нам затруднения при испытании. Будем в дальнейшем изготавливать те вещи, которые мы умеем



делать, и предоставим остальное молодым людям, которым не грозит потеря ни денег, ни имени».

Надо сказать, однако, что патенты Уатта сдерживали деятельность этих «молодых людей». Здесь уместно вспомнить историю с Джонатаном Горнблоуэром, который в 1781 г. получил патент на машину высокого давления с двойным расширением. Однако, после того как Горнблоуэр начал в 1793 г. постройку своей машины, Уатт и Болтон возбудили против него процесс о нарушении прав, вытекающих из патента № 1432. Этот процесс закончился в 1799 г. в пользу истцов, несмотря на то что патент № 1432 был выдан на три года позже, чем патент Горнблоуэра. Чтобы не нарушать права Уатта, Горнблоуэр не мог после решения суда применять конденсатор и использовать пар высокого давления. Его машины не могли в связи с этим конкурировать с машинами Уатта.

Уатт и Болтон вообще очень внимательно следили за тем, чтобы конкуренты не нарушали их патентных прав. Так происходило и в тех случаях, когда они сами не собирались использовать запатентованные технические решения, например, машину высокого давления, описанную в первом патенте 1769 г., но не воплощенную Уаттом. Его машины, как известно, работали при низком давлении (1,2—1,5 ат), но первый патент Уатта, по существу, блокировал развитие машин высокого давления на весь период действия патента.

Любопытно, что Уатт и Болтон пытались провести через парламент закон о запрещении использования пара высокого давления, мотивируя это соображениями общественной безопасности. Скептически относился Уатт к идее локомотива, хотя она и была запатентована им в 1784 г.

Около 1800 г. Уатт удаляется от дел. Вскоре истекает срок действия его первого патента, и паровые машины начинают выпускать многие заводы. Их совершенствование ускоряется. Изобретатель парового молота Нэсмит писал: «Люди, обладающие достаточными средствами и предприимчивостью, стали применять систему повышенного давления пара во всей ее полноте и ввели в употребление соответственно построенные паровые котлы, развивающие давление в 30, 40, 60 и 70 фунтов на 1 кв. дюйм — давление, которое заставило бы инженеров старой школы упасть в обморок от страха. Но так как

экономический результат этого повышенного давления пара с очевидностью обернулся в совершенно недвусмысленной форме фунтов, шиллингов, пенсов, паровые котлы высокого давления при конденсационных машинах получили почти всеобщее распространение». Среди таких людей прежде всего следует упомянуть инженеров Тревитика и Вульфа, которые в свое время, будучи на службе у Уатта и Болтона, следили за надлежащей эксплуатацией водоподъемных машин. В частности, когда окончился срок действия контрактов в Корнуэлле, по которым изобретатель получил часть сэкономленного в процессе эксплуатации угля, инженерный контроль был прекращен и паровое хозяйство рудников быстро пришло в упадок. Восстановление и модернизацию этого хозяйства поручили Тревитику и Вульфу. Систематически усовершенствуя паровые машины главным образом путем увеличения давления пара и степени расширения в цилиндрах, они в 1874 г. довели производительность лучших корнуэлльских машин (считавшихся в то время наиболее экономичными) до 141 000 кгм на 1 кг угля, что соответствует эффективному кпд 4,1 %.

Паровая машина — предок всех современных двигателей. В течение многих лет, несмотря на большой вес и невысокий кпд, она являлась единственным устройством для преобразования теплоты в работу. Создание паровых машин привело к возникновению новой производственной базы, а опыт и знания, накопленные в процессе их разработки и эксплуатации, позволили впоследствии получить более совершенные двигатели. Именно в процессе разработки паровых машин были познаны и изучены основные законы преобразования тепла в работу и многие другие законы природы. Однако с развитием капитализма все более возрастала потребность в других приводных двигателях. Паровой двигатель удовлетворял предприятия с непрерывным производственным процессом (текстильная, горная промышленность и др.). На тех же предприятиях, где паровая машина использовалась нерегулярно, она была просто нерентабельна, а поэтому необходим был двигатель принципиально нового типа: без котла, с малым временем запуска и со сравнительно невысокой мощностью единичной силовой установки. Рабочим телом такого двигателя не мог быть пар. Начались попытки создания двигателей, работающих на иных рабочих телах.

Одна из главных причин того, что водяной пар стал первым рабочим телом, — доступность воды. Но воздух еще более доступен, чем вода! Почему не попробовать заменить пар воздухом? Ведь тогда не нужно испарять воду. Напрашивалась замена воды воздухом. Остановка была лишь за тем, как получить сжатый нагретый воздух, способный развивать при расширении больше работы, чем затрачено на его сжатие. Сейчас решение такой задачи доступно каждому школьнику, но на том уровне развития техники это было непросто. Нужно было проявить изобретательность.

Первый патент на двигатель, использующий нагретый воздух, выдан в Великобритании в 1816 г. пастору Роберту Стирлингу, занимавшему пост министра по делам церкви Шотландии. Не следует удивляться духовному сану изобретателя, ведь в те времена круг образованных людей был невелик и служители церкви составляли его существенную часть.

Изготовление двигателей Стирлинга началось в 1818 г. Они приводили в действие водяные насосы, воздуходувки и станки на мелких фабриках, где негодились громоздкие паровые машины. Но изобретение Стирлинга относится к числу тех, которые намного опередили свое время.

Существовавшие в то время материалы очень ограничивали уровень рабочих температур и давлений, а следовательно, и возможности обеспечения высокой мощности и кпд. Роберт Стирлинг вместе со своим братом, инженером, долгие годы испытывал затруднения с выбором конструктивных материалов и в конце своей жизни, в 1876 г., выразил надежду, что препятствия, которые возникают из-за отсутствия соответствующих материалов, будут со временем устранены благодаря изобретению Бессемера. Он оказался прав: спустя более чем сто лет о двигателе Стирлинга вспомнили, и в настоящее время этот двигатель, правда на иных рабочих телах, считается очень перспективным. Но в свое время он не мог составить серьезной конкуренции появившимся двигателям внутреннего сгорания (ДВС).

В 1837 г. был запатентован еще один двигатель на горячем воздухе, получивший название «калорический двигатель». Его изобретатель Джордж Кейли создал его

как аналог паровой машины. У этого двигателя был котел, в котором в отличие от паровой машины не испаряли воду, а нагревали сжатый воздух. При этом часть сжатого воздуха использовалась в котле (в ней сжигали топливо), затем обе части смешивали, поэтому, строго говоря, рабочим телом служил не чистый воздух, а его смесь с продуктами сгорания. Сжатый воздух получали в поршневом компрессоре. Между компрессором и котлом устанавливался управляемый золотник, при помощи которого осуществлялось распределение воздуха на два потока: в топку (в качестве окислителя) и на смешение. Котел, кроме того, был снабжен устройством для загрузки угля и для перекрытия клапанов на время загрузки. Оригинально решались вопросы охлаждения клапанов потоком сжатого, но еще не нагретого воздуха.

Испытания двухцилиндрового образца такого двигателя показали его работоспособность, но КПД составлял всего около 8%.

Появившийся в 1852 г. двигатель шведского инженера Эриксона вызвал в то время большие ожидания. В том году из Америки в Англию прибыло судно с четырьмя калорическими двигателями Эриксона. В популярной литературе того времени этим двигателям приписывались необыкновенная мощность и экономичность.

Что же представлял собой этот двигатель? Он показан на рис. 8. Рабочий цилиндр двигателя устанавливался вертикально, и под ним была топка. Компрессорный цилиндр размещался сверху над рабочим. Рабочий цилиндр через выхлопное окно соединялся с теплообменником, а теплообменник имел два поочередно перекрываемых патрубка: первый для сообщения с атмосферой и второй для сообщения с нагнетательным клапаном компрессорного цилиндра. Всасывающий клапан компрессора был открыт в атмосферу.

Когда в топке разводили огонь, воздух в рабочем цилиндре нагревался и поднимал рабочий поршень. При своем перемещении этот поршень передавал усилие на механизм отбора мощности и одновременно перемещал поршень компрессора, сжимая находившийся в компрессорном цилиндре воздух. Затем открывалось выхлопное окно и отработавший горячий воздух из рабочего цилиндра выпускался в атмосферу через теплообменник. Теплообменник был заполнен медной сеткой, и выходя-

ший воздух нагревал эту сетку, отдавая ей тепло, не использованное в рабочем цилиндре. Затем в рабочий цилиндр через теплообменник начинал поступать сжатый воздух из компрессора. Проходя через ячейки сетки, этот воздух нагревался запасенным в ней теплом. Происходил процесс регенерации потерянного тепла. После того как рабочий цилиндр заполнялся, механизм отбора мощности опускал поршень, сжимая заряд, и цикл повторялся.

В описании своего двигателя Эриксон предусматривал возможность работы по замкнутому циклу.

Вследствие регенерации тепла двигатель Эриксона должен был быть очень экономичным. Однако специальные исследования этого двигателя показали, что он и по мощности, и по экономичности уступал паровым машинам. Широкого распространения двигателя Эриксона не получили.

Что касается двигателя Стирлинга, то первый такой двигатель также содержал теплообменник для регенерации тепла отработавшего горячего воздуха — регенератор. Однако последующие его модели изготавливались без регенератора из-за стремления уменьшить габариты и массу. Но все равно из-за наличия нагревателя и охладителя эти двигатели получились массивными, а без регенератора их кпд был невелик. Естественно, что этот

двигатель не выдержал конкуренции с паровыми машинами и тем более с появившимися в 1860 г. двигателями внутреннего сгорания.

Таким образом воздух не смог составить конкуренции пару. Но идеи Стирлинга не пропали зря. К ним вернулись спустя почти столетие. В 30-х гг. нашего века голландская фирма по производству радиоаппаратуры «Филипс» начала исследования в области создания двигателей не-

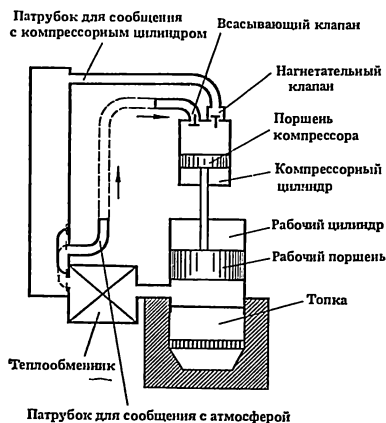


Рис. 8. «Калорический» двигатель Эриксона

большой мощности. Фирма нуждалась в расширении рынков сбыта радиоаппаратуры и столкнулась с отсутствием автономных двигателей небольшой мощности, способных работать на любом топливе и вращать электрогенератор для питания радиоаппаратуры.

Утверждают, что один из технических директоров фирмы остановил свой выбор на этом двигателе и предпочел его паровым машинам, после того как случайно посетил Музей техники в Париже. Увидев некоторые двигатели, работающие на сжатом воздухе, он справедливо предположил, что современные материалы и технологии могут существенно улучшить характеристики двигателя Стирлинга. В 40-х гг. фирме «Филипс» удалось изготовить двигатель Стирлинга для привода генератора мощностью 200 Вт. Для нагрева рабочего тела этот двигатель использовал керосин и другие топлива, а рабочим телом был воздух. В 1948 г. были изготовлены сотни таких установок. К этому времени в результате появления транзисторов необходимость в двигателях Стирлинга в качестве источников энергоснабжения радиоаппаратуры отпала, но интерес к ним сохранился.

В 1958 г. с фирмой «Филипс» заключила лицензионное соглашение американская фирма «Дженерал моторс». Это соглашение действовало до 1970 г. Разработки были связаны с использованием двигателей Стирлинга для космических и подводных установок, автомобилей и судов, а также для стационарных установок. После отказа фирмы «Дженерал моторс» от прав на лицензию с 1971 г. лицензию приобрела фирма «Форд мотор», и после некоторых проработок она заявила в 1977 г. о семилетней программе по разработке автомобильного двигателя Стирлинга.

Стирлинг, естественно, не знал термодинамики, в то время этой науки еще не существовало. Но он интуитивно реализовал в своей машине самый экономичный замкнутый цикл. Термодинамические процессы, образующие этот цикл, были описаны лишь десятилетия спустя, но и сейчас, чтобы понять этот цикл, нужно сначала уяснить себе, как вообще работает двигатель Стирлинга.

Из упрощенной схемы этого двигателя, приведенной на рис. 9 (вариант «а»), видно, что в его цилиндре установлены один над другим два поршня: вытеснитель и рабочий поршень. Вытеснитель делит полость над рабочим поршнем на две части «горячую» — расположенную

между вытеснителем и торцом цилиндра и «холодную» — заключенную между поршнями. Обе части полости сообщаются между собой через перепускную магистраль, в которой последовательно установлены холодильник, примыкающий к «холодной» полости, регенератор и нагреватель, примыкающий к «горячей» полости.

Задача вытеснителя состоит в перемещении рабочего тела из «горячей» полости в «холодную» и, наоборот, через перепускную магистраль. Поршни в цилиндре движутся попеременно, и их мертвые точки смещены.

В начале рабочего цикла (точка  $\pi$  на рис. 9, г) вытеснитель находится в верхней мертвой точке (ВМТ), а рабочий поршень движется от нижней мертвой точки (НМТ) к вытеснителю, уменьшая объем «холодной» полости. При этом тепло от сжимаемого рабочего тела отводится в холодильник и сжатие происходит с постоянной температурой (изотермически). После того как рабочий поршень достигнет своей ВМТ, начинает перемещаться вытеснитель от ВМТ к рабочему поршню. При этом рабочее тело перетекает из «холодной» полости в «горячую» при постоянном их суммарном объеме. В процессе перетекания происходит подвод тепла к рабочему телу через нагреватель при постоянном объеме, т. е. изохорический подвод тепла. В момент приближения вытеснителя к рабочему поршню почти все рабочее тело находится в «горячей» полости и имеет максимальную температуру. Затем рабочий поршень начинает перемещать-

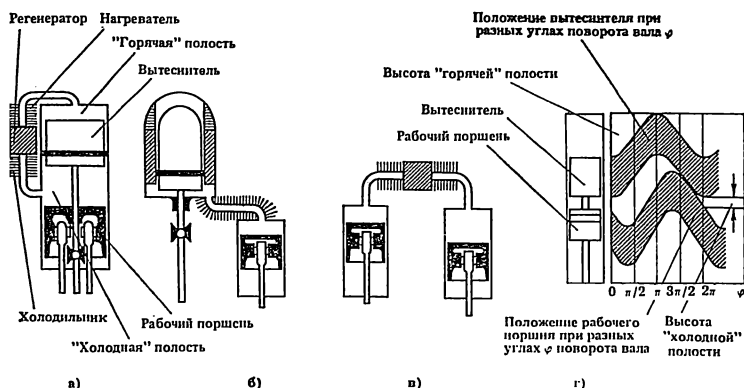


Рис. 9. Двигатель Стирлинга (варианты расположения поршня и вытеснителя и схема их перемещений)

ся вниз, и дальнейшее движение поршней происходит совместно. При этом объем рабочего тела возрастает, а температура не меняется. Происходит изотермическое расширение. Давление расширяющихся газов с обеих сторон вытеснителя одинаково, а перепад давлений, действующих на рабочий поршень в процессе его перемещения к НМТ, приводит к тому, что он передает работу расширения на вал отбора мощности, и эта работа больше, чем работа сжатия охлажденного газа. В НМТ рабочий поршень снова останавливается, а вытеснитель изменяет направление движения и при этом вытесняет рабочее тело из «горячей» части в «холодную». В процессе вытеснения рабочее тело охлаждается, а поскольку при этом суммарный объем «горячей» и «холодной» частей постоянен, происходит изохорическое охлаждение. Затем цикл повторяется.

Регенератор, установленный между холодильником и нагревателем, позволяет использовать тепло отработавшего расширившегося рабочего тела для возвращения его этому же рабочему телу перед нагревом, чем достигается максимальное значение термического КПД цикла.

Таков идеальный цикл, реализованный в двигателе Стирлинга. В реальном двигателе поршни не останавливаются (см. график их перемещения на рис. 9, г), а кинематические схемы очень разнообразны, и поршни могут размещаться не в одном, а в двух цилиндрах (рис. 9, б и в). Но при всех схемах термодинамический цикл близок к идеальному.

Какие же качества двигателя Стирлинга привлекают к нему внимание?

Высокая экономичность. Применение современных материалов, особенно сталей с высокой термостойкостью, позволило значительно увеличить разность температур между холодной и горячей полостями. Высокопористые материалы с исключительно высокой теплоаккумулирующей способностью повысили эффективность регенерации тепла. В результате появления новых материалов улучшилась герметичность двигателей и вместо воздуха стали применять в качестве рабочего тела гелий и водород при средних значениях давления 60—80 атм. Все это позволило довести КПД двигателя до 40%.

Детали двигателя не подвергаются динамическим нагрузкам. В его цилиндрах нет резкого повышения давления. Нет шума и вибрации. Кроме того, у него нет кла-



панов, их привода, а также системы зажигания или впрыска топлива.

Двигатель может работать на любом топливе. Тепло та подводится к нагревателю снаружи, а это позволяет так организовать горение, чтобы уменьшить количество вредных составляющих в продуктах сгорания и свести токсичность двигателя до уровня токсичности бытовой газовой горелки. Можно обойтись и без топлива, используя другие источники теплоты. Есть, например, образцы, использующие солнечную энергию. Можно использовать энергию радиоактивного распада, поместив в нагреватель капсулу радиоизотопа плутония-238, и получить практически постоянный подвод теплоты, так как период полураспада этого элемента составляет 89 лет. По этому пути идут в США авторы программы создания двигателя для искусственного сердца.

Испытания созданных образцов двигателей показали, что их характеристики благоприятны для использования на транспорте. Крутящий момент на валу двигателя мало зависит от частоты вращения. Это послужило основанием для разработки автомобильных двигателей. Но серьезным препятствием является подвод теплоты через теплообменники. Двигатель получается громоздким, тяжелым, с большим временем перехода с режима на режим. Есть, правда обнадеживающие результаты. Фирма «Юнайтед Стирлинг» (Швеция) разработала автомобильный двигатель мощностью 75 кВт, время запуска которого из холодного состояния составляет 13—18 с — такое же, как у дизеля. Однако многие считают, что в качестве автомобильного двигатель Стирлинга малоперспективен. Эти двигатели имеют преимущества в тех случаях, когда нельзя или трудно организовать подвод горючего и окислителя для горения, но можно использовать солнечную энергию или энергию распада, например, в космосе или под водой. Они удобны в гелиоэнергетике.

### **ФУНТО-ФУТЫ РАБОТЫ И ДВИЖУЩАЯ СИЛА ОГНЯ**

Пока паровые машины использовались исключительно для подъема воды, их эффективность можно было оценить отношением работы, затраченной на подъем воды, к количеству угля, сжигаемого в топке котла. При этом работа по подъему воды определялась как прира-

щение потенциальной энергии, т. е. как произведение веса воды на высоту ее подъема. Например, Иван Шлаттер в своей книге «Наставление рудному делу» сообщает, что атмосферная машина в сутки тратит при нормальной работе 28 куб. футов каменного угля на подъем в течение каждого часа 580 ведер воды на высоту 45 сажен. Это составляет примерно 24 700 кгм работы на 1 кг угля.

Но когда паровые машины стали использоваться для приведения в действие ткацких станков, прядильных машин, кузнечного оборудования и т. п., их полезную работу уже невозможно было оценивать по приращению потенциальной энергии перекачиваемой воды. Нужна была универсальная единица мощности, не связанная с назначением машины. В качестве такой единицы была выбрана лошадиная сила (33 000 фунто-футов в 1 мин). Эта величина была установлена в 1784 г. Уаттом в результате многочисленных опытов с работой лошадей на конном приводе. Надо сказать, что такую мощность развивали только наиболее сильные лошади и в течение короткого времени. Средние же цифры, особенно для длительных периодов работы без чрезмерного напряжения, были значительно меньше. Измерение мощности машины в лошадиных силах было чрезвычайно наглядным для того времени, когда лошадь была самым распространенным «живым двигателем». Введенная Уаттом лошадиная сила, которая соответствует 76 кгм/с и обозначается НР (от английского Horse Power), иногда применяется и сейчас. Мы больше привыкли к другой лошадиной силе (обозначается л. с.), равной 75 кгм/с. Эта единица была принята во Франции после Великой Французской революции как более удобная для вводимой тогда метрической системы.

Таким образом, современники Уатта уже знали, как сопоставлять мощности разных тепловых двигателей.

Одним из первых (в 1771 г.) систематическое исследование эффективности атмосферных паровых машин собственной конструкции провел Смитон. Им были испытаны машины разной мощности. Наилучшие показатели оказались у машины, которая при сжигании одного шеффеля (38,1 кг) лучшего ньюкастльского угля исполняла работу поднятия воды в 10 830 000 фунто-футов (т. е. 39 299 кгм работы на 1 кг угля).

Проведенные во Франции аналогичные исследования

машины Севери, усовершенствованной Дезагюлье, дали примерно такие же результаты — 20 151 кгм работы на 1 кг угля.

Интересно, что одним из членов комиссии, проводившей испытания этой машины, был знаменитый химик и физик Гей-Люссак.

В то время ученые уже могли с достаточной точностью определить в килокалориях теплоту, выделяющуюся при сжигании топлива. Не представляло труда также определить работу, произведенную двигателем. Но для сопоставления этих величин, т. е. для определения эффективного кпд, необходимо было выразить теплоту и работу в одних и тех же единицах измерения, т. е. нужно было знать, какому количеству фунто-футов соответствует одна килокалория. Однако это соотношение — механический эквивалент теплоты — было получено лишь почти четверть века спустя, и следовательно, во времена Уатта не могло существовать понятия «кпд тепловых машин». Когда позднее, в 50-х гг. прошлого века, после открытия первого закона термодинамики кпд паровых машин был наконец вычислен, специалисты были шокированы незначительностью его величины. Например, если определить кпд лучшей из машин Смитона по его же данным (39 299 кгм на 1 кг лучшего ньюкастельского угля), приняв теплоту сгорания 8000 ккал/кг, то значение кпд составит немногим более 1%. А ведь опыты Смитона с 15 другими машинами дали еще более низкие результаты.

Аналогичные расчеты для машины Севери, усовершенствованной Дезагюлье, дают значение кпд 0,6%.

Таким образом, паровые машины доуаттовского времени были крайне неэкономичны. Усовершенствования Уатта привели к существенному увеличению кпд. Уже испытания его машины «Вельзевул» показали, что она развивает 60 000 кгм работы на 1 кг угля. К концу XVII в. Уатт довел полезную работу водоподъемных машин до 91 000 кгм/кг угля, что соответствует кпд 2,7%. Впоследствии кпд паровых машин постепенно возрастал, и к концу первой четверти XIX в. удалось достичь почти 5%. Следовательно, 95% угля даже в самых лучших паровых машинах того времени шло на отопление атмосферы или, как принято говорить сейчас, тепловое загрязнение окружающей среды.

Но все это удалось выяснить позже, а к исходу первой четверти XIX в. считалось, что паровые машины «на-

ходятся в удовлетворительном состоянии». Какой-либо теории паровых машин вообще не существовало, и вся наука сводилась к ряду чисто эмпирических правил, вроде правила Болтона: «Расход угля на 1800 ходов машины равен произведению из объема цилиндра в кубических футах на давление на поршень в фунтах на 1 кв. дюйм». Практика, естественно, испытывала острую нужду в теории — без нее было невозможно дальнейшее развитие теплотехники. С другой стороны, в процессе более чем столетнего периода конструирования и эксплуатации паровых машин был накоплен значительный опыт, представляющий солидный материал для создания теории.

Такова была ситуация, сложившаяся к 1824 г., когда появилась одна из самых удивительных книг в истории техники.

**«РАЗМЫШЛЕНИЯ О ДВИЖУЩЕЙ СИЛЕ  
ОГНЯ И О МАШИНАХ,  
СПОСОБНЫХ РАЗВИВАТЬ ЭТУ СИЛУ»**

Так называлась эта книга, или мемуар, как принято было именовать научные работы такого рода. Автор книги — Сади Карно.

Под «движущей силой», как пишет сам автор, понималось «полезное действие двигателя». Это действие всегда можно свести к поднятию груза на определенную высоту\*. Иными словами, «движущая сила», по Карно, — это работа двигателя, которую можно определить как произведение поднятого груза на высоту подъема.

Почти в самом начале своей книги Карно перечисляет теоретические проблемы, стоявшие перед теплотехниками его времени. Он пишет: «Часто поднимали вопрос: ограничена или бесконечна движущая сила тепла, существует ли граница для возможных улучшений, граница, которую мешает перешагнуть природа вещей каким бы то ни было способом, или, напротив, возможны безграничные улучшения? Также долгое время искали и теперь ищут, не существует ли агентов, предпочтительных водя-

---

\* Далее все цитаты даются по переводу «Размышлений...», опубликованному в сборнике «Второе начало термодинамики» под ред. А. К. Тимирязева. (М.—Л.: Государственное технико-теоретическое изд-во, 1934).

нóму па́ру для развития движущей силы огня? Не представляет ли собой атмосферный воздух больше преимуществ? Мы ставим себе задачу подвергнуть здесь эти вопросы внимательному рассмотрению». По существу, Карно решает выяснить, от чего зависит эффективность преобразования теплоты в работу, т. е. определить КПД теплового двигателя. Каковы пределы его повышения? Какое рабочее тело является наилучшим? Карно проводит резкую границу между двумя первыми и третьим вопросами. Он пишет: «Чтобы рассмотреть принцип получения движущей силы из тепла во всей его полноте, надо изучить его независимо от какого-либо механизма, какого-либо определенного агента; надо провести рассуждения, приложимые не только к паровой машине, но ко всем мыслимым тепловым машинам, каково бы ни было вещество, пущенное в дело, и каким бы образом на него не производилось воздействие». Таким образом, Карно ставил задачу изучить закономерности преобразования теплоты в работу в самом общем виде независимо от рабочего тела и конструкции тепловой машины.

Для своего времени это было необыкновенно смелое, дерзновенное намерение. Ведь обычно в науке теоретическими методами исследуются некоторые идеальные модели реальных объектов. Такой подход использовался довольно широко и до Карно. Однако свойства этих моделей определялись путем обобщения свойств множества натуральных объектов данного класса, а Карно «обобщать» было нечего — единственным тепловым двигателем, применявшимся в то время, была паровая машина. Правда, эти машины, судя по книге, Карно знал очень хорошо — он был полностью в курсе последних достижений в этой области. Знал он и об опытах Ньепсов с двигателем внутреннего сгорания, притом, что называется, из первых рук, так как его отец Лазар Карно был одним из экспертов, назначенных Французской академией наук для рассмотрения вопроса о выдаче патента Ньепсам на их двигатель. До Карно дошли слухи и об изобретении в Англии Стирлингом двигателя, работавшего на воздухе. Кроме того, к моменту выхода книги уже был предложен работающий на горячем воздухе «калорический двигатель», имелось несколько патентов на двигатели внутреннего сгорания, паровые и даже газовые турбины. Мы не знаем, однако, известны ли были эти изобретения Карно. И все же какого-либо теорети-

ческого или экспериментального материала по другим двигателям, кроме паровых машин (за исключением самых незначительных сведений по двигателю Ньепсов, о котором рассказывается ниже), у Карно не было.

В своих рассуждениях Карно исходил из материальной теории теплоты, о которой мы уже писали. В работе тепловых двигателей он усматривал аналогию с работой двигателей гидравлических. При этом теплород уподоблялся жидкости — рабочему телу гидромашин. «...Можно с достаточным основанием сравнивать движущую силу тепла с движущей силой падающей воды... Движущая сила падающей воды зависит от высоты падения и количества воды; движущая сила тепла также зависит от количества употребленного теплорода и зависит от того, что можно назвать высотой его падения, т. е. от разности температур тел, между которыми происходит обмен теплорода... Возникновение движущей силы обязано в паровых машинах не действительной трате теплорода, а его переходу от горячего тела к холодному». Исходя из этой неверной аналогии, Карно делает совершенно правильный вывод: «...недостаточно создать теплоту, чтобы вызвать появление движущей силы, нужно еще добыть холод — без него теплота была бы бесполезна... Повсюду, где имеется разность температур, может происходить возникновение движущей силы». По существу, в этих строках раскрыта суть второго закона термодинамики. Достаточно вспомнить формулировку второго закона, принадлежащую В. Томсону: «Невозможно при помощи неодоушевленного материального двигателя получить от какой-либо массы вещества механическую работу путем охлаждения ее ниже самого холодного из окружающих предметов». Иными словами, нельзя построить периодически действующий двигатель, все действие которого сводилось бы только к производству механической работы и охлаждению одного источника тепла. Такая машина, называемая вечным двигателем второго рода, неосуществима.

К такого рода вечным двигателям относятся, в частности, двигатели, не имеющие холодильника, например для использования тепла окружающей среды. Нужно сказать, что это самая живучая категория перпетуум мобиле. Над ними и в наше время еще трудятся некоторые изобретатели, упорно не верящие во второе начало термодинамики,

Таким образом, Карно был первооткрывателем одного из основных законов термодинамики — ее второго начала, определяющего возможность осуществления, направление и пределы развития термодинамических процессов.

Огромная заслуга Карно в том, что он был основателем теории циклов. Все основные понятия, относящиеся к циклам: обратимость как бесконечно медленная смена равновесных состояний, обязательное наличие в двигателе четырех элементов: нагревателя, холодильника, устройств для расширения и сжатия рабочего тела — все это впервые появилось в «Размышлениях...». Более того, Карно разработал обратимый цикл, обладающий при прочих равных условиях наивысшим возможным термическим кпд. Этот цикл, получивший название цикла Карно, показан на рис. 10. В описании этого цикла Карно использовал расширительную машину, подобную уже рассмотренной нами. Первая стадия расширения газа (Карно в качестве такого выбрал воздух) сопровождается подводом теплоты от нагревателя, имеющего безграничную теплоемкость, благодаря чему его температура сохраняется неизменной (по существу, это модель котла, в котором отведенное тепло непрерывно компенсируется путем сжигания топлива). Разность температур между нагревателем и рабочим телом в процессе расширения поддерживается бесконечно малой (это необходимое условие обратимости процесса). Таким образом, на стадии расширения 1—2 температура рабочего тела  $T_1$  остается неизменной, т. е. кривая 1—2 — это изотерма.

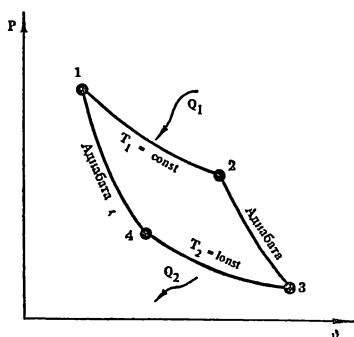


Рис. 10. Цикл Карно

В точке 2 нагреватель удаляют, предоставляя рабочему телу расширяться до точки 3 без подвода или отвода теплоты (такие процессы называют адиабатными). В процессе 2—3 температура и давление рабочего тела уменьшаются. Расширение в адиабатном процессе продолжается до тех пор, пока в точке 3 температура газа не сравняется с темпе-

ратурой холодильника  $T_2$ . Из точки 3 до точки 1 происходит процесс сжатия — возвращение в исходное состояние. Сначала до точки 4 сжатие происходит изотермически при температуре на бесконечно малую величину большей, чем  $T_2$ . Поскольку при сжатии выделяется теплота, то для сохранения условия  $T_2 = \text{const}$  тепло отводится в холодильник. От точки 4 до точки 1 сжатие производится по адиабате. При этом температура газа увеличивается от  $T_2$  до  $T_1$ . Таким образом, цикл Карно состоит из двух адиабат и двух изотерм.

Как мы знаем, термический КПД цикла определяется формулой:

$$\eta_T = (Q_1 - Q_2) / Q_1.$$

Карно не мог определить  $\eta_T$ , так как считал, что в тепловой машине не происходит «трата теплорода» (так же, как в гидродвигателях не тратится вода), т. е.  $Q_1 = Q_2$ , а этот вывод находится в противоречии с первым законом термодинамики. Тем не менее, основываясь на той же неверной аналогии с гидродвигателями, Карно приходит к правильному заключению: движущая сила тепла количественно «определяется температурой тел, между которыми в конечном счете происходит падение теплорода», т. е.  $T_1$  и  $T_2$ . Это предположение было блестяще подтверждено спустя четверть века после открытия первого закона термодинамики, когда была получена формула  $\eta_T$  для цикла Карно:

$$\eta_T = (T_1 - T_2) / T_1.$$

Было доказано также, что термический КПД цикла Карно при данных  $T_1$  и  $T_2$  больше, чем у всех других циклов. Таким образом, Карно открыл эталонный, образцовый цикл. Значение этого открытия трудно переоценить. Пользуясь простейшей формулой для  $\eta_T$  цикла Карно, можно определить наибольший возможный КПД цикла при данных  $T_1$  и  $T_2$  и, сравнив его с  $\eta_T$  данного цикла, сделать заключение о степени совершенства последнего. С другой стороны, теплотехники получили ценный инструмент усовершенствования циклов тепловых машин — так называемую карнотизацию, т. е. комплекс мер по приближению процессов, протекающих в машине, к двум изотермам и двум адиабатам, образующим цикл Карно.

Анализируя свой цикл, Карно пишет: «Все процессы, здесь описанные, могут быть проведены в одном на-



правлений и обратном — результатом первых операций было получение определенного количества движущей силы и перенос тепла от тела А (нагревателя) к телу В (холодильнику).

Результатом обратных операций были затраты полученной движущей силы и возвращение теплорода от тела В к телу А. Обе операции уничтожают друг друга или, так сказать «нейтрализуют». В этих нескольких строках заключается другое замечательное открытие С. Карно — в них впервые описан цикл холодильной машины. В этом цикле рассмотренные процессы происходят в обратном направлении. Работа сжатия в нем больше работы расширения, тепло отводится от источника теплоты с меньшей температурой и подводится к источнику теплоты с большей температурой. Иными словами, в результате затраты работы происходит перенос тепла от холодного тела к горячему.

Карно не знал первого закона термодинамики. Но он несколько не сомневался в истинности закона сохранения энергии. Именно на этом законе основано необыкновенно красивое доказательство теоремы о независимости эффективности тепловой машины от природы рабочего тела. Карно рассматривает работу тепловой и холодильной машин, имеющих одни и те же нагреватель и холодильник. При этом каждая машина имеет свое рабочее тело. В этих условиях тепло, отведенное в прямом цикле, равно теплу, подведенному в обратном, и наоборот, тепло отведенное в обратном цикле, равно теплу, подведенному в прямом. Если бы работа прямого цикла оказалась больше работы, затраченной в обратном цикле, то эта система машин представляла бы собой вечный, т. е. не потребляющий энергию, но совершающий работу двигатель. Это невозможно, что и доказывает теорему.

Действительно, если цикл задан, то этим однозначно, безотносительно к природе рабочего тела определен и термический КПД, зависящий исключительно от параметров и видов процессов цикла. Однако, с другой стороны, вид цикла и особенно конструкция тепловой машины в значительной мере определяются рабочим телом. И Карно это прекрасно понимал. Анализируя свойства возможных рабочих тел (в том числе жидких и твердых), Карно приходит к выводу, что наилучшими из них являются водяной пар и воздух. Важнейшее преимущество последнего Карно усматривает в том, что воздух

можно нагревать, сжигая в нем топливо. Это приводит к упрощению тепловой машины, уменьшению ее массы и габаритов. Охлаждать воздух после расширения можно, просто выпуская его в атмосферу. Однако в этом случае давление воздуха в конце расширения должно быть несколько больше атмосферного. Недостатком воздуха является необходимость сложного прибора для его сжатия — компрессора, или, как называет его Карно, пневматического насоса.

К достоинствам водяного пара Карно относит простоту его сжатия (для этого требуется лишь простейший водяной насос) и конденсации. Полученные результаты позволили Карно сформулировать три условия достижения максимальной эффективности тепловой машины: во-первых, температура газа должна быть первоначально как можно выше, во-вторых, охлаждение должно быть как можно больше и, в-третьих, «переход упругой жидкости (газа или пара) от наиболее высокой температуры к наиболее низкой должен происходить от увеличения объема, т. е. охлаждение газа должно происходить самостоятельно от его расширения». Первые два условия очевидны — стоит только взглянуть на формулу для  $\eta$ . Очевидно также, что предельная температура, до которой можно довести газ при сжигании в нем топлива, — это температура сгорания, а предел охлаждения определяется температурой наиболее холодных тел в окружающей среде (чаще всего воды). Что же касается третьего условия, то оно, как пишет Карно, «мешает развитию движущей силы при больших разностях температур». В самом деле, давление насыщенного пара при высоких температурах очень велико, что требует создания сложных и тяжелых котлов, рассчитанных на это давление. В то же время низкое давление и большой удельный объем пара при низких температурах выражаются в огромных размерах конденсаторов.

Ограничения, проистекающие из третьего условия, как верно отметил Карно, особенно пагубно сказывались на современных ему паровых машинах. Давление в котлах этих машин не превышало 6 атм, соответствующая температура насыщенного пара составляет  $160^{\circ}\text{C}$ , а в конденсаторе пар охлаждался до  $40^{\circ}\text{C}$ , т. е. разность наивысшей и наинизшей температур рабочего тела составляла  $120^{\circ}\text{C}$ , что обуславливало очень низкий термический КПД. Кроме того, в котле существовала очень боль-

шая разница между температурой в топке (т. е. температурой нагревателя) и температурой пара, а это обуславливало большие потери из-за необратимости цикла.

Заключительные слова книги Карно настолько удивительны, что трудно удержаться от соблазна и не привести их полностью: «Нельзя надеяться хотя бы когда-либо практически использовать всю движущую силу топлива. Попытки, сделанные для приближения к этому результату, будут, скорее, вредными, чем полезными, если они заставят забыть другие важные обстоятельства. Экономия топлива — это лишь одно из условий, которые должны выполнять тепловые машины, при многих обстоятельствах оно второстепенно, оно часто должно уступать первенство надежности, прочности и долговечности машины, мало занимаемому месту, дешевизне ее и т. д. В каждом случае суметь использовать должным образом удобство и экономичность, отделить наиболее важные условия от второстепенных, подходящим образом их сбалансировать, чтобы с наиболее простыми средствами достигнуть наилучших результатов, — таковы должны быть основные способности человека, призванного управлять и приводить в согласие между собой работы себе подобных, чтобы заставить их действовать для какого-либо полезного дела». Невозможно поверить, что все это написано более 160 лет назад, в эпоху примитивной паровой техники. Разве можно представить себе более точное и всеобъемлющее, выраженное в прекрасной сжатой форме напутствие современным творцам тепловых двигателей?

В книге Карно поражает многое. И прежде всего это вопиющее несоответствие между блестящими выводами и ложной материальной теорией теплоты, на основании которой они сделаны. Нужно сказать, что к моменту написания «Размышлений...» теория теплорода была уже основательно подорвана экспериментальными данными, полученными Б. Румфордом, Г. Дэви и другими учеными. Кроме того, сам Карно сомневался в истинности этой теории (о чем он прямо говорит в своей книге) и в дальнейшем, как мы увидим, от нее отказался. Однако если бы Карно в своей работе основывался на более совершенной, но, как мы знаем, тоже неверной механической теории теплоты, это принесло бы ему мало пользы. В его время не было еще теории, на основании которой можно было бы доказать истинность большинства выво-

дов Карно. Они могли быть только интуитивными, и были таковыми.

Большинство ученых считают, что в «Размышлениях...» Карно отражена его уникальная научная интуиция. Характерна в этом отношении попытка Карно вычислить кпд современных ему паровых машин. Мы знаем, что он не мог этого сделать в принципе. Однако он делает это, пользуясь неточными экспериментальными данными, делая различные, частично ошибочные, частично просто необъяснимые допущения, и... получает точные результаты: эффективный кпд лучших современных ему паровых машин составляет 5%, а кпд старых машин — примерно в 9 раз меньше!

Слава Карно-ученого часто затмевает другую существенную сторону его дарования — он был замечательным изобретателем, хотя, видимо, не подозревал об этом и никогда ничего не патентовал. Мы уже знаем, что Карно был, по существу, изобретателем холодильных машин. В «Размышлениях...» приведено точное описание принципиальной схемы поршневой газовой холодильной машины, работающей по обратному циклу Карно.

Далее, комментируя изобретение Ньепсов, С. Карно пишет: «Нам казалось бы более выгодным действовать не как Ньепсы, а сперва сжать воздух насосом, затем пропустить его через вполне замкнутую топку, вводя туда малыми порциями топливо при помощи приспособления, легко осуществляемого; затем заставить воздух выполнить работу в цилиндре с поршнем или в любом другом расширяющемся сосуде и затем выбросить в атмосферу или заставить пойти к паровому котлу для использования оставшейся температуры». В этих строках описаны сразу два изобретения: оригинальный тепловой двигатель, очень напоминающий «калорический двигатель», и паровая утилизационная установка для использования теплоты отходящих газов. О таких установках он более подробно пишет в другом месте книги: «Воздух представляется более пригодным, чем пар, для получения движущей силы падения теплорода при высоких градусах; при низких градусах водяной пар может быть подходящим. Одно и то же тепло может последовательно воздействовать на воздух и на водяной пар. Воздух надо оставить после его употребления при достаточно высокой температуре и вместо непосредственного выбрасывания в атмосферу заставить обойти около паро-

вого котла, как если бы он непосредственно исходил из топки». Таким образом, С. Карно был родоначальником целой отрасли современного машиностроения — холодильной техники и важнейшего направления в развитии тепловых двигателей.

Кто же был этот человек, основоположник теории тепловых двигателей, гениальный ученый и изобретатель?

С единственного, по-видимому, сохранившегося портрета на нас смотрит прекрасное грустное юношеское лицо, скорее лицо поэта или музыканта. Он разительно не похож на убеленных сединами, насупившихся корифеев теплотехники и физики, в окружении портретов которых висит и его портрет на стенах лабораторий и музеев.

Сади Никола Леонард Карно был сыном выдающегося деятеля Великой французской революции и знаменитого ученого Лазара Карно. Он родился в 1796 г., в знаменательный для отца год, когда за выдающиеся научные заслуги Лазар Карно был избран членом Французской академии. Вскоре по политическим причинам Л. Карно ушел в отставку, целиком отдавшись научной деятельности. В это время он много внимания уделяет воспитанию своих детей, занимаясь с ними математикой, физикой, философией и поэзией. Л. Карно увлекался поэзией, сам писал стихи и своего первенца назвал в честь великого иранского поэта Саади.

В детстве С. Карно посещал лицей Карла Великого, по окончании которого был отдан в Политехническую школу — одно из лучших в мире учебных заведений того времени. Политехническая школа — детище Великой революции — воспитывала военных и гражданских инженеров. Уровень подготовки был очень высоким. Многие из выпускников школы стали знаменитыми учеными. Достаточно вспомнить А. Ампера, Ж. Био, Ж. Гей-Люссака, О. Коши, Б. Клапейрона, Ж. Фурье, Г. Кориолиса, С. Пуассона, О. Френеля.

В 1814 г. С. Карно окончил Политехническую школу шестым по успеваемости и был направлен в город Мец для продолжения образования. В 1816 г. обучение закончилось, и Карно был определен на службу в инженерный полк. Этот период жизни совпадает с бурными событиями, резко изменившими ситуацию во Франции и жизненные обстоятельства самого С. Карно. В конце 1812 г. Наполеон вернулся в Париж, бросив в снегах России остатки великой армии. Ему удалось в корот-

кий срок, мобилизовав последние ресурсы истощенной Франции, создать новую армию и продолжить войну в Европе. Однако сила была уже не на его стороне. Крах империи необратимо приближался. К началу 1814 г. враг был уже у границ Франции. В этих обстоятельствах Лазар Карно считает своим долгом встать на защиту родины. Он предлагает свои услуги Наполеону, который поручает ему оборону важнейшей крепости Антверпен. Во время «ста дней» недолгого владычества императора (после бегства с острова Эльба) старый революционер, убежденный республиканец Л. Карно вновь с Наполеоном — он министр внутренних дел в его правительстве. После окончательного поражения Наполеона при Ватерлоо Лазар Карно входил во временное правительство, потребовавшее отречения императора.

Происходит реставрация Бурбонов в 1815 г. Л. Карно бежит из Франции. Положение С. Карно резко изменяется. Теперь он сын почти преступника, «цареубийцы». Над С. Карно нависла угроза остаться на гарнизонной службе в захолустье, в изоляции от научной и культурной жизни и без всяких перспектив. Это был самый мрачный период его жизни.

С. Карно удалось вернуться в Париж только в 1819 г., когда он, успешно выдержав конкурсные экзамены, был зачислен в находившийся здесь Главный штаб корпуса. Молодой человек с жадностью принялся наверстывать упущенное за эти три долгих года. Он штудировал литературу по физике, теплотехнике, посещает лекции, тщательно исследует состояние, перспективы и историю развития техники в области паровых машин, проводит самостоятельные научные изыскания. Результатом этих трудов была вышедшая в свет 12 июня 1824 г. знаменитая и единственная его книга «Размышления...». С. Карно было тогда 28 лет. Через два дня после выхода в свет книга была представлена Академии наук и получила благоприятный отзыв. На этом, однако, успехи С. Карно закончились.

Его глубокие мысли, необычные новые методы и неожиданные выводы не вызвали бури негодования среди коллег, как это часто бывает. Наоборот, они отнеслись к его книге довольно благожелательно. Но вскоре забыли о ней. Работа С. Карно не оказала ровно никакого влияния на развитие науки и техники своего времени. Понять современников Карно не трудно. Большая часть

выводов Карно получена на основании материальной теории теплоты, доверие к которой было подорвано. Много было слишком необычным и новым.

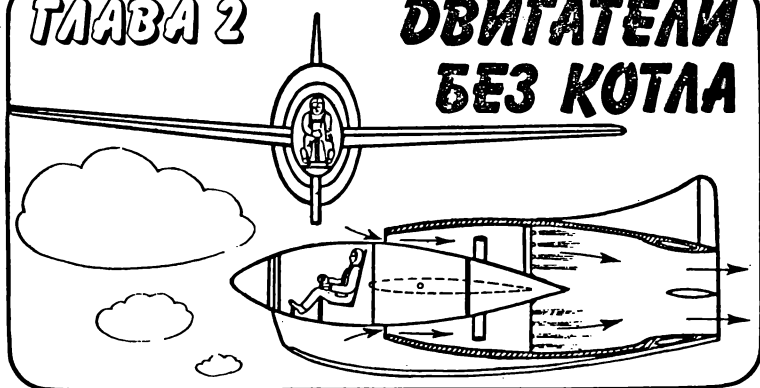
С. Карно скончался от холеры в возрасте всего 36 лет.

По существовавшему тогда закону все вещи умершего, в том числе и его бумаги, были сожжены. Чудом сохранилась только записная книжка, которую брат Сади — Ипполит передал парижской Академии наук Франции лишь спустя 46 лет после смерти ее автора. К этому времени С. Карно уже был признан великим ученым. Материалы, содержащиеся в записной книжке, были незамедлительно опубликованы. Они свидетельствовали, что к концу своей жизни С. Карно полностью отказался от материальной теории теплоты и был близок к открытию первого закона термодинамики. Он писал: «Движущая сила существует в природе в неизменном количестве. Она, собственно говоря, никогда не создается, никогда не уничтожается. В действительности она меняет форму, т. е. вызывает то один, то другой род движения, но никогда не исчезает». Об этих строках А. Пуанкаре писал: «Можно ли точнее выразить закон сохранения энергии?» В записной книжке С. Карно приводит величину механического эквивалента теплоты (370 кгм/ккал). Такой же примерно результат был получен Р. Майером, но только в 1842 г.

В 1834 г. известный физик Б. Клапейрон, восхищенный книгой С. Карно, издал свой труд с таким же названием. В этой работе, целью которой было развитие идей Карно, Клапейрон впервые разработал графический метод построения термодинамических процессов и получил свое знаменитое уравнение состояния идеальных газов. Графический метод, которым сейчас чрезвычайно широко пользуются, позволил представить идеи Карно в наглядном, доступном для понимания виде. Однако и «Размышления...» Клапейрона также остались незамеченными. Только после открытия первого закона термодинамики Р. Майером и Г. Гельмгольцем в 1842—1847 гг., после того как в трудах В. Томсона и Р. Клаузиуса идеи С. Карно были обоснованы теоретически и получили дальнейшее развитие, стало очевидным величие юного военного инженера, написавшего за свою короткую жизнь только одну тоненькую, но гениальную книгу.

## ГЛАВА 2

## ДВИГАТЕЛИ БЕЗ КОТЛА



### КОНКУРЕНТ ПАРА — ПРОДУКТЫ СГОРАНИЯ

Казалось бы, ясно, что пользоваться теплом огня непосредственно для производства работы лучше, чем затрачивать его на получение пара, а затем использовать тепло пара. Но с самых же первых опытов возникли большие препятствия.

Достаточно упомянуть разработки Ж. Готфейля (1678—1682 гг.) и Х. Гюйгенса (1681 г.). Оба ученых предлагали так называемый атмосферный двигатель, у которого поршень поднимался взрывом пороха вверх и фиксировался. После охлаждения продуктов сгорания под поршнем создавалось разрежение. У двигателя Гюйгенса под действием атмосферного давления поршень опускался, совершая полезную работу. У двигателя Готфейля разрежение в подпоршневой полости использовалось для всасывания воды, а после того как поршень переставали удерживать, он, опускаясь, вытеснял воду. Реализовать эти предложения в то время не представлялось возможным из-за низкого уровня техники. Гюйгенс, чтобы уплотнить зазор между поршнем и цилиндром, покрывал внутреннюю поверхность цилиндра гипсом. Естественно, гипс после нескольких ходов поршня разрушался.

Легко также представить, с какой частотой повторялись рабочие ходы, если нужно было ждать, пока остынут продукты сгорания.

Разработки Д. Папена, Т. Севери, И. И. Ползунова,



Д. Уатта и других привели к тому, что к концу XVII столетия паровая машина стала универсальным двигателем, и казалось, что замены пару нет.

Представить себе двигатель, работающий не так, как паровая машина, было трудно. Возникло представление, что любое рабочее тело должно обладать свойствами пара и попадать в цилиндр в виде однородной массы с одинаковыми температурой и давлением. Таким рабочим телом могли стать продукты сгорания. Но сжигание известных в то время топлив непосредственно в цилиндре, казалось, никак не могло обеспечить тех же качеств.

Решение задачи использования продуктов сгорания лежало на пути поисков соответствующего горючего. Очевидно, таких попыток заменить пар было немало, но история сохранила лишь некоторые из них, да и то в очень неполном объеме, например, сведения о работе братьев Ньепсов.

Братья Клод и Жозеф Нисефор Ньепсы, а также сын Нисефора Исидор известны главным образом благодаря своему вкладу в развитие фотографии.

Братья родились в Шалоне-на-Соне (Бургундия) в семье адвоката, королевского советника, который был одновременно и важным муниципальным чиновником. Дата рождения Нисефора известна точно — 7 марта 1765 г. Клод был примерно на год старше. По обычаю богатых французских семей Нисефору предстояла духовная карьера, и он получил хорошее по тому времени домашнее образование. В свободное от занятий время Нисефор и Клод занимались постройкой различных машин. В 1794 г. Нисефор переехал в деревню Сент-Рок неподалеку от Ниццы. Вскоре к нему присоединился Клод, и оба брата отдаются своему любимому делу — изобретательству.

Идея замены дефицитного во Франции угля каким-либо иным топливом витала в воздухе, и братья не могли не проникнуться этой идеей. Они занимались поисками такого топлива, продукты сгорания которого можно было бы использовать в качестве рабочего тела, подобного пару. Об этом периоде своих поисков, которые они начали в 1794 г., братья писали так: «Занимаясь разыскиванием физической (природной) силы, которая могла бы сравниться с силой паровых машин и при этом не требовала таких громоздких приборов, а в

особенности не поглощала столько топлива, мы предположили, что нашим требованиям мог бы удовлетворить расширяемый огнем атмосферный воздух». Но как при этом обеспечить однородность состава и компенсировать отсутствие конденсации? И братья находят выход: «Но так как воздух, судя по произведенным до сих пор наблюдениям, разрежается лишь весьма слабо, даже при высокой температуре, то мы представили себе, что если он будет внезапно пронизан в замкнутом объеме пламенем чрезвычайно горючего вещества, измельченного в очень мелкий порошок и рассеянного по всему объему этого сосуда, то он разовьет гораздо большую энергию и произведет нечто вроде взрыва, соразмерного сопротивлению тех препятствий, которые он должен преодолеть». В качестве такого порошка братья на первых порах применили ликоподий — семена спорового растения плауна. Этот чрезвычайно сухой, легкий и легковоспламеняющийся порошок использовался для эффектных вспышек во время театральных представлений. Применение такого горючего могло помочь реализовать замысел братьев, но считать его серьезным конкурентом угля нельзя. Ведь урожай спор плауна очень ограничен.

Свой двигатель братья называли «пирэолофор», т. е. составили его название из трех греческих слов: «пир» — огонь, «Эол» — бог ветра, воздуха и «фор» — несу, произвожу. Сведения об устройстве этого двигателя крайне скудны.

Сами братья описывали работу двигателя так: «Вводить постоянно равный заряд горючего, чтобы разрежение было всегда одинаковым», затем «выбрасывать это горючее с известной предосторожностью, так как оно не должно падать всей массой и не должно также слишком рассеиваться», после этого следует «своевременно вводить и надлежащим образом располагать пламя, на которое нужно направить горючее», и наконец, следовало «возобновление каждый раз воздуха, испорченного сгоранием».

Что касается горючего, то, очевидно, ликоподий братья не считали перспективным, и уже в записке о пирэолофоре, написанной Н. Ньепсом для публичного доклада, в качестве горючего указывается смесь, состоящая из «четырех частей каменного угля и одной части смолы, все это превращается в тончайший порошок

с помощью воды». Есть сведения, что братья пытались применить твердый измельченный природный асфальт и пришли к мысли использовать сырую нефть.

Свои работы братья держали в тайне почти 12 лет, и их первые сообщения были связаны с необходимостью получить патент. 17 ноября 1806 г. в классе физических и математических наук Национального института Франции была зачитана их записка о пирэолофоре. В ней ничего не говорилось о составе горючего, по-видимому, братья продолжали над ним работать.

Интересно, что областями применения двигателя Ньепсы считали суда, подъем воды и наземные экипажи. Они сами берутся за реализацию своего изобретения. Сначала они строят небольшое судно в Сен-Лу близ Шалона. Затем было построено судно на реке Соне, и наконец, много лет спустя они соорудили катер в Берси под Парижем.

Заявку на патент братья подали в 1806 г. В соответствии с действовавшими в то время порядками они представили записку о своем двигателе в высшее научное учреждение Франции — Национальный институт. В комиссию по рассмотрению их предложения входили два крупнейших ученых — Лазар Карно и К.-Л. Бертолле. Лазар Карно в своем докладе 10 января 1807 г. дал очень высокую оценку этой работе.

Братья получают патент сроком на 10 лет и продолжают работы над усовершенствованием машины и поисками горючего. Однако их усилия не дают результатов.

К концу 1816 г. братья начинают использовать нефть и строят опытное судно на Сене под Парижем. Но сроки патента истекают, иссякают и денежные средства братьев. Их поддерживают ученые и многие инженеры, в частности Л. Карно, но изготовители паровых машин воздвигают разные препятствия. Братья терпят одно поражение за другим, неудачна и их работа над гидравлической подъемной машиной в Марли. Вскоре Клод умер, а Нисефор забросил пирэолофор и сосредоточился на фотографии. Это и принесло ему славу.

Точно так же, как и Ньепсы, подходил к проблеме замены водяного пара продуктами сгорания изобретатель светильного газа француз Филипп Лебон. Говорят, что светильный газ он обнаружил случайно, когда бро-

сил в стоящий на огне пустой сосуд с узким горлом горсть древесных опилок. Из сосуда вначале повалил густой дым, а затем вспыхнуло яркое пламя. Лебон заинтересовался этим явлением и через некоторое время понял, что при высокой температуре без доступа воздуха дерево выделяет горючий газ. Из дальнейших опытов он убедился, что такой же газ, но в еще большем количестве выделяет каменный уголь. Лебон сообразил, что случай помог ему получить новое горючее с чрезвычайно важными качествами, и начал обдумывать сферы его применения. Самым очевидным было использовать его в том виде, в котором это горючее поразило Лебона, т. е. в приборах для освещения, и он строит установку, содержащую перегонный аппарат, газоочиститель и газосборник, подсоединяет к нему маленькую трубку и демонстрирует всем яркое пламя, горящее у конца трубки. В 1799 г. он получает патент на светильный газ, но никто не интересуется его изобретением. Тогда Лебон на собственные средства оборудует систему газового освещения одной из парижских гостиниц, и только такая наглядная демонстрация свойств открытого им газа помогает ему получить правительственную концессию на постройку газового завода в рурском лесу.

Вряд ли Лебон был знаком с работами Ньепсов. Но, получив газообразное горючее, он сообразил, что его можно равномерно распределить в воздухе и получить после воспламенения однородную массу, подобно пару. Поэтому сразу же после получения патента на свое основное изобретение он в 1801 г. берет патент, являющийся развитием основного и содержащий описание двигателя на светильном газе. Лебон считал, что светильногазовый двигатель должен быть устроен так же, как и паровая машина, но вместо котла следовало придумать устройство для получения смеси продуктов сгорания светильного газа с воздухом и подачи их в машину под давлением. По современной терминологии это был двигатель, работающий по разделенному циклу, т. е. с использованием разных цилиндров для сжатия рабочего тела и для расширения продуктов сгорания. Лебон предлагал сжимать светильный газ и воздух отдельными насосами и смешивать их в специальной камере. Затем смесь подавалась в рабочий цилиндр, где воспламенялась и расширялась. Двигатель

был двойного действия. Но Лебон не пытался построить свой двигатель.

Работы Ньепсов и идеи Лебона не получили должного развития по той причине, что они опередили свое время. Паровая машина в начале XIX в. практически только начинала свой победный марш в качестве универсального двигателя. К тому времени во Франции, где работал Лебон, усиленно разрабатывались проекты парового судоходства. Паровая машина содействовала развитию металлургии и других областей техники. В ее замене не ощущалось острой нужды. К тому же зарождающаяся буржуазия успешно обогащалась на изготовлении паровых машин. Деятельность таких изобретателей, как Ньепсы и Лебон, грозила ее финансовым успехам.

Время двигателей, работающих на продуктах сгорания, наступило несколько позже, но путь замены пара был намечен.

### **ЭТОТ ВОЛШЕБНЫЙ СВЕТИЛЬНЫЙ ГАЗ**

Паровая машина родилась в Англии как устройство для откачки воды из угольных копей. В бурно развивающейся Франции угля практически не было, а ее промышленность нуждалась в двигателях сравнительно небольшой мощности, не потребляющих дефицитный уголь, обладающих способностью быстро запускаться и принимать нагрузку. По этим причинам родиной двигателей, работающих на продуктах сгорания, стала Франция. Эти двигатели могут быть двух типов: поршневые и лопаточные, но первыми были созданы поршневые, и за ними закрепилось название двигателей внутреннего сгорания (ДВС), а лопаточные стали называть газотурбинными двигателями (ГТД).

История создания ДВС содержит много полезного для тех, кто хочет заниматься или занимается изобретательством. На значение опыта изобретателей этого периода указывал еще в 1904 г. в своем историческом очерке Гуго Гюльднер, книги которого публиковались в России под редакцией профессора В. И. Гриневецкого. «Такой исторический обзор не может, конечно, исчерпываться простым изложением патентов и опубликованных сообщений об удавшихся изобретениях; он должен глубже вдаваться в практическую сторону дела и наря-

ду с конечным результатом разбирать и промежуточные стадии работы изобретателя. Бесчисленные изобретения — и между ними такие, успех которых был почти несомненно доказан теоретическим расчетом, — развивались опытом или же путем практики достигали такого конечного результата, который едва позволял узнать первоначальные идеи изобретателя... И наоборот, опыт приводит иногда к благоприятному результату там, где теория не позволяет ожидать его...

Именно в случаях, когда достигнутый результат совершенно отклоняется от предположенного, во время изысканий обыкновенно проявляется такая сумма творческой и анализирующей деятельности, которая нередко раз и навсегда разъясняет сущность дела. Но об этих подготовительных, предшествующих работах экспериментатора история обычно умалчивает, да и сам изобретатель всегда удерживает про себя результаты своих неоконченных или неудавшихся работ, если случайно его не принудят высказаться чрезвычайные обстоятельства, вроде борьбы за патент и т. п. А ведь отсюда происходит то, что опыты, бесцельность которых давно уже установлена, повторяются кем-либо еще раз и снова поглощают массу труда, времени и средств».

Патенты на завершенные изобретения не позволяют проследить за ходом работы над изобретением, но последовательность появления патентов иллюстрирует некоторые закономерности. Например, можно проследить ход поисков топлива для ДВС.

Можно считать, что первая официально зарегистрированная попытка создания ДВС была сделана почти одновременно с началом работ братьев Ньепсов. В 1794 г. изобретатель Роберт Стрит получил в Англии патент № 1983 на атмосферный двигатель, работающий на продуктах сгорания горючей жидкости (терпентин или спирт). Жидкость наливалась на дно вертикального цилиндра, при нагреве испарялась, и ее пары смешивались с воздухом. После воспламенения горючей смеси продукты ее сгорания поднимали поршень и совершали работу.

Были предложения использовать водород (1820 г., англичанин Сесиль). В 1841 г. изобретатель Джеймс Джонстон получил в Англии патент № 8841 на двигатель, работающий на смеси водорода с кислородом. Продукты сгорания охлаждались, конденсировались, и

поршень перемещался атмосферным давлением. Но как известно, применение водорода в качестве горючего связано с трудностями его транспортировки и хранения, которые не преодолены до сих пор. Следует вспомнить, что и получение водорода в те времена было достаточно дорогостоящим сложным делом. Поэтому водород не стал горючим для первых двигателей. Решающую роль в деле создания ДВС сыграло изобретение светильного газа. Появлению работоспособного светильного газового двигателя предшествовало много попыток.

Есть сведения о том, что изобретатель Самуэль Браун (Англия) построил в 1823 г. двигатель внутреннего сгорания на светильном газе. Это был атмосферный двигатель. Разрежение в цилиндре достигалось тем, что после выпуска продуктов сгорания остаток газов в цилиндре охлаждался. Цилиндр был снабжен водяной рубашкой. Воспламенение осуществлялось в мертвой точке открытым пламенем. С. Браун получил на этот двигатель два патента: № 4874 и 5350.

В 1833 г. изобретатель Вельмант Райт получает в Англии патент № 6525, в котором оговорено охлаждение цилиндров с помощью водяной рубашки (двигатель двойного действия). Этот двигатель также был построен. В 1838 г. в Англии выдан патент № 7615 В. Барнету, согласно которому газ и воздух предварительно сжимают в отдельных цилиндрах, а смесь перед воспламенением дожимают в рабочем цилиндре. Воспламенение должно было производиться в мертвой точке с помощью раскаленной губчатой пластины или же пламенем через золотник.

Есть сведения еще об одном работавшем газовом двигателе. Этот двигатель построил и запатентовал в 1842 г. Дрейк (английский патент № 562). Характерно, что всасывание смеси происходило на первой половине хода и зажигание было калильным от раскаленной чугунной трубки, сообщающейся с цилиндром в середине хода поршня. Регулирование было качественным и осуществлялось при помощи центробежного регулятора. Позднее двигатель был приспособлен для работы на керосине. В 1847 г. этот двигатель был выставлен в Филадельфии. На испытаниях он развил мощность до 20 л. с. при частоте вращения 60 об/мин.

В 1854 г. Барзанти и Матеукки получили английский патент № 1655, а затем 20 февраля 1858 г. и француз-

ский патент на атмосферный двигатель со свободным поршнем. Смесь светильного газа с воздухом воспламенялась под поршнем электрической искрой, и давление продуктов сгорания поднимало свободный поршень вверх. За счет охлаждения под поршнем создавалось разрежение, под действием атмосферного давления поршень опускался и прикрепленная к его штоку рейка приводила во вращение вал с маховиком. Впускные и выпускные клапаны управлялись от вала. Двигатель был построен фирмой «Джон Коккериль». Но практического применения не получил.

В 1858 г. Дегеран получил французский патент № 21301 на газовый двигатель со сжатием горючей смеси в рабочем цилиндре.

Ни один из описанных случаев не привел к появлению на рынке двигателя, который мог бы по развиваемой мощности и безотказности конкурировать с паровой машиной, поэтому споров вокруг патентов на эти двигатели практически не было.

Первые патентные споры возникли после появления на рынке двигателей французского инженера Ленуара. Патент Ленуару был выдан 24 января 1860 г., но двигатель строился еще раньше.

Жан Этьен Ленуар родился в 1822 г. в Бельгии. Его отец умер, когда Жану было всего восемь лет, и семья влачила довольно жалкое существование. Когда Жан подрос, он отправился в Париж к своему богатому дяде-инженеру.

Вначале ему пришлось устроиться на работу в качестве гарсона в одно из парижских кафе. Вскоре удалось стать рабочим на эмалировочной фабрике. Здесь впервые проявились его изобретательские способности: он разработал новый сорт эмали и способ ее нанесения. Но именно из-за этого ему пришлось покинуть фабрику. Работа на фабрике много дала Ленуару, он приобрел технические знания, особенно в развивающейся тогда электротехнике, и получил практические навыки. Покинув фабрику, Ленуар через некоторое время устроился рабочим на механический и литейный завод Ипполита Маринони в Париже. Фактически это было гальваническое предприятие, и здесь Ленуару очень помогло его знание электротехники. Маринони заметил сметливость нового работника и всячески поощрял его. К концу третьего года



работы у Маринони Лемуар разработал удачный способ нанесения гальванических покрытий, затем предложил новый водомер, усовершенствованный электромотор и завоевал большое доверие хозяина.

Вероятно, во время работы в кафе Лемуар слышал жалобы фабрикантов на то, что из-за большой длительности запуска паровая машина неудобна для предприятий, не требующих непрерывного цикла работы, на то, что ее мощность слишком велика для мелких предприятий, и на то, что установка громоздкой машины и еще более громоздкого парового котла для них немыслима. Поступив на фабрику, а затем на завод, он на практике столкнулся с непригодностью паровой машины для мелких предприятий.

Получив опыт работы над изобретениями, Лемуар решил заняться двигателем нового типа. Бывший гарсон искал выгодное дело. Решающую роль сыграло знакомство Лемуара с электротехникой. Ему пришла в голову мысль, что газовую смесь можно взрывать от разряда искры без применения огня или раскаленных поверхностей. И он приступил к обдумыванию двигателя, в котором можно было бы реализовать эту идею. Для постройки двигателя нужна была производственная база, и он сумел заинтересовать своего хозяина. Лемуар был самоучкой, но, может быть, он знал о работах Ньепсов, Лебона и других. Во всяком случае, вначале он копировал паровую машину (рис. 11). Лемуар, однако, понимал, что при сгорании

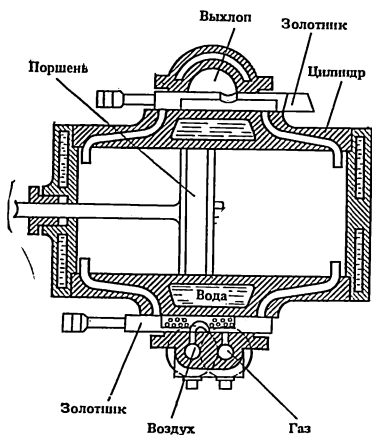


Рис. 11. Двигатель Лемуара

топлива цилиндр будет нагреваться, и предусмотрел его водяное охлаждение. Машина была двойного действия с золотниковым распределением рабочего тела: нижний золотник обеспечивал поочередную подачу воздуха и газа в полости цилиндра, расположенные по разные стороны поршня, а верхний золотник обеспечивал поочередный выпуск отработавших продуктов сгора-

ния из этих полостей. Ленуар принял меры, чтобы газ и воздух до попадания в цилиндр не смешивались (к золотнику они подводились по отдельным каналам). Всаживание смеси происходило примерно до половины хода, после чего золотник перекрывал впускное окно и смесь воспламенялась искрой. Давление сгоревшей смеси возрастало и действовало на поршень, производя работу расширения. После окончания расширения второй золотник соединял цилиндр с выхлопной трубой и поршень вытеснял отработавшие газы. Цикл замыкался.

Первая машина Ленуара была построена через восемь месяцев после получения патента. Во время первых ее пусков возник целый ряд неожиданных препятствий. После того как компаньонам удалось изготовить все детали и собрать машину, они решили ее запустить. Начали вручную вращать ее вал и ждать появления вспышек в цилиндре, но их не было слышно. Компаньоны теряли надежду, но вдруг через некоторое время вал начал медленно вращаться. Машина работала почти бесшумно. Не имея опыта, Ленуар не рассчитал охлаждение, и поршень заклинило почти сразу же. Пришлось машину восстанавливать и усовершенствовать. При второй попытке поршень покорило. Опять не хватило охлаждения и смазки. И только третья машина заработала. Первые же опыты на ней были признаны удовлетворительными, хотя во время опытов двигатель дважды останавливался из-за пропусков зажигания, но затем самопроизвольно запускался, и частота вращения колебалась в довольно широких пределах (от 102 до 140 об/мин). Мощность двигателя была чуть больше 0,5 л. с. при диаметре цилиндра 120 мм и ходе поршня 100 мм.

Едва получив удовлетворительные результаты, Ленуар и его компаньон увлеклись коммерческой стороной своего предприятия и широко разрекламировали новый двигатель. Многочисленные статьи, публиковавшиеся в газетах, рассказывали о новом двигателе, сильно преувеличивая его достоинства и предвещая конец паровой машине. Это на первых порах очень способствовало обогащению компаньонов: были получены сразу три заказа на изготовление двигателя. Мощность первого из них составляла 1 л. с., диаметр поршня 75 мм, ход поршня 140 мм, двигатель не имел водяной рубашки. Два следующих двигателя имели значительно большие размеры и были снабжены водяным охлаждением. Слабым местом

был выпускной золотник. Никак не удавалось наладить его смазку, и при высокой температуре выпускных газов (доходившей до 800°C) его заклинивало.

Реклама, устроенная Лемуаром, начала приносить неприятности. Двигатель не оправдывал ожидания. Его КПД оказался ниже, чем у паровых машин, — чуть более 3%, он требовал огромного количества смазки. Из-за преувеличенной рекламы двигатели казались хуже, чем они были в самом деле. Но несмотря на атмосферу недоверия, двигатели Лемуара продолжали покупать мелкие предприятия, располагавшие возможностью получать светильный газ, например типографии, ремонтные мастерские, для которых паровые машины были слишком громоздки и дороги.

Сразу же после появления двигателя на рынке вокруг вопроса о правомерности выдачи патента Лемуару возникли споры. Директор парижской газовой компании Гюгон оспорил патент Лемуара на основании собственного патента от 11 сентября 1858 г., т.е. выданного на два года раньше, чем патент Лемуара. Двигатель Лемуара действительно был похож на проект Гюгона, но подробный анализ показывает, что основания для оспаривания патента Лемуара у Гюгона невелики, и Лемуар сохранил свой патент. Если Лемуар принимал все меры к тому, чтобы газ и воздух до поступления в цилиндр не смешивались, то у Гюгона, наоборот, предусматривалось их предварительное смешивание. Воспламенение у Гюгона было не от искры, а от газовой горелки. Чтобы понизить температуру газов, Гюгон применил впрыск воды в газозоодушную смесь. Кроме того, золотник у него был один. Свой двигатель Гюгон построил на два года позже Лемуара и затем выпускал двигатели на продажу, но они оказались менее удобными в эксплуатации, чем двигатели Лемуара.

Однако творческие достижения Лемуара оценивались его современниками невысоко. Отмечалось, что были известны и поршень двойного действия, и зажигание от искры. Считалось, что лично ему принадлежит только идея всасывания воздуха и светильного газа отдельно.

Частично они были правы, поскольку созданию каждого крупного изобретения обычно предшествуют другие важные изобретения, естественно, были предшественники и у Лемуара. Например, посетители мастерской придворного часовщика из Мюнхена Кристиана Рейтмана

доказывали, что у него в мастерской газовый двигатель работает с 1852 г. Но о патенте Рейтмана достоверных сведений нет. Лемуару же принадлежит заслуга внедрения газовых двигателей внутреннего сгорания в эксплуатацию и привлечения к ним внимания технических кругов.

На Всемирной выставке в Париже 1864 г. машина Лемуара получила первое место. К этому времени было уже изготовлено около 300 его двигателей, причем не только во Франции. Их производили и в Англии. Затем Лемуар строит ботик со своим двигателем и после удачных испытаний на Сене продает это судно компании, поддерживающей сообщение между Парижем и Шарантоном.

Увлеченный коммерческой стороной своей деятельности, Лемуар не работал над усовершенствованием двигателя, он не учел возможности появления конкурентов. Это его и погубило. В 1867 г. на рынке появляются значительно более экономичные ДВС, и спрос на двигатели Лемуара сразу падает.

Таким образом, недалекость Лемуара привела к тому, что он потерял рынок. На новые разработки Лемуар оказался не способен.

### **ДВИГАТЕЛЬ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ ОБРЕТАЕТ СВОИ ФОРМЫ**

На Всемирной выставке в Париже 1867 г. немецкий коммерсант Н. Отто представил новый газовый двигатель, который он создал в содружестве с инженером Э. Лангеном.

Николаус Август Отто родился в 1832 г. После окончания реального училища с 1848 г. занимался коммерческой деятельностью в Кельне.

Предполагают, что Отто был плохим коммерсантом, если его заинтересовали газовые двигатели, сообщениями о которых были заполнены все газеты. Неизвестно, каким он был коммерсантом, но механиком Отто был от природы. Ознакомившись с двигателем Лемуара, Отто, естественно, пришел к выводу, что двигатель был бы вдвое эффективнее, если бы для совершения полезной работы использовалась не половина, а весь ход поршня. Но как же заполнить цилиндр горючей смесью, если ее не всасывать? И Отто решил, что после завершения вса-

сывания нужно вращением маховика в противоположном направлении вернуть поршень в исходное положение (к началу хода). Но поскольку при этом всосанная смесь сжимается, Отто приступает к опытам с воспламенением сжатой смеси. В 1861—1862 гг. он проводит серию экспериментов на маленьком двигателе и получает поразивший его результат: вспышка настолько сильна, что кривошип долго сохраняет высокую скорость. Каждое повторение опыта давало тот же результат, несмотря на то что перед этим двигатель работал еле-еле.

Сильные удары при вспышке нужно было компенсировать, и Отто попытался смягчить их с помощью воздушного буфера, который он размещал между поршнем и кривошипом. Но, как и следовало ожидать, это не помогло. Не располагая ни достаточными знаниями, ни материальными ресурсами, ни опытом, чтобы справиться с возникшими трудностями, Отто ищет способ использовать весь ход поршня без сжатия смеси. Для этого он обращается к идеям Барзанти и Матеукки. Ждать, как они, пока остынут продукты сгорания под поршнем, Отто, естественно, считает нецелесообразным и находит иное решение.

Как коммерсант Отто в первую очередь заботится о патенте. Но в Германии того времени единого патента не существовало, следовало получать патенты в каждом из множества самостоятельных германских государств. Интересно, что в Пруссии ему патент не выдали, мотивируя тем, что предложение не вносит никаких изменений в рабочий процесс, применявшийся другими изобретениями атмосферных машин. Вместе с тем к началу 1864 г. Отто получил патенты почти во всех странах Европы.

Теперь Отто располагает патентами, но по-прежнему не располагает ни средствами, ни материальной базой для организации производства запатентованного двигателя и поэтому ищет себе подходящего компаньона. Им оказался молодой инженер Эйген Ланген, уже снискавший славу талантливого конструктора. Он почти ровесник Отто. Отец Лангена — пайщик рафинадного завода в Кельне, а он сам — директор этого завода. Ко времени знакомства с Отто Ланген был уже известен как изобретатель колосниковой решетки и автор многих усовершенствований в технологии производства.

13 марта 1864 г. Ланген и Отто заключили договор о создании предприятия «Отто и К<sup>о</sup>», согласно которому

Ланген обязывался внести в дело деньги и руководить предприятием, а Отто вносил патенты, инструменты и станки из своей мастерской.

В небольшой мастерской закипела работа, но только через два года удалось совместными усилиями преодолеть главную трудность — обеспечить передачу движения от поршня к валу.

На первый взгляд двигатель Отто — Лангена представлял собой шаг назад по сравнению с двигателем Лемуара. Цилиндр был вертикальным, вдоль оси поршня к нему была прикреплена рейка, связанная с валом отбора мощности. Двигатель работал следующим образом. Вращением вала поршень поднимался со дна цилиндра на одну десятую долю высоты цилиндра, в результате чего под поршнем создавалось разрежение и происходило всасывание смеси. Затем смесь воспламенялась. Ни Отто, ни Ланген не владели достаточными знаниями в области электротехники и отказались от электрического зажигания. Воспламенение они осуществляли открытым пламенем через трубку. При взрыве смеси давление под поршнем возрастало примерно до 4 атм. Под действием этого давления поршень поднимался, объем увеличивался и давление падало. При подъеме поршня механизм отсоединял рейку от вала и поршень сначала под давлением газов, а затем по инерции поднимался до тех пор, пока под ним не создавалось разрежение. В этом и заключалась оригинальность решения Отто.

Он не охлаждал газы под поршнем, как делали Барзанти и Матеукки, а использовал для получения разрежения инерцию поршня. Таким образом, масса поршня в этом двигателе играла немаловажную роль.

Общий вид двигателя показан на рис. 12. Рабочий ход начинался под действием атмосферного давления, и после того как давление в цилиндре повышалось до атмосферного, открывался выпускной клапан и поршень своей массой вытеснял отработавшие газы. Из-за полного расширения продуктов сгорания кпд этого двигателя был в 4—5 раз выше, чем кпд двигателя Лемуара, и достигал на отдельных режимах 15%, т. е. превосходил кпд самых лучших паровых машин.

Наиболее сложной проблемой было создание механизма передачи движения рейки на вал отбора мощности. Храповой механизм, который применяли Барзанти и Матеукки, не выдерживал и ломался. Здесь, по-види-

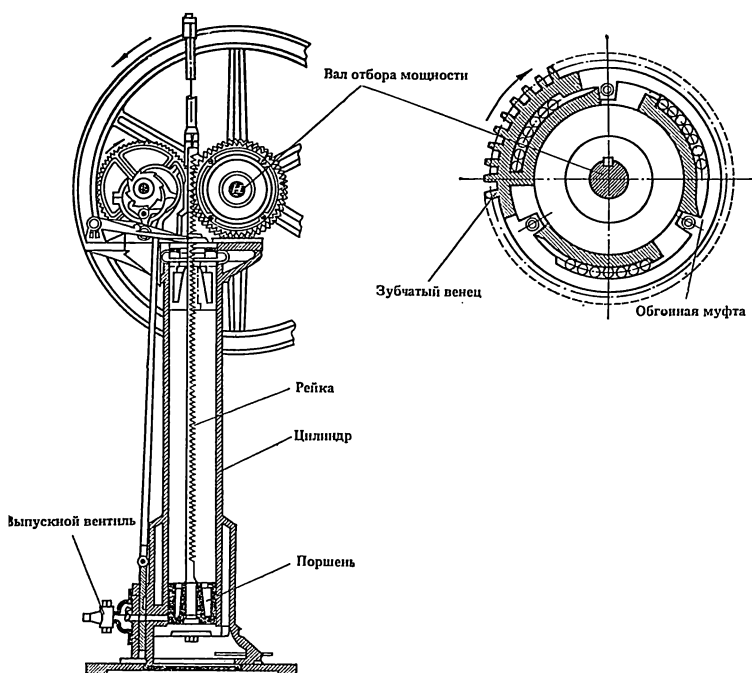


Рис. 12. Атмосферный двигатель Отто—Лангена

мому, решающую роль сыграли инженерные знания и изобретательность Лангена. Вероятнее всего, именно он изобрел для нового двигателя оригинальную шариковую обгонную муфту, которая и обеспечила жизнеспособность двигателя (на рис. 12 показана отдельно).

Благодаря высокой экономичности двигателя Отто—Лангена сразу стали пользоваться большим спросом, их было выпущено более 5 тыс. общей мощностью около 6 тыс. л. с., и многие из них эксплуатировались еще в начале нашего века. В январе 1872 г. на базе предприятия создается акционерное общество «Газомоторная фабрика Отто — Дейтц».

Но работа двигателя сопровождалась шумом, его сравнивали с кузницей. Значительным недостатком считалась также большая высота двигателя, например, для двигателя мощностью 1,5 л. с. требовалась высота помещения не менее 3,5 м. Устрашал вид взлетающей зубчатой рейки и смущал дребезжащий грохот передачи.

Эти недостатки не могли не беспокоить создателей двигателя, не оставляла их также мысль о предварительном сжатии смеси, давшем столь поразительные результаты опытов. К тому же в распоряжении Отто теперь были возможности газомоторной фабрики. Он ищет выход. А что, если соединить поршень с кривошипно-шатунным механизмом? Но как тогда осуществить всасывание? И Отто решает производить всасывание на всей длине хода поршня, а при обратном ходе смесь сжимать. Теперь для совершения работы можно использовать не разрежение в цилиндре, а наоборот, давление продуктов сгорания, вследствие чего поршень не должен быть массивным. Решались и вопросы плавности хода. Но главной проблемой оставалось преодоление трудностей, связанных с резким нарастанием давления после воспламенения сжатой смеси.

Когда через десять лет, в 1878 г., в Париже открылась очередная всемирная выставка, на ней было представлено несколько модификаций нового двигателя Отто. Наличие нескольких модификаций свидетельствовало о том, что работа над двигателем еще не завершена. Но все модификации отличались от своего предшественника спокойным, плавным ходом, компактностью и большой мощностью, т. е. обладали теми качествами, благодаря которым двигатели внутреннего сгорания получили всемирное распространение.

И достигнуты были эти качества благодаря тому, что в двигателе был реализован цикл, который впоследствии получил название четырехтактного и который был изложен Отто в его патенте № 532 по заявке, поданной им в патентное ведомство Германии 4 августа 1877 года.

Содержание этой заявки свидетельствует об ошибочных взглядах Отто на характер процессов, протекавших в цилиндре. Он считал, что заряд в цилиндре располагается слоями: непосредственно перед поршнем слой невзрывчатых продуктов сгорания, затем слой поступившего в начале всасывания чистого воздуха и затем слой газовой смеси. Отто считал, что четкой границы между слоями нет, но порядок размещения слоев сохраняется. В результате этого, по его мнению, сгорание происходит замедленно, что обеспечивает плавность хода машины.

Действительно, в первых двигателях Отто сгорание



происходило с догоранием смеси в процессе расширения, о чем свидетельствовали индикаторные диаграммы, которые демонстрировал Ланген в 1886 г. в Рейнском отделении Общества германских инженеров. Но, как было затем неоднократно установлено, такой характер сгорания свойствен всякой плохо перемешанной смеси.

Свои представления о факторах, влияющих на характер процесса сгорания, Отто изложил в первом пункте формулы изобретения по патенту № 532. Она состояла из пяти пунктов, четыре из которых охраняли способ работы.

Первый пункт гласил: «В закрытом пространстве смесь горючего газа с воздухом и новый слой воздуха смешивают таким образом, чтобы сгорание, возникшее в одном пункте, распространялось, замедляясь от одной частицы к другой, продукты сгорания и окружающий их слой воздуха расширялись бы вследствие полученного тепла и таким образом отдавали бы свою движущую силу». Два последующих пункта распространялись на всасывание газа из атмосферы и нагнетание его под давлением больше атмосферного. Четвертый пункт содержал притязания, вызвавшие впоследствии наибольшие споры. Он защищал «такой способ работы поршня в цилиндре газового двигателя с передачей кривошипом и шатуном, при котором за два оборота кривошипа по одну и ту же сторону поршня совершаются следующие процессы: а) всасывание газовой смеси в цилиндр; в) сжатие; с) сгорание и совершение работы; d) выпуск из цилиндра». А пятый, последний пункт формулы защищал «Конструкцию двигателя, которая описана».

Что же это была за конструкция? В отличие от «атмосферного Отто» цилиндр был горизонтальным и удлиненным. Между поршнем и крышкой цилиндра оставался достаточно большой зазор для организации камеры сгорания. После вытеснения продуктов сгорания этот зазор оставался заполненным остаточными газами. В крышке было предусмотрено два впускных канала (один для воздуха, другой для газа).

Во время хода всасывания открывался сначала канал для воздуха и только через некоторое время газовый, благодаря чему в цилиндр раньше поступал чистый воздух, а уже затем газозоудушная смесь. Такое устройство и должно было, по замыслу, обеспечить послойное размещение заряда в цилиндре. Воспламенение произ-

водилось открытым пламенем в канале подачи газа между органом его перекрытия и цилиндром. К этому моменту на ходе сжатия здесь образовывалась богатая газозовоздушная смесь. Можно сказать, что это был прообраз форкамерно-факельного воспламенения. Интересно решался вопрос регулирования. Оно осуществлялось пропусками подачи газа. Всасывающий клапан был автоматическим, выхлопной — управляемым в виде плоского вращающегося золотника.

Правда, в этом двигателе расширение газов до атмосферного давления осуществить не удалось, и по этим обстоятельствам кпд двигателя был ненамного выше, чем у предыдущей модели, но был самым высоким для тепловых двигателей того времени.

Патент охранял монопольное право газомоторной фабрики в Дейце на изготовление и продажу таких двигателей, что не устраивало многих. Немедленно начались поиски оснований для аннулирования патента. Надо сказать, что Отто был не первым, кто предлагал четырехтактный цикл. Так, у того же часовщика Рейтмана в мастерской работал четырехтактный двигатель, который он построил для себя в 1873 г. Эта машина служила Рейтману для привода сверлильных и фрезерных станков и изумляла посетителей своим оригинальным видом и спокойным ходом. Но изобретатель не пытался ее патентовать и не публиковал о ней никаких сведений, поэтому ее трудно было использовать для опротестования патента № 532. И тогда была использована небольшая брошюра под названием «Новейшие исследования относительно практических условий применения теплоты», которую в 1861 г. написал инженер французской железной дороги А. Бо де Роша. Брошюра была издана литографически в количестве трехсот экземпляров без указания имен автора и издателя. Автор значился на обложке, написанной от руки. По-видимому, брошюра не предназначалась для широкого круга читателей. В ней были описаны все четыре такта, образующие замкнутый цикл, реализованный в двигателе Отто: всасывание горючей смеси, сжатие, воспламенение смеси и расширение продуктов сгорания, вытеснение отработавших газов. Характерно, что сам А. Бо де Роша патента на двигатель не получил, хотя, как известно, 1 января 1862 г. подавал заявку на патент; он не делал также попыток построить свой двигатель. Он даже не доказывал своего

приоритета при появлении двигателя Отто (Бо де Роша умер в 1892 г.). За него это сделали другие. Против патента Отто в Высшем королевском суде Пруссии выступила фирма «Братья Кертинг» и группа французских промышленников.

На самом деле для оспаривания этого патента были и другие основания. Например, предварительное сжатие предусматривал еще Лебон в 1801 г., затем в 1838 г. предварительное сжатие применял Бернет. Сжатие газов перед подводом тепла предусматривал также С. Карно. Но вспомни́м, что и сам Отто применял сжатие смеси еще в 1861—1862 гг.

Судебное разбирательство было очень долгим. Требовалось учесть все аспекты, но после четырехлетнего процесса решением суда от 4 августа 1884 г. права Отто по патенту № 532 были значительно сокращены. Было аннулировано его монопольное право на способ, за ним закреплялось право только на разработанную им конструкцию.

Решение суда сильно подействовало на Отто. Несмотря на то что ему было всего 53 года, он начал постепенно отходить от дел. Получалось так, что на каждый двигатель, реализующий четырехтактный цикл, но отличающийся по конструкции, можно было получить независимый патент. Это казалось создателю первого четырехтактного двигателя крахом. Между тем дела обстояли не так уж плохо. Еще до аннулирования патента фабрика наладила выпуск двигателей мощностью 30 и 50 л. с. Около 1,5 тыс. двигателей работало в типографиях и 400 — на других объектах: насосных станциях, подъемных сооружениях портов и т. д. Аннулирование патента подорвало монопольное положение фабрики, но за ней было солидное прошлое, большой производственный опыт и отработанная конструкция. Количество заказов не уменьшалось, и фабрика процветала.

В 1889 г. праздновалась четверть века создания первой машины Отто-Лангена, и старинный Баварский университет в Вюрцбурге присудил Отто звание доктора «Гонорис кауза».

В 1890 г. Общество германских инженеров, желая воздать должное заслугам своего соотечественника, назначило годовой съезд в Кельне, чтобы чествовать изобретателя. Но за месяц до съезда Отто умер в том же Кельне в январе 1891 г.

Несмотря на то что Отто не был изобретателем четырехтактного цикла, следует все-таки признать, что он первым создал двигатель, реализующий этот цикл, и именно ему в содружестве с Лангеном удалось разработать такой двигатель, который и теперь, более чем через сто лет, занимает главенствующие позиции во многих сферах.

Сразу после ограничения прав по патенту Отто его двигатели стали строить многие предприятия в разных странах. Начали проводиться работы по увеличению мощности газовых двигателей. Уже в 1889 г. были созданы одноцилиндровые двигатели мощностью 100 л. с.

Газомоторная фабрика Дейтца начала выпускать двух- и четырехцилиндровые газовые двигатели мощностью до 1000 л. с.

Но наряду с преимуществами двигателя Отто имели очень существенный недостаток: в качестве топлива годился только светильный газ — продукт сухой перегонки каменного угля. Причем, как это ни звучит парадоксально, получаемый в результате этого процесса кокс приходилось продавать как отход производства. Количество светильно-газовых заводов было весьма мало. Например, в России такие заводы были только в Петербурге, Москве и Варшаве. Поэтому уже в начале 80-х гг. был построен газогенератор, работающий тоже на каменном угле, но позволяющий обходиться без светильно-газовых заводов. Широким фронтом развернулись работы по использованию доменного газа. На Парижской выставке 1900 г. был выставлен одноцилиндровый двигатель мощностью 700 л. с. при 80 об/мин. Он работал на доменном газе и имел необычно большие по тому времени размеры: диаметр цилиндра — 1300 мм и ход поршня — 1400 мм. К началу XIX в. строились двухцилиндровые газогенераторные двигатели мощностью до 500 л. с. Но двигатели внутреннего сгорания нуждались в новом виде топлива.

### **СВЕТИЛЬНЫЙ ГАЗ УСТУПАЕТ МЕСТО БЕНЗИНУ**

Успешные опыты по замене светильного газа другими продуктами газификации вызвали желание попробовать применить пары жидкого топлива. Еще в 1873 г. американец Брайтон из Филадельфии пытался исполь-

зовать керосин. Но керосин плохо испаряется, и он перешел на бензин. Он же изобрел для своего двигателя первый испарительный карбюратор. Важно, что горение у Брайтона происходило при постоянном давлении.

В 1892 г. фирма «Горнсби и сыновья» построила двигатель Горнсби-Акройд, работавший на нефти. В этом двигателе сжимался чистый воздух, а затем большая его часть вытеснялась в особую неохлажденную камеру. Топливо (нефть) впрыскивалось в ту же камеру и вначале испарялось, а затем воспламенялось от раскаленных поверхностей камеры. Перед пуском двигателя поверхность камеры накаливали паяльной лампой.

На всемирной выставке 1893 г. в Чикаго был удостоен высшей награды образец двигателя Первого русского завода керосиновых и газовых двигателей, в котором керосин подтекал к испарителю самотеком и воспламенялся с помощью металлической (не фарфоровой) трубочки. На Всероссийской выставке 1896 г. в Нижнем Новгороде машиностроительный завод братьев Бромлей в Москве (ныне «Красный пролетарий») демонстрировал керосиновый двигатель с испарителем и воспламенителем шарообразной формы (так называемым калоризатором).

Но бензин удобнее — он легче испаряется. Первый бензиновый двигатель построен в России в 1884 г. моряком русского флота Игнатием Стефановичем Костовичем для дирижабля, полет которого не состоялся из-за пожара на строительной верфи.

Этот двигатель имел восемь цилиндров диаметром 120 мм при ходе поршня 240 мм. Каждые два цилиндра лежали на одной оси и имели общую камеру сгорания. Поршни в цилиндрах одной пары были связаны с одним и тем же кривошипом коленчатого вала при помощи качающихся балансиров.

Цилиндры и клапанные коробки выполнялись из бронзы, цилиндры охлаждались, а клапанные коробки нет.

Точных данных о мощности и частоте вращения вала двигателя нет. По оценкам специалистов, он развивал 50 л. с. при 300 об/мин.

Карбюратор этого двигателя, к сожалению, не сохранился, и его устройство неизвестно.

Импульсом для развития бензиновых двигателей послужило стремление использовать их на автомобиле.

Решающий вклад в создание автомобильного бензинового двигателя традиционно приписывают немецким инженерам Г. Даймлеру и В. Майбаху.

Юлиус Готлиб Даймлер окончил в 1859 г. политехникум, после чего, для того чтобы лучше ознакомиться с производством, на короткое время нанимался на работу на заводы в Германии, Англии и Франции. Даймлер находился в Париже, когда Ленуар построил свой двигатель. В 1862 г. он побывал на Международной лондонской выставке. В начале 70-х гг., когда в Дейтце была основана газомоторная фабрика, Даймлер был приглашен на должность управляющего производством. Позже он пригласил на должность руководителя конструкторского отдела Вильгельма Майбаха, которого знал по совместной работе на машиностроительном предприятии в городе Рейтлингене.

Майбах родился в 1846 г. в семье столяра и воспитывался в братском доме как сирота. С пятнадцати лет он пошел на машиностроительный завод и, работая в техническом бюро в качестве чертежника, усиленно занимался самообразованием. Здесь его и заметил Даймлер, состоявший членом правления. Даймлер не ошибся в выборе. Интересно, что в конце своей жизни Майбах успешно сотрудничал с изобретателем дирижабля Цеппе-лином.

Опыт работы с ДВС вызывал у Даймлера, как и у многих, желание использовать его для передвижения экипажей. Но ему было ясно, что в первую очередь нужно избавиться от газогенератора. И этого мало. Нужно максимально облегчить двигатель. Заинтересовать Отто и Лангена этой проблемой ему не удавалось, новые работы требовали новых затрат, и благополучный результат не был гарантирован, а проверенные, отработанные газовые двигатели надежно приносили немалый доход.

Даймлер со своим другом в 1882 г. уходит с газомоторной фабрики Отто—Дейтц, и они приобретают небольшую мастерскую близ Штутгарта.

Работа над созданием автомобильного двигателя показала, что простое использование опыта, накопившегося при конструировании стационарных газовых двигателей, не позволяло удовлетворить такие требования, как малая масса и габариты, необходимые для того, чтобы возимый запас горючего мог обеспечить достаточно большой радиус действия. Вначале Даймлер работает над

созданием двухтактного автомобильного двигателя (изобретателем двухтактного двигателя считается англичанин Дуглас Кларк, 1878 г.). Теоретически этот двигатель должен быть в 2 раза мощнее четырехтактного, так как в последнем на один рабочий такт приходится три подготовительных, а в двухтактном — только один. У такого двигателя после завершения расширения продуктов сгорания открывают органы выпуска отработавших газов из цилиндра, и в конце их истечения через впускные окна начинают нагнетать в цилиндр воздух. Этот воздух, частично смешиваясь с отработавшими газами, вытесняет их и заполняет пространство цилиндра. После этого осуществляется такт сжатия. Первым такой двигатель продемонстрировал на выставке 1902 г. в Дюссельдорфе В. Эхельгейзер (Германия). Несмотря на то что теоретически мощность двухтактных двигателей должна была быть в 2 раза выше, практическое увеличение мощности оказалось меньше.

Э. Кертинг (Германия) на той же выставке 1902 г. демонстрирует двухтактный двигатель двойного действия. Мощность этого двигателя была почти в 4 раза выше мощности четырехтактного двигателя.

Некоторые фирмы тут же на выставке приобрели лицензии двигателей Кертинга.

Однако создание двухтактного двигателя было связано с определенными трудностями. С самого начала возникла проблема: как освободить цилиндр от отработавших газов и избежать утечки свежей топливовоздушной смеси. В принципе это можно осуществить тремя путями: вытеснять газы при помощи рабочего поршня, применить вспомогательный поршень-вытеснитель или вытеснять газы поступающей свежей смесью. Первые два способа требуют очень сложных приспособлений. Третий путь проще. Но при этом на повестку дня встала проблема продувки, над которой безуспешно работали в течение нескольких десятилетий.

Надежды Даймлера на двухтактный двигатель не оправдывались.

Большой эффект могло дать повышение частоты вращения. Но этот путь упирался в проблему обеспечения требуемой частоты воспламенения смеси.

Даймлер нашел выход из положения. Он предложил (патент Германии № 28022 за 1883 г.) производить воспламенение смеси от раскаленной полый трубочки, от-

крытой в цилиндр. Подобная трубочка применялась и раньше газомоторной фабрикой Дейтц, но она была снабжена специальным распределительным краном, соединяющим ее полость с цилиндром в нужный момент. Даймлеру удалось установить, что распределительный кран не обязателен, поскольку при правильно подобранной степени сжатия воспламенение смеси от трубочки происходит всегда в верхней мертвой точке поршня. Это позволило повысить частоту вращения вала двигателя почти в 5 раз.

Автомобильный двигатель, построенный Даймлером и Майбахом, развивал частоту 900 об/мин и мощность 0,5 л. с. при объеме цилиндра 250 см<sup>3</sup>, был фантастически легкий по тем временам. Это был первый автомобильный двигатель — предок всех современных моторов.

Частота, достигнутая Даймлером, оказалась далеко не предельной. Уже двадцать лет спустя автомобильные двигатели развивали частоту 1200 об/мин, а к 1914 г. она возросла еще в 1,5 раза.

Повышение частоты требовало решения и других проблем. На первых двигателях применялись так называемые автоматические впускные клапаны. В момент впуска в цилиндре возникало разрежение и клапаны, преодолевая сопротивление пружины, открывались. Как только поршень достигал нижней мертвой точки и начиналось сжатие, клапаны закрывались. Такие клапаны не требовали механизма газораспределения, но обладали существенным недостатком: они открывались с запаздыванием. С повышением частоты это запаздывание возрастало до 15—20° поворота коленчатого вала, в результате чего ухудшалось заполнение цилиндров свежей смесью. Пришлось применить клапаны с управлением от распределительного вала. С 1905 г. выпуск двигателей с автоматическими клапанами практически прекратился.

Автомобильные двигатели Даймлера и Майбаха были бензиновыми, но они мало отличались от газовых, так как еще не были изобретены современные карбюраторы. Чаще всего бензин испаряли в специальных испарителях теплом охлаждающей воды или отработавших газов, а затем пары бензина смешивали с воздухом, подобно смешиванию воздуха с газом. По аналогии с керосиновыми лампами применяли фитили для насыщения воздуха парами бензина. Предлагался «взбалтывающий» карбюратор.



Настоящую революцию в автомобильном двигателестроении вызвало изобретение распыливающих (пульверизационных) карбюраторов. Есть мнение, что первый карбюратор создал выдающийся венгерский ученый, инженер и изобретатель Донат Банки.

Донат Банки родился в 1859 г. в семье фельдшера. В 1881 г. окончил Будапештский технический университет и в течение многих лет работал в промышленности. В 1899 г. Банки стал профессором Будапештского университета, а в 1911 г. был избран членом-корреспондентом Венгерской академии наук. Он широко известен своими основополагающими трудами по гидравлике. Венцом его работ является создание гидравлической турбины, носящей его имя. Однако выдающаяся роль Д. Банки в развитии ДВС стала ясна только в наше время. Этому в немалой степени содействовали работы советского исследователя творчества Банки профессора А. А. Шейпака.

В 1879 г., еще будучи студентом, Банки опубликовал свою первую статью по теории ДВС и затем в течение многих лет уделял этому вопросу большое внимание. Совместно со своим другом, главой учебных мастерских технического университета Яношем Чонка, он сделал ряд изобретений, защищенных патентами. Среди них самое выдающееся — распыливающий карбюратор. На это изобретение Банки и Чонка получили 18 октября 1893 г. патент под названием «Усовершенствование бензиновых моторов». Идея этого карбюратора заключается в том, что если бензин достаточно мелко распылить в воздухе, то это обеспечит его равномерное распределение между цилиндрами, а испарение произойдет в цилиндрах под действием тепла сжатия. Для обеспечения распыливания Банки предложил всасывать бензин в поток воздуха через дозирующий жиклер, а для постоянства состава смеси предложил поддерживать перед жиклером постоянный уровень столба бензина. Жиклер выполнялся в виде бокового отверстия (или отверстий) в трубке, расположенной перпендикулярно к потоку, а для поддержания напора был предусмотрен маленький бачок с поплавком, который сохранял уровень на заданной высоте (поплавковая камера). Количество всасываемого бензина, если пренебречь некоторыми факторами, пропорционально количеству всасываемого воздуха. Банки предложил методику расчета простейшего карбюратора,

являющуюся классической задачей, которая неизменно включается в учебники и задачники по машиностроительной гидравлике.

Описание карбюратора Банки—Чонка появилось задолго до выдачи ему патента (11 февраля 1893 г.). А 17 августа 1893 г. Майбах получил французский патент на сходное устройство. Поскольку патент Майбаху был выдан раньше, это послужило поводом для долгих патентных тяжб, в связи с чем фамилию изобретателя карбюратора обычно не указывают.

Банки первым предложил добавлять воду к топливовоздушной смеси карбюраторного двигателя для повышения степени сжатия без появления детонационного горения и в 1898 г. получил на это патенты в разных странах. В фондах Всесоюзной патентно-технической библиотеки (ВПТБ) хранится привилегия (патент) № 6610, выданная в России 30 мая 1902 г. иностранцу Д. Банки из Будапешта по его заявке от 26 мая 1898 г. Предмет этой привилегии (формула изобретения) изложен в следующей редакции: «Приспособление для введения воды в тонко распыленном виде в смеси с воздухом и горючим материалом для предотвращения раннего воспламенения в двигателях с высоким сжатием, характеризующееся применением двух распылительных аппаратов, расположенных один за другим или один внутри другого, из которых в один впускается вода, а в другой — жидкий горючий материал или газ».

К сожалению, изобретения в области двигателей внутреннего сгорания не принесли финансового успеха Банки, Чонка и фирме Ганц — владельцу их патентов (кстати, эта фирма построила несколько бензиновых двигателей с впрыском воды, которые успешно эксплуатировались).

Созданный в конце XIX в. бензиновый двигатель претерпел, естественно, много изменений.

В начале действовал принцип «чем больше, тем лучше». Первые двигатели, часто маломощные, имели рабочий объем цилиндров до 1 л. Затем рабочий объем вырос до 8—10 л при мощности 60—80 л.с. Но все увеличивающиеся в размере цилиндры требовали более тяжелых поршней, шатунов и более тяжелого коленчатого вала. При частоте вращения 1200 об/мин и выше это приводило к большим динамическим нагрузкам. Возрастал износ деталей, двигатели часто выходили из строя.

Увеличение мощности за счет увеличения размера цилиндра выявило наличие определенных пределов.

Стали увеличивать число цилиндров. Самые первые двигатели были одноцилиндровыми, реже двухцилиндровыми. Но уже в конце XIX в. проводились опыты и с тремя цилиндрами. После 1900 г. получили распространение четырехцилиндровые двигатели. Казалось, применять четырехтактный цикл выгоднее всего в четырехцилиндровом двигателе, тем более что на практике удалось добиться равномерности крутящего момента по сравнению с одно- и двухцилиндровыми конструкциями. Увеличение числа цилиндров позволило уменьшить их диаметр и динамические нагрузки. Удалось сократить ход поршня, что дополнительно снизило инерционные силы.

До 1914 г. большинство конструкторов оставались приверженцами четырехцилиндрового двигателя. Рост мощности происходил в основном за счет увеличения рабочих объемов цилиндров до 2 л. Повышалась частота вращения, и в 1914 г. ее максимальное значение составляло 2000 об/мин.

Совершенствование двигателей шло в тесном взаимодействии с совершенствованием производства. До начала XX столетия коленчатый вал изготавливался из поковки с последующей механической обработкой и шлифовкой шеек. В 1910 г. Г. Форд применил литой вал. Это дешевле и точнее, но требует высокого качества литья и наличия прочных чугунов, а кроме того, не обеспечивает такой прочности материала, какковка. Но при ковке велики отходы. Выход из положения был найден путем применения горячей штамповки.

Для первых бензиновых двигателей цилиндры отливались отдельно от картера и заодно с головкой. Это обеспечивало герметичность камеры сгорания. Но в процессе обработки внутренней поверхности цилиндра такой конструкции на сверлильно-расточном станке сверло не имело опоры, вследствие чего снижались точность изготовления и качество поверхности. Положение было исправлено применением медно-асбестовой прокладки, благодаря чему головки стали изготавливать отдельно. Появилась возможность отливать цилиндры целыми блоками.

Технология обработки и качество материала неразрывно связаны с конструкцией двигателя. Например, увеличив частоту вращения коленчатого вала, пришлось

уменьшить массу поршня. На смену чугунным поршням пришли стальные, более тонкостенные. Но они обладали низкой теплопроводностью, и стенки цилиндров быстро изнашивались. Возникла идея применять алюминий, но он был в то время не только дорогим, но и редким металлом, поэтому чистый алюминий заменили его сплавы. Появились поршневые кольца, исключаящие влияние увеличения диаметра поршня под действием высокой температуры на износ цилиндра.

То есть современный бензиновый двигатель похож на своего предка (на светильногазовый двигатель) лишь внешне, поскольку отличается от него по многим важным показателям.

### **ПРЕКРАСНЫЙ ЗАМЫСЕЛ И ЕГО НЕОЖИДАННОЕ ВОПЛОЩЕНИЕ**

О технологии творчества многих изобретателей можно только догадываться, а в творческую лабораторию автора одного из самых крупных изобретений Рудольфа Дизеля позволяет проникнуть прекрасная книга «Рудольф Дизель. Его жизнь и деятельность. Биографический очерк», изданная в 1934 г., автор которой Л. И. Гумилевский использовал не только документы, но и личные впечатления многих лиц, знавших Дизеля и работавших с ним, воспоминания его родственников.

Рудольф Дизель родился в 1858 г. в Париже в семье переплетчика. Когда ему исполнилось 12 лет, семья Дизелей выехала в Англию, а через год Рудольфа отправляют в Германию к его дяде, тоже переплетчику, по имени Рудольф, проживавшему в Аугсбурге. Осенью 1873 г. он впервые пошел в Аугсбургскую политехническую школу (политехникум), а весной 1875 г. был зачислен в Мюнхенскую высшую техническую школу, где ему была установлена стипендия 500 гульденов.

Его учителями в этой школе были два выдающихся теплотехника: профессор К. Линде, знаменитый изобретатель холодильных машин, и профессор М. Шретер, читавший машиноведение. Хорошие отношения с ними Дизель сохранил на всю жизнь, и оба они приняли деятельное участие в его судьбе.

В 1878 г. после окончания Высшей технической школы профессор Линде направил Р. Дизеля на практику на Винтертурский машиностроительный завод братьев

Зульцер в Швейцарии. На этом заводе Дизель работал на болторезном станке, но ограничиться этим не мог — не позволяла его деятельная натура, и он интенсивно знакомился со всем заводом. Эта деятельность не осталась без внимания, и он был принят хозяином завода. Их знакомство в дальнейшем стало довольно близким и оказало заметное влияние на развитие двигателестроения. После сдачи экзаменов Рудольф Дизель принял предложение К. Линде и уехал в Париж для работы на его холодильном заводе. Через год он стал директором этого завода, а вскоре по совместительству инженером-консультантом при заводе Хирша в Аржентайле и представителем фирмы Линде во Франции, Бельгии и колониях.

Деятельная натура Дизеля не могла не вовлечь его в решение самой актуальной задачи того времени — замены дорогого светильного газа иным горючим. Его внимание привлекли пары аммиака, использовавшегося в качестве рабочего тела холодильных машин, и он начал проводить опыты на самодельных приборах в заводских лабораториях. Эта работа не привела к практическим результатам, но дала импульс для возникновения мысли о возможности реализации одной давней цели.

Трудности сжатия смеси воздуха с аммиачными парами до давления 50—60 атм, необходимого для воспламенения этих паров, привели Дизеля к опытам со сжатием чистого воздуха и впрыскиванию аммиака в сжатый воздух. Это и навело его на мысль, что при подаче топлива в нагретый от сжатия воздух можно обойтись без постороннего источника воспламенения топлива. Его творческому воображению представилась возможность осуществить его давний замысел: создать двигатель, работающий по циклу Карно.

По замыслу Дизеля, если воздух сжать до давления не ниже 33—35 атм (около 3,3—3,5 МПа) и повысить вследствие этого его температуру до 500—700°C, то топливо, вводимое в этот воздух, будет воспламеняться от соприкосновения с горячим воздухом. Если топливо (угольный порошок) после воспламенения первой небольшой порции продолжать медленно вводить в процессе расширения смеси, то можно добиться, чтобы рост давления и температуры от сгорания топлива компенсировался бы падением температуры и давления вследствие расширения газов. В этом случае подвод тепла в цикл осуществляется по изотерме, а если вводить топли-

во так, чтобы температура сгорания совпадала с температурой конца сжатия, то теплота будет подводиться как в цикле Карно. Но предлагаемый цикл не был циклом Карно; изотермический отвод теплоты Дизель предложил заменить выхлопом при постоянном объеме.

В то время столь высокие давления сжатия получали с определенными трудностями, и Дизель предусматривает возможность многоступенчатого сжатия и многоступенчатого расширения. Одновременно он предусматривает специальный компрессор для вдувания и распыливания угольного порошка сжатым воздухом. Сознавая трудности запуска двигателя со столь высокой степенью сжатия, он предусматривает возможность запуска сжатым воздухом от того же компрессора.

Для работы над этим двигателем Дизель оставляет работу в фирме Линде и возвращается в Германию. В первую очередь он стремился запатентовать свою идею. Первый патент выдан Р. Дизелю в Германии за № 67207 от 28 февраля 1892 г. со следующей формулой изобретения:

«1. Способ работы для двигателей внутреннего сгорания такого рода, что в цилиндре при помощи поршня сжимается чистый воздух или смесь чистого воздуха с другим индифферентным газом так, что достигаемая при этом температура значительно превышает температуру воспламенения применяемого горючего вещества, после этого производится постепенный впуск топлива, и поэтому сгорание вследствие движения поршня и вызванного этим расширения сжатого воздуха (соответственно газа) происходит без значительного повышения давления и температуры; по окончании впуска топлива происходит дальнейшее расширение находящейся в цилиндре массы газа.

2. Устройство для реализации способа по п. 1, при котором к рабочему цилиндру присоединяется насос для предварительного сжатия с промежуточным резервуаром и цилиндром для последующего расширения в целях многоступенчатого сжатия или при котором несколько рабочих цилиндров спарены между собой или с названными цилиндрами для предварительного сжатия и последовательного расширения».

История развития тепловых двигателей, особенно ДВС, служит наглядной иллюстрацией того, как по мере развития техники становится все более невозможной

деятельность изобретателей-одиночек. Уже Ньюкомен был вынужден действовать в паре с Коули, располагавшим производственной базой. Уатту для осуществления его замыслов пришлось заключать договор с Ребеком. Причем, после того как Ребек в 1773 г. обанкротился, его права на осуществление паровой машины перешли к Болтону. Без заводов Болтона в Сохо машины Уатта вряд ли смогли бы быть реализованы. Отто действовал в содружестве с изобретателем Лангеном, и создание первого четырехкратного двигателя вряд ли стало бы возможным без заводов Отто в Дейтце.

Для двигателя Дизеля уже требовалась такая база, которая обеспечила бы высокую точность изготовления, и его двигатель нуждался в прочных материалах, выдерживающих высокое давление и температуры. Нужно было заинтересовать владельцев заводов высоким уровнем производства, и Дизель пишет брошюру с многозначительным названием «Теория и конструкция рационального теплового двигателя, призванного заменить паровую машину и другие существующие в настоящее время двигатели». Эта брошюра вышла через год после получения патента в издательстве Юлиуса Шпрингера в Берлине и привлекла к себе внимание, вызвав большое число отрицательных отзывов. Основное препятствие усматривалось в том, что при столь высоком сжатии сильно возрастают механические потери и это может свести все выигрыши к нулю. Вместе с тем брошюра получила высокую оценку учителей Дизеля, профессоров Линде и Шретера. Свое согласие с выводами Дизеля выразил и крупнейший авторитет того времени в области теплотехники Г. Цейнер.

Следует отметить, что, анализируя значительно позднее теоретические предпосылки, изложенные Дизелем в этой брошюре, многие ученые отмечают серьезную ошибку, которая и привела Дизеля к целой серии неудач. Дизель считал, что при сгорании углерода объем образующегося углекислого газа будет больше первоначального объема воздуха в соответствии с отношением суммы весов воздуха и горючего вещества к весу воздуха. На самом деле в горении участвует только кислород, и для сгорания 1 кг углерода требуется  $\frac{8}{3}$  кг кислорода. Эта ошибка привела Дизеля к тому, что вычисленное им количество воздуха, необходимое для сгорания, почти в 8 раз превышало требуемое. Последствием этой ошибки

явилось неправильное определение значения температуры конца сгорания, оказавшее не очень существенное влияние на вычисленное Дизелем значение кпд цикла, но серьезно повлиявшее на возможность реализации сгорания с постоянной температурой.

Рассматривая топливо, Дизель главное внимание уделяет угольному порошку, но упоминает и жидкое топливо. К тому времени уже были известны двигатели с впрыскиванием керосина в цилиндр. В Германии был создан двигатель с впрыскиванием керосина через раскаленную трубочку. Фактически это был двигатель на парах керосина, т. е. двигатель, работавший как все газовые двигатели. В Англии был построен двигатель, в котором керосин впрыскивался в особую коробку, нагреваемую отработавшими газами, где он испарялся. В 1888 г. англичанин Джеймс Харгрэвс построил двигатель с воспламенением впрыскиваемого тяжелого топлива от запального шара. Этот двигатель имел форсунку в виде впрыскивающего сопла с запорной иглой и охлаждаемую водой камеру сгорания. Одновременно Эмиль Капитэн, талантливый немецкий изобретатель, разработал ряд предложений для обеспечения работы двигателя внутреннего сгорания на тяжелом топливе. Самой выдающейся его работой считается предложение впрыскивать топливо в камеру сгорания в виде двух встречных струй, чтобы они дробили одна другую, обеспечивая мелкое распыливание горючего. Воспламенение у Капитэна предусматривалось от постороннего источника. Но ни одно из предложений Капитэна не было реализовано. В 1884 г. Зейнленом было предложено вдувать керосин в цилиндр струей сжатого воздуха и воспламенять получившуюся смесь искрой. Можно вспомнить также двигатель Горнсби—Акройда, работавший на нефти.

Таким образом, предлагая вводить мелкораспыленное жидкое топливо, Дизель не был пионером в этом деле.

Не была совсем новой и идея постепенного сжигания топлива в цилиндре. Такой характер горения имел место в двигателе Брайтона. Кроме Брайтона, идея постепенного сгорания разрабатывалась другими изобретателями. В 1877—1878 гг. англичанин Саймон построил двигатель с постепенным сгоранием, но на газовом топливе. Кроме того, Саймон впервые применил добавку пара в цилиндр ДВС. В 1881 г. В. Сименс также предлагал конструкцию газового двигателя с постепенным сгоранием,



в котором он впервые ввел регенерацию тепла отработавших газов.

Но Дизель предлагал не просто постепенное сгорание, он имел в виду регулируемое сгорание с обеспечением постоянства температуры и давления.

Снабдив свою брошюру выдержками из отзывов Шрета, Линде и Цейнера, Дизель обратился к целому ряду германских машиностроительных заводов с предложением построить задуманный им мотор. Все заводы, включая Аугсбургский, с которым изобретатель вступил в переговоры раньше других, отказались. Но Дизель был настойчив, одно за другим опровергал он сомнения, выдвигаемые руководством Аугсбургского завода. Ему удалось склонить фирму Круппа в Эссене финансировать работы, а руководство Аугсбургского завода изготовить двигатель. За это он уступал им права на изобретение. Дело, конечно, не в одном только энтузиазме или деловых качествах Дизеля. Германская промышленность очень нуждалась в экономичном двигателе, не потребляющем светильный газ. И как ни утопичен казался проект Дизеля, риск сулил предпринимателям возможность получения барышей в перспективе.

Первый одноцилиндровый двигатель Дизеля был изготовлен в рекордные сроки, почти за один год, в июле 1893 г. По замыслу изобретателя, сжатие должно было быть доведено до 250 атм (около 25 МПа), но впоследствии Дизель решил ограничить его величиной 90 атм и температурой конца сжатия 800°C. Для обеспечения адиабатического сжатия двигатель не охлаждался. Компрессор для первого двигателя не был изготовлен, и угольный порошок предусматривалось вводить насосом. Камера сгорания размещалась в отдельном корпусе.

Подсчитав, что при такой температуре конца сжатия для получения такой же температуры сгорания нужно ввести угольного порошка в 6 раз меньше, чем газового топлива, Дизель понял, что развиваемой мощности может не хватить даже на преодоление сил трения. Следовало отказаться либо от угля, либо от изотермического горения. Дизель решил отказаться от угля, сохранив изотермическое горение (с постоянной температурой) — предмет изобретения. Однако при первой же попытке ввести бензин произошел взрыв, едва не покалечивший самого изобретателя. Вот как описывает этот момент Л. Гумилевский:

«В величайшем волнении следил изобретатель за приготовлениями. Возле него стоял старый приятель Фогель, руководивший теперь мастерскими, машина была приведена в движение трансмиссией. Монтер подал из нагнетательного насоса порцию бензина в цилиндр. Друзья с холодеющими сердцами смотрели на индикатор, указывающий высоту давления.

«Вспышка сейчас происходит!» — воскликнул Дизель.

Стрелка шарахнулась ввысь и, описывая полукруг, поднялась до восьмидесяти атмосфер, свидетельствуя о происходящем внутри цилиндра давлении расширяющихся в процессе сгорания газов.

Давление восемьдесят. Вот наша диаграмма!

Но давление в действительности было выше: индикатор разлетелся в куски. Дизель едва не получил удар в голову. Свистящий воздух оставил след на виске. Бледный Люсьен с испугом оглянулся на друга. Несколько секунд они смотрели друг на друга в безмолвном волнении...»

Замысел не удался. Поддержать давление постоянным в процессе горения (по патенту) не удалось. Но неудачные испытания тем не менее подтвердили возможность воспламенения топлива от соприкосновения со сжатым воздухом, и Дизель решает создать форсунку с управляемым впрыском. На постройку второго двигателя потребовалось всего пять месяцев, и в июне 1894 г. на нем началась серия испытаний, в результате которых удалось получить одну вспышку на бензине.

Но гордости Дизеля был нанесен новый удар. Его первоначальный замысел о возможности обеспечения изотермического горения и поддержании при этом постоянного давления терпел крах. Оставалась надежда обеспечить оговоренную в его патенте возможность горения с постоянным давлением, но с изменяющейся температурой, и Дизель спешит получить новый патент, дополнительный к основному. В этом патенте № 82168 от 30 ноября 1893 г. защищается способ регулирования двигателя «путем видоизменения характера кривой процесса сгорания» и приводится график с несколькими изотермами, каждая из которых соответствует определенной нагрузке. Фактически процесс, представленный в этом патенте, приближается к изобаре, а не к изотерме.

Кроме того, на втором двигателе Дизель снизил давление конца сжатия до 35—40 атм и температуру до

500—600°C. Этот мотор после серии опытов смог работать самостоятельно на холостом ходу с частотой 80 об/мин. Это уже была большая победа изобретателя. Его идеи во многом оказались жизнеспособными.

Ознакомившись с результатами опытов, руководство обеих фирм приняло решение о проведении дальнейших работ и о постройке третьего мотора с учетом накопленного опыта.

Интерес к новому двигателю возрастал. Дизель живо откликнулся на предложение некоторых европейских фирм ознакомить их с делом. Переговоры о продаже прав на производство дизель-моторов были начаты одновременно с французской фирмой Дикноффа в Бар-ле-Дюке и с двумя фирмами Коксвиля в Лейпциге и братьев Карель в Генте. Конкуренция заставляла спешить, и завод братьев Карель был первым иностранным предприятием, получившим в 1894 г. право на использование патентов Дизеля.

Третий опытный мотор был построен в начале 1895 г. На нем Дизель отказался от адиабатического сжатия. Двигатель был снабжен рубашкой охлаждения. Для распыливания керосина был предусмотрен компрессор. Кулачковый вал размещался над цилиндром. Опыты начались в марте, но уже 1 мая мотор мог работать самостоятельно, а 16 июня, через два года после начала опытов, были произведены испытания с нагрузкой. Кпд двигателя равнялся 36%, расход керосина 206 г на 1 л. с./ч. Мотор был испробован также на производственной работе, и в феврале 1886 г. на конференции в присутствии представителей обеих фирм было решено построить большой одноцилиндровый мотор и начать конструирование двухцилиндрового. По своей экономичности новый двигатель почти в 2 раза превышал показатели двигателей, работающих по циклу Отто.

Но что это было? Успех или поражение изобретателя? По существу, от первоначального замысла Дизеля осталось очень мало: адиабатическое сжатие было заменено политропическим, подвод тепла осуществлялся не по изотерме, а по изобаре. Но все равно новый мотор был изобретением Дизеля: во-первых, как и предусматривалось, воспламенение происходило от соприкосновения со сжатым воздухом, а во-вторых, подвод тепла по изобаре также оговаривался в патенте.

Поэтому объективно это была большая победа изо-

бретателя. Первоначальный замысел Дизеля не был осуществлен, но ему удалось создать новый высокоэкономичный двигатель, носящий его имя.

Патенты Р. Дизеля никто не оспаривал, и причин для этого много. До 1903 г. к его двигателю относились с недоверием, а через пять лет после этого, к 1908 г., истек срок их действия и вместе с тем и монопольное право изобретателя. Но кроме того, большую роль играла патентная политика самого Дизеля. Понимая, что любому предпринимателю выгоднее купить у него право строить двигатели, чем затевать многолетнюю тяжбу с неопределенным исходом и самому повторять все ошибки изобретателя, Дизель легко шел на соглашения с разными фирмами. В начале февраля 1898 г. испытания двигателей Дизеля произвел завод Отто — Дейтц, а затем владельцы заводов братьев Зульцер. По поручению Нюрнбергского машиностроительного завода, слившегося впоследствии с Аугсбургским и образовавшего фирму МАН, проводит опыты профессор Гутермут. В сентябре в Аугсбург явилась американская комиссия, затем объединенная английская и бельгийская. В переговоры с изобретателем от имени фирмы «Ватсон» из Глазго вступил знаменитый физик лорд Кельвин.

Естественно, что Дизель стремится получить патенты на свой двигатель во всех странах. В царской России 9 августа 1897 г. ему была выдана привилегия (патент) № 261 по заявке от 22 сентября 1892 г.

Описание этой привилегии сводит воедино содержание обоих патентов, выданных Дизелю в Германии, и в нем оговаривается масса вариантов: сжатие до 30 атм ( $500^{\circ}\text{C}$ ), 45 атм ( $600^{\circ}\text{C}$ ), 64 атм и т. д., регулирование продолжительности и скорости введения горючего в цилиндр по значению давления в цилиндре, возможность подачи любого горючего (твердого, распыленного, жидкого и газообразного, а также их смеси), горизонтальное и вертикальное расположение цилиндров, многоступенчатое сжатие и расширение, оговаривается также, что кулачковый вал имеет пять кулачков, из которых два нужны для управления клапанами компрессора, два — клапанами двигателя, а один — форсункой.

Это не единственная привилегия, выданная Дизелю в России. В 1900 г. он получает еще две привилегии: № 4082 и 4083, обе от 27 сентября. Предмет первой из них гласит: «Способ воспламенения и сжигания горючего рабо-

чего материала в двигателях, действующих горением и привилегированных за № 261, характеризующийся тем, что в случаях применения трудновоспламеняющихся горючих веществ, когда температура сжатия в зажигательной камере рабочего цилиндра недостаточна для их воспламенения, впрыскиваются около внутренней мертвой точки поршня другие, легче воспламеняющиеся вещества, воспламенение которых имеет последствием сгорание рабочей смеси».

А предмет другой привилегии гласит: «Способ регулировки привилегированных за № 261 двигателей действующих горением, характеризующийся тем, что в сжатую и воспламененную любым способом рабочую смесь вводится вспомогательное горючее вещество и продолжительность впуска этого горючего вещества влияет на последовательное изменение давления в рабочем цилиндре и на величину получаемой работы».

Эти две привилегии — отзвук работы Дизеля над проблемой сжигания угольного порошка. Проблемы, которую он так и не решил за всю свою жизнь.

#### **СУДЬБА ИЗОБРЕТЕНИЯ И СУДЬБА ИЗОБРЕТАТЕЛЯ**

Каждое изобретение после своей реализации становится достоянием многих, и его судьба выходит из-под монопольного контроля изобретателя. Чаще всего это сказывается на судьбе изобретения положительно, так как в благоприятном исходе заинтересован не только изобретатель, но и все, кто извлекает из реализованного изобретения пользу.

Заметнее всего это проявилось в случае с Дизелем. В первом же двигателе Дизеля, который был выпущен Аугсбургским заводом в 1897 г. для спичечной фабрики «Унион» в Кемтене, в процессе эксплуатации начали обнаруживаться одна неисправность за другой. Высокие механические и термические напряжения требовали более высокой культуры производства и новых высокопрочных материалов.

Сначала потеряли плотность клапаны, затем стала засоряться форсунка, вышел из строя компрессор. Репутация двигателя падала. Но теперь в судьбе двигателя была заинтересована в первую очередь администрация Аугсбургского завода. На карту были поставлены репу-

тация и доходы фирмы. И нужно отдать должное инженерно-техническим работникам и руководству этого завода — именно они многое сделали для обеспечения работоспособности двигателя. Самому Р. Дизелю на этом этапе лидирующая роль не принадлежала. Ведь речь шла о совершенствовании технологии, о повышении культуры производства, о поиске новых конструкционных материалов, и в этой части специалисты завода располагали более широким арсеналом средств.

Важнейший вклад на этом этапе в судьбу дизель-мотора внесли также специалисты Петербургского завода Нобеля (ныне завод «Русский дизель»). Отношения Р. Дизеля с этим заводом начались задолго до 1908 г. И большое влияние на эти отношения оказал профессор Петербургского технологического института Георгий Филиппович Депп, с которым Р. Дизель учился вместе в Высшей технической школе в Мюнхене. Г. Ф. Депп был выдающимся котлостроителем, способствовавшим большому качественному скачку в этой области. Он изобрел способ сжигания пылевидного топлива. 16 июня 1897 г. в Касселе состоялся 38-й главный съезд Общества германских инженеров, на котором Дизель выступал с докладом. Г. Ф. Депп присутствовал на этом съезде и предложил Дизелю продать патент в Россию. Дизель вначале сомневался в технических возможностях русской промышленности, но в конце года все же вступил в переговоры с фирмой «Людвиг Нобель» в Петербурге, принадлежавшей семье известных Нобелей.

Глава этой семьи основал в Петербурге минный завод, но в 1859 г. возвратился в Швецию с сыновьями Альфредом и Эмилем. В Петербурге остались два других его сына — Роберт и Людвиг.

Альфред Нобель, поселившись в Швеции, занимался некоторое время обработкой открытого отцом нитроглицерина и изобрел способ превращения его в динамит. Это и принесло известность фамилии Нобелей и позволило составить шведской части семьи огромное состояние. Этот же динамит в результате случайного взрыва уничтожил завод и убил находившегося там Эмиля Нобеля. Потрясенный несчастьем, Альфред завещал проценты с принесенного динамитом капитала на выдачу известных Нобелевских премий, одна из которых выделяется за заслуги в деле разоружения и борьбы за мир.

Петербургские Нобели, забросив предприятие отца,

заялись изготовлением ружей. В 1894 г. Роберт Нобель в поисках орехового дерева для ружейных лож на Кавказе обратил внимание на то, что нефть и нефтепродукты транспортируются гужевым транспортом в бочках. Обнаружив недюжинные коммерческие способности, Нобели скупили нефтеносные участки и предложили дирекциям железных дорог организовать перевозку нефти в специальных вагонах — цистернах. Они сами построили нефтепроводы и нефтеналивные суда. Русский керосин сразу резко подешевел, и братья обогатились. К моменту смерти Людвига Нобеля фирма «Товарищество бр. Нобель» располагала двадцатью пароходами, огромным флотом нефтеналивных барж, двумя тысячами цистерн, бесчисленным количеством резервуаров и большим машиностроительным заводом в Петербурге.

Вступая в переговоры с Дизелем, Эммануэль Людвигович Нобель исходил не из экономичности двигателя. Для него было важно, что двигатель потреблял в качестве топлива продукты переработки нефти. Дизель, в свою очередь, понимал, какое значение имеет для его двигателя технический уровень завода.

Переговоры длились несколько месяцев, и право на изготовление двигателей Дизеля обошлось Нобелю недешево. Он уплатил 50 тыс. ф. ст., т. е. около 0,5 млн. дол. Опасения Дизеля относительно отсталости завода компенсировались тем, что в Нюрнберге основывалось русское общество «Дизель», ставившее своей целью поддерживать связь с немецкими заводами. Договор был подписан в феврале 1898 г.

Получив от Дизеля чертежи на двадцатисильный мотор, Нобель сразу же поставил перед своим главным инженером Норстремом задачу обеспечить работу двигателя на нефти, и уже в ноябре 1899 г. профессор Депп получил приглашение провести испытание дизель-мотора на нефти. Испытания дали блестящие результаты: расход нефти составил 0,24 кг на 1 л. с. в 1 ч, а мощность — 25 л. с.; были отмечены плавность хода, удобство регулирования и легкий запуск.

Рынок сбыта нефти Нобеля расширялся, одновременно возрастала популярность двигателя — он демонстрировал свои новые возможности.

Эти обстоятельства и результаты эксплуатации партии дизель-моторов, построенных Аугсбургским заводом с учетом опыта, вынесенного из Кемтена, постепенно воз-

вращали доверие к новому двигателю. В 1900 г. на Всемирной выставке в Париже двигатели Дизеля получили «Гран-при».

Пополняется число заводов, строящих дизель-моторы. Летом 1898 г. осторожный и расчетливый Зульцер, потомок кузнецов, в течение столетия развивавших машиностроение в Винтертуре, подписал договор со своим бывшим практикантом. После 1900 г. дизель-моторы начинают выпускать завод Отто—Дейтц в Кельне и другие заводы Германии, Будапештское общество оружейных и механических заводов в Австрии, общество двигателей Дизеля в Швеции, Бурмейстер и Вайн в Дании. В Англии фирму «Ватсон» сменил завод «Хик, Харгрэвс и К<sup>о</sup>». Возникла мысль о создании дизель-моторов для судов. Но пока их мощность была невелика и они не могли конкурировать с паровыми машинами. Однако когда заводу братьев Зульцер удалось создать двухтактный мотор мощностью 100 л. с. в цилиндре, дизель-моторы получили еще одну область применения.

Неправильно было бы полагать, что вклад самого Р. Дизеля в дело внедрения и распространения новых двигателей недостаточен. Он вел большую пропагандистскую работу, способствовавшую распространению двигателя, и занимался созданием новых модификаций (правда, менее успешно).

Уже в 1900 г. лицензиаты Дизеля начинают подготовительную работу по оспариванию его патентов. На Всемирной выставке в Париже уже прозвучали доклады, в которых высказывались сомнения в авторстве Дизеля, и даже протесты против самого названия двигателя. Среди авторов этих идей были люди, руководствовавшиеся личными интересами, но были и ученые, которые выступали с соображениями, имевшими научный вид. Утверждали также, что конструкция двигателя разработана при большом и активном участии других инженеров Аугсбургского завода. Дизель ответил большим докладом. Защищаясь, он приводил следующие аргументы: он первый не только описал, но и осуществил новый способ горения, нигде и никогда он в своих сообщениях не обходил участие других инженеров, но ему принадлежит главная роль.

Дизель разъезжает с лекциями о новом моторе по всему миру.

Осенью 1904 г. Дизель посетил США и пользовался там большим вниманием. Но его самолюбие страдало.



В Европе не прекращались нападки на его авторство. Вспоминали, что впрыскивание топлива сжатым воздухом и воспламенение топлива от контакта были известны до Дизеля. Анализировали патенты и доказывали, что в них защищено нечто иное.

Дизель страдал невыносимо. Нервное напряжение усилило головные боли, которые мучили его с детства.

Но у Дизеля было много сторонников. В 1907 г. ученый совет Мюнхенской высшей школы, в которой Дизель учился, вынес постановление о присуждении ему почетной степени доктора-инженера и предложил занять кафедру. В дипломе, в частности, говорилось: «Великому изобретателю теплового двигателя, носящего его имя, успешному пионеру в области усовершенствования первых тепловых двигателей, инженеру, открывшему новый, доселе почти неизвестный путь мировой технике и давшему новые способы для использования самого разнообразного горючего».

Дизель принял диплом, но от профессуры отказался.

В 1908 г. истек срок действия патентов Дизеля, и к изготовлению его двигателей приступили заводы всего мира.

В том же году Дизель спроектировал и выполнил облегченный автомобильный дизель-мотор, который был установлен на грузовике. Но он не принес успеха. Впоследствии изобретатель превратил его в маленький стационарный пятисильный двигатель. Захваченный новой идеей, Дизель организовал в Мюнхене общество малых двигателей. Но предпринимательство не было его призванием, и это общество привело Дизеля к разорению.

Весной 1910 г. в Петербурге был организован Международный съезд по двигателям внутреннего сгорания. Г. Ф. Депп в качестве старого приятеля и председателя комитета по организации Международной выставки двигателей внутреннего сгорания пригласил Дизеля принять участие в этом съезде. Нобель поддержал приглашение. Дизеля с женой принимал Нобель. 24 апреля в Соляном городке открылась выставка. На ней было мало машин. Наиболее интересным был двигатель Коломенского завода мощностью 300 л. с. с реверсом. На съезде Дизель выступил с большим докладом, который он затем повторил в Москве. Обратный путь Дизеля лежал через Швецию, и по дороге, в Петербурге он ознакомился с реверсивными судовыми дизель-моторами канонерских лодок «Карс»

и «Ардаган», предназначавшихся для Каспийского моря.

Нападки на авторство Дизеля продолжались. В 1912 г. восьмидесятилетний профессор из Аахена Людерс выпустил в издательстве Крайнера брошюру «Миф Дизеля» с подзаголовком «Документальная повесть происхождения современных нефтяных моторов». Все заслуги Дизеля отрицались на том основании, что созданный им мотор отличается от описанного в патенте и в брошюре. На двухстах страницах Людерс подвергал критическому разбору все документы, все выступления Дизеля, начиная с его первого доклада в 1891 г. о холодильных машинах Линде, и делал вывод — Дизель не располагает даже нужными знаниями, так как занимался только холодильными машинами.

Тон книги был недопустим, но формально в основных выводах Людерс был прав.

«Вся изобретательская деятельность Дизеля — миф, созданный им самим... — вот в чем заключался смысл книги Людерса. — Нефтяные моторы, работающие под названием дизель-моторов, только продукт машиностроительных заводов и их конструкторских бюро... Основные же идеи были высказаны до Дизеля, начиная с Карно и кончая Капитэном и Келлером».

Дизель дал отпор. В ноябре 1912 г. в Берлине состоялось 14-е главное собрание судостроительного общества. Дизель выступил с докладом о ходе создания своего двигателя, в котором он отметил прежде всего техническое содействие Аугсбургского завода и финансовую поддержку Круппа. Он завоевал большую часть аудитории, но не всех. Профессор Мейер, бывший помощник Дизеля, не выступал, но после съезда в 1913 г. издал у того же Шпрингера брошюру «Заметки к истории двигателей Дизеля». Он всячески подчеркивал заслуги Дизеля, но находил, что причина спора заключается в нежелании Дизеля признаться в некоторых своих ошибках и в том, что двигателестроение не пошло по пути, указанному Дизелем.

Дизель воспринял это как удар и занялся переработкой своего доклада для печати под названием «Происхождение дизель-моторов» и тогда же прибавил к нему «Заметки на полях», в которых раскрывался смысл его книги. Книга была сдана издательству того же Шпрингера. Один из экземпляров книги Дизель направил Деп-

пу. Это было незадолго до таинственного исчезновения изобретателя.

Судьба Дизеля трагична. Тяжело переживая нападки и разорение, постигшее его после учреждения общества малых двигателей Дизеля в Мюнхене, Рудольф Дизель начал испытывать периоды подавленного настроения, чрезвычайного упадка сил и утомления. В один из таких периодов в ночь с 29 на 30 сентября 1913 г. Дизель исчез с корабля, совершавшего рейс из Антверпена в Англию. Полагают, что он покончил жизнь самоубийством, бросившись в море.

Характеристику деятельности Рудольфа Дизеля закончим цитатой из книги Л. Гумилевского: «Дело заключалось, разумеется, не в том, что Дизель хотел изобрести или что содержало его патентное описание, а только в том, что он в действительности создал. Создан же был им двигатель, который значительно опережал свое время. Это подтверждалось уже одним тем, что даже первоклассные фирмы должны были преодолевать значительные трудности раньше, чем выпустить на рынок двигатель, работоспособность которого была Дизелем доказана. Совершенно несущественным также являлось и то, что некоторые части двигателя уже до Дизеля, но без успеха были применены отдельными втайне работающими изобретателями.

Да, все было известно — напоминали более объективные судьи, — но соединение этого известного таким образом, чтобы из него получился новый род двигателя, который имеет коэффициент полезного действия вдвое и втрое более высокий, чем все до него известные двигатели, и который победно шествует по всему миру, является делом, дающим право называть созданное им именем творца».

### **ДИЗЕЛЕСТРОЕНИЕ БЕЗ УЧАСТИЯ Р. ДИЗЕЛЯ**

После всего сказанного о Р. Дизеле не должно показаться странным, что современные дизель-моторы, или просто дизели, работают не по тому циклу, который предложил, и даже не по тому циклу, который реализовал Р. Дизель. Цикл, который реализуется в этих двигателях, совершенно иной, он называется смешанным, и первым построил двигатель с таким циклом доктор тех-

нических наук, профессор Густав Васильевич Тринклер.

Вот как описывает ход создания современного дизеля сам Г. В. Тринклер в книге «Двигателестроение за полу-столетие» (Л., 1954): «Еще будучи студентом, я впервые заинтересовался двигателями внутреннего сгорания летом 1896 года на Всероссийской художественно-промышленной выставке в Нижнем Новгороде, где было представлено несколько керосиновых двигателей постройки русских заводов». И далее: «Занявшись изучением двигателей, 7 (20) января 1897 года я сделал свою первую патентную заявку на нефтяной двигатель повышенной (разрядка Г. В. Тринклера) сжатия. Однако я патента не получил ввиду внешнего сходства предложенной конструкции с некоторыми существующими системами». Суть этого предложения сводится к следующему. Тринклер предложил двигатель, в котором жидкое топливо впрыскивалось непосредственно в цилиндр через форсунку без вспомогательного компрессора. В выдаче патента ему отказали, противопоставив двигатель Горнсби. Правомерность отказа мы проанализируем ниже. Но отметим, что идея непосредственного впрыска топлива пришла в голову Тринклера задолго до появления на рынке работоспособных дизелей.

Не удивительно поэтому, что он активно ищет пути создания системы непосредственного распыливания топлива в дизелях. Устройства для распыливания топлива в дизелях были весьма сложными. Требовался многоступенчатый воздушный компрессор с промежуточными охладителями, сепараторами воды и масла, специальный воздушный ресивер с арматурой, были сложны форсунки, так как находились под постоянным давлением около 60 атм.

Непосредственный впрыск топлива напрашивался, но решение этой задачи было сложным.

«Вскоре после того как в 1897 же году были обнародованы доклады Дизеля и проф. Шретера, прочитанные ими в Касселе,— пишет Г. В. Тринклер,— я, используя некоторые детали моей первой заявки, скомбинировал схему аппарата для распыливания топлива в двигателях высокого давления... Патент на устройство распыливающего аппарата я заявил в России 4(17) марта 1899 года. Рассмотрение дела тянулось пять лет, и русский патент мне был выдан лишь 30 апреля 1904 года за № 8766».

С этим патентом (привилегией), а также с дополнительной привилегией № 13193, выданной Г. В. Тринклеру 31 марта 1908 г., можно ознакомиться в ВПТБ. В первом из документов под названием «Аппарат для питания жидкими углеводородами цилиндров двигателей с внутренним сгоранием» фактически представлена схема двигателя, у которого в крышке цилиндра имеется система каналов. В один из них подают самотеком регулируемую дозу жидкого топлива (преимущественно нефти), но в цилиндр оно не вытекает, так как со стороны цилиндра на него действует давление сжимаемого в цилиндре воздуха. Во втором канале выполнена расточка и в ней помещен поршень, связанный с кулачковым приводом. После завершения сжатия в цилиндре в заданный момент кулачковый привод перемещает поршень, он дополнительно сжимает воздух, который выдавливает жидкое топливо в цилиндр. В дополнительной привилегии освещаются вопросы усовершенствования привода поршенька.

Работа над реализацией изобретения складывается отнюдь не гладко. Вот как пишет об этом сам автор изобретения: «Начало этих работ относится к 1897 году. Принявший меня на Путиловский завод директор инженер-технолог Н. И. Данилевский и интересовавшийся моим изобретением, довольно скоро, в 1899 году, покинул завод, перейдя на другую работу. Его место занял инженер путей сообщения С. И. Смирнов, который интересовался только казенными крупными заказами — паровозами, вагонами, пушками и пр.

Он терпел меня лишь по необходимости, поскольку работа была уже начата; финансирование моих работ осуществлялось с большим трением. Его разговоры со мной носили характер ультимативный — как можно скорее кончать мои эксперименты.

Весной 1902 года я был вынужден кончить мои работы на Путиловском заводе и уехать продолжать их за границу. Мне удалось войти в договорные отношения с машиностроительным заводом Кертинг в Ганновере, где я и стал работать по реализации моей машины с июля 1902 года».

Не очень гладко складывались дела и в Ганновере. Но в 1904 г. двигатель был усовершенствован до такой степени, что дирекция заводов пригласила провести официальные испытания известного берлинского тепло-

техника профессора Мейера. 7—8 октября 1904 г. он провел испытания и затем обнародовал полученную им индикаторную диаграмму.

Это была диаграмма, иллюстрирующая новый термодинамический цикл — цикл со смешанным подводом тепла. Если на двигателях с внешним смесеобразованием и воспламенением от искры сгорание происходит практически при постоянном объеме, а по циклу Дизеля при сгорании сохраняется постоянным давление, а объем увеличивается, то на полученной диаграмме было четко видно, что после воспламенения топлива давление вначале нарастает при почти постоянном объеме, а затем после четкого перегиба подвод тепла происходит при почти постоянном давлении. Экономичность двигателя была высокой: при работе на полной нагрузке разница невелика, а при работе на частичных нагрузках экономичность была значительно более высокой, чем у компрессорных дизелей.

В начале 1905 г. фирма приступила к выпуску таких двигателей на рынок. Было разработано семь моделей мощностью от 12 до 50 л. с., отличавшихся диаметром цилиндра, ходом поршня и частотой вращения. Причём у двигателей малой мощности частота составляла 220 об/мин, а у самых мощных — 180 об/мин. Но двигатели оказались ненадежными. Выходил из строя (пригорал) поршеньек. Поэтому двигатели распространения не получили. Этим, наверное, и объясняется то обстоятельство, что цикл со смешанным подводом тепла иногда называют циклом Сабате. Этот французский инженер сумел построить в 1909 г. быстроходный дизель, работающий по смешанному циклу. Двигатель Сабате был установлен на миноносце и благодаря успешной работе получил широкую известность. Но работоспособность двигателя Сабате отнюдь не означает, что ему принадлежит приоритет в создании двигателей, работающих по смешанному циклу. В России патент (привилегию) № 19115 Сабате получил на 4 года позже Тринклера (в 1908 г.), причем не на цикл, а на особую конструкцию распылителя, который впрыскивает топливо в цилиндр в два последовательных отрезка времени.

Что касается Г. В. Тринклера, то после Октябрьской революции он принимал активное участие в создании многих отечественных двигателей, был инициатором применения прямоточно-клапанной продувки и вел

большую научную и педагогическую работу в Горьковском институте инженеров водного транспорта.

Усовершенствование рабочего цикла произошло и в его «хвостовой» части, в зоне выпуска отработавших газов. В поршневом двигателе степень расширения продуктов сгорания равна степени сжатия, вследствие чего давление в конце расширения значительно выше атмосферного и при выпуске отработавших газов часть энергии, которой они располагают, не используется. В 1905 г. швейцарский инженер Альфред Бюхи предложил «дорасширить» эти газы до атмосферного давления в турбине, а получаемую при этом работу использовать для сжатия воздуха перед подачей его в двигатель, т. е. осуществить наддув двигателя сжатым воздухом, получаемым за счет энергии, теряемой с отработавшими газами. В его первом патенте № 204630, выданном 16 ноября 1905 г. в Германии, представлен двигатель с оппозитными цилиндрами, т. е. с цилиндрами, лежащими на одной оси по разные стороны вала. К выпускным каналам двигателя подключена многоступенчатая осевая турбина, связанная с коленчатым валом двигателя. С тем же валом связан многоступенчатый осевой компрессор. Давление сжатия в компрессоре должно было быть равно давлению конца расширения в цилиндре, что, по замыслу, должно было компенсировать недо-расширение в цилиндре.

Идеи Бюхи не находили вначале практического применения. Но перед первой мировой войной выдающийся французский конструктор Август Рато предложил объединить турбину и компрессор в один агрегат — турбокомпрессор и отсоединить вал турбокомпрессора от вала двигателя. При этом главный выигрыш — габариты, что было очень важным для авиации. Первый турбокомпрессор по предложению Рато был построен в 1911 г. фирмой «Дженерал электрик» скоростными методами, но смонтирован только в мае 1918 г. на авиадвигателе Либерти на аэродроме воздушных сил США Мак-Кук в Дейстоне (штат Огайо). Турбокомпрессор был испытан вначале на уровне моря, а затем на вершине горы на высоте 4260 м. Изобретение Рато было взято на вооружение авиаторами как эффективное средство компенсации падения плотности воздуха с высотой.

В том же 1911 г. приступил к реализации своих идей в качестве главного инженера исследовательского от-

дела в Винтертуре Альфред Бюхи. Он создал исследовательскую установку, имитирующую влияние турбины и компрессора на работу дизеля. В результате опытов он также пришел к мысли отказаться от связи компрессора и турбины с двигателем, а связать их между собой. Но он пошел дальше Рато: предложил подводить выхлопы отдельных цилиндров к турбине так, чтобы выхлоп из одного цилиндра не накладывался на выхлоп из другого. В результате давление газов перед турбиной все время менялось (патент Германии № 454107 с приоритетом от 2 ноября 1915 г.). Эта система наддува впоследствии получила название импульсной.

Так возникли две системы турбонаддува: импульсная (Бюхи) и изобарная (Рато). Каждая имеет свои преимущества и свои недостатки. Последние исследования показали, что при высоком давлении наддува (выше 2 бар) обе системы по экономичности практически равнозначны.

В настоящее время почти ни один дизель мощностью свыше 150 кВт не выпускается без турбонаддува. Турбонаддув получает распространение и на карбюраторных двигателях. Поршневые двигатели внутреннего сгорания становятся постепенно комбинированными, содержащими не только поршневую, но и лопаточную часть.

Прототип комбинированного двигателя с компрессором и расширителем отработавших газов был разработан еще в 1906 г. профессором МВТУ В. И. Гриневецким, который предложил конструкцию двигателя с двойным сжатием и расширением. В 1911 г. этот двигатель был построен на Путиловском заводе, но его доводка не была завершена из-за отсутствия средств. В том же 1906 г. В. И. Гриневецкий разработал метод теплового расчета, который затем был положен в основу теории процессов в ДВС. В дальнейшем этот метод был углублен его учениками; в первую очередь Е. К. Мазингом и Н. Р. Бриллином. Впоследствии академик Б. С. Стечкин связал вопросы мощности и экономичности ДВС с тепловым балансом.

Первый же отечественный двигатель с воспламенением впрыскиваемого топлива от сжатия, построенный на заводе Нобеля, получил название дизель, прочно закрепившееся за двигателями такого типа.

Конструкция дизелей претерпела существенные из-



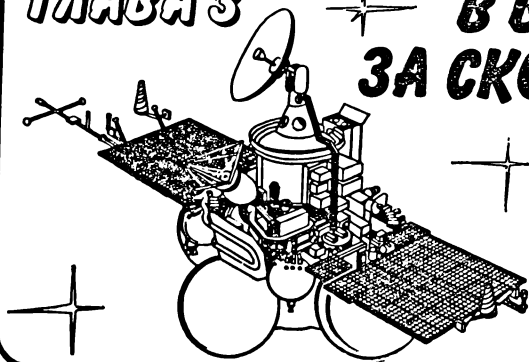
менения. Ещё в 1902 г. конструкторы завода Нобеля разработали дизель без крейцкопфа, что сразу уменьшило габариты и вес. В 1907 г. на Коломенском заводе под руководством талантливого инженера Р. А. Корейво создаются реверсивные модели со специальной муфтой, широко известной как муфта Корейво. В 1912 г. студент МВТУ, впоследствии профессор А. Н. Шелест предложил комбинированный двигатель, в котором поршневой двигатель служит генератором газа.

В 30-х гг. появляются мощные авиационные ДВС конструкторов А. А. Микулина и В. Я. Климова. Во время Великой Отечественной войны применялся авиационный дизель большой мощности АЧ-30 конструкции А. Д. Чаромского. Всему миру известен дизель В-2, созданный в Харькове коллективом конструкторов, который возглавляли И. Я. Трашутин, Т. П. Чупахин, И. Б. Вихман.

Двигатели на легком топливе и дизели прочно занимают позиции практически единственного вида силовой установки для наземного транспорта и составляют существенную долю среди силовых установок водного транспорта. Конечно, современные ДВС конструктивно отличаются от самых первых образцов, но принципы преобразования теплоты в работу остались неизменными.

## ГЛАВА 3

## В БОРБЕ ЗА СКОРОСТЬ



**«ВСЕЦЕЛО ПРОНИКНУТЫЙ ИСТИНОЙ,  
ЧТО СКОРОСТЬ ЯВЛЯЕТСЯ  
НЕБЕСНЫМ ДАРОМ...» (ЛАВАЛЬ)**

«Весна 1624 года. Главнокомандующий Оксеншерна набирает в Даларне войско для похода в Польшу...» — так начинается пьеса Бертольда Брехта «Мамаша Кураж и ее дети». Швеция (а Оксеншерна был именно шведским главнокомандующим) была одной из главных участниц Тридцатилетней войны (1618—1648 гг.) и при сравнительной скудности людских ресурсов постоянно остро нуждалась в наемниках — офицерах и солдатах. Такие сцены, как вводная часть пьесы, были типичными в протестантских княжествах Германии того времени. Может быть, именно во время такого набора в шведскую армию вступил некий Клод де Лаваль, гугенот, предки которого бежали из Франции после Варфоломеевской ночи в 1572 г. Лишенный родины, он, как многие, ему подобные, был профессиональным воякой, и война для него была уже потомственным ремеслом. После окончания военных действий Клод решил перебраться в Швецию, где он получил дворянство и хорошую работу «по специальности». Все потомки Клода, в том числе и родившийся примерно 200 лет спустя Якоб де Лаваль, были военными. Дослужившись до капитанского чина, Якоб де Лаваль вышел в отставку и получил по существовавшему обычаю «капитанское поместье» в живописном горном

районе. Здесь 9 мая 1845 г. у него родился сын, которого называли Карл Густав Патрик. Расположенное на бедных землях «капитанское поместье» давало скудный доход, и жизнь Лавалей, несмотря на то что ее глава был заметным человеком в провинции, мало чем отличалась от жизни местных крестьян, известных на всю Швецию своим суровым и независимым нравом.

Начальное образование мальчик получил от отца, который очень рано понял, что его сын никогда не будет офицером шведской армии. К чести отставного капитана нужно сказать, что он не настаивал на продолжении древней семейной традиции. В 12 лет Густава отдают в среднюю школу города Фалуна — центра горнодобывающей промышленности Швеции. Здесь он впервые столкнулся с миром техники, миром машин, которые на всю жизнь полностью овладели его воображением. После окончания школы в 1863 г. Густав сдал экзамены в городе Упсала и был принят в Королевский технический институт в Стокгольме. Блестяще окончив институт, через три года Лаваль работает вначале конторщиком на Фалунских рудниках, а затем инженером у известного гидротехника Венстрема. Здесь он понял, что полученных им в институте знаний недостаточно для решения серьезных инженерных задач. Добившись от фалунской дворянской организации стипендии для продолжения образования, Лаваль в 1867 г. поступает в университет города Упсала. Здесь он изучает физику, химию, математику. После окончания университета в 1872 г. Лаваль блестяще защищает докторскую диссертацию на тему «О хлористых и бромистых соединениях вольфрама».

Возвратившись в Фалун, Лаваль сразу же с головой уходит в инженерную и изобретательскую работу. На рудниках он впервые в Швеции создает установку для производства серной кислоты, получает свои первые патенты на способы обработки фосфористых и цинковых руд. Уже в этот начальный период деятельности проявляются особенные черты Лавалья-изобретателя: смелость, широта, необыкновенное разнообразие, часто совершенная неожиданность идей и наряду с этим (а такое сочетание встречается, увы, крайне редко) исключительное упорство и энергичность в воплощении замысла.

В Фалуне произошел очень характерный, как мы увидим далее, для Лавалья случай. Л. Гумилевский пишет, как, разыскав состоятельного предпринимателя, Лаваль

увлек его идеей производства бутылок по совершенно новому, необычайно эффективному способу — путем формования во вращающихся изложницах. Вскоре бутылочный завод был построен. Оборудование, воплощавшее идею Лавалья, оказалось надежным и чрезвычайно производительным — завод изготавливал до 4 тыс. бутылок ежедневно. Это, однако, и сгубило дело — перепроизводство бутылок снизило на них цену настолько, что завод перестал окупать расходы и предприятие пришлось ликвидировать.

Лаваль обладал еще одним замечательным качеством, так необходимым изобретателям всех времен, — верой в себя. Эта вера помогала ему легко переносить неудачи. После краха бутылочного предприятия Лаваль работает на машиностроительном заводе в Клостере, где он вносит коренные улучшения в бессемеровский конвертер, приспособив его для работы на местной руде, предлагает электрическую печь для выплавки чугуна.

На территории Клостерского завода находилась небольшая молочная ферма, нечто вроде подсобного хозяйства, — любимое место отдыха работников завода. Именно здесь Лаваль впервые услышал о машине для отделения сливок от молока, изобретенной в Германии неким Лефельдтом. Машина Лефельдта представляла собой сосуд, который приводился во вращение с частотой около 850 об/мин через зубчатую и ремennую передачу. Под действием центробежных сил процесс отделения, «всплытия» сливок чрезвычайно ускорялся. Идея машины немедленно увлекает Лавалья, и он сразу находит пути ее усовершенствования — увеличение частоты вращения более чем на порядок (до 6000—12 000 об/мин), обеспечение непрерывного заполнения сосуда и отвода отсепарированных сливок и обезжиренного молока (машину Лефельдта перед съемом сливок необходимо было останавливать). Лаваль оставляет завод и отправляется в Стокгольм, где уже спустя месяц после приезда (в начале 1877 г.) организует публичную демонстрацию машины своей конструкции, которую он назвал сепаратором. Рабочий сосуд сепаратора имел частоту вращения около 12 000 об/мин — невиданно высокую для того времени. В Стокгольме Лавалю удается заинтересовать сепаратором богатого и предприимчивого горного инженера О. Ламма. В начале 1878 г. организуется фирма по производству сепараторов, в которой Лавалю принадле-

жала половина пая. На этот раз предприятие оказалось необыкновенно удачным. Гениальный инженер непрерывно улучшал конструкцию сепаратора, который получил множество национальных и международных медалей и призов. Главными достоинствами сепараторов Лавалья были высокая надежность, непрерывность процесса и отличное качество сепарации (только около 0,3% жиров оставалось в молоке). Предприимчивый О. Ламм великолепно организовал производство и рекламу. Успеху немало способствовали неудачи главного конкурента Лефельдта, сепаратор которого разорвало во время демонстрации на выставке в Мальме в 1880 г. Коммерческий успех фирмы сделал Лавалья состоятельным человеком. У него появились широкие возможности для разработки и, главное, воплощения своих идей, а в них он никогда не испытывал недостатка. В разгар работы над сепаратором он неожиданно увлекается проектом «обволакиваемого воздухом судна». Ввиду малого сопротивления такое судно, двигаясь под водой, должно было развивать фантастическую скорость (около 75 км/ч). Интересно, что этим проектом Лаваль, действуя через русских Нобелей, пытался, правда безуспешно, заинтересовать царское правительство. Испытания модели судна, проведенные на озере Меларен, дали отрицательные результаты, и Лаваль, еще немного повозившись с ним, все свои силы сконцентрировал на создании паровой турбины.

Частота вращения единственного вида существовавших тогда двигателей — поршневых была ограничена из-за инерционных сил, действующих на поршень. Выход был виден только в отказе от поршня.

Впервые идея беспоршневого двигателя — реактивной паровой турбины, подобной Геронову эолипилу, возникла у Лавалья при испытаниях пескоструйных аппаратов. Была у него мысль использовать такую турбину и для привода бурильного станка. Однако серьезно он взялся за ее разработку в связи с необходимостью создания скоростного привода для сепаратора. Английский патент № 1622 на «Турбину, работающую паром и водой», взятый Лавалем в 1883 г., был его первым патентом в этой области. Вскоре турбина была изготовлена (рис. 13). Ее ротор представлял собой отлитую из бронзы S-образную обтекаемую трубку с соплами на концах. Втулка ротора насажена на полый вал, по которому к трубке подавался пар. Испытания показали, что турбина надежно работа-

ет на частотах вращения до 42 000 об/мин при окружной скорости 200 м/с, однако имеет низкий кпд. Попытки усовершенствовать турбину результатов не принесли.

В чем же была причина низкой экономичности первой турбины Лаваля?

Обратимся к рис. 13. Турбина Лаваля ничем принципиально не отличается от реактивной турбины, показанной на рис. 2. В таких турбинах, как мы установили выше, происходит преобразование кинетической энергии газа в механическую работу на валу турбины. Очевидно, мера преобразования кинетической энергии в механическую будет тем выше, чем меньшей кинетической энергией обладает газ, покидающий турбину. Эта остаточная энергия, пропорциональная квадрату абсолютной скорости газа, бесполезно рассеивается в окружающей среде, т. е. представляет собой потери (как говорят турбинисты, потерю с выходной скоростью). Для реактивной турбины эта потеря минимальна при  $C=0$ , что соответствует (см. рис. 2) равенству скорости истечения  $W$  и окружной скорости  $U$ . Практика подтверждала, что при этом условии кпд турбины действительно близок к максимуму.

Условие равенства скорости истечения и окружной скорости нетрудно соблюсти для гидравлических турбин типа сегнерова колеса, поскольку скорость истечения жидкости сравнительно невелика. Так, при давлении  $P=5 \cdot 10^5$  Па скорость истечения по известной формуле Торричелли  $W= \sqrt{2 \frac{P}{\rho}}$  и составляет 31,4 м/с.

Совсем иначе обстоит дело с газами и парами, имеющими плотность  $\rho$ , более чем на два порядка меньшую.

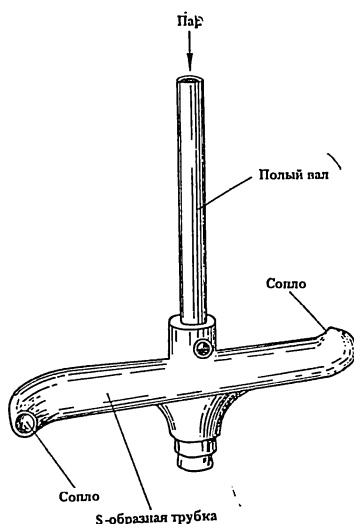


Рис. 13. Реактивная турбина Лаваля

Торричелли  $W= \sqrt{2 \frac{P}{\rho}}$  и составляет 31,4 м/с.

Совсем иначе обстоит дело с газами и парами, имеющими плотность  $\rho$ , более чем на два порядка меньшую.

Так, скорость истечения насыщенного пара при тех же условиях составляет 455 м/с. Таким образом, для обеспечения высокого кпд окружная скорость сопел реактивной турбины даже при сравнительно низком давлении пара должна быть около 450 м/с, что было совершенно недостижимо для техники того времени. Один из путей решения этой проблемы, казалось, был ясен — для того чтобы уменьшить оптимальную, т. е. соответствующую максимуму кпд, окружную скорость, нужно уменьшить скорость истечения  $W$ , снизив температуру и давление пара. Однако этот путь никуда не ведет, поскольку он связан со снижением термического кпд цикла.

Лаваль, казалось, нашел другой, правильный путь. Это была активная турбина. Мысль о ней зародилась у Лавалья в 1888 г., а в 1889 г. им была запатентована активная турбина с расширяющимся соплом. Чертеж из этого исторического патента (английский патент № 7143 от 24.04.1889) приведен на рис. 14. Турбина состоит из

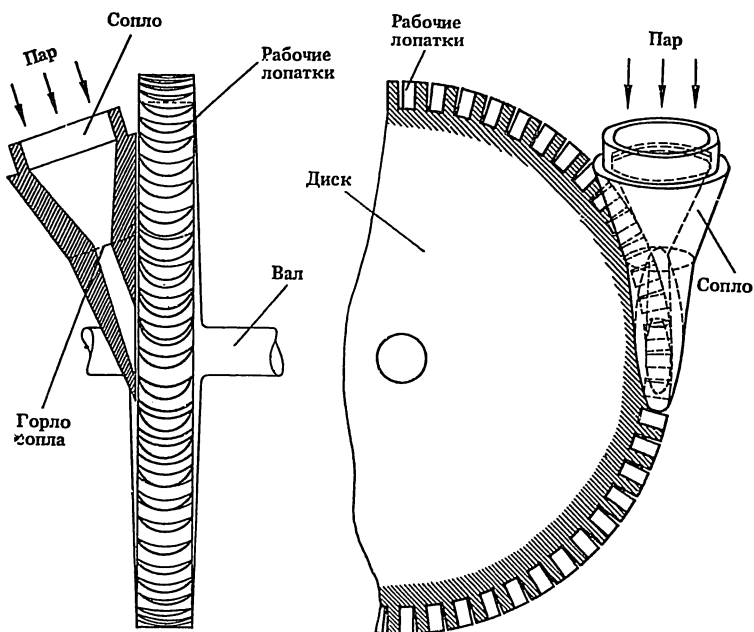


Рис. 14. Активная турбина с сужающе-расширяющимся соплом

одного или нескольких неподвижных сопел и ротора, состоящего из укрепленного на валу диска с лопатками.

Схематично течение пара в активной турбине показано на рис. 15. Пар разгоняется в одном или нескольких неподвижных соплах, истекая из них с абсолютной скоростью  $C_1$ . Угол наклона вектора  $C_1$  к вектору окружной скорости  $U$  настолько мал, что на схеме их направления показаны совпадающими. Для того чтобы получить скорость  $W_1$  пара относительно лопаток на входе, необходимо вычесть из вектора  $C_1$  вектор  $U$ , т. е.

$$\vec{C}_1 = \vec{W}_1 + \vec{U}.$$

Турбина Лавала была чисто активной. Так называют

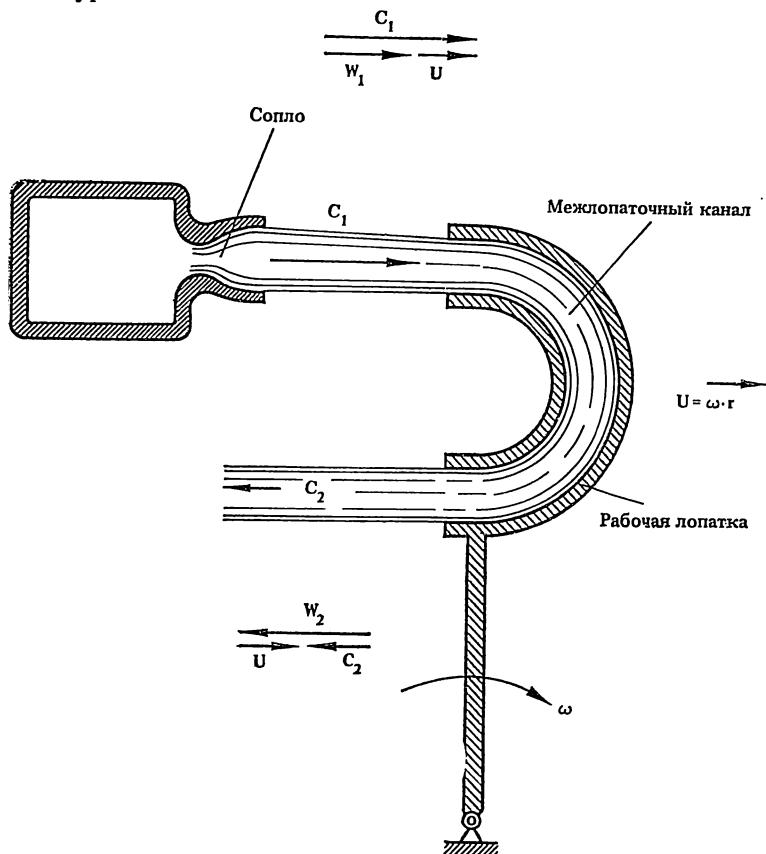


Рис. 15. Схема течения газа в активной турбине



турбины, в которых расширение пара происходит только в неподвижных соплах, а давление пара перед рабочими лопатками и за ними одинаково. В рабочих колесах таких турбин пар не разгоняется и не тормозится. Каналы, образованные рабочими лопатками (межлопаточные каналы), по которым протекает пар, имеют примерно постоянное поперечное сечение, и в них, как в изогнутых трубах, пар только поворачивается. При этом угол поворота потока пара в межлопаточных каналах может быть очень большим. На схеме он равен  $180^\circ$ , т. е. вектор  $W_2$  равен вектору  $W_1$  по величине, но противоположен ему по направлению. Вектор абсолютной скорости на выходе  $\overline{C_2} = \overline{W_2} + \overline{U}$ .

По абсолютной величине  $C_2 = C_1 - 2U$  (так как  $W_2 = -W_1$ , а  $W_1 = C_1 - U$ ). Отсюда следует, что режим максимального кпд ( $C_2 = 0$ ) соответствует  $C_1 = 2U$ , т. е. оптимальная окружная скорость в активной турбине вдвое меньше скорости истечения и соответственно примерно вдвое меньше, чем в реактивной турбине.

Это обстоятельство облегчало задачу достижения оптимальной окружной скорости. Важнейшая особенность турбины по патенту № 7143 — это форма сопла. Канал сопла, как это видно на рис. 14, вначале сужается, достигая минимальной площади в так называемом горле, затем расширяется.

Смысл изобретения состоит в следующем.

Как известно, массовый расход пара — величина, постоянная для сопла, равная произведению плотности  $\rho$  на скорость  $C$  и площадь  $S$  поперечного сечения. В сопле пар разгоняется, т. е. скорость его увеличивается, а давление и плотность уменьшаются. Пока скорость пара меньше скорости звука, произведение  $\rho C$  возрастает с ростом скорости и, следовательно, площадь  $S$  нужно уменьшать. В горле скорость пара достигает скорости звука, и далее с ростом скорости, т. е. в сверхзвуковом потоке, произведение  $\rho C$  уменьшается. Таким образом, для того чтобы разогнать поток пара до сверхзвуковой скорости, за горлом должен быть расположен расширяющийся участок. Сужающе-расширяющиеся сопла, которые получили название сопел Лавала, позволяют разогнать пар или газ до сверхзвуковых скоростей с очень малыми потерями. Эти сопла очень широко используются в турбостроении и реактивной технике.

Несмотря на то что оптимальная окружная скорость активной турбины меньше, чем реактивной, она все же остается весьма высокой, и для того чтобы приблизиться к ней, Лавалю пришлось преодолеть невероятные трудности. Главными из них были вибрация ротора и огромные напряжения, создаваемые центробежными силами при больших частотах вращения. Первая из этих проблем осложнялась тем, что в то время не существовало эффективных способов устранения неуравновешенности ротора. Это обстоятельство исключило использование в турбине обычного жесткого ротора, в котором даже незначительный дисбаланс вызывал недопустимые вибрации на рабочих оборотах. В решении этой задачи Лавалю помог опыт работы над центробежным сепаратором. Тогда он установил, что вибрация несбалансированного и достаточно гибкого ротора сначала увеличивается с ростом оборотов и достигает максимума при некоторой критической частоте вращения. С дальнейшим увеличением скорости центр масс ротора начинает приближаться к оси вращения и вибрации уменьшаются, т. е. происходит как бы самоцентрирование ротора. Если рабочие обороты значительно (примерно в семь раз, как установил Лаваль) превосходят критическую частоту, вибрация входит в допустимые рамки. Для того чтобы критическая частота была низкой, вал должен быть достаточно эластичным, гибким. Лаваль решил применить в турбине длинный тонкий вал в сочетании с упругими опорами, которые также применялись на сепараторах. Свою идею Лаваль проверял, вращая на токарном станке тяжелый деревянный диск, насаженный на камышовый прут. Гибкий, или сверхкритический, ротор — одно из самых замечательных изобретений Лавалья — был запатентован в 1889 г.

Для решения второй задачи необходимо было сконструировать необычайно прочное и легкое рабочее колесо. И оно было создано в виде специально спроектированного диска «равного сопротивления» с цилиндрическими пазами на ободе. В этих пазах закреплялись лопатки, хвостовики которых имели соответствующую пазам форму. В первых конструкциях диск изготавливался литым вместе с лопатками. Такая технология не могла обеспечить качество и прочность рабочего колеса. Применение «цилиндрических замков» дало возможность фрезеровать лопатки отдельно с высоким качеством. На

рис. 16 показана турбина с гибким валом, диском равно-го сопротивления и цилиндрическими «замками». Для из-готовления лопаток и диска Лаваль применял высоко-прочные никелевые стали. Ряд описанных выше выдаю-щихся, по сути революционных, решений позволил со-здать турбины с невиданно высокой частотой вращения (до 30 000 об/мин) и окружной скоростью, приблизившей-

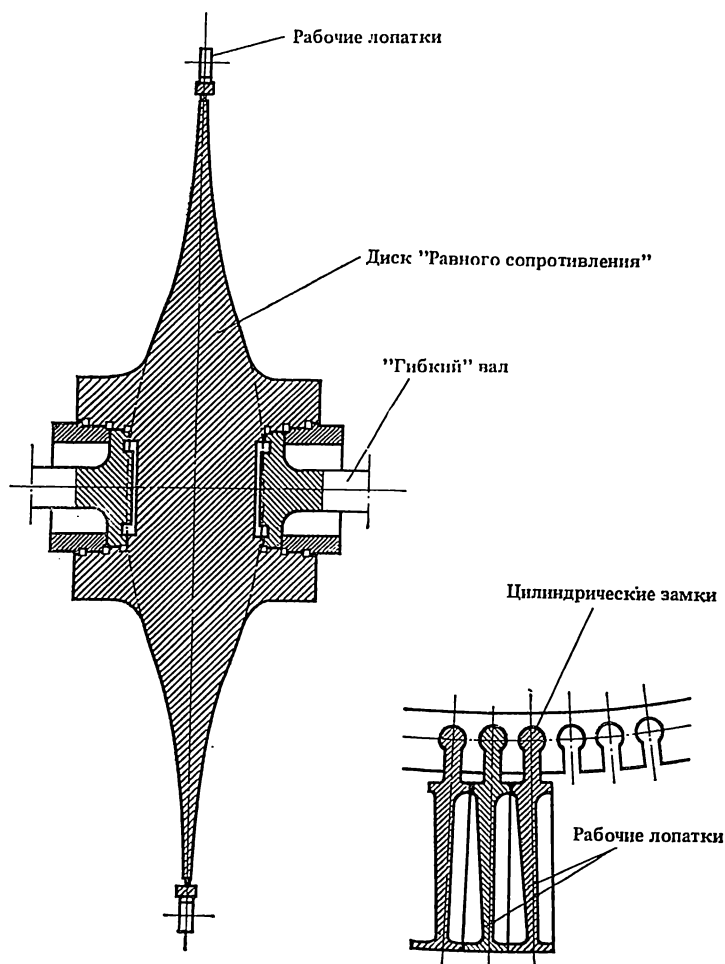


Рис. 16. Рабочее колесо турбины Лавалья

ся к 400 м/с. Даже сейчас, спустя почти сто лет, эти показатели не вызывают снисходительных улыбок на лицах турбостроителей, нечего и говорить, что для того времени эти достижения были фантастическими.

Однако необходимая для получения хорошего кпд высокая частота вращения турбин Лавалья, достигнутая с таким трудом, оказалась не только благом, но и проклятием.

Дело в том, что турбины Лавалья использовались главным образом для привода электрических генераторов, а частота вращения у них была значительно меньше, чем у турбин. Поэтому Лавалью пришлось разработать механическую передачу (редуктор) от турбины к приводному агрегату. Первоначально Лаваль применял фрикционные передачи. Однако они работали неудовлетворительно даже при очень малых мощностях. Впоследствии Лаваль сконструировал редуктор с шевронными зубчатыми колесами. Такие колеса выполнялись с косыми, или винтовыми, зубьями, причем зубья одной половины колеса были как бы зеркальным отражением зубьев другой половины. Такая конструкция обеспечивала плавность работы передачи и одновременно устраняла осевую нагрузку на вал. При изготовлении этих колес была достигнута высокая точность (порядка 0,01 мм), неслыханная для того времени. Беда, однако, в том, что зубчатая передача получалась очень громоздкой. На рис. 17 видно, что сама турбина представляется карликом по сравнению с редуктором. Нелепо громоздкая зубчатая передача (а ее громоздкость была следствием большого различия оборотов турбины и генератора) оказалась неодолимым препятствием на пути создания турбин большой

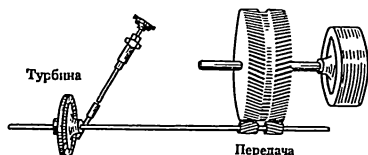


Рис. 17. Турбина Лавалья и зубчатая передача

мощности. Как известно, самая большая турбина, созданная Лавалем, имела мощность 350 л. с. Конструкторскому бюро при обществе «Паровые турбины де Лавалья» в результате упорного многолетнего труда удалось создать турбоустановку мощностью 500 л. с., которая оказалась чрезвычайно дорогой и совершенно неконкурентоспособной.

Следует иметь в виду, что турбинам Лавала присущ еще один серьезный недостаток. В струе пара, вытекающей из сопла, одновременно находится одна или несколько рабочих лопаток — остальные движутся в заполненном паром пространстве, создавая дополнительное сопротивление. Кроме того, как показали позднейшие исследования, явления, связанные с входом лопаток в струю и выходом из нее, а также «несовершенное» обтекание струей рабочих лопаток, расположенных вблизи ее границ, — все это приводит к значительному уменьшению кпд. Следовательно, экономичность турбин Лавала не могла быть высокой даже при оптимальной окружной скорости. С другой стороны, в турбоустановках Лавала нецелесообразно было применять пар с высоким давлением и температурой. Это привело бы к увеличению скорости истечения и, следовательно, к увеличению оптимальной окружной скорости, которая уже достигла величины, почти предельной по условиям прочности. Все эти обстоятельства ограничивали область применения

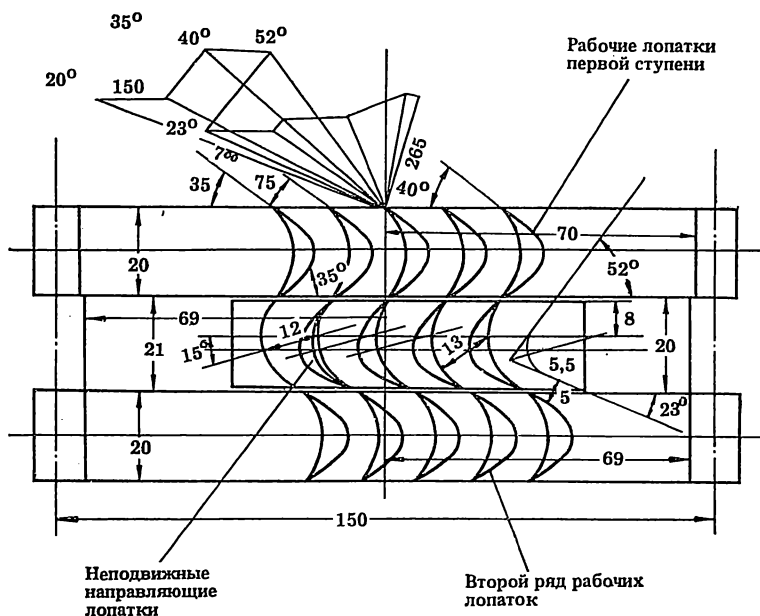


Рис. 18. Чертеж двухступенчатой активной турбины (колеса Кертиса), сделанной Лавалем в 1889 г.

турбины Лавалья мощностью несколько сотен лошадиных сил, т. е. исключали ее по настоящему широкое внедрение.

Нельзя упрекнуть Лавалья в том, что он не искал выхода из тупика. Можно даже сказать, что он был очень близок к этому выходу. Еще в 1889 г. им была разработана двухступенчатая турбина, чертеж которой показан на рис. 18. В этой турбине пар, так же как в одноступенчатой, расширялся только в сопле и поступал на рабочие лопатки первой ступени. На выходе этих лопаток были установлены неподвижные направляющие лопатки, которые поворачивали пар и направляли его на второй ряд рабочих лопаток. Рабочие лопатки обеих ступеней укреплялись на одном диске. Таким образом, кинетическая энергия пара, оставляющего первый ряд рабочих лопаток, использовалась для получения дополнительной полезной работы во второй ступени. Если, рассуждая точно таким же образом, как раньше, попытаться определить оптимальную окружную скорость такой турбины, то окажется, что она уже не вдвое, а вчетверо меньше скорости истечения. И в этом случае, как обычно, Лаваль не ограничился формулировкой идеи. Двухступенчатые турбины мощностью по 100 л. с. были созданы и установлены на энергоустановках, которые использовались для освещения выставки в Стокгольме в 1897 г. В этих установках были применены изобретенные Лавалем прямоточные котлы, рассчитанные на невиданное для того времени давление — до 200 атм. Котлы имели автоматические системы подачи воздуха, топлива и питательной воды. По уровню автоматизации и главным образом по огромному давлению пара эти установки произвели глубокое впечатление на современников. Однако парогенераторы котлов часто выходили из строя. Было ясно, что до создания надежных конструкций такого типа еще далеко (около 40 лет, как оказалось).

После 1895—1896 гг. интерес Лавалья к турбинам заметно ослабел. Он захвачен вихрем новых идей. Изобретает и создает доильную машину, в которой молоко отжималось парными роликами, движущимися вниз от корня соска, электрические и циклонные печи для выплавки чугуна, разрабатывает способы искусственного обезвоживания торфа. Лаваль организует многочисленные акционерные общества по эксплуатации своих запатентованных и незапатентованных идей. Сфера его интересов не-

обозрима. Достаточно сказать, что, помимо перечисленных областей, он в различные периоды своей деятельности занимался аэропланами, ацетиленовыми лампами и производством карбида, газовыми двигателями, извлечением золота из морской воды и множеством других вещей. При этом почти все его идеи воплощались в металл опытными мастерскими и заводами, организованными Лавалем. Эта деятельность не только не приносила доходов, но требовала значительных капиталовложений. Успех с сепаратором, увы, не повторился.

Предприятия по производству турбин (завод в Ярле и компания «Паровые турбины де Лавалья» в США) имели весьма ограниченный рынок сбыта и большого дохода не приносили. Лихорадочно создаваемые Лавалем многочисленные акционерные общества в большинстве случаев прогорали. Так было с «Лакатором», призванным производить роликовые доильные машины (эти машины, как выяснилось, оказывали вредное действие на здоровье коров). Лаваль затыкал бреши в бюджете, продавая акции процветавшего «Сепаратора». Когда в 1908 г. это общество справляло свой двадцатилетний юбилей, его руководители с удивлением обнаружили, что де Лаваль, организатор общества и изобретатель сепаратора, имевший когда-то половину всех акций, уже не имеет ни одной. Но такой человек, как де Лаваль, известный и уважаемый в Швеции и во всем мире, не мог быть просто выброшен за борт. Это могло отразиться и на репутации общества. И «Сепаратор» решил назначить Лавалю приличную пенсию в 12 000 крон, которую в случае его смерти наследовала жена изобретателя.

Лаваль умер 2 февраля 1913 г. в возрасте 67 лет. Он умер в пути, среди множества дел и идей, до конца сохраняя веру в себя. «Было бы трагично, если бы я умер именно теперь, теперь, когда у меня все ясно, все готово...» — это его последние слова. Его замечательные идеи, которых с избытком хватило бы не на один десяток изобретателей средней руки вроде Кертиса, не сделали его богачом, как бывало с другими. Но от этого Лаваль не стал несчастным. Деньги нужны были ему для того, чтобы воплощать свои замыслы, создавать удивительные, невиданные машины, а это ему почти всегда удавалось. Многие сходятся на том, что главным недостатком Лавалья была его неспособность надолго сосредоточиться на одном деле и довести его до конца. Но сам он мало стра-

дал от этого. Наверное, наоборот, Лаваль стал бы несчастным, если бы ему пришлось всю жизнь кропотливо работать над одним, пускай большим, делом, медленно продвигаясь к цели. Его могучий, ярко одаренный ум требовал немедленных проявлений в удивительно разнообразном мире захватывающих его увлечений.

Закljučая рассказ о де Лавале, логично было бы задать не праздный в рамках нашей книги вопрос: что же все-таки в турбине Лавала было изобретено им самим?

В 1629 г. в Риме вышла книга Джованни Бранка «Le machine». На рис. 19 мы воспроизводим картинку со стр. 25 этой книги, где показано паровое колесо — по-

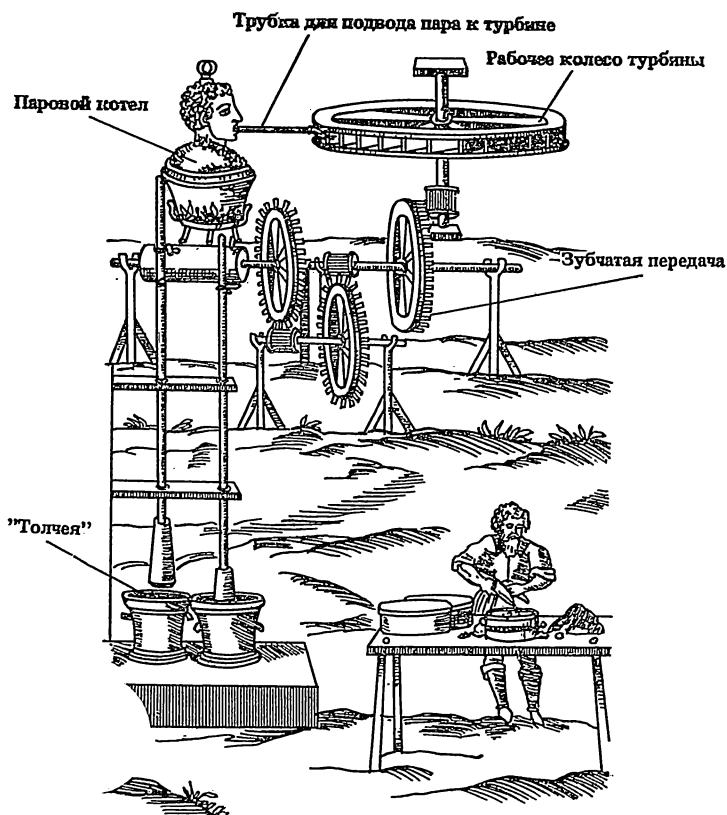


Рис. 19. Паровое колесо Дж. Бранка



видимому, первое изображение активной паровой турбины. Паровой котел выполнен в виде сосуда с человеческой головой. В рот «головы» вставлена трубка, через которую струя пара подавалась на лопатки рабочего колеса турбины. Вода в котел периодически заливалась через завинчивающуюся пробку (колечко на «голове» котла). От вертикального вала рабочего колеса через двухступенчатую зубчатую передачу приводился во вращение барабан, который перемещал пестики ступок так называемой толчеи. Бранка понимал, что частота вращения турбины должна быть во много раз больше, чем у барабана, и использовал в своем редукторе зубчатые (так называемые цевочные) колеса, которые издавна применялись в ветряных и водяных мельницах.

Сравнивая рис. 17 и 19, мы не можем не поразиться сходству турбин Бранка и Лавалея. Действительно, обе турбины состоят из котла, парового сопла, активного турбинного колеса и зубчатой передачи.

Таким образом, как каждый из упомянутых элементов, так и их совокупность были известны более чем за 250 лет до Лавалея, и ему осталось «всего лишь» усовершенствовать эти элементы настолько, чтобы турбина заработала. Но мы уже знаем, какой невероятно трудной была эта задача. А. А. Радциг перечисляет те проблемы, которые были решены Лавалем: 1) работа пара в расширяющемся сопле; 2) проблема гибкого вала; 3) диск равного сопротивления; 4) шариковые подшипники; 5) «разрушитель вакуума» — устройство для повышения давления в конденсаторе при слишком больших оборотах турбины; 6) применение специальных материалов (никелевая сталь для дисков и лопаток); 7) зубчатая передача.

К этому многие добавляют еще цилиндрические замки для крепления лопаток в диске, которые названы по имени изобретателя («хвосты» Лавалея).

Однако расширяющееся сопло, в котором могут быть получены сверхзвуковые скорости, было предложено ван Ратеном еще в 1848 г. (английский патент № 11800).

Нет единого мнения и относительно изобретения Лавалем диска равного сопротивления и цилиндрического замка. Во всяком случае, соотечественник Лавалея доктор Ингвар Юнг утверждает, что эти изобретения были сделаны одним из сотрудников Лавалея, инженером Джоном Смитом. Конечно, Лавалем не были изобретены шариковые подшипники, поскольку еще с 1881 г. в Ев-

ропе (Германия) существовали специализированные заводы по производству подшипников качения. То же можно сказать и о никелевых сталях. Передачи с геликоидными зубцами предлагались еще в середине XIX в. французским ученым Тюрнером, притом именно для турбинных установок. Пожалуй, никто не оспаривает авторство Лавала только относительно гибкого вала и «разрушителя вакуума». Между прочим, Лаваль отнюдь не был и первым человеком, создавшим работоспособную паровую турбину. В середине XIX в. в Англии неким Кристианом Шиле изготавливались и работали паровые турбины мощностью от 1 до 64 л. с., которые использовались для привода вентиляторов, насосов и циркулярных пил. Еще раньше (в 30-х гг. XIX в.) такие турбины использовались в США.

Таким образом, заслуга Лавала не столько в изобретательстве, хотя нужно отдать ему должное — почти все упомянутые выше элементы турбины были им изобретены заново и этим извлечены из забвения.

Здесь уместно, как нам кажется, отметить, что многие свои изобретения Лаваль не патентовал. Вспомним хотя бы двухступенчатую активную турбину. Эта турбина, которую называют колесом Кертиса, была разработана Лавалем в 1889 г. Кертис получил на нее патент в США лишь семь лет спустя (патент США № 566969).

Все же главная заслуга Лавала состоит в том, что он сумел создать основные элементы турбины, довести их и соединить в работоспособную конструкцию, которая во многих отношениях на десятилетия опережала свое время. Турбина Лавала не стала и, как мы знаем, не могла стать основным типом турбины. Однако она сейчас довольно широко применяется в различных вспомогательных агрегатах, главным образом в авиации. И вот если сравнить современную одноступенчатую активную турбину с ее прабабушкой, созданной Лавалем, то поразит их сходство. Оказывается, что почти за 100 лет совершенствования в одной из самых динамичных областей техники формы сопел, лопаток, диска турбины претерпели, в общем, незначительные изменения. Наверное, это беспрецедентный случай в истории техники. Причем сходство не только внешнее. Сравнительно мало улучшились и характеристики турбины. Вспомним, что Лаваль довел окружную скорость турбины почти до 400 м/с. Современные активные турбины редко работают при более высо-

ких скоростях, а ведь окружная скорость — показатель прочности конструкции. Разве все это не доказательство высокого совершенства творения Лавала? Это совершенство тем более удивительно, что достигнуто было оно в основном эмпирически, путем экспериментальной отработки, ведь теория расширяющегося сопла, гибкого вала и диска равного сопротивления была разработана уже после создания турбины Лавала. Но эксперимент без теории слеп, и добиться такого результата в безбрежном море проб и ошибок мог только человек, обладавший уникальным конструкторским чутьем. Доктор Т. Браун, изучавший турбину Лавала по чертежам, представленным в книге А. Стодолы «Паровые и газовые турбины», обнаружил поразительный факт — оказывается, межлопаточные каналы турбины имеют во входной части расширяющуюся, а в выходной — сужающуюся форму. Целесообразность такой формы каналов, притом именно для таких турбин, была доказана теоретически и экспериментально лет через пятьдесят после их создания. Что это? Простое совпадение или чудо инженерной интуиции?

Но интуиция все же подвела Лавала, когда он выбрал свой путь в турбостроении. Подобно альпинисту, он карабкался по отвесным скалам, форсировал бездонные провалы и жуткие ледники, но так и не дошел до цели, хотя и поразил современников своим искусством. Дойти до вершины суждено было другому человеку, который шел более спокойным, но верным маршрутом. Этого человека звали Чарлз Альджерон Парсонс.

### ПУТЬ ПАРСОНСА

Чарлз Парсонс родился в Лондоне 13 июня 1854 г. Он был последним, шестым, сыном Вильяма Парсонса, лорда Росса, члена парламента, председателя Королевского общества, богатого ирландского аристократа (прямого потомка короля Эдуарда III), знаменитого оптика и астронома. Сэр Вильям совсем не был похож на потомка древнего короля, развязавшего когда-то самую длинную в истории человечества Столетнюю войну. Это был человек огромного роста и физической силы, вместе с тем добрый и радушный. В своем имении Бирр-Кастл близ Парсонстоуна сэр Вильям оборудовал обсерваторию, в которой был установлен уникальный по тем временам рефлектор «Левиафан» (диаметр зеркала 1,8 м, фокусное

расстояние 16 м, стоимость в ценах того времени около 120 000 руб.). С помощью этого рефлектора им было сделано выдающееся открытие — обнаружены спиральные туманности.

Чарлз получил прекрасное домашнее образование под руководством отличных преподавателей. Однако главным его учителем был отец, о котором он с глубоким уважением вспоминал до конца жизни. Лорд Росс умер, когда Чарлзу было 13 лет. Через три года Чарлза отправили в Дублин. Здесь он поступил в Тринити-колледж, в котором студенты изучали греческую и латинскую литературу, богословие и историю. Однако эти предметы не заинтересовали юношу, и он вскоре поступает в Сент-Джеймский колледж Кембриджского университета. Во время обучения Чарлз ничем не выделялся среди сверстников, если не считать его успехов в спорте. Парсонс был одним из лучших гребцов на академической восьмерке. На одном из соревнований он особо отличился тем, что спас тонущего гребца, который свалился в воду при столкновении лодок. Это увлечение водным спортом, как мы узнаем немного позже, сыграло немалую роль в выборе основного занятия. Вообще прослеживая жизненный путь Парсонса, поражаешься его магистральной прямизне. Кажется, все события на этом пути вытекают одно из другого и ведут к единой цели, за исключением сравнительно небольших отклонений, о которых мы скажем ниже и которые, пожалуй, только подчеркивают эту прямизну. Как вспоминает Р. Болл, один из учителей Чарлза, он еще мальчиком вместе с братом построил паровую машину. Причем она не была лишь действующей моделью. Машина исправно служила для привода станка, на котором шлифовали линзы телескопов. В студенческие годы Парсонс, так же как в свое время Уатт и многие другие, отдал дань ротационной паровой машине (о ней мы уже говорили). Он спроектировал эпициклоидальный паровой двигатель (разновидность ротационной машины), который ему удалось построить во время работы на заводе Армстронга в Ньюкастле. Этот завод, куда Парсонс поступил после окончания Сент-Джеймского колледжа, был одним из самых передовых машиностроительных заводов Англии.

Им руководил выдающийся инженер и организатор лорд Вильям Армстронг. На заводе Парсонс прошел прекрасную школу и сформировался как инженер. Позже

Парсонс работал в Лидсе на паровозостроительном заводе Джеймса Китсона, который заинтересовался его ротационной машиной. Некоторое время завод Китсона серийно выпускал эти машины мощностью 10 и 20 л. с. Машины использовались для привода электрических генераторов. Очень скоро, однако, Парсонс понял, что ротационные машины лишены настоящих перспектив, и начал упорно работать над паровой турбиной. Нужно сказать, что здесь Парсонс с самого начала выбрал правильное направление, в основе которого лежала, в общем, простая идея: всю располагаемую энергию пара следует разделить на несколько порций и срабатывать не всю сразу в одной ступени, как это делал Лаваль, а последовательно, каждую порцию в отдельной ступени.

Воплощением этой идеи является многоступенчатая турбина, показанная на рис. 20. Турбина состоит из ряда последовательно по ходу пара расположенных ступеней.

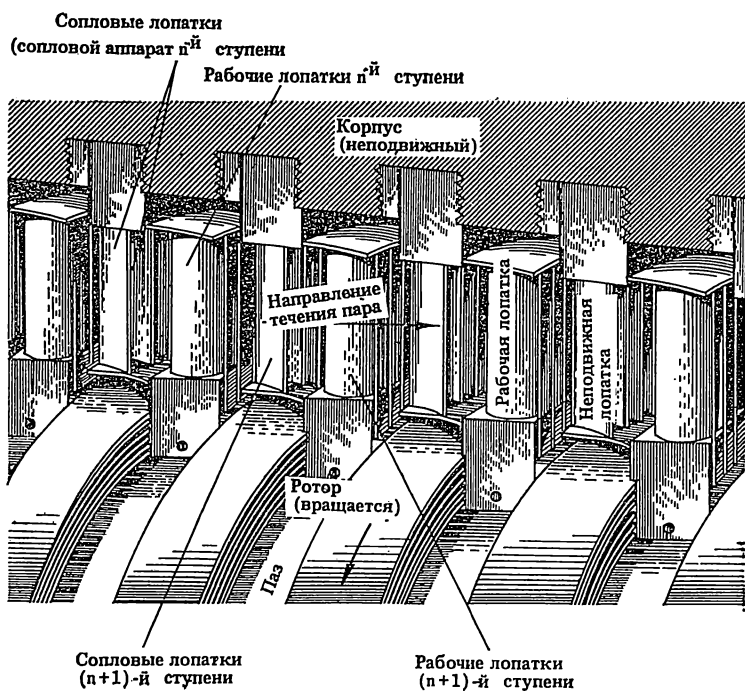


Рис. 20. Многоступенчатая турбина

Каждая из ступеней, подобно турбине Лаваля, состоит из сопел (или соплового аппарата) и рабочего колеса. При этом рабочие колеса укрепляются на одном валу. В такой конструкции очень просто решается главная проблема, мучавшая Лавалю: как уменьшить оптимальную окружную скорость турбины. Энергия пара, приходящаяся на одну ступень в многоступенчатой турбине, может быть выбрана настолько малой, чтобы скорость пара, вытекающего из сопла, и, следовательно, оптимальная окружная скорость рабочего колеса были умеренными. Иными словами, окружную скорость и частоту вращения вала в многоступенчатой турбине можно варьировать, изменяя число ступеней. В одноступенчатой турбине Лавалю, как мы знаем, это было невозможно, Лавалю поэтому приходилось выжимать из турбины максимальную окружную скорость и максимально большую частоту вращения, что приводило к необходимости строить громоздкие зубчатые передачи.

С другой стороны, в многоступенчатой турбине можно сработать при высоком кпд очень большую энергию пара, т. е. появилась возможность работать при высоких температурах и давлениях пара, а это, как мы знаем, обеспечивает высокий термический кпд. В одноступенчатой турбине температура и давление пара были ограничены допустимой окружной скоростью. Действительно, как отмечалось, увеличивать скорость пара значительно больше, чем удвоенная окружная скорость (т. е. более 800 м/с для турбины Лавалю), не имело смысла, так как немалая часть кинетической энергии пара просто не использовалась в турбине.

У многоступенчатой турбины есть и другие преимущества перед одноступенчатой, но на них мы, к сожалению, не можем здесь останавливаться.

Говорят, что Парсонс, приступив к работе над паровой турбиной, отказался изучать патенты или какую-либо историческую литературу по этому вопросу, желая найти собственное решение проблемы. Поэтому не ясно, знал ли он что-нибудь о работах предшественников. Если нет, то он, наверное, был бы немало удивлен, узнав, что многоступенчатые турбины предлагались, причем неоднократно, значительно раньше него.

Так, А. Радциг пишет, что идея многоступенчатой турбины высказывалась в Англии Гилманом в 1837 г. и Вильсоном в 1848 г., во Франции Леруа (1840 г.) и Тур-

нером в 1853 г., а также многими другими. Особенно ясно эта идея отражена в мемуаре Турнера, представленном Академии наук в Париже. В этом мемуаре Турнер пишет: «Упругие жидкости (т. е. газы и пары) приобретают громадные скорости даже при слабых давлениях. Чтобы надлежащим образом использовать эти скорости на простых колесах, аналогичных водяным турбинам, нужно было бы допустить чрезвычайно большие скорости вращения... Можно избежать этих трудностей, заставляя газ или пар терять свое давление... отдельными частями. Если разность давлений велика, то станет ясно, что нужно иметь большое число турбин для достаточного уменьшения скорости рабочего тела». Таким образом, многоступенчатая турбина родилась раньше Чарлза Парсонса. Однако его турбина, запатентованная в 1884 г. (английские патенты № 6734 и 6735), имела ряд особенностей. Первая особенность состояла в том, что расширение пара происходило не только в соплах, но и в рабочих колесах каждой ступени, т. е. каналы между рабочими лопатками были сужающимися, а относительная скорость пара на выходе была больше, чем на входе. Такие турбины условно называются реактивными (вернее было бы их назвать активно-реактивными в отличие от чисто активной турбины Лавала — Бранки и чисто реактивной турбины Герена). Такие реактивные турбины, как было установлено впоследствии, аэродинамически наиболее совершенны. Это основной тип турбины, применяющийся в мощных энергетических установках.

Другая особенность турбины Парсонса была следствием ее многоступенчатой конструкции. Вспомним, что в турбине Лавала, где в соплах происходило полное расширение пара, его давление перед рабочим колесом и за ним одинаково. Поэтому осевое давление на ротор отсутствует. В многоступенчатой же турбине давление за первым сопловым аппаратом, т. е. перед первым рабочим колесом, значительно больше, чем за последним рабочим колесом. Возникает осевая сила, которая в больших турбинах может достигать десятков тонн. Величина ее, если ротор имеет цилиндрическую форму, равна произведению разности давлений перед и за ротором на площадь поперечного сечения ротора. Так происходит в однопоточной турбине, где все ступени расположены последовательно по ходу пара. Осевая сила воспринимается подшипниками ротора. Если эту силу не устранить или хотя

бы не свести к минимуму, проблема работоспособности подшипников чрезвычайно осложняется. Парсонс нашел остроумное решение этой задачи. Он изобрел двухпоточную турбину, в которой пар подводился к средней части ротора. Здесь потоки пара разделялись на две равные половины и направлялись в противоположные стороны к концам ротора. В этой конструкции давление пара с обеих сторон ротора одинаково, так же как в турбине Лавала, и осевая сила, действующая на подшипники, отсутствует.

Для того чтобы начать производство своей турбины, Парсонс решает вступить в качестве компаньона в фирму «Кларк, Чапмэн и К<sup>о</sup>», которая имела хороший машиностроительный завод в Гетсхеде на реке Тайн. Парсонс внес свой пай (20 000 фунтов) и возглавил электротехнический отдел фирмы. Задачей отдела была разработка электрических генераторов с паротурбинным приводом. Фирма стала называться «Кларк, Чапмэн, Парсонс и К<sup>о</sup>». Первая турбина, построенная на заводе в Гетсхеде в 1884 г. в точном соответствии с патентами Парсонса, имела частоту вращения 1000 об/мин и мощность всего лишь 4 кВт (кстати, именно Парсонс впервые начал выражать мощность турбин в этих единицах, использовавшихся ранее в электротехнике). Сравнительно небольшие обороты позволяли непосредственно соединять валы турбины и генератора, избавившись от проклятия турбины Лавала — зубчатой передачи, что упростило и удешевило турбогенератор.

Парсонс отлично видел недостатки своего первого детища и в течение нескольких лет (с 1885 по 1889 г.) кропотливо и методично работал над их устранением. За это время он разработал узлы крепления лопаток в роторе, что позволило (как и Лавалю) изготавливать лопатки отдельно, а потом закреплять их в роторе. Кроме того, Парсонс нашел новый путь уравнивания осевой силы с помощью думмисов. Думмисы представляют собой укрепленные на валу турбины диски. С обеих сторон дисков образованы полости. К одной из полостей подводят пар высокого давления, а в другой полости поддерживают низкое давление. Например, одна из полостей сообщается с входом в турбину, а другая — с ее выходом. В результате на думмисе создается осевая сила, равная произведению площади диска на разность давлений в полостях. Устанавливая на валу один или несколько



думмисов, можно полностью уравновесить осевую силу, действующую на ротор в однопоточной конструкции. Перейдя на такую конструкцию, Парсонс существенно упростил свою турбину, сократив вдвое число ступеней. Кроме того, при этом заметно вырос кпд турбины. Для того чтобы уменьшить перетекание пара из полостей высокого в полости низкого давления, Парсонс применил лабиринтные уплотнения. Все эти, а также многие другие менее значительные усовершенствования позволили заметно сократить расход пара в турбинах Парсонса (с 44 до 12,8 кг/кВт·ч). Увеличилась мощность выпускаемых турбин (до 60—75 кВт), возросла частота их вращения (до 5000 об/мин), а это позволило сделать турбогенераторы более компактными. Постепенно начал вырисовываться экономический успех турбин Парсонса — к 1889 г. число построенных на заводе в Гетехеде турбин приблизилось к 300.

К этому времени отношения Парсонса с компаньонами начинают осложняться. Дело в том, что экспериментальная и конструкторская работа по совершенствованию турбин требовала больших расходов. Эти расходы Парсонс каждый раз был вынужден согласовывать с компаньонами. Прижимистые буржуа Кларк и Чапмэн косо смотрели на траты, которые не приносили надлежащей прибыли и казались тем более бессмысленными, что дела электротехнического отдела и так шли блестяще, а спрос на турбогенераторы быстро возрастал. Парсонс же настаивал на продолжении экспериментов. По этому вопросу между компаньонами возникали частые споры. Кончилось тем, что Парсонс, сочтя создавшееся положение нетерпимым, заявил своим компаньонам о выходе из фирмы. Однако здесь возникло неожиданное затруднение, которое заключалось в следующем. При вступлении в фирму Парсонс обязался внести 20 000 фунтов стерлингов на условиях равного участия в прибылях. Кроме того, по договору он обязался предоставить фирме исключительное право эксплуатации всех своих изобретений. В случае выхода из фирмы договор предусматривал возвращение паевого вноса. Свои же патенты Парсонс обязан был выкупить за  $\frac{7}{8}$  их действительной стоимости. Основываясь на этом пункте договора, Кларк и Чапмэн заломили огромную цену за выкуп патентов — несколько десятков тысяч фунтов стерлингов. Парсонса эта цена, естественно, не устраивала. В результате на-

чался парадоксальный судебный процесс, в котором изобретатель всеми силами пытался доказать, что его патенты ничего не стоят, а бывшие компаньоны Парсонса — нечто прямо противоположное. Легко догадаться, что задача Кларка и Чапмэна была куда проще. Ситуация осложнялась тем, что их адвокат, некий Робсон, придумал ловкий трюк — пригласить в качестве арбитра знаменитого ученого лорда Кельвина (В. Томпсона). Хитрость заключалась в том, что научный авторитет лорда Кельвина был очень высок, а его объективность не могла вызвать сомнений. Кроме того, было известно, что Кельвин очень высоко ценит изобретения Парсонса, ставя их в один ряд с уаттовскими. Таким образом, объективная, т. е. высокая, оценка патентов Парсонса авторитетным экспертом была гарантирована, а именно это и было нужно Кларку и Чапмэну. Эти расчеты полностью оправдались. Перед лицом арбитра по этому делу члена парламента Г. Брюса лорд Кельвин подробно разобрал содержание патентов Парсонса, обосновал их огромное значение для настоящего и особенно будущего энергетики. В этих обстоятельствах сторонники Парсонса взялись доказать, что турбины, изобретенные Парсонсом, в настоящее время не имеют преимуществ перед некоторыми другими двигателями, например ротационными. Если это так, то стоимость патентов Парсонса должна быть во всяком случае не выше стоимости патентов на ротационные двигатели. Решено было провести «следственный эксперимент». В качестве конкурентного был выбран ротационный паровой двигатель некоего Вильсона. На заводе Кларка и Чапмэна в Гетсхеде такой двигатель был построен в полном соответствии с патентом Вильсона. Испытания этого двигателя были проведены в отеле «Линкольн», где уже давно использовался для электрического освещения турбогенератор Парсонса. Стараниями Парсонса, проводившего испытания, двигатель Вильсона работал нормально, вроде бы не хуже турбины — с этим согласились эксперты обеих сторон. Таким образом, эксперимент, казалось, подтверждал позицию Парсонса. Тогда противоположная сторона решила пойти ва-банк. Адвокат Робсон заявил, что если мистер Парсонс считает, что его патенты не имеют никакой ценности без его участия в деле, то его доверители согласны оставить за собой исключительное право на эти патенты и не настаивать более на выкупе их бывшим компаньоном, как зна-

чится в договоре. По расчету Робсона за таким заявлением должно было последовать предложение «настоящей» цены. Однако адвокат Парсонса немедленно принял предложение. Расчет был простой. Без Парсонса его патенты были не более чем листками бумаги. Пройдет два-три года, и их можно будет выкупить за любую сумму. Однако для Парсонса такой исход обернулся неожиданно тяжелыми последствиями. Дело в том, что при таком положении дел за «Кларк, Чапмэн и К<sup>о</sup>» оставалось исключительное право на производство запатентованных Парсонсом так называемых осевых турбин, в которых поток пара движется только вдоль оси турбины и в окружном направлении, не перемещаясь вдоль радиуса, т. е. в направлении, перпендикулярном оси. Таким образом, Парсонсу пришлось на долгое время оставить с таким трудом отработанную осевую турбину.

Более того, турбины, созданные Парсонсом и выпускаемые фирмой «Кларк и Чапмэн», господствовали на недавно возникшем и быстро расширяющемся рынке турбогенераторов. Перед Парсонсом стояла нелегкая задача — создать конкурентоспособную турбину нового типа, способную вытеснить его собственное детище. Выход из положения Парсонс видел в создании многоступенчатых радиальных турбин (т. е. турбин, в которых пар движется в основном в радиальном и окружном направлениях). В 1889 г. он организовывает в Гитоне-на-Тайне (предместье Нью-Кастла) свой турбостроительный и динамостроительный завод, который уже на следующий год начал выпускать турбогенераторы с запатентованными им радиальными турбинами. Первая такая турбина «Джумбо» имела мощность 32 кВт при 6 тыс. об/мин. Парсонс начинает кропотливо работать над радиальной турбиной, внося многочисленные усовершенствования и пробуя различные варианты. В частности, им были созданы и испытаны многоступенчатые чисто реактивные турбины, представляющие собой последовательно соединенные по пару колеса Герона. Одна из таких турбин, которая так и называлась «Герон», показана на рис. 21. Упорный труд продолжался более пяти лет. За это время показатели радиальных турбин значительно улучшились, однако ожидаемых результатов получено не было. Парсонс убедился, что по экономичности и ряду других аспектов осевые турбины превосходят радиальные. Вновь встал вопрос о выкупе патентов у бывших компаньонов. Пробле-

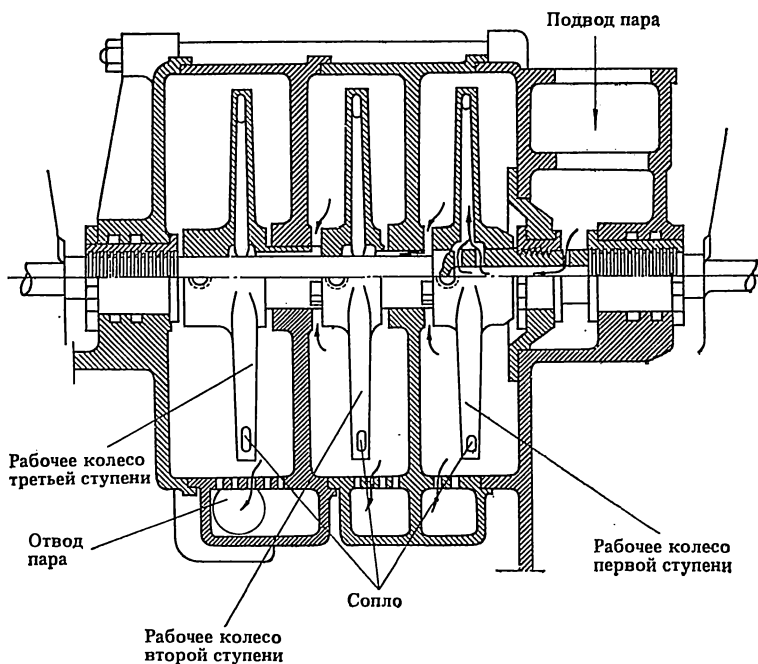


Рис. 21. Многоступенчатая чисто реактивная турбина «Герон»

ма решилась неожиданно легко. При содействии друга Парсонса К. Свинтона патенты наконец были выкуплены у Кларка и Чапмэна, притом за весьма умеренную цену (1,5 тыс. фунтов). Так завершился инцидент, который более чем на пять лет задержал развитие турбостроения.

Разумеется, без самого изобретателя его патенты не много стоили. Однако не в этом заключалась главная причина низкой цены, назначенной компаньонами за выкуп. Дело в том, что истекал пятнадцатилетний срок действия патентов. Поэтому вскоре Парсонсу пришлось обратиться в парламент с просьбой о продлении срока действия патентов. Свою просьбу изобретатель мотивировал тем, что за пятнадцать лет эти патенты не принесли ему никаких доходов. Более того, точные расчеты показали, что расходы, понесенные на создание, усовершенствование турбин и выкуп патентов, значительно больше дохо-

дов, полученных от эксплуатации патентов. Просьба Парсонса была рассмотрена отделом палаты лордов в апреле 1898 г. и удовлетворена. Срок действия патентов Парсонса, так же как некогда патента Уатта, был продлен на пять лет. Нужно сказать, что главную роль в этом решении сыграло мнение Адмиралтейства, которое к этому времени уже вполне представляло огромное значение изобретения Парсонса для военного флота Великобритании.

Здесь, как нам кажется, целесообразно вернуться на несколько лет назад и рассказать о небольшом суденышке, сыгравшем большую роль в истории паровой турбины. Называлось судно «Турбиния», длина его — 30 м, водоизмещение — 44 т. Оно было построено в 1894 г. организованной в том же году «Компанией судовых паровых турбин». Главным директором, владельцем большей части акций, а также ответственным за исследовательские работы и за создание опытного судна в этой компании был Парсонс. В правление вошли его ближайшие друзья и родственники — после истории с Кларком и Чапмэном Парсонс считал нелишним подстраховаться. Мысль о создании быстроходного (предполагаемая скорость «Турбинии» превышала 60 км/ч) судна с паровой турбиной мучила Парсонса задолго до этого. Вначале он испытывал маленькие модели на пруду в своем поместье, затем в больших масштабах на пруду в Гитоне. Модели приводились в движение гребными винтами, вращаемыми «резиновым двигателем» (скрученным резиновым шнуром). В процессе испытаний Парсонс, как ему казалось, нашел оптимальную частоту вращения винтов. Однако испытания «Турбинии» показали, что выбранная по опытным данным скорость вращения винта слишком велика. Происходило чрезвычайно интенсивное вскипание воды, обтекающей лопасти винта (кавитация), в результате чего его эффективность резко снижалась. Начались эксперименты с винтами различной формы (в том числе по аналогии с турбиной исследовался трехступенчатый винт). К этому времени Парсонс выкупил свои патенты и заменил радиальную турбину судна на осевую. Причем частота вращения турбины была резко снижена (примерно до 2200 об/мин). Такие низкие обороты обусловили очень низкую окружную скорость и, следовательно, большое число ступеней. В результате получилась турбина, состоящая из трех последовательно соединенных групп

ступеней, по существу; многоступенчатых турбин высокого, среднего и низкого давления, причем каждая из этих турбин вращала свой винт. Валы турбин и винтов были соединены напрямую, без всякой передачи. Новая конструкция, отработанная к 1896 г., оказалась удачной. «Турбиния» ходила с невиданной скоростью (около 60 км/ч), причем экономичность турбинной установки при мощности 2100 л. с. оказалась лучше, чем у судовых паровых машин.

«Турбиния» произвела огромное впечатление на современников, и особенно на военных. Демонстрация судна на военно-морском смотре в 1897 г., состоявшаяся по случаю «бриллиантового» юбилея королевы Виктории, оказалась чрезвычайно удачной. «Турбиния» легко обходила самые быстроходные корабли. Результаты не заставили себя ждать. Парсонс получает заказ от адмиралтейства на турбинные силовые установки для двух быстроходных контрминоносцев водоизмещением 370—390 т и скоростью 37 узлов (около 70 км/ч). «Общество судовых турбин» срочно расширяется и преобразовывается в «Компанию судовых турбин Парсонса» с капиталом уже 0,5 млн. ф. ст. (1897 г.). В 1900 г. контрминоносцы «Випера» и «Кобра» были построены на доках Армстронга, бывшего патрона Парсонса, приняты и допущены к испытаниям. Однако еще до конца испытаний осенью 1901 г. оба корабля погибли. Вначале «Випера» в густом тумане наскочила на подводный риф, потеряла винты и, лишенная управления, была выброшена на камни у берега острова Ренкет. Корабль погиб, получив пробоины и развалившись на две части. Однако среди экипажа жертв не было.

Катастрофа «Кобры» повлекла куда более тяжелые последствия. Корабль, только что принятый комиссией адмиралтейства, отправился в плавание из Ньюкасла 17 сентября 1901 г. На другой день вдали от берега «Кобра» попала в сильный шторм, во время которого она внезапно развалилась пополам, причем обе половины немедленно затонули. Удалось спастись лишь 12 из 44 человек, находившихся на корабле. Если обстоятельства гибели «Виперы» были признаны случайными, тем более что в тот день не одна она потерпела аварию в густом тумане, то последовавшая сразу же гибель «Кобры» насторожила власти. Произвела она тяжелое впечатление и на Парсонса — среди погибших были его друзья и со-

трудники. Адмиралтейство организовало специальное судебное разбирательство этого дела, в результате которого было установлено, что причина гибели судна не связана с турбинами. Предполагали недостаточную прочность корпуса. Для окончательного выяснения этого вопроса в портсмутских доках проводились специальные испытания аналогичного по конструкции контрминоносца «Вольф». Однако его корпус с честью выдержал очень высокую нагрузку на изгиб. Таким образом, обстоятельства катастрофы «Кобры» не были выяснены. Они окутаны тайной и до сегодняшнего дня.

Однако выгоды, которые сулила турбина военным судам, были настолько велики, что адмиралтейство решило отбросить сомнения. Турбинами оборудуются два новых контрминоносца; затем турбины устанавливаются на крейсере «Аметист», спущенном на воду в 1904 г. Одновременно были изготовлены три однотипных с ним крейсера, снабженных обычными паровыми машинами. Совместные испытания кораблей подтвердили неоспоримые преимущества турбины. Однако поворотным моментом, ознаменовавшим полное торжество турбины, был броненосец «Дредноут» («Бесстрашный»), построенный в 1906 г. Этот корабль был во многих отношениях откровением в военно-морской технике, но одним из решительных его преимуществ была высокая скорость — около 40 км/ч, невероятная для огромного (18 000 т водоизмещения) бронированного чудовища. Эту скорость обеспечивала турбинная силовая установка, мощность которой составляла 24 700 л. с.

Успех «Дредноута» был фантастическим. Почти все страны мира, имевшие сколько-нибудь значительный военный флот, спешили купить у Парсонса лицензии на судовые турбины. Не осталась в стороне и Россия. Турбины Парсонса были установлены на «Гангуте», «Полтаве», «Севастополе», «Петропавловске».

Более скромными темпами, но уверенно паровая турбина начала внедряться и в коммерческое судостроение. Первым пассажирским судном с паровой турбиной был «Король Эдуард» (водоизмещение 650 т, скорость 38 км/ч, мощность турбины 3500 л. с.). Надежная безаварийная служба «Короля Эдуарда» по перевозке пассажиров по реке Клайд снискала доверие к паровым турбинам. Количество паротурбоходов и их размеры непрерывно увеличиваются. Уже в 1907 г. по заказу фирмы «Кунард-

Лайн» строятся два огромных однотипных пассажирских лайнера «Мавритания» и «Лузитания» водоизмещением по 40 000 т. Мощность турбин этих гигантов была впечатляющей — 70 000 л. с., скорость 48 км/ч. Оба судна совершали трансатлантические рейсы, причем «Мавритания» целых двадцать лет (до 1929 г.) удерживала первое место по скорости на этих линиях. Судьба обоих гигантов грустна и поучительна. «Мавритания», не выдержав конкуренции со стороны более быстроходных и комфортабельных лайнеров, перестала окупать эксплуатационные расходы и уже в 1935 г. была отправлена на слом.

«Лузитания» была торпедирована германской подводной лодкой в мае 1915 г. и затонула у берегов Ирландии в самом начале своего обычного рейса Ливерпуль — Нью-Йорк. В результате этой трагедии погибло 1154 человека, 114 из них были американцы. Надо сказать, что уже в то время некоторые обстоятельства, связанные с гибелью «Лузитаний», казались подозрительными. Необъяснимо было поведение конвоя, внезапно покинувшего лайнер именно в тех водах, где (это было известно) находилась вражеская подводная лодка. Специалисты утверждали, что огромное судно не могло так быстро (за 18 мин) затонуть от попадания единственной торпеды.

Полузабытая трагедия «Лузитаний» вновь оказалась в центре внимания в 1980 г., когда был проведен осмотр и фотографирование лежащего на дне судна с помощью телеработа. По размерам огромной пробоины в левом борту «Лузитаний» установили, что после попадания торпеды в носовом трюме сдетонировал находившийся там груз взрывчатых веществ. Вспомнили, как в свое время ходили слухи о том, что пассажирский лайнер перевозит боеприпасы и что на нем установлены какие-то орудия. Об этом было известно немцам, которые считали «Лузитанию» военным судном, неоднократно грозили ее потопить и даже давали соответствующие объявления в американских газетах. Вскоре стали известны и другие факты, которые недвусмысленно указывали на то, что потопление «Лузитаний» было специально спровоцировано правящими кругами Британской империи (морским министром был тогда У. Черчилль). Целью этой хладнокровно осуществленной акции было вовлечение США в войну на стороне Антанты.

Вернемся, однако, непосредственно к судовым турбинам Парсонса. Долгое время они строились по простей-



шей схемé с непосредственным соединением валов турбин и гребных винтов. Между тем гребные винты крупных судов во избежание кавитации приходилось делать большими и низкооборотными. Частота вращения винтов «Мавритании» была всего лишь 200 об/мин. Для того чтобы при таких оборотах получить оптимальную окружную скорость, приходилось строить турбины с очень большим числом ступеней и очень большого диаметра. Так, турбина высокого давления «Мавритании» имела диаметр около 2,5 м, а турбина низкого давления — около 4 м. Масса только роторов турбин составляла почти 200 т! Разумеется, габариты и массу турбин можно было уменьшить очень просто — увеличить частоту вращения. Но в этом случае между валами турбины и винта была нужна понижающая передача, например, тот же самый зубчатый редуктор, который загубил турбину Лавала. Однако многоступенчатые турбины имеют довольно низкую оптимальную частоту вращения, поэтому передаточное отношение редуктора и его масса получаются приемлемыми. Тем не менее по своим размерам редуктор судовой установки и турбины сопоставимы (редуктор Лавала, мы помним, был гораздо больше самой турбины). Моряки называют силовые установки такого типа «турбозубчатые агрегаты», подчеркивая весомость зубчатого редуктора. Первый такой агрегат был установлен Парсонсом на коммерческом судне «Веспасиан» в 1909 г.

Первое появление редуктора в судовой турбинной установке обязано случаю. На «Веспасиане» заменили турбиной тихоходную паровую машину, оставив старый винт, а поскольку частота вращения винта меньше, чем турбины, пришлось поставить редуктор. Конструкция силовой установки оказалась очень удачной, и вскоре турбозубчатые агрегаты стали безраздельно господствовать в судостроении.

Рассказывая о судовых турбинах, успех которых был чрезвычайным, мы оставили в тени стационарные турбины. Их прогресс был не столь впечатляющим, но стабильным и достаточно быстрым.

Напомним, что еще в 1898 г. известная американская фирма «Вестингауз» купила у Парсонса лицензию на производство его турбин. Это была первая лицензия, проданная Парсонсом за границу. Но поворот в стационарном турбостроении озаменовали так называемые эльберфельдтские турбины. Заказ на эти турбины гитонский

завод Парсонса получил из Германии еще в 1899 г. До этого паровые турбины для электростанций строились почти исключительно в Англии и США. Турбины были установлены на электростанции в Эльберфельдте и подвергнуты чрезвычайно тщательным и придирчивым испытаниям. Дело в том, что против турбин вели непримиримую борьбу германские конкуренты Парсонса, производившие паровые машины. Парсонс понимал всю важность происходящего. Заказ был выполнен с особой тщательностью. Результаты испытаний недвусмысленно подтвердили преимущества турбин перед паровыми машинами.

В чем же заключались эти преимущества?

Следует отметить, что по экономичности эльберфельдтские турбины не превосходили паровые машины той же мощности. Это положение сохранялось и позднее. Так, на съезде германских инженеров в 1905 г. приводились данные по удельному (т. е. приходящемуся на 1 эффективную л. с./ч) расходу пара для турбин Парсонса (4,4 кг). Паровая машина Моабитской электростанции в Берлине мощностью 4000 л. с. имела даже несколько меньший удельный расход (4,36 кг пара).

Однако паровые машины обладали значительно большей массой и габаритами. Причиной этого были инерционные нагрузки, возникающие при возвратно-поступательном движении поршней. Эти нагрузки не позволяли увеличивать чистоту вращения выходного вала свыше 1000 об/мин (в редких случаях 1500) и вынуждали чрезвычайно утяжелять фундамент машины. Серьезные проблемы возникали при использовании в паровых машинах высокотемпературного пара. Попытки увеличить кпд паровых машин путем снижения наименьшей температуры цикла приводили к непомерному увеличению размеров цилиндров низкого давления вследствие уменьшения давления и плотности пара в конце процесса расширения. Таким образом, конструкция и принцип действия паровой машины налагали жесткие ограничения как на максимальную, так и на минимальную температуру цикла, а следовательно, и на термический кпд. Действительно, кпд даже самых лучших паровых машин никогда не превосходил 20%.

Паровая турбина была лишена этих недостатков. Ее применение открывало широкие перспективы повышения экономичности путем увеличения наивысшей и снижения

наинизшей температуры цикла. Кроме того, турбина была значительно проще и дешевле в эксплуатации. С эльберфельдтских турбин началось самое широкое строительство паротурбинных электростанций в Европе, причем единичная мощность паровых турбин быстро увеличивалась. Уже в 1913 г. на гитонском заводе строились турбины мощностью 30 000 л. с. Это и не удивительно, ведь преимущества паровых турбин особенно ярко проявлялись именно при больших мощностях.

Надо сказать, что паровая машина, быстро вытесненная турбиной в зоне больших мощностей и двигателями внутреннего сгорания в области малых, еще долго удерживала свои позиции где-то в промежутке между ними. Еще в середине нашего века паровая машина господствовала на железнодорожном транспорте. Делались попытки установить ее на автомобиле. В это же время серьезно обсуждался вопрос о применении паровых машин в авиации. Даже строились опытные авиационные паровые машины небольшой (90—150 л. с.) мощности. Необходимая компактность обеспечивалась высоким давлением (110—125 атм) и высокой температурой пара (около 400°C). Здесь уместно вспомнить паровую машину А. Ф. Можайского — творца первого самолета. Одна из его машин, имевшая мощность 20 л. с., весила 46,7 кг, что было большим достижением для своего времени.

Приближалась первая мировая война. Все ее будущие участники лихорадочно вооружались. Огромные средства вкладывались в строительство новых военных кораблей, большинство которых оборудовалось турбинами. Это было горячее время для «Компании судовых турбин Парсонса». Но максимального напряжения работа достигла во время самой войны. Общая мощность турбин, установленных компанией на британском флоте за время войны, составила более 1 млн. л. с. Однако паровые турбины для судов производились и другими фирмами, купившими у Парсонса лицензии. Всего за время войны британскому флоту было поставлено турбин Парсонса общей мощностью около 3 млн. л. с. Колоссальная для своего времени цифра. Для сравнения укажем, что мощность всех электростанций России была в то время вдвое меньше. Но такими же турбинами были оснащены не только флоты Великобритании и ее союзников — Франции, Италии, России. Как мы знаем, лицензии на эти турбины были куплены и противниками Антанты —

Германией и даже Австрией. Один из лучших кораблей германского флота дредноут «Фон дер Танн» строился под заботливым личным наблюдением Парсонса.

После войны турбостроение продолжало развиваться быстрыми темпами. В 20-е гг. в технологии и конструировании паровых котлов был достигнут настолько высокий уровень, что стало возможным увеличить давление пара до 50 атм. и более. Одновременно возросла и температура пара. Кроме того, начали широко применять перегрев пара. Все это привело к повышению экономичности и мощности паротурбинных установок. Парсонс как всегда был в авангарде турбостроения. Одна из первых турбин высокого давления была построена им для компании Эдисона в Чикаго (1925 г.). Установка имела мощность 50 000 кВт, давление пара составляло 40 атм. Турбина состояла из трех отдельных, последовательно соединенных по пару частей высокого, среднего и низкого давления. Причем перед турбиной среднего давления пар подвергался перегреву. Каждая турбина вращала свой генератор. Плотность пара в конечной стадии расширения была крайне мала, и поэтому размеры турбины низкого давления были очень велики. Высота лопатки последней ступени превышала 1 м, а ротор турбины весил около 54 т (вес среднего паровоза в снаряженном состоянии).

Таким образом, за 40 лет паровая турбина прошла путь от рождения в виде маленького опытного агрегата до силовых установок невиданной мощности и эффективности, составляющих основу большой энергетики. И по всему этому пути ее провел один из самых выдающихся инженеров в истории человечества Чарлз Парсонс.

Работа над турбиной, которой он отдал всего себя и которую он вел до конца своих дней, оставляла лишь немного свободного времени. Это время было посвящено общественной работе (он был членом и президентом множества научных обществ) и увлечениям.

Главным увлечением были искусственные алмазы, которые Парсонс со свойственным ему упорством и методичностью в течение 20 лет пытался синтезировать, создавая различными способами сверхвысокие давление и температуры. Потратив на эту затею огромные средства, Парсонс пришел к выводу, что получить синтетические ювелирные алмазы можно только в условиях сверхглубокой скважины (20 км). Правда, по его расчетам на буре-

ние такой скважины требовалось 30 лет, а стоимость работ составила бы 3 000 000 фунтов стерлингов. Задача оказалась слишком сложной. Парсонс так и не смог ее решить, однако он оставил заметный след в истории синтеза алмазов, и его работы имели немалое значение для успехов этого дела в будущем.

Другим увлечением Парсонса, доставшимся ему в наследство от отца, была оптика. Здесь дело было поставлено на широкую ногу. Парсонс купил оптические мастерские известного английского мастера Г. Грубба, перевел их в Нью-Кастл и организовал фирму «Говард Грубб, Парсонс и К<sup>о</sup>». Фирма изготовляла превосходные оптические приборы, известные во всем мире, например, по заказам Пулковской и Симеизской обсерваторий фирмой были выполнены крупные телескопы и линзы.

По складу характера Парсонс был типичным инженером-экспериментатором. Так же как Уатт, он там, где можно, избегал сложных расчетов и приводил в недоумение своих сотрудников тем, что все пытался сводить к простым пропорциям. Парсонс говорил, что получает «свой опыт и знания кончиками своих пальцев».

### **ТРУДНОЕ ДЕТСТВО ГАЗОВОЙ ТУРБИНЫ**

Однажды (это было в 1902 г.), когда современники находились под впечатлением бурного развития паровых турбин, профессор А. Джемсон, как пишет Л. Гумилевский, задал Парсонсу несколько шуточный по форме вопрос: «Можно ли парсонизировать газовую машину?» «Я думаю, что газовую турбину никогда создать не удастся. Об этом не может быть двух мнений», — последовал быстрый и решительный ответ. Сегодня мы знаем, что Парсонс был неправ. Он не был ни мечтателем и фантазером, ни гениальным провидцем, как Циолковский. Но зато Парсонс глубоко знал технические возможности современной промышленности и потребности капиталистического хозяйства. Он крепко стоял на земле, а таким людям (вспомним хотя бы Д. Уатта) не чужд некоторый консерватизм. И все же в словах Парсонса был смысл: они выражали мнение человека, ясно представляющего огромные трудности на пути создания газовой турбины. В то же время Парсонс, по-видимому, не предвидел, да и не мог предвидеть, в каких областях этот двигатель может стать незаменимым.

И действительно, кто мог в 1902 г., за год до первого полета самолета братьев Райт, предвидеть бурное развитие реактивной авиации или систем перекачивания природного газа, т. е. тех отраслей, где в основном применяются сегодня газовые турбины.

Почему же все-таки газовая турбина, точнее газотурбинный двигатель, казался Парсонсу неосуществимым и в чем его привлекательные стороны?

Если сравнивать расширительные машины (т. е. собственно турбины) в паротурбинной и газотурбинной установках, то здесь разница, в общем, незначительная. В конструкции паровой и газовой турбин много общего, особенно в элементах проточной части — рабочих и сопловых лопаток. Однако другие элементы двигателей разительно непохожи. Прежде всего нагреватели. В паротурбинной установке это котел, обычно огромное сооружение, значительно превосходящее по размерам саму турбину. В газотурбинном двигателе нагревателем служит камера сгорания, где топливо сжигается непосредственно в сжатом воздухе. Это небольшой, легкий агрегат, размеры которого не идут ни в какое сравнение с котлом. Холодильником в газотурбинном двигателе служит обычно окружающая среда, в которую выбрасываются отработавшие газы из турбины, т. е. холодильник в конструкции двигателя вообще отсутствует, в то время как пар после паровой турбины охлаждается обычно циркуляционной водой в очень громоздком устройстве — конденсаторе. Необходимы также системы охлаждения самой циркуляционной воды — градирни или пруды охлаждения — тоже, как мы знаем, исключительно громоздкое сооружение. Правда, паротурбинная установка может работать и без конденсатора, с выпуском пара в атмосферу (как паровая машина паровоза), однако это губительно сказывается на ее экономичности. Таким образом, газотурбинный двигатель, лишенный котла и конденсатора, несравненно более легкий, компактен и прост по сравнению с паротурбинным — в этом его самое главное преимущество.

Но у газотурбинного двигателя есть свои недостатки. В паротурбинной установке рабочее тело сжимается после конденсации в жидком состоянии насосом — устройством очень простым, дешевым и экономичным. Впрочем, экономичность насоса и не имеет особого значения, так как работа сжатия в паро-водяном цикле незначительна.

В цикле газотурбинного двигателя сжимается воздух, причем работа сжатия очень велика, обычно больше половины работы, производимой газовой турбиной. Это приводит к уменьшению полезной работы цикла. Кроме того, большая доля работы сжатия ужесточает требования к кпд процесса сжатия, т. е. к экономичности устройства для его осуществления — компрессора. Компрессор, представляющий собой чаще всего осевую многоступенчатую машину, — один из самых дорогих и трудоемких в изготовлении агрегатов двигателя, не идущий в этом отношении ни в какое сравнение с насосами паротурбинных установок.

Расширение в турбине происходит, как мы знаем, приблизительно по уравнению адиабатного процесса:

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}}$$

При данных давлении  $P_1$  и температуре  $T_1$  перед турбиной давление за ней  $P_2$  определяет температуру  $T_2$ . Давление же  $P_2$  в газовой турбине должно быть несколько больше давления в атмосфере, куда выбрасывается газ из турбины. Если подсчитать  $T_2$  по приведенной выше формуле, то получится величина в несколько сотен градусов. Это много больше, чем в паротурбинной установке, где  $T_2$  ненамного отличается от температуры охлаждающей воды. А это значит, что отводимая в холодильник (окружающую среду) теплота  $Q_2$  в газотурбинном двигателе очень велика, что снижает его термический кпд. Радикальным средством увеличения кпд в этих обстоятельствах является увеличение подведенной теплоты  $Q_1$  и, следовательно, температуры перед турбиной. Однако величину  $T_1$  ограничивает сама турбина. Допустимую по условиям прочности последней температуру  $T_1$  еще недавно не удавалось поднять выше 850—900°C. Поэтому во всех газотурбинных двигателях продукты сгорания, температура которых может достигать более 2000°C, приходится охлаждать перед поступлением в турбину, чтобы она не разрушалась.

Таким образом, чтобы создать газовую турбину, равную или превосходящую паровую по экономичности, необходимо было решить две главные задачи: во-первых, обеспечить высокую (значительно большую, чем у паровой турбины) температуру в начале процесса расширения и, во-вторых, создать высокоэффективный агрегат

для сжатия воздуха (компрессор). Обе эти задачи в то время (и это хорошо знал Парсонс) были неразрешимы. Первая из-за отсутствия жаропрочных материалов, а вторая — из-за недостаточного развития теории, преимущественно аэродинамики. Нужно сказать, что сам Парсонс много работал в свое время над созданием эффективного осевого компрессора и потерпел здесь полную неудачу, что случалось с ним редко. Его фирма с 1900 по 1908 г. построила около 30 осевых многоступенчатых компрессоров. Кпд этих машин был невелик, и производство их пришлось прекратить.

Итак, пессимизм Парсонса относительно перспектив газовых турбин имел серьезные основания.

И все же как среди современников Парсонса, так и гораздо раньше были люди, не отягощенные в такой же мере здравым смыслом, а может быть, такими же глубокими знаниями, которые пытались создать газовую турбину или мечтали о ее создании. Любопытно, что к таким людям в свое время относился и сам Парсонс. Во всяком случае в первом его патенте, полученном в 1884 г., рассматривалась работа многоступенчатой турбины не только на паре, но и на продуктах сгорания. Там же описан газотурбинный двигатель, состоящий из компрессора, газовой турбины и камеры сгорания, работающей на жидком топливе.

Однако первый патент на газовую турбину (вернее, газотурбинный двигатель) был выдан задолго до того (в 1791 г.) англичанину Джону Барберу. В двигателе Барбера топливо получалось путем перегонки из угля, нефти, дерева и т. п. Горючий газ поршневым компрессором подавался в камеру сгорания, куда таким же компрессором нагнетался воздух. Продукты сгорания поступали в осевую активную газовую турбину, которая через механическую передачу из цепей и балансиров приводила упомянутые компрессоры.

Двигатель Барбера, таким образом, содержал все основные элементы газотурбинного двигателя. Была даже предусмотрена система водяного охлаждения турбины. Однако конструкция отдельных элементов свидетельствует о крайне низком уровне знаний в этой области.

Собственно, никакой теории таких двигателей в то время просто не было, хотя газовые турбины были известны задолго до Барбера, причем их родоначальником



можно считать уже известного нам Герона Александрийского (II в. до н. э.). Имеются сведения, что в одном из его автоматов турбинка служила для перемещения символических фигурок на алтаре. Есть основание полагать, что это была обращенная, т. е. работающая на обратном движении воздуха, реактивная турбина. Позднее широко применялся «дымовой вертел», представлявший собой турбинное колесо, подобное ветряку (рис. 22). Это колесо устанавливалось в дымоходе печи и вращалось потоком дымовых газов. От вала колеса обычно через передачу приводился во вращение вертел для поджаривания мяса.

Подобная турбина — так называемое огненное колесо — описана в упомянутой выше книге Дж. Бранка. Она показана на рис. 23. Здесь смесь горячего воздуха и га-

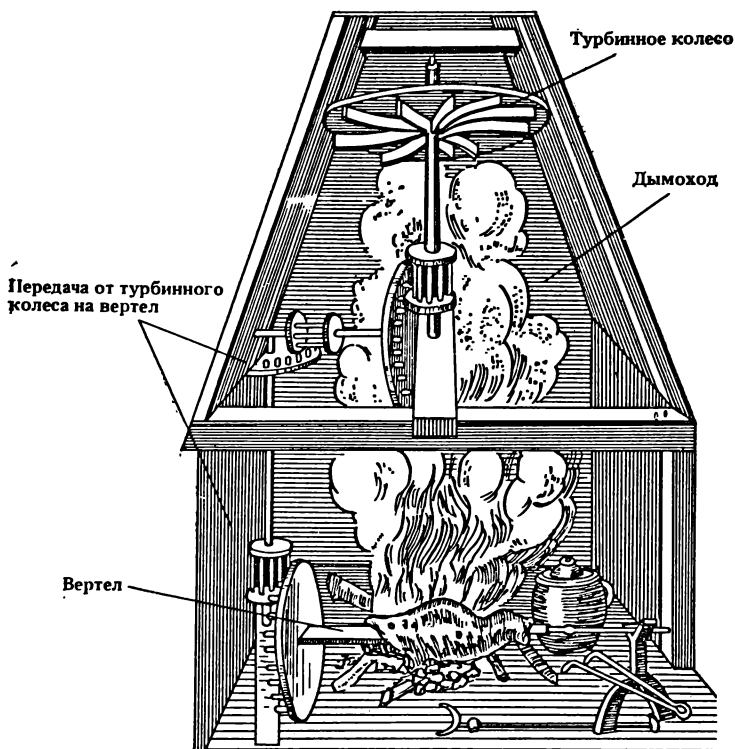


Рис. 22. «Дымовой вертел»

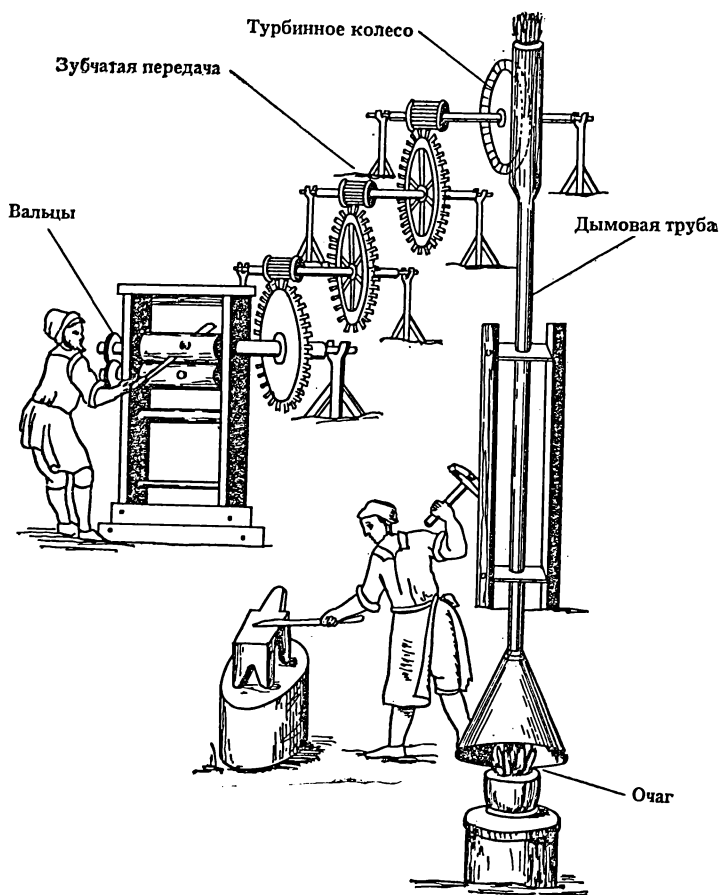


Рис. 23. «Огненное колесо» Бранка

зообразных продуктов сгорания от очага поднималась по вертикальной дымовой трубе, истекая на лопадки турбинного колеса и вращая его. От вала турбинного колеса через зубчатую передачу приводились во вращение валцы, служившие для прокатки металлических заготовок. Описанный Бранка самый древний вид газовой турбины отличается исключительной простотой, так как в нем отсутствует устройство для сжатия воздуха (компрессор). Турбины работают на конвективных потоках

газа, природа которых, как известно, чисто гравитационная — нагретый, менее плотный воздух или продукты сгорания вытесняются вверх более холодным и тяжелым окружающим воздухом. Таким образом, разгон потока воздуха, т. е. превращение подведенной теплоты в кинетическую энергию, обеспечивают силу тяжести. Остается только создать турбину и нагреватель. Впрочем, в качестве последнего можно использовать естественные источники тепла, например солнце. Идеи такого рода продолжают и сейчас будоражить умы изобретателей. Их фантазия создает гигантские полые башни или трубы, укрепленные на склонах гор (ведь скорость воздуха в трубах, или, как говорят печники, тяга, пропорциональна высоте трубы). В башнях или трубах размещаются турбины и нагреватель. Как нетрудно догадаться, все это — родные дети старого «дымового вертела», очень похожие на своего почтенного родителя.

В XIX в. газовая турбина развивалась очень медленно. В 1837 г. француз Брессон запатентовал газотурбинный двигатель, в котором для сжатия воздуха использовался вентилятор, что было некоторым прогрессом по сравнению с предположением Барбера. Можно отметить, что многие изобретатели в то время уже понимали необходимость охлаждения продуктов сгорания перед турбиной, для чего использовалась либо вода (Д. Барбер, В. Ферниху), либо воздух (Брессон). В середине XIX в., как мы знаем, был впервые определен КПД паровых машин, и его незначительная величина вызвала настоящий шок среди специалистов.

Выход из положения многие видели в переходе на другое рабочее тело, в частности на воздух. В связи с этим на некоторое время чрезвычайно обострился интерес к поршневым калорическим двигателям Кейли—Бакетта и газовые турбины долго оставались на заднем плане. Интересно, что «парсонизация» этих машин произошла задолго до известного разговора А. Джемсона с Парсонсом и даже до «парсонизации» парового двигателя.

В 1872 г. за 12 лет до Парсонса немецким инженером Штольце была запатентована «огненная турбина», очень похожая на современные газотурбинные двигатели. Двигатель Штольце (рис. 24) содержал единый ротор, на котором были укреплены лопатки осевого многоступенчатого компрессора и осевой многоступенчатой турбины.

Воздух, сжатый компрессором, подогревался вначале

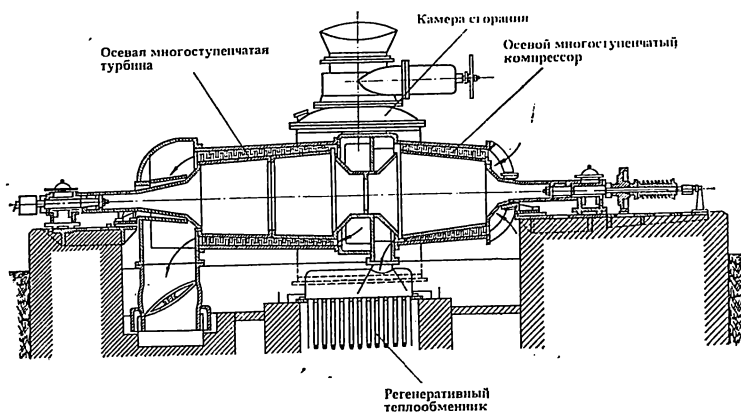


Рис. 24. Газовая турбина Штольце

в регенеративном теплообменнике, затем подавался в камеру сгорания. Здесь меньшая часть воздуха, так называемый первичный воздух, смешивался с топливом и участвовал в его сжигании. Остальной (вторичный) воздух смешивался с продуктами сгорания, в результате чего температура газа, поступавшего на турбину, снижалась до допустимой величины. Именно этот прием применяется в современных двигателях для охлаждения продуктов сгорания\*.

Штольце, по-видимому, первым применил в газовой турбине регенеративный теплообменник, в котором газы, покидающие турбину, нагревали воздух, поступающий из компрессора в камеру сгорания. Штольце предлагал также охлаждать воздух в компрессоре для обеспечения изотермического сжатия, как в цикле Карно. Необходимо отметить, что регенератор был изобретен еще Стирлингом, охлаждение продуктов сгорания путем смешения со вторичным воздухом предлагал ранее Брессон. Заслуга Штольце в том, что он соединил эти элементы в одном двигателе, создал и испытал его. Правда, испытания состоялись только в 1900—1904 гг. и не дали благоприятных результатов. Кпд двигателя был очень низким в

---

\* Следует отметить, что сведения о двигателе Штольце довольно противоречивы. Так, проф. Я. И. Шнез считал, что подогрев воздуха перед турбиной производился не в камере сгорания, а в поверхностном теплообменнике («воздушном котле»).

связи с неэффективностью компрессора и недостаточно высокой температурой перед газовой турбиной.

Компрессор долго был камнем преткновения создателей газотурбинных двигателей, и на первых порах они вообще старались обойтись без него, изобретая бескомпрессорные двигатели. К бескомпрессорным двигателям относятся газовые турбины взрывного действия, в которых сгорание топлива происходит при постоянном объеме. Камеры сгорания таких турбин имеют входной и выходной клапаны, которые закрывают камеру перед воспламенением топлива — воздушной смеси. После воспламенения (взрыва) смеси давление в камере мгновенно увеличивается в несколько раз, выходной клапан открывается и продукты сгорания поступают в турбину. Если цикл двигателя Штольца с горением при постоянном давлении близок к циклу дизельного двигателя, то цикл взрывной турбины похож на цикл карбюраторного двигателя.

Особенно много над взрывной турбиной работал немецкий инженер Гольцварт. Эти работы начались в 1908 г. Гольцварт применил предварительное сжатие воздуха перед подачей в камеру сгорания. Постепенно вносились и другие усовершенствования. Так, по предложению Шюле была применена паровая турбина, вращавшая компрессор для предварительного сжатия. Пар для турбины генерировался в системе водяного охлаждения газовой турбины, а также в теплообменнике, установленном между ее ступенями. За период 1908—1930 гг. Гольцварт построил несколько турбин, эффективный кпд которых достигал 18%. Кпд варианта с паровой турбиной приближался к 30%. Однако он был ниже кпд паротурбинных и дизельных двигателей. Кроме того, применение автоматических клапанов, паровой турбины, системы охлаждения чрезвычайно усложнило конструкцию двигателя Гольцварта и лишило его главных преимуществ газовой турбины — простоты и компактности.

Из турбин взрывного горения следует упомянуть турбину, запатентованную в 1906 г. и построенную в 1908 г. В. В. Караводиным. Эта турбина показана на рис. 25. Исключительно интересной особенностью турбины было отсутствие выпускного клапана — наиболее ненадежного элемента взрывной турбины. Вместо этого клапана Караводин использовал длинную газоподводящую трубу, расположенную между камерой сгорания и рабочим коле-

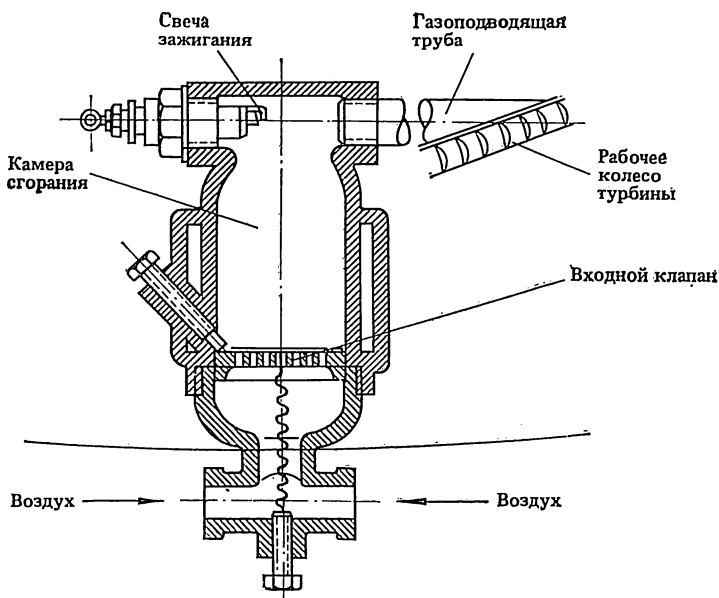


Рис. 25. Турбина В. Караводина

сом турбины. После сгорания столб газа в газоподводящей трубе вследствие инерции как бы закрывает выход из камеры сгорания, обеспечивая повышение давления в ней. Затем газ в газоподводящей трубе постепенно разгоняется и, истекая из нее, создает разрежение в камере. Благодаря этому входной клапан, расположенный в нижней части камеры сгорания, открывается, и в камеру всасывается топливовоздушная смесь. С помощью этого остроумного приспособления Караводину удалось чрезвычайно упростить систему клапанов камеры сгорания и обеспечить их надежность. Впоследствии эта идея Караводина легла в основу пульсирующего воздушно-реактивного двигателя.

Турбины взрывного горения в наше время совершенно не используются, хотя исследовательские работы над ними, правда в небольшом объеме, продолжают.

В 1920-гг. в области газовых турбин возникло новое, полузабытое сейчас течение, казавшееся тогда перспективным. Это были так называемые «мокрогазовые» тур-

бины. Главным элементом такой турбины является одна или несколько камер наподобие цилиндров двигателя внутреннего сгорания. Роль поршня в цилиндрах играет частично заполняющая их вода. Процессы подачи топлива, воздуха и сгорания смеси точно такие же, как в поршневых двигателях. После вспышки вода выбрасывается из цилиндра в сопла гидравлической турбины, с вала которой и снимается полезная мощность. «Мокрогазовая» турбина живо напоминает нам изобретение Д. Папена — комбинацию насоса Севери с гидравлической турбиной, только рабочим телом здесь является не пар, а продукты сгорания. Кажется, в «мокрогазовой» турбине успешно решаются обе основные проблемы газовой турбины — в ней отсутствует компрессор, а продукты сгорания не контактируют с турбиной и поэтому их не нужно охлаждать. Кроме того, турбина работает на воде, а это позволяет резко уменьшить оптимальную окружную скорость и частоту вращения турбины. Вал такой турбины можно прямую, без всякой передачи соединить с валом тихоходного приводного агрегата, что в ряде случаев очень выгодно. Одним из изобретателей «мокрогазовых» турбин был инженер Штаубер. Он создал несколько работоспособных конструкций. Однако хороший КПД от «мокрогазовой» турбины получить не удалось, по-видимому, из-за больших тепловых и гидравлических потерь.

В общем, до 40-х гг. нашего века газовая турбина как самостоятельный двигатель не могла составить конкуренции ни паровой турбине, ни двигателю внутреннего сгорания. Однако она довольно широко использовалась как вспомогательный агрегат, как помощница своих конкурентов, например для наддува двигателей внутреннего сгорания, т. е. для подачи в них сжатого воздуха.

Кроме того, газовая турбина использовалась для наддува топков котлов, причем впервые для этой цели она была применена швейцарской фирмой «Броун — Бовери» для знаменитых парогенераторов «Велокс».

В начале 40-х гг. положение газовой турбины начало быстро изменяться. Во-первых, металлургами были созданы жаропрочные сплавы, позволившие довести температуру газов перед турбиной до 800°C и даже более.

Во-вторых, КПД многоступенчатых осевых компрессоров удалось значительно увеличить (с 65—70% в 20-е гг. до 85%). Это были серьезные предпосылки для создания достаточно экономичных газотурбинных двигате-

лей. И наконец, в-третьих, у этих двигателей появилась область применения, где они были вне конкуренции благодаря своей необыкновенной легкости и компактности. Это была реактивная авиация.

### КТО В ВОЗДУХЕ БЫСТРЕЕ, ТОТ СИЛЬНЕЕ

Полет был древнейшей мечтой человека. Разве трудно представить себе нашего самого отдаленного предка, с безотчетным восхищением следящего за полетом птицы?

Даром полета наделялись самые могучие и счастливые существа, рожденные воображением человека,—боги и герои. Летающие люди неизменно присутствуют в легендах и мифах, созданных в самых древних и примитивных обществах во всех концах земного шара.

Прошло не одно тысячелетие. Время от времени делались наивные, обреченные на неудачу попытки подняться в воздух. Мечта стала явью 21 ноября 1783 г., когда в Париже аэронавты Пилатр де Розье и маркиз д'Арланд поднялись в воздух на воздушном шаре братьев Монгольфье. За воздушным шаром последовал дирижабль — первый управляемый воздушный корабль, в котором первоначально воздушный винт приводился во вращение паровой машиной. Дирижабль впервые был построен А. Жиффаром в 1852 г. Но дирижабль обладал множеством недостатков. Главные из них — низкая скорость и плохая управляемость. 17 декабря 1903 г. в воздух впервые поднялась машина, в которой заключалось будущее авиации. Это был аэроплан братьев Райт. Самолет пролетел в этот день первые 32 м из тех миллионов и миллиардов километров, которые предстояло освоить авиации. Первый самолет был снабжен бензиновым двигателем внутреннего сгорания, который на долгие годы оставался основным, почти единственным авиационным мотором.

Аэропланы быстро совершенствовались, и очень скоро стало ясно их огромное военное значение. В первой мировой войне авиация уже играла заметную роль. Во второй мировой ее роль была огромна. Для военного самолета скорость — основной показатель, и конструкторы лихорадочно работали над улучшением скоростных качеств машин. Первые самолеты имели скорость 45—50 км/ч, а уже в 1920 г. мировой рекорд скорости рав-



нялся 320 км/ч. В этот год человеку удалось обогнать самую скоростную птицу — сокола-сапсана, скорость которого не превышает 315 км/ч. Скорость самолетов быстро увеличивается, и в 1939 г., т. е. к началу второй мировой войны, она составляла уже 750 км/ч. Такой быстрый рост был достигнут как улучшением аэродинамики самолета, так и благодаря совершенствованию двигателей. Удельный вес авиационных двигателей был к этому времени доведен примерно до 1—1,5 кг/л. с., что являлось огромным достижением. В авиационных ДВС использовались самые лучшие материалы и самые передовые технологии, поэтому они были значительно легче и меньше, чем ДВС, использовавшиеся в других областях. Немалое значение имело и то, что ресурс у авиационных двигателей был гораздо меньше, чем у других ДВС.

Однако уже в 30-е гг. стало ясно, что поршневой двигатель в недалеком будущем должен сойти со сцены. Причина заключалась в следующем. Во время полета самолета с постоянной скоростью сила сопротивления воздуха, действующая на самолет, равна по величине и противоположна по направлению силе тяги, создаваемой двигательной установкой (из первого закона Ньютона известно, что равновесие сил, действующих на тело, — условие его равномерного движения). Тяга создается так называемым движителем-соплом, формирующим реактивную струю (точно так же, как в реактивной турбине), или винтом, принцип действия которого, по существу, такой же — он ускоряет протекающий поток воздуха и в результате на него действует реакция струи, равная массовому расходу, умноженному на ускорение. Полезная мощность двигательной установки равна произведению силы тяги  $R$  на скорость  $V$  самолета (т. е. на его перемещение в единицу времени):  $N = RV$ .

Мощность поршневого двигателя мало изменяется с изменением скорости, а следовательно, сила тяги с ростом скорости будет падать:  $R = \frac{N}{V}$ . Между тем от двига-

теля нужно нечто совершенно противоположное, так как с ростом скорости сопротивление самолета увеличивается. При этом в зоне достаточно малых скоростей сопротивление растет пропорционально квадрату скорости, а при приближении скорости полета к скорости звука в воздухе (1225 км/ч на уровне моря) сопротивление возрастает уже пропорционально скорости в четвертой-шес-

той степени, т. е. мощность должна увеличиваться пропорционально скорости в пятой-седьмой степени.

Для увеличения скорости в этой области всего на 10% приходится увеличивать мощность двигателя более чем вдвое. Таким образом, в зоне околозвуковых скоростей потребная мощность очень велика, и масса авиационных двигателей внутреннего сгорания делается недопустимо большой. Расчеты показывают, что при умеренной тяге 3000 кг и скорости 1000 км/ч масса поршневого двигателя приближается к несуразной для авиационного двигателя цифре — 15 000 кг. С помощью поршневого двигателя оказалось невозможным вплотную подойти к звуковому барьеру, не говоря уже о сверхзвуковых скоростях.

Решить эту задачу оказалось по плечу только газотурбинному двигателю. Идея авиационного газотурбинного двигателя довольно проста.

Мы знаем, что во всяком тепловом двигателе работа расширения больше работы сжатия. Часть работы расширительной машины, в данном случае газовой турбины, в обычном газотурбинном двигателе используется для привода компрессора, а оставшаяся часть — для привода нагрузки — электрического генератора, винта в судовой установке и т. п. Поэтому турбину можно разделить на две части — турбину компрессора и турбину нагрузки, которую часто называют силовой, или свободной, турбиной. Эти турбины нередко и выполняют в виде двух отдельных агрегатов. В авиационной силовой установке силовую турбину можно использовать для привода воздушного винта. Можно сделать по-другому — убрать силовую турбину вообще. В этом случае часть располагаемой энергии газа (ее называют обычно свободной энергией) можно превратить в сопле двигателя в кинетическую энергию и получить силу тяги за счет реакции струи (точно так же, как в реактивной турбине, рассмотренной выше). Такие двигатели называются турбореактивными. Можно применить и промежуточный вариант: часть свободной энергии использовать в турбине для привода винта, а другую часть — в сопле. Именно по этому принципу работают современные турбовинтовые двигатели.

Основной двигатель в современной авиации — турбореактивный. Он несравненно легче поршневого при той же мощности. Кроме того, его тяга, в общем, незначительно изменяется в широком диапазоне скоростей полета (у поршневого, как мы знаем, она с ростом скорости

падает). Начиная с середины 40-х гг. все рекорды скорости устанавливались только на самолетах с турбореактивными двигателями.

Хотя идея применения газотурбинного двигателя в авиации возникла еще в конце прошлого века (по-видимому, впервые она была сформулирована русским инженером В. Д. Кузьминским в 1890 г.), первые патенты на турбореактивные двигатели появились сравнительно недавно — лишь в 20-х гг. нашего века. Одним из первых в 1921 г. турбореактивный двигатель запатентовал француз Гийом. Двигатель Гийома близок к классической современной схеме — он имеет многоступенчатый осевой компрессор, сидящую с ним на одном валу многоступенчатую турбину и камеру сгорания, расположенную между турбиной и компрессором. В 1924 г. известным советским изобретателем В. И. Базаровым был заявлен турбореактивный двигатель, ряд особенностей конструкции которого представил значительный интерес.

В 30-х гг. интерес к турбореактивным двигателям возрастает, появляются новые патенты, увеличивается разнообразие предлагаемых схем. В большинстве своем это двигатели с центробежным одноступенчатым или многоступенчатым компрессором. Таковы довольно многочисленные схемы Лисхольма. Использование центробежных компрессоров объясняется многими причинами. Главная из них — низкий кпд и большая масса осевых компрессоров в то время. Были даже попытки использовать объемные винтовые компрессоры (Лунгстрем).

На рис. 26 приведен чертеж двигателя, заявленного английским инженером Френком Уиттлом 16.01.1930 г. Это уже достаточно зрелая конструкция. Особенностью двигателя является так называемый комбинированный компрессор — сочетание осевых ступеней с выходной центробежной. Такие компрессоры позднее нередко применялись в воздушно-реактивных двигателях.

В дальнейшем Уиттл использовал преимущественно центробежные компрессоры двухстороннего типа. В этих компрессорах воздух всасывается симметрично с двух сторон ротора, а выбрасывается так же, как в обычной машине, радиально. Такая конструкция позволяет устранить осевую силу, действующую на ротор. Во втором варианте двигателя Уиттла воздух из компрессора поступал в спиральный патрубок, затем в камеру сгорания, а оттуда — в осевую газовую турбину. Именно по такой

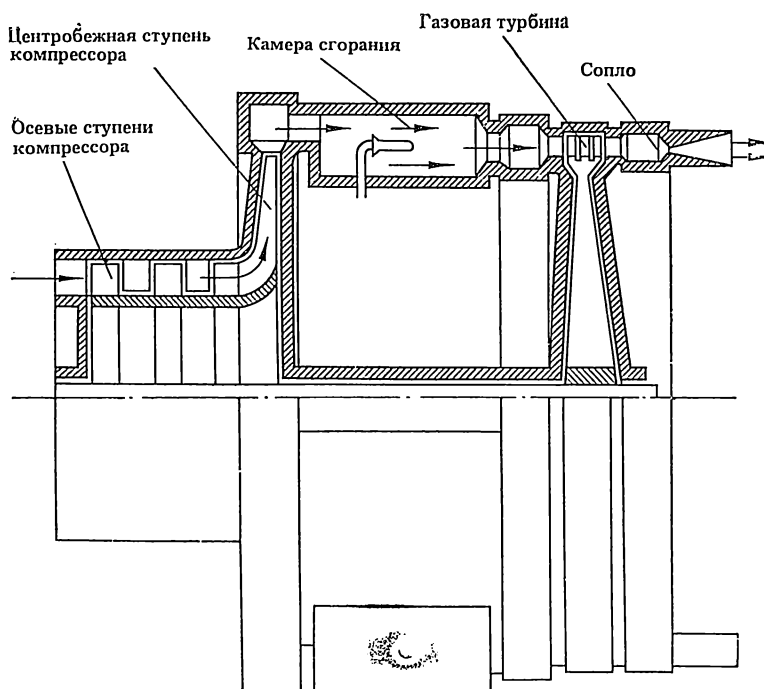


Рис. 26. Первый вариант двигателя Уиттла

схеме Уиттлом был создан первый турбореактивный двигатель W (Уиттл)-I. Двигатель весил 287 кг и развивал тягу 388 кг. Испытания двигателя прошли успешно, и уже 15 мая 1941 г. в Кэрнуэлле (Англия) состоялся полет реактивного истребителя «Глостер E28/39» с двигателем W-I.

Одновременно с Уиттлом и независимо от него в Германии доктором Охайном был создан турбореактивный двигатель HeS3B, который также имел центробежный компрессор и развивал тягу 500 кг. Первый полет самолета Хейнкеля He-178 с этим двигателем состоялся 27 августа 1939 г. Испытательные полеты реактивных самолетов были успешными. Началась лихорадочная работа по усовершенствованию двигателей и самолетов и разработке серийных машин. Первая такая машина была создана в Англии. Это был знаменитый истребитель «Метеор». На крыльях «Метеора» были установлены два двигате-

ля «Дервент» с тягой 1630—1820 кг. Первый полет «Метеора» состоялся в марте 1943 г. Совершенствование двигателей происходило такими темпами, что за два года удалось увеличить их тягу более чем в 4 раза. «Метеор» сыграл заметную роль в обороне Великобритании. Особенно успешно он использовался в борьбе с управляемыми самолетами-снарядами V-I. В 1945 г. «Метеор» установил рекорд скорости — 975 км/ч.

В США развитие реактивной авиации на первых порах происходило под сильным влиянием англичан, которые сразу же после испытательных полетов Е 28/39 передали США необходимую документацию по самолету и двигателю.

Первым американским реактивным истребителем был «Эркомет», оснащенный двумя двигателями W-I. Этот истребитель также использовался для борьбы с V-I.

Ускоренными темпами разрабатывались турбореактивные двигатели и в Германии. Уже в 1939 г., как мы знаем, был совершен опытный полет с таким двигателем, разработанным фирмой Хейнкель. Впоследствии фирма создала усовершенствованный вариант своего первого двигателя HeS3B, очень похожий на двигатель, запатентованный Ф. Уиттлом в 1930 г. Но основными двигателями немецкой реактивной авиации были ЮМО-004 («Юнкерс») и BMW-003, которые в отличие от американских и английских имели осевые, а не центробежные компрессоры. ЮМО-004 имел тягу 940 кг. Два таких двигателя были установлены на первом немецком серийном реактивном истребителе Me-262, максимальная скорость которого на высоте 9 км составила 900 км/ч. Серийный выпуск самолета начался летом 1944 г. К моменту капитуляции их успели изготовить 600 штук. По планам предполагалось в мае 1945 г. довести выпуск этих самолетов до 2000 в месяц. Это было то самое чудо-оружие, на которое надеялся Гитлер. Немцами было создано довольно много опытных машин. Некоторые из них подготавливались к серийному производству. Но все эти планы рухнули вместе с третьим рейхом в мае 1945 г.

Реактивная авиация не сыграла во второй мировой войне заметной роли потому, что количество созданных реактивных самолетов было по сравнению с обычными ничтожным, да и появились они к самому концу войны. Однако если бы война затянулась, союзникам пришлось бы иметь дело с мощной реактивной авиацией фашистов.

В Советском Союзе разработка турбореактивных двигателей началась в 1937 г., причем пионером этого дела был знаменитый инженер и изобретатель, впоследствии академик и генеральный конструктор Архип Михайлович Люлька. Им сделано несколько крупнейших изобретений. В частности, А. М. Люлька изобрел двухконтурный турбореактивный двигатель, который очень широко используется в современной авиации. Трудami коллективов под руководством А. М. Люльки, А. А. Микулина, В. Я. Климova в 40—50-е гг. создавались замечательные турбореактивные двигатели, которые в ряде случаев далеко превосходили лучшие иностранные образцы.

После войны реактивная авиация продолжала развиваться бурными темпами. Росла мощность двигателей, увеличивалась их тяга (от нескольких сот до десятков тысяч килограммов), возрастала экономичность. Но пожалуй, самые поразительные результаты были достигнуты в уменьшении массы двигателей. Уже самые первые турбореактивные двигатели были значительно легче поршневых. Так, по расчетам И. Дриггса и О. Ланкастера турбореактивный двигатель, рассчитанный на скорость 740 км/ч на высоте 10 700 м, весил примерно 0,3 кг/л. с. (в 5 раз меньше, чем поршневой). С тех пор масса двигателя, приходящаяся на единицу мощности, уменьшилась в 10—15 раз.

Турбореактивный двигатель быстро завоевал военную, а затем и гражданскую авиацию. Поршневой двигатель некоторое время держался в так называемой легкомоторной — спортивной и сельскохозяйственной — авиации, сейчас он вытесняется и оттуда, несмотря на то что поршневые двигатели были, а для малых скоростей и сейчас остаются более экономичными, чем реактивные. История реактивного двигателя — яркая иллюстрация к мысли С. Карно о том, что КПД — это лишь один из критериев и часто не самый главный среди других, определяющих конкурентоспособность двигателя в данной области.

Мы видим, что судьба газовой турбины сходна с судьбой паровой в том смысле, что ее триумфальное шествие началось не на земле. Она стала главным двигателем воздушных кораблей, довольно широко применяется на флоте. Но в отличие от паровой турбины успехи ее газовой сестры на земле оказались куда скромнее. Сейчас газовая турбина используется для привода компрессоров,

перекачивающих газ в магистральных газопроводах. В сравнительно небольших количествах она применяется в стационарной энергетике и наземном транспорте. Причина этого в том, что современная газовая турбина в ее простейшем варианте заметно уступает по экономичности своему основному конкуренту — дизельному двигателю. Попытки улучшить ее экономичность с помощью дополнительных устройств — регенераторов, других утилизаторов тепла и т. п. приводят к тому, что, приближаясь по кпд к дизелю, она теряет свое главное преимущество — малую массу и компактность. Возможно ли изменение этой ситуации в будущем? На этом вопросе мы остановимся чуть позже.

### БЕЗ ТУРБИН И КОМПРЕССОРОВ

На земле аппарат для сжатия воздуха в турбореактивном двигателе ничем не отличается от такового в стационарной газотурбинной установке. Это осевой или центробежный компрессор. Но вот самолет поднялся в воздух. Скорость его быстро увеличивается. Набегающий поток воздуха, попадая в воздухозаборник двигателя (так называемый диффузор), тормозится перед входом в компрессор. При этом давление воздуха повышается. С увеличением скорости полета степень повышения давления воздуха в диффузоре увеличивается. Она может сравняться и превзойти степень повышения давления в компрессоре. Таким образом, в полете функцию устройства для сжатия воздуха в турбореактивном двигателе выполняют уже два аппарата — диффузор и компрессор. На очень больших скоростях полета (в несколько раз больших, чем скорость звука) степень повышения давления в диффузоре достигает оптимальной\* величины и

---

\* Оптимальной степенью повышения давления называется такая величина, при которой тяга, отнесенная к расходу воздуха через двигатель, достигает максимума или отношение расхода топлива к тяге — минимума. То, что такая степень повышения давления существует, ясно из следующего простого рассуждения. Работа цикла равна нулю в двух случаях: когда степень повышения давления равна единице и когда степень повышения давления настолько велика, что температура в конце сжатия равна температуре перед турбиной (в этом случае в камере сгорания не сжигают топливо). Очевидно, что между этими крайними величинами находится та степень повышения давления, при которой обеспечиваются наилучшие показатели двигателя.

надобность в компрессоре отпадает. Одновременно становится не нужной и турбина, которая в турбореактивном двигателе служит только для привода компрессора. После удаления этих элементов в двигателе остаются диффузор, камера сгорания и сопло. Такой двигатель называют прямоточным, а иногда в шутку — «летающей керосинкой». Его конструкция чрезвычайно проста (отсутствуют движущиеся части). И кроме того, ввиду отсутствия турбины уже ничто не мешает поддерживать в нем температуру перед расширением в сопле равной температуре в процессе сгорания топлива. А это, как мы знаем, резко увеличивает термический КПД двигателя.

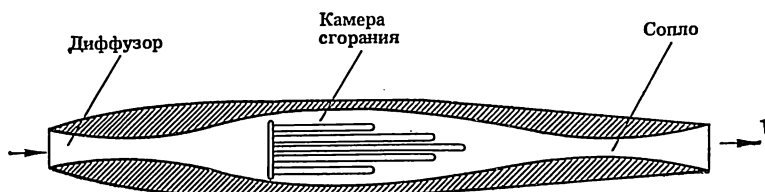


Рис. 27. Прямоточный двигатель Лорена

Прямоточный двигатель был придуман французом Рене Лореном в 1913 г. Его двигатель, показанный на рис. 27, состоит из диффузора, камеры сгорания и сопла. Лорен предназначал свой двигатель для сверхзвуковых скоростей, поэтому диффузор и сопло имеют сужающе-расширяющуюся форму. В дальнейшем было установлено, что эффективное сжатие воздуха может быть осуществлено только в том случае, если в диффузоре установить коническое выступающее центральное тело.

Много работали над прямоточными двигателями венгерский изобретатель Фоно и французский инженер Ледюк. Последний даже создал несколько моделей самолетов с таким двигателем. Главным недостатком прямоточных двигателей является отсутствие тяги в стартовых условиях, т. е. при нулевой скорости. Поэтому они используются в комбинации с другими (турбореактивными или ракетными) двигателями.

Этого недостатка лишены пульсирующие двигатели (рис. 28). Конструкция этого двигателя также достаточно проста. Он представляет собой трубу, во входном отверстии которой установлены впускные клапаны. За кла-



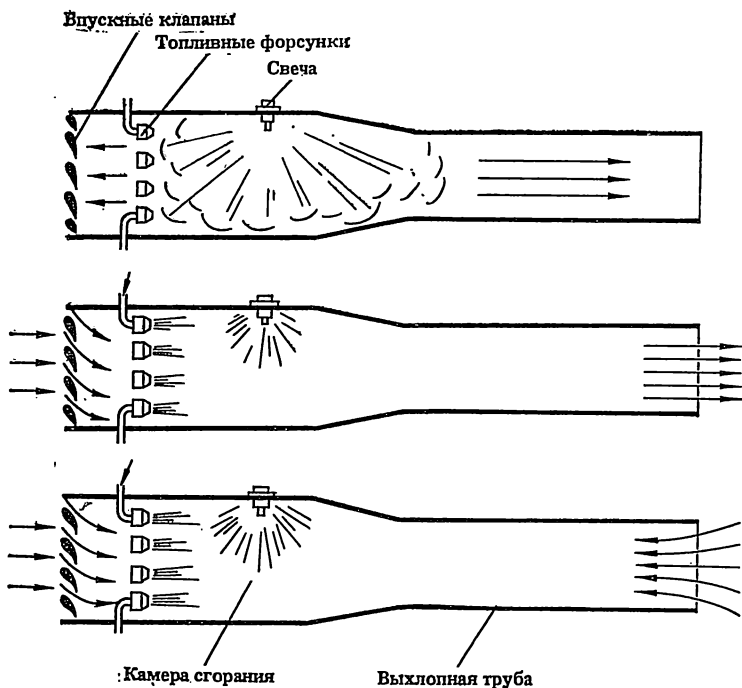


Рис. 28. Пульсирующий двигатель

панами расположена камера сгорания, в которую периодически впрыскивается топливо. После смешения с воздухом топливо воспламеняется электрической искрой. В камере создается избыточное давление, закрывающее впускные клапаны. Продукты сгорания устремляются в длинную выхлопную часть трубы и истекают из нее, создавая тягу. После выброса массы газа вследствие ее инерции в камере сгорания создается разрежение, входные клапаны открываются, пропуская в камеру порцию свежего воздуха, и цикл повторяется. Такой двигатель, предложенный в 1931 г. немецким конструктором П. Шмидтом (его даже называют иногда «труба Шмидта»), применялся на самолетах-снарядах V-I, с помощью которых фашисты бомбили Англию во время второй мировой войны. Самолет-снаряд нес 850—1000 кг взрывчатки и имел скорость 560—610 км/ч. Как мы знаем, против них успешно боролись реактивные истребители «Мете-

ор», имевшие значительно большую скорость. Из вышесказанного ясно, что «труба Шмидта» принципиально ничем не отличается от камеры сгорания турбины Караводина, которого можно считать действительным изобретателем пульсирующего двигателя.

### **ПРИШЕДШИЕ ИЗ ТЬМЫ ВЕКОВ, ИЛИ ДВИГАТЕЛИ, КОТОРЫМ НЕ НУЖНА АТМОСФЕРА**

Если в реактивной турбине, показанной на рис. 2, отделить камеру вместе с соплом от штанги, она перестанет вращаться и начнет двигаться прямолинейно под действием реакции вытекающей струи газа, т. е. превратится в реактивный двигатель, который можно использовать для перемещения снарядов, самолетов и т. п. Однако, отделив камеру от стойки, мы прекратили подавать в нее рабочее тело, и для того чтобы двигатель мог продолжить полет, необходимо разместить источник рабочего тела на летательном аппарате. В камеру сгорания воздушно-реактивных двигателей подается только горючее (например, керосин), а окислитель (кислород) берется из атмосферного воздуха, поступающего в двигатель через воздухозаборное устройство. Естественно, такой двигатель может летать только в атмосфере. Его нельзя использовать в космосе или верхних разреженных слоях атмосферы. Для того чтобы двигатель совершенно не зависел от окружающей среды, нужно на борту летательного аппарата также иметь окислитель. Такой двигатель, в камеру сгорания которого подается горючее и окислитель из источников на летательном аппарате, называется ракетным. При этом возможны два варианта. Первый вариант — горючее и окислитель (например, водород и кислород) хранятся в баках в жидком виде (в этом случае они занимают минимальный объем) и подаются в камеру сгорания насосами или каким-нибудь другим способом. Такие ракетные двигатели называются жидкостными (ЖРД). В другом варианте горючее и окислитель находятся в твердом состоянии в виде химических соединений. Эти вещества перемешивают в нужных пропорциях, прессуют в так называемые шашки и помещают в камеру сгорания ракетного двигателя. Простейшее такое вещество — это всем известный дымный порох, в котором окислителем является калиевая селитра, а горючим — древесный уголь. Эти двигатели называют ра-

кетными двигателями твердого топлива (РДТТ), пороховыми ракетами, или просто пороховиками. Ракеты известны людям с незапамятных времен.

Древняя китайская легенда рассказывает о важном чиновнике Ван-Гу, который был одержим идеей полета. Для осуществления своей мечты он не прибегнул к традиционным в те времена средствам — заговорам, заклинаниям и таинственным мазям колдунов. Он не приказал изготовить для себя крылья наподобие крыльев птиц или летучих мышей. Махать крыльями, покрываясь потом, нет, не так представлял он себе воздушное путешествие. Ван-Гу привык, по-видимому, путешествовать с комфортом. По его указанию был изготовлен ни больше ни меньше как ракетоплан, и это за несколько сот лет до нашей эры! Среди чиновников очень редко встречаются испытатели природы. Но бывают и исключения (вспомним знаменитого магдебургского бургомистра Герике). Ван-Гу, безусловно, принадлежал к таким исключениям из почтенного чиновного племени. Он уселся в кресло, которое было одним из элементов ракетоплана. Кроме кресла, ракетоплан имел 47 ракет и воздушный змей для поддержания в воздухе. По знаку Ван-Гу 47 человек должны были одновременно поднести 47 факелов к соплам ракет. Но произошло непредвиденное. Одна из ракет взорвалась, от нее загорелись другие ракеты, и ракетоплан сгорел вместе со своим создателем. Многие считают эту историю вымыслом, поскольку в то время настоящий порох еще не был изобретен. Но если все было так, как рассказывает легенда, то Ван-Гу был первым среди многих, принесших себя в жертву ракетному двигателю.

Первые ракеты, использовавшиеся для военных целей, появились, естественно, в Китае — на родине пороха. Это были «огненные стрелы», т. е. обычные стрелы, на которых крепилась бамбуковая гильза с пороховой начинкой. «Огненные стрелы» выпускались из лука или метались рукой после зажигания пороха. Ракеты удлиняли полет стрелы. Кроме того, ракета оказывала зажигательное действие. Об этих стрелах в Европе узнали в XI в. Есть сведения, что ими, наряду с другим китайским вооружением, пользовались монголы во время своего нашествия в XIII в. Боевые ракеты периодически, хотя и довольно редко, применялись в Европе в XIV—XV вв. Однако фейерверочные ракеты использо-

вались в это время очень широко. Пиротехника была распространённым прибыльным ремеслом и долго оставалась таковым, а вот о боевых ракетах надолго забыли.

Положение изменилось в самом конце XVIII в. Во время штурма города Серингапата в Индии англичане были неожиданно обстреляны боевыми ракетами. Позднее англичане установили, что индийцы уже давно и успешно применяют боевые ракеты, похожие по конструкции на «огненную стрелу», но значительно более мощные (масса ракеты составляла 3—4 кг). Ракетные подразделения в армиях индийских князей были многочисленны (до 5000 человек). Новое, а вернее, забытое старое, оружие заинтересовало англичан главным образом тем, что для стрельбы ракетами не нужны тяжелые пушки, которые часто было трудно транспортировать в условиях колониальных войн. Все, что необходимо для ракеты, — это легкий пусковой станок, не воспринимающий ни отдачи, ни давления пороховых газов. За усовершенствование ракет взялся английский полковник В. Конгрев, служивший в Индии и наблюдавший ракеты в деле.

Редкие документальные и художественные фильмы о Великой Отечественной войне обходятся без залпов «Катюш» — ракетных минометов, созданных выдающимися советскими инженерами В. А. Артемьевым, Г. Э. Лангемаком, Б. С. Петропавловским. Это было в то время самое современное и необыкновенно эффективное оружие, сыгравшее большую роль в войне. О роли ракетного оружия в современных вооружениях рассказывать не нужно — об этом знают все. Однако немногим известно, что ракетная артиллерия очень широко была распространена еще в прошлом веке.

Вернувшись из Индии, полковник В. Конгрев развернул работу над ракетным оружием и быстро добился успехов. Он изобрел станок для метания ракет, позволивший изменять угол выпуска ракеты, что повысило точность и дальность стрельбы. В. Конгрев создал несколько типов ракет различного назначения и довел дальность их полета до 2,5 км. Ракеты В. Конгрева, показанные на рис. 29, поступили на вооружение английского флота и широко им использовались. Так, в 1807 г. с английских кораблей на Копенгаген было выпущено несколько тысяч ракет, вызвавших в городе многочисленные пожары. Таким образом, ракетноносный флот, о котором говорится, существовал уже в самом начале XIX в.! Более

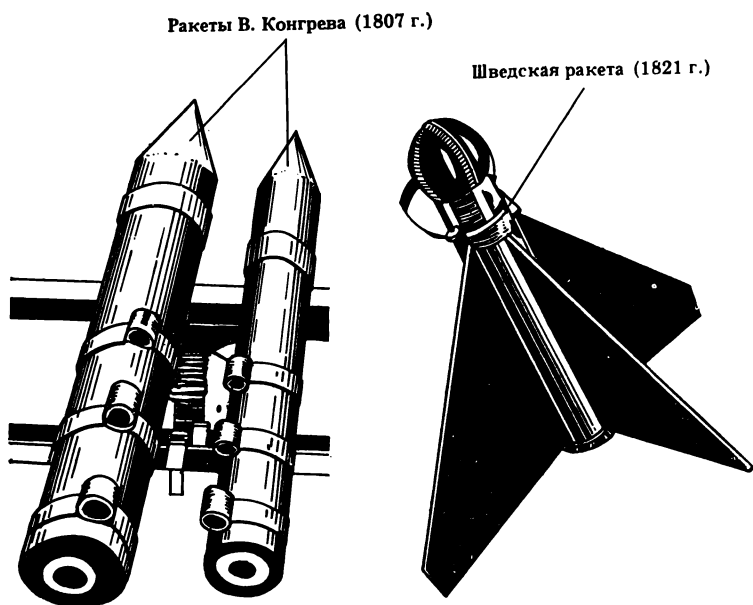


Рис. 29. Боевые ракеты XIX в.

того, русский военный инженер К. А. Шильдер, работавший над созданием подводной лодки в 30-х гг. прошлого века, предложил оснащать ракетным оружием подводные лодки (рис. 30). К. Шильдер даже производил (правда, не очень успешные) опыты по запуску боевых ракет с построенной им подводной лодки. К этому времени ракетная артиллерия стала уже обычной в войсках практически всех европейских армий.

Ракетные установки обладали хорошей скорострельностью и дальностью стрельбы, но точность попаданий оставляла желать лучшего. Поэтому усилия изобретателей сконцентрировались на улучшении именно этого показателя ракет. Были созданы ракеты, снабженные крыльями, винтами, устройствами для закручивания ракетной струи, которые обеспечивали вращение ракет. Очень большую роль в усовершенствовании ракет сыграл русский генерал К. И. Константинов. Его ракеты успешно применялись в боях на Кавказе и в Туркестане. Однако пушечная артиллерия совершенствовалась быстрее ра-

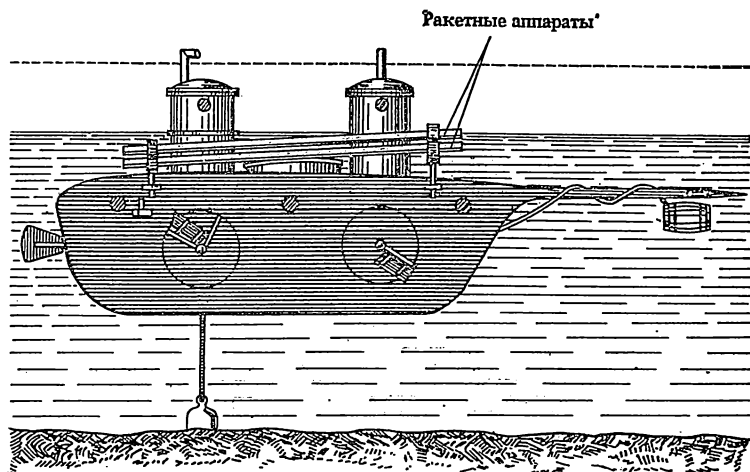


Рис. 30. Подводная лодка К. А. Шильдера

кетной и полностью вытеснила последнюю к концу прошлого века. В первой мировой войне ракеты использовались только для сигнализации и освещения местности.

В XIX в. в Европе появились последователи мифического Ван-Гу, пытавшиеся приспособить пороховую ракету для полетов. Одним из первых был марсельский пиротехник Клод Рожьери, которому удалось запустить на ракете... барана. Взлетевшее на 200 м животное благополучно спустилось на землю с помощью парашюта. Предлагалось использовать ракеты для перемещения аэростатов и дирижаблей. В 1913 г. американец Лоу пытался подняться в воздух на большой пороховой ракете. Но ракета взорвалась, и Лоу погиб.

Во второй четверти нашего века работы над РДТТ заметно интенсифицируются. Делаются практические попытки использовать ракету в качестве авиационного двигателя. Особенно много над этим работал известный немецкий ученый Макс Валье. Своими идеями ему удалось увлечь автомобильного фабриканта Опеля. Первоначально ракеты устанавливались на автомобилях, дрезинах и лодках, а затем на планерах. Первый удачный полет на планере с ракетными двигателями совершил 11 июня 1928 г. пилот Штаммер. Планер пролетел 1500 м. Год спустя уже сам Опель в присутствии публики поднялся в воздух на специально построенном самолете с ракет-

ным двигателем. Полет продолжался около 45 с на высоте 20—30 м. Была достигнута скорость около 150 км/ч. Так фабрикант и спортсмен осуществил мечту древнего китайского чиновника. М. Валье погиб при взрыве ракеты в 1930 г. Та же участь постигла другого известного немецкого ракетчика Тиллинга в 1933 г. К этому времени все работы с ракетными двигателями были засекречены.

Опыт 20—30-х гг. показал, что ракетные двигатели на твердом топливе (РДТТ) можно с успехом использовать в боевых снарядах ближнего боя как на земле, так и в воздухе, а также в качестве вспомогательного двигателя преимущественно для взлета самолетов. Но ввиду сравнительно скромных энергетических возможностей пороха применение РДТТ как главного двигателя для дальних полетов казалось бесперспективным.

Необходимо было построить двигатели, работающие на топливах, обладающих гораздо большей теплотворной способностью. В 30-е гг. эти топлива были уже давно известны. В 1903 г. вышла в свет книга К. Э. Циолковского «Исследования мировых пространств реактивными приборами». В этой книге Циолковский предложил применить в качестве компонентов топлива жидкие водород и кислород. Он подсчитал, что теоретическая скорость истечения продуктов сгорания в этом случае достигнет 5700 м/с. Это, по мнению ученого, была наибольшая возможная скорость истечения, что позволяло обеспечить максимально достижимую скорость ракеты. К. Э. Циолковским была разработана также схема жидкостного ракетного двигателя (ЖРД), работающего на таком топливе. Жидкостные ракеты, в том числе классического типа (с жидким горючим и окислителем), были известны и до Циолковского. Первым такой двигатель предложил русский ученый С. С. Неждановский еще в первой половине 80-х гг. XIX в. Однако именно Циолковского, создавшего теорию ракетных двигателей и разработавшего основные принципы их расчета и проектирования, считают настоящим творцом ЖРД.

Циолковский первым среди ученых предложил использовать ракетные двигатели для полета в космос, а пионерами в этой области, как это ни удивительно, следует считать тех, кого мы сейчас называем писателями-фантастами. Пожалуй, первое описание полета в космос на ракетном корабле дал еще в 1650 г. не кто иной, как Сирано де Бержерак. Тот самый Сирано, которого мы

знаем по знаменитой драме Э. Ростана. В своем философско-фантастическом романе «Иной свет, или Космическая история об империях и государствах Луны» он живо описывает старт и полет ракетоплана с многоступенчатой ракетной установкой. Последняя состояла из нескольких рядов ракет по шесть штук в каждом ряду: «...как только пламя уничтожало один ряд ракет — они были расположены по шесть штук — благодаря запалу, помещенному в конце каждого ряда, загорался другой ряд».

Практическая работа над ЖРД развернулась в середине 20-х гг. Уже в 1926 г. стартовали первые ЖРД, созданные американским ученым Р. Годдардом. Постепенно совершенствуя ракеты, Годдард в 1935 г. довел их скорость до 1120 км/ч, а высоту полета — до 2300 м. В Германии над ЖРД интенсивно работали такие ученые, как Оберт, Винклер, Ридель. Первая немецкая ракета конструкции Винклера поднялась в воздух 21 февраля 1931 г. В 30-е гг. были испытаны первые советские ракеты на жидком топливе, выдающуюся роль в создании которых сыграли В. П. Глушко, С. П. Королев, М. К. Тихонравов.

Для этого времени было характерно увлечение идеями межконтинентальных и межпланетных путешествий. В 1933 г. инженер Нибель, получив от Магдебургского городского банка ссуду 40 000 марок, приступил к постройке пассажирской ракеты длиной 8 м и диаметром 1 м. Ракета была рассчитана на подъем 750 кг на высоту 1—2 км. Ссуда была выдана с тем условием, чтобы первый полет с человеком состоялся именно в Магдебурге. Городские власти предполагали быстро окупить затраты, ожидая большого притока публики на демонстрацию неслыханного полета и осмотр ракеты. Однако Нибелю не удалось закончить задуманного. К власти пришли фашисты, а их не интересовали такого рода мероприятия. ЖРД им нужен был совсем для других целей.

Во время второй мировой войны ЖРД широко применялся. Все знают о зловещей ракете V-2, созданной фашистским конструктором фон Брауном. Эта ракета была оснащена ЖРД с тягой 25 000 кг, работавшем на кислороде и керосине. Меньше известны немецкие самолеты с ЖРД, начавшие действовать к концу войны. В середине 1944 г. на Западном фронте против наступающих союзников был применен истребитель-перехватчик



Me-163 В. Это была необычная машина. Оснащенный ЖРД с тягой до 1500 кг, самолет взлетал, набирая высоту почти вертикально, после чего летчик выключал двигатель. Большую часть полета самолет планировал, поджидая свою жертву. Двигатель включался периодически, на короткие промежутки времени для разгона. На таком режиме самолет мог летать около часа. Максимальная скорость самолета составляла 900 км/ч. Работы над подобными машинами проводились и в СССР. 15 мая 1942 г. летчик Г. Я. Бахчиванджи совершил первый успешный полет на истребителе БИ-1 конструкции В. Ф. Болховитинова. Самолет был оснащен ЖРД. Однако испытательные полеты закончились катастрофой, в которой Бахчиванджи погиб. Ракетная авиация не сыграла существенной роли в войне ввиду ее малочисленности и несовершенства, однако ракетные двигатели довольно широко использовались в качестве ускорителей, например, при взлете самолетов.

В наше время ЖРД широко используется в космической технике. Это главный двигатель ракет, выводящих на орбиты спутники и космические корабли.

## **КПД ДВИГАТЕЛЕЙ И КПД ИЗОБРЕТАТЕЛЕЙ (ВМЕСТО ЗАКЛЮЧЕНИЯ)**

Повышение кпд — проблема, родившаяся вместе с тепловыми двигателями. Проблема, которая никогда не теряла остроты и которая остается актуальной. Собственно, главные пути решения этой проблемы давно известны — они были указаны еще Садн Карно. Это увеличение наивысшей и снижение наинизшей температуры цикла. Карно описал цикл, обладающий наивысшим термическим кпд. Приближение циклов двигателей к циклу Карно, так называемая карнотизация, остается важным средством снижения расхода топлива. Наконец, С. Карно указал и еще один путь повышения экономических двигателей. Это утилизация тепловых потерь. Мы помним, что Карно предлагал для этой цели использовать котел, в котором отходящие газы двигателя внутреннего сгорания нагревают воду, превращая ее в пар. Помимо тепла отходящих газов, в двигателе можно утилизировать теплоту, отводимую в системах охлаждения, смазки и т. д. Здесь чрезвычайно широкое поле деятельности для изобретателей.

Почти все тепловые двигатели работают при переменных нагрузках, причем диапазон изменения нагрузок нередко очень широк. Все мы знаем, как резко изменяется, например, потребление электричества в городе в течение суточного или годового цикла, или как часто приходится нажимать на педаль газа, изменяя мощность двигателя автомобиля во время езды по городу. В то же время все тепловые двигатели, строго говоря, имеют лишь один наивыгоднейший режим, при всяком отклонении от которого экономичность двигателя ухудшается. Из этого положения есть два выхода: первый — усовершенствование методов регулирования и второй — ак-

кумулирование энергии. Последний путь очень выгоден. Ведь в идеале, разумеется, двигатель может работать на постоянном наивыгоднейшем режиме, а избыток его энергии, запасенный в аккумуляторе при минимуме нагрузки, может быть использован при максимальной потребной мощности, или, как говорят, на пиковом режиме. Здесь широкое поле деятельности для изобретателей, поскольку аккумуляторы могут быть самых различных типов. Они могут запасать тепло, холод, электрическую энергию, потенциальную энергию воды, грузов, пружин, кинетическую энергию масс и т. д. и т. п. Мы не можем, к сожалению, подробнее остановиться на этой интереснейшей теме. Но здесь есть что почитать, например отличную книгу Н. В. Гулиа «Маховичные двигатели» (М.: Машиностроение, 1976).

Остановимся на первом из указанных Карно путей. В паровых турбинах максимальная температура пара сейчас стабилизировалась на уровне примерно  $540^{\circ}\text{C}$ . Современная техника располагает материалами, применив которые можно эту температуру существенно увеличить. Однако стоимость этих материалов очень высока, полученный выигрыш в экономичности не окупит затрат. Иное дело — газовая турбина. Здесь повышение температуры перед турбиной — наиболее радикальный и самый перспективный путь повышения кпд. Применяющиеся сейчас сплавы позволяют газовой турбине надежно работать при  $900\text{—}1000^{\circ}\text{C}$ . Для дальнейшего повышения температуры приходится охлаждать наиболее горячие элементы двигателя, в первую очередь лопатки турбины.

Системы охлаждения использовались уже в самых первых газовых турбинах. Вначале для охлаждения преимущественно использовалась вода, затем воздух, отбираемый от компрессора. Сейчас такое охлаждение используется широко, особенно в авиационных двигателях. С помощью воздушного охлаждения температуру перед турбиной удалось довести до  $1500^{\circ}\text{C}$ . Но на охлаждение требуется много воздуха. Работа, затраченная на его сжатие, не используется для получения работы в цикле, т. е. представляет собой потерю. Аэродинамика охлаждаемых лопаток хуже, чем у неохлаждаемых. Кроме того, сами охлаждаемые лопатки, имеющие системы тончайших каналов для воздуха, очень дороги. Все эти факторы препятствуют внедрению воздушного охлаждения

в наземных установках и на транспорте. Для двигателей сравнительно малых мощностей (до 100 кВт), используемых на автомобильном транспорте, выполнение охлаждающих каналов в миниатюрных лопатках турбин, сталкивается с практически не преодолимыми технологическими трудностями. Ну а неохлаждаемые турбины, изготовленные из обычных жаропрочных сплавов, ввиду их низкой экономичности вряд, ли смогут когда-либо конкурировать, например, с дизельным двигателем.

По существу, единственный выход из положений — использование новых, и прежде всего керамических, материалов для изготовления турбин. В этом случае температура перед турбиной без всякого охлаждения может быть доведена до 1300—1400° С. Подсчитано, что при такой температуре расход топлива в автомобильных газотурбинных двигателях, снабженных регенератором, будет на 20—30% меньше, чем у лучших дизелей. Газотурбинный двигатель обладает и другими преимуществами перед дизелем — он может работать на самых различных топливах — газе, мазуте, керосине, спирте и т. д., меньше загрязняет воздух, потребляет меньше масла, он проще и дешевле в эксплуатации.

Над керамическими двигателями сейчас работают многие ведущие автомобильные фирмы. На эти работы расходуются сотни миллионов долларов. Уже созданы опытные образцы, которые проходят проверку на автомобилях. Но сроки серийного производства таких двигателей все время отодвигаются. Инженерам никак не удается пока решить проблему надежности керамических элементов. Поскольку керамические материалы очень хрупки, приходится уделять огромное внимание чистоте и качеству сырья. Технологические процессы — спекание и прессование керамических деталей, а также контроль качества изделий должны быть на очень высоком уровне — ведь малейший дефект, например микроскопическая трещина или неоднородность, приводит к быстрому разрушению керамики. Но ученые и инженеры надеются все эти трудности преодолеть в ближайшем будущем. Во всяком случае теоретически нет препятствий для создания достаточно пластичных керамических материалов. Если эти планы осуществляются и такие материалы будут созданы, в энергомашиностроении произойдут глубокие изменения, наступит «новый каменный век». Например, в автомобильной промышленности случится то,

что произошло когда-то в авиации, — газотурбинный двигатель сможет полностью вытеснить поршневой.

Но и для ДВС керамика также сулит заманчивые перспективы. Со времен неудачной попытки Дизеля сделать ДВС без охлаждения неоднократно пытались создать такой двигатель. Причины вполне понятны. До 15% тепла, выделяющегося при сгорании топлива, теряется в системе охлаждения дизелей (в карбюраторных ДВС этот показатель может превышать 25%). Если двигатель не требует охлаждения, не нужны радиатор, вентилятор, насос, система трубопроводов и охлаждающих каналов. А это не просто экономия металла и трудозатрат, это одновременно и снижение массы силовой установки. Вместо этой сэкономленной массы можно будет взять дополнительный груз или увеличить запас топлива.

Немаловажен и выигрыш от улучшения термодинамического цикла. Процессы сжатия и расширения становятся адиабатными — реализуется мечта Р. Дизеля. Такие двигатели уже получили название адиабатных. У них повышенная температура конца горения и, следовательно, больше работа расширения.

Правда, увеличение кпд не столь велико, как можно было ожидать. Из-за отсутствия охлаждения стенок свежий заряд во время впуска подогревается, его плотность падает и заполнение цилиндров свежим зарядом ухудшается. Из-за уменьшения отвода тепла стенками от горячей смеси изменяется в неблагоприятную сторону закон подвода тепла к рабочему телу. Возрастает температура конца расширения и, следовательно, возрастает потеря тепла с отработавшими газами. Эта потеря в ДВС с турбонаддувом может быть частично компенсирована, так как увеличивается мощность турбины и ее можно передать на коленчатый вал ДВС. Такие двигатели называют турбокомпаундными — это уже гибрид ДВС и ГТД. Опыты свидетельствуют, что кпд адиабатных турбокомпаундных двигателей можно получить выше кпд охлаждаемых ДВС на величину около 7—10%. Это значение меньше ожидаемого, но достаточно велико.

У адиабатных ДВС есть еще одно преимущество — более полное сгорание топлива и, следовательно, меньшая токсичность выхлопа. В настоящее время уже созданы образцы адиабатных ДВС с керамическими элементами. Они на 15—30% легче, чем обычные двигатели. Но пока они недолговечны,

Какой бы ни была газовая турбина — охлаждаемой или неохлаждаемой, — именно она ограничивает наивысшую температуру цикла и, следовательно, снижает его кпд. Но может быть, можно обойтись без турбины? Мы знаем, что такая возможность есть и она реализуется, например, в прямоточном авиационном двигателе. А как быть на земле? Оказывается, и здесь есть средство избавиться от турбины. Это магнитно-гидродинамический (МГД) генератор. МГД-генератор имеет рабочий канал, окруженный мощными магнитами, создающими в канале магнитное поле. В канал из камеры сгорания подается газ, нагретый примерно до  $2500^{\circ}\text{C}$ . К газу добавлены присадки из легкоионизирующихся веществ (натрий, калий, цезий и т. п.). При такой температуре и с такими добавками газ имеет достаточную электропроводность. В канале МГД-генератора электропроводный газ разгоняется до высокой скорости в направлении, перпендикулярном силовым линиям магнитного поля. В этом случае по законам электродинамики в газе возникает электрический ток, направленный перпендикулярно потоку газа и магнитным силовым линиям от одной стенки канала к другой. Этот ток снимается с электродов генератора и подается в электросеть.

При взаимодействии электрических и магнитных полей возникают силы, тормозящие движение газа. На преодоление работы этих сил расходуется энергия, подведенная к газу. На выходе из МГД-генератора газ имеет еще очень высокую температуру и может быть использован в качестве источника тепла или рабочего тела в газотурбинной или паротурбинной установках. Кпд таких комбинированных установок очень высок (50—60%). Однако конструкторам МГД-генераторов еще предстоит преодолеть много трудностей, в первую очередь обеспечить надежность работы горячих стенок МГД-каналов и электродов. Но эти проблемы, как кажется, близки к разрешению.

Работа теплового двигателя неизбежно связана с отводом теплоты в холодильник (чаще всего в окружающую среду). Самые первые тепловые машины использовали лишь ничтожную долю (менее 1%) теплоты, полученной при сжигании топлива. С тех пор эффективность тепловых двигателей неизмеримо возросла, однако и сейчас даже самые экономичные из них выбрасывают, не используя, больше половины подведенной теплоты.

Не удивительно, что идея использования сбросного тепла возникла очень давно, еще до рождения теории тепловых двигателей. В двигателе, изобретенном Стирлингом в 1816 г., теплотой воздуха, отработавшего в процессе расширения, подогревался воздух после сжатия перед подводом тепла. Для этой цели служил специальный теплообменник-регенератор. Сейчас регенерация, т. е. использование в цикле того же двигателя тепла отработавших газов, широко применяется в ГТД. Регенерация позволяет значительно повысить кпд, но регенеративные теплообменники очень громоздки. В автомобильных газотурбинных двигателях используются самые компактные вращающиеся регенераторы, в которых газ и воздух попеременно протекают по каналам ротора-теплообменника. Тем не менее такие регенераторы сопоставимы по размерам со всеми остальными элементами двигателя, вместе взятыми. Там, где требования к габаритам очень жесткие (в авиации, например), от регенераторов пришлось вообще отказаться.

Другой путь — использование тепла отходящих газов вне двигателя, например для нагрева рабочего тела другого двигателя. Именно такое решение предложил С. Карно. Изобретенный им котел-утилизатор сейчас широко используется как генератор пара в утилизационной паротурбинной установке. Такое сочетание ГТД с паровой турбиной называют парогазовой установкой. Существует множество вариантов парогазовых установок. В некоторых из них газотурбинная и паротурбинная части соединены множеством связей. Ведь в паротурбинном контуре можно использовать не только тепло отходящих газов, но и тепло, отводимое при охлаждении воздуха в компрессоре или в процессе охлаждения деталей газовой турбины.

Такого рода парогазовая установка с комбинированной утилизацией тепла была предложена известным советским теплотехником И. И. Кирилловым. В этой установке газовая турбина высокого давления охлаждается паром, поступающим из паровой турбины высокого давления. В системе охлаждения пар перегревается и поступает в паровую турбину низкого давления. Затем пар конденсируется и конденсат подается в котел-утилизатор. Кпд такой установки по расчетам очень велик — около 60% при температуре газа 1200° С. Для сравнения укажем, что кпд паротурбинных установок обычно не превы-

шает 40—42%. Однако в таких установках необходимо обеспечить надежность и герметичность системы охлаждения, а это сложная и еще нерешенная задача.

В обычных ГТД давление отходящих газов должно несколько превышать атмосферное, поэтому температура этих газов довольно велика, т. е. велико количество теплоты, бесполезно рассеиваемой в атмосфере. Температуру выхлопных газов можно было бы уменьшить, продолжив расширение в турбине до давления ниже атмосферного. Однако как тогда выбросить газ в атмосферу? Казалось бы, выход простой — можно вновь сжать газ компрессором до атмосферного давления. Но в этом случае даже без учета потерь процесс сжатия повторит процесс расширения в обратном направлении и вернется к атмосферному давлению с прежней температурой газа. Но если мы после перерасширения газа в турбине охладим его, а затем сожмем, то температура выхлопного газа уменьшится. Соответственно уменьшится и количество сбросного тепла. Естественно, при этом увеличатся кпд и полезная работа цикла. Действительно, за счет уменьшения давления на выходе увеличится работа турбины, правда, часть этой прибавки пойдет на привод дополнительного компрессора. Но не вся, а именно часть, ведь работа сжатия вследствие более низкой температуры сжимаемого газа будет меньше прибавки работы расширения. Такая установка с перерасширением газа была изобретена советским инженером П. Ф. Плющевым (патент № 2337). Он предложил охлаждать газ перед дополнительным компрессором в контактном теплообменнике путем впрыска воды. Очень интересный вариант двигателя с перерасширением предложил замечательный советский ученый Ф. А. Цандер. В его двигателе газ после расширения в сопле до давления ниже атмосферного охлаждается через стенки потоком воздуха, а затем подается в диффузор, где дожимается до атмосферного давления. Интересно, что в таких двигателях можно обойтись без дополнительного компрессора или диффузора, а сжимать газ с помощью так называемого термопрессора, представляющего собой профилированный канал, в который впрыскивается охлаждающая среда.

Иногда в парогазовых установках применяют «обратные связи», например, подогревая теплом, отведенным из парожидкостного контура, воздух на входе в компрессор газотурбинного двигателя. Расчеты показывают, что



этот способ очень выгодно использовать для регулирования двигателя на режимах пониженной мощности. С этой же целью предлагают просто перепускать отходящие газы на вход в компрессор.

Интересное направление в утилизации представляют энергоустановки с глубоким охлаждением продуктов сгорания, выдающийся вклад в развитие которых внес советский изобретатель А. Н. Ложкин. В установках с переохлаждением газ за газовой турбиной с избыточным давлением  $1\text{--}2,5 \cdot 10^5$  Па последовательно охлаждают различными путями до температуры росы. При этом из продуктов сгорания конденсируется вода, образовавшаяся при сжигании топлива. Конденсат отделяют, а осушенный газ подают в выходную турбину, где он расширяется до атмосферного давления. При этом температура отходящего газа может быть даже ниже, чем в атмосфере, и его можно использовать как источник холода. В таких установках теплота, выделяющаяся при конденсации пара, содержащегося в газе, используется для получения дополнительной работы в выходной турбине. А. Н. Ложкин предлагал использовать таким же образом и теплоту конденсации углекислого газа, однако для этого требуется уже достаточно глубокое охлаждение отходящих газов.

В последнее время все большую актуальность приобретает проблема использования низкосортных сернистых топлив. Такие топлива, например угли, предварительно газифицируют, получая низкокалорийный газ, содержащий окись углерода и водород. Этот газ перед сжиганием необходимо очистить от сернистых соединений, чтобы не загрязнять атмосферу ядовитыми выбросами. Однако перед очисткой газ следует охладить — таково требование технологии очистки. Вообще процессы подготовки низкосортных топлив связаны с затратами и отводом значительного количества тепла, которое можно различными способами утилизировать в циклах газотурбинных и парогазовых установок. Это направление, так называемая внутрицикловая газификация топлива, является перспективным.

В нашей стране очень много теплоэлектроцентралей (ТЭЦ), в которых теплота, отводимая в паротурбинном цикле, используется для нагрева воды в системах отопления и горячего водоснабжения. Правда, термический КПД паротурбинной части ТЭЦ понижен вследствие по-

вышенной температуры «охлаждающей», т. е. нагреваемой, воды. Однако коэффициент использования топлива в ТЭЦ достигает 70% (по сравнению с 40—42% на обычных паротурбинных электростанциях). Таким образом, топливо используется наивыгоднейшим образом. Общая мощность ТЭЦ в СССР превышает 50 млн. кВт — это значительно больше, чем в любой другой стране.

Помимо отходящих газов и систем охлаждения, в тепловых двигателях есть еще один источник тепла — это маслосистема. Теплота, выделяющаяся при трении и охлаждении подшипников, воспринимается смазочным маслом. Для того чтобы избежать перегрева масла, в системах смазки устанавливают специальные радиаторы-охладители. Однако есть немало предложений по использованию и этого тепла в антиобледенительных системах, для подогрева топлива и т. п.

Очень короткий и неполный разговор о проблемах тепловых двигателей и путях их решения все же, как нам кажется, убеждает в том, что поле деятельности изобретателей непрерывно расширяется. Каждое значительное изобретение, как в цепной реакции, решая одну проблему, ставит новые задачи, еще более трудные и разнообразные. Это подтверждается статистикой. По данным ВНИИ патентной информации, только в шести странах (США, Великобритании, Франции, ФРГ, Швейцарии и Японии) число опубликованных документов, охраняющих изобретения в области тепловых двигателей, составило в 1983 г. около 9000, а в 1986 г. — 13 500. Непрерывно растет количество авторских свидетельств по этой тематике и в нашей стране. Однако много предложений по заявкам не признается изобретениями. Много изобретений не находит применения и пылится на полках патентных библиотек. Отношение полезного эффекта к затраченным усилиям, так сказать, средний КПД изобретателей, остается слишком низким. Мы надеемся, что данная книга хоть немного повысит этот КПД, ведь опыт изобретений прошлого отнюдь не утратил актуальности.

Какие же уроки можно извлечь из этого опыта?

Первый и главный заключается в том, что изобретение может иметь успех, если оно появляется вовремя, когда это необходимо обществу и когда технический уровень производства достаточно высок, чтобы стало возможным внедрение. Точнее говоря, должна существовать область целесообразного применения изобретения — там,

где усилия, затраченные на разработку и производство, оправдываются полученным выигрышем. В этом смысле очень поучительна история газовой турбины, влачившей жалкое существование до появления реактивной авиации. Паровая машина была создана, только когда стало выгодным применять ее для откачивания воды из рудников. Многое из того, что изобрели Отто, Лаваль, Парсонс, Дизель, как мы убедились, было известно до них. Но эти изобретения появились на свет до срока. Немногие из их создателей остались в памяти потомков как мученики науки, остальные были забыты. И все же эти люди работали не зря. Посеянные ими семена проросли, и урожай собрали потомки. Но кто знает, сколько тысяч изобретателей, работавших впустую, приходится на одного Соломона де Ко, Клода Ньепса, Роберта Стирлинга или Ивана Ползунова. Мы уже не говорим о создателях вечных двигателей первого и второго рода, различных нуль-моторов, летающих инерциоидов, т. е. о тех, кто покушается на законы природы и чьи ряды, как это ни удивительно, не редуют и в наш просвещенный век. Есть немало осуществимых и много раз осуществленных объектов, работа над которыми не приносит никаких или почти никаких результатов и которые тем не менее обладают таинственной притягательной силой для изобретателей.

Одним из таких объектов является ротационная (ротативная) расширительная машина или ротативный двигатель. Призрак этого двигателя всю жизнь преследовал еще Уатта. В п. 5 его знаменитого патента 1769 г. имеется, правда, довольно туманное описание двигателя с вращательным движением поршня. В 1782 г. Уатт взял отдельный патент на ротативный двигатель. Ученики Уатта (Мердок, Тревитик) и его конкурент (Горнбλουэр) предлагали свои конструкции. Однако все попытки создать двигатель оканчивались неудачей — эффективно уплотнить зазор между ротором и корпусом в условиях высоких температур оказалось невозможно. Поэтому и КПД двигателя был очень низким. Тем не менее работа над ротативными двигателями продолжалась с возрастающей интенсивностью. Радциг пишет, что в 1859 г. было взято 210 патентов на ротативные машины, а в музее патентного ведомства США имелся в то время отдельный большой шкаф, доверху заполненный их моделями. В начале своей карьеры Парсонс увлекался этими двигателя-

ми и даже создал серийно выпускавшиеся образцы. Вспомним также двигатель Вильсона, участвовавший в сравнительных испытаниях во время знаменитого процесса Парсонса с Кларком и Чапмэном. Ротативные двигатели создавались и применялись неоднократно как до Парсонса, так и после него. У них было, казалось бы, очевидное преимущество перед поршневой машиной — отсутствовала передача на вал, они были проще и быстрееходнее. Однако многолетний опыт свидетельствует, что основная проблема этих двигателей — уплотнение ротора — не может быть решена даже в условиях несравненно более высокого, чем во времена Уатта, уровня техники. У ротативных ДВС существуют дополнительные проблемы — трудности с организацией эффективного горения смеси, охлаждения и т. д. Опыт эксплуатации и изготовления ротативных ДВС не выявил их преимуществ перед поршневыми.

После того как появились высокоэффективные турбины, ротативные двигатели потеряли большинство своих привлекательных черт. Разумеется, если проблема уплотнений будет решена, ротативные двигатели смогут, по видимому, найти свое, хотя и довольно ограниченное применение (они обладают тем преимуществом перед турбинами, что их КПД мало зависит от частоты вращения).

Анализируя историю тепловых двигателей, можно обнаружить много других тупиковых или малоперспективных направлений, которые привлекают незаслуженно пристальное внимание изобретателей. Поэтому если возникает какая-либо новая идея, следует попытаться выяснить, не было ли попыток реализовать нечто подобное, и разобраться в причинах неудач. Иначе неверная идея может превратиться в идею фикс, и изобретательство станет трагедией для изобретателя, и, к сожалению, не только для него.

Другой не менее важный вывод, который подсказывает нам история, состоит в том, что настоящая работа начинается после того, как идея осмыслена и образ машины в общих чертах ясен, т. е. после того, как изобретение состоялось. Заслуга великих инженеров прошлого не столько в изобретательстве, сколько в кропотливой и тяжелой работе, в результате которой новый двигатель вступает в жизнь. Трудность этой работы еще и в том, что приходится осваивать отнюдь не инженерные сферы деятельности. Вот как об этом писал Уатт своему другу док-

тору Своллю: «Ничто не является более противным моей природе, чем деловые сношения с людьми. Однако как раз они составляют одну из главных сторон моей деятельности. Я живу в постоянном страхе, что могу попасть в затруднение или не буду в состоянии контролировать рабочих». Вот цитаты из других его писем: «Я охотнее стоял бы перед жерлом заряженной пушки, чем сводил бы счета или занимался делами». «Я дрожу, как только слышу имя кого-либо, с кем я должен иметь деловые отношения». Именно на этом этапе у изобретателей часто появляются «соавторы», занимающиеся организационной стороной дела, такие, как Болтон, Ламм и др.

Многочисленные в прошлом примеры выдач патентов различным лицам на одни и те же решения демонстрируют несовершенство механизма установления новизны на стадии патентной экспертизы изобретений. Именно этот ее дефект и был главной причиной патентных споров, отмен патентов. Все это отнимало немало времени и энергии у изобретателей, являлось причиной тяжелых разочарований. Улучшилось ли положение сейчас? Скорее наоборот. Ведь для установления новизны современный эксперт нередко должен просмотреть несколько тысяч патентов на нескольких языках. Кроме того, он должен ознакомиться с научно-технической литературой по исследуемому вопросу за весь предшествующий период. Ошибки, как легко догадаться, вполне возможны. Мировая новизна патентов, которой гордятся наиболее солидные патентные ведомства, в ряде случаев может быть фикцией. В этих условиях изобретателю очень полезно самому поработать в патентной библиотеке и постараться установить степень новизны своего изобретения. Эта работа принесет много интересного и полезного, и кроме того, избавит от неприятных сюрпризов в будущем.

Велико значение патентного законодательства. Вспомним, какого напрасного труда стоила Уатту неправомерная выдача Васброу и Пикару патента на паровую машину с шатунно-кривошипным механизмом? Применить этот известный механизм в паровой машине «было так же легко, как воспользоваться ножом, предназначенным для резки хлеба, для разрезания сыра», — писал с огорчением Уатт. Теперь этот недостаток устранен введением в методики экспертизы правила непатентоспособности «очевидных» или примененных по прямому назначению известных решений,

И всё же не дефекты патентной экспертизы, не изжитые, конечно, и сегодня, а незнание изобретателями основ патентования, по нашему убеждению, — главная причина большинства неурядиц, связанных с получением охранного документа на изобретение. Разумеется, на всех больших предприятиях имеются патентные отделы. Всесоюзная организация изобретателей и рационализаторов (ВОИР) имеет разветвлённую сеть консультационных пунктов. В общем, помощь патентоведа доступна каждому изобретателю. Но патентовед, не будучи, как правило, специалистом в данной узкой области, не может понять всех нюансов изобретения, а изобретатель, если он не знает правил патентования, часто бывает не в состоянии сформулировать суть предложения. В результате либо отдельные стороны изобретения, либо даже его суть не находят отражения в заявке, а иногда и в самом охранном документе. Здесь уместно вспомнить историю патента Н. Отто № 532. В нём Отто претендовал на то, что «...смесь горючего газа с воздухом и новый слой воздуха смешиваются слоями». Ошибочность формулировки в том, что она описывает явления, происходящие в результате некоторых операций, а не сами операции. Можно предположить, что если бы Отто описал именно действия, которые, по его мнению, приводят к расслоению смеси: неполное вытеснение продуктов сгорания из цилиндра, всасывание заряда в две стадии — сначала чистого воздуха, а потом смеси воздуха с топливом, то вполне вероятно, что первый пункт этого патента не был бы аннулирован. Такого рода ошибки (перечисление явлений вместо действий) очень часто случаются и теперь. Ведь для определения изобретения важны именно действия, их последовательность, а не их следствия.

В истории техники множество примеров неудачных попыток патентования. Причина большинства этих неудач — недостаточная патентная квалификация изобретателей. Вспомним, например, отказ в выдаче патента Г. В. Тринклеру, мотивированный известностью двигателя Горнсби. В цилиндры этого двигателя жидкое топливо (нефть) вводилось струей на раскалённую поверхность специальной камеры. Эта поверхность служила для испарения топлива и воспламенения. Тринклер же предлагал вытеснять жидкое топливо сжатым воздухом и распылять его внутри полости камеры сгорания без сопри-

испарения с ее стенками. Испарение топлива происходило с огромной поверхности мелких капель под влиянием теплоты сжатого воздуха, находящегося в цилиндре. Благодаря этому процессы испарения топлива и сгорания смеси в двигателе Тринклера происходили быстрее, в результате чего быстро нарастало, а затем при движении поршня к нижней мертвой точке (НМТ) практически не падало давление в цилиндре. Конструктивные отличия двигателя Тринклера не ограничивались конструкцией форсунки, они обеспечивали качественно новый «смешанный» термодинамический цикл, в то время как двигатель Горнсби работал скорее всего по циклу с почти постоянным давлением сгорания. Неправомерность отказа в выдаче патента в данном случае очевидна, и обладая Г. В. Тринклер достаточными патентными знаниями, он легко бы это доказал.

Что же касается Р. Дизеля, то основания для оспаривания его патентов также спорны. Напомним, что Р. Дизель претендовал на следующий способ: сначала сжимают воздух до такого давления, что повышающаяся от сжатия температура превысит температуру воспламенения топлива, а затем производят медленный впуск топлива, причем оговаривается, что впуск производят при движении поршня к НМТ, а закон впуска топлива согласовывают с движением поршня так, чтобы обеспечить постоянство давления в процессе сжигания топлива.

Есть множество ошибок, допускаемых изобретателями при составлении заявок. Эти ошибки — источник споров с экспертизой и главная причина несовершенства защиты изобретений. Если изобретатели будут знать хотя бы основы патентного законодательства, количество этих ошибок резко уменьшится и охрана достижений изобретателей значительно улучшится.

Завершая эту книгу, мы выражаем надежду, что опыт изобретателей прошлого, стоивший стольких усилий и жертв, но давший такие замечательные результаты, окажется интересным и полезным изобретателям нашего времени.

# ОГЛАВЛЕНИЕ

|   |     |
|---|-----|
| Предисловие . . . . .   | 5   |
| О чем эта книга . . . . .   | 7   |
| Сначала совсем немного теории . . . . .   | 10  |
| <b>Глава 1. ПЕРВЫЕ ДВИГАТЕЛИ И ПЕРВЫЕ ПАТЕНТЫ</b>   |     |
| От забавных игрушек к полезным устройствам . . . . .                                      | 20  |
| Друг рудокопа . . . . .   | 23  |
| Общество изобретателей установок для подъема воды посредством огня . . . . .              | 28  |
| Водооткачивающая машина превращается в тепловой двигатель . . . . .                       | 31  |
| Пар или воздух? . . . . .   | 42  |
| Фунто-футы работы и движущая сила огня . . . . .  | 48  |
| «Размышления о движущей силе огня и о машинах, способных развивать эту силу» . . . . .    | 51  |
| <b>Глава 2. ДВИГАТЕЛИ БЕЗ КОТЛА</b>   |     |
| Конкурент пара — продукты сгорания . . . . .  | 63  |
| Этот волшебный светильный газ . . . . .   | 68  |
| Двигатель внутреннего сгорания обретает свои формы . . . . .                              | 75  |
| Светильный газ уступает место бензину . . . . .   | 83  |
| Прекрасный замысел и его неожиданное воплощение . . . . .                                 | 91  |
| Судьба изобретения и судьба изобретателя . . . . .  | 100 |
| Дизелестроение без участия Р. Дизеля . . . . .  | 106 |
| <b>Глава 3. В БОРЬБЕ ЗА СКОРОСТЬ</b>  |     |
| «Всецело проникнутый истиной, что скорость является небесным даром...» (Лаваль) . . . . . | 113 |
| Путь Парсонса . . . . .   | 130 |
| Трудное детство газовой турбины . . . . .   | 148 |
| Кто в воздухе быстрее, тот сильнее . . . . .  | 159 |
| Без турбин и компрессоров . . . . .   | 166 |
| Пришедшие из тьмы веков, или Двигатели, которым не нужна атмосфера . . . . .              | 169 |
| Кпд двигателей и кпд изобретателей (Вместо заключения) . . . . .                          | 177 |



Александр Владимирович Моравский,

Матвей Аронович Файн

ОГОНЬ В УПРЯЖКЕ,

или Как изобретают тепловые двигатели

Главный отраслевой редактор В. П. Демьянов

Редактор С. Н. Попова

Мл. редактор О. А. Васильева

Художник Н. В. Беляева

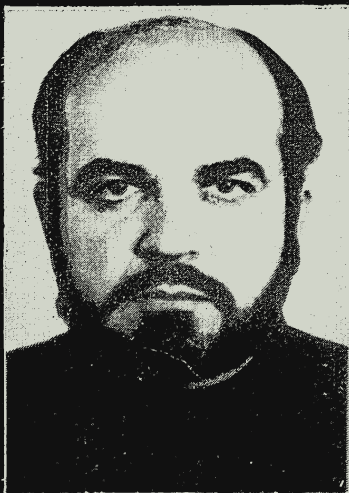
Худож. редактор М. А. Бабицева

Техн. редактор Н. В. Клецкая

Корректор С. П. Ткаченко

ИБ № 10007

Сдано в набор 24.04.89. Подписано к печати 24.10.89. А-06073.  
Формат бумаги 84×108<sup>1</sup>/<sub>2</sub>. Бумага кн.-журн. Гарнитура  
литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 10,08. Усл. кр.-отт.  
10,29. Уч.-изд. л. 10,32. Тираж 50 000 экз. Заказ 6770. Цена  
45 коп. Издательство «Знание». 101835, ГСП, Москва, Центр,  
проезд Серова, д. 4. Индекс заказа 897727. Типография изда-  
тельства «Коммунист». 410002, г. Саратов, ул. Волжская, 28.



*Александр Владимирович Моравский — кандидат технических наук, специалист в области газотурбинных двигателей и экспертизы изобретений. Автор более 60 научных трудов по специальности.*



*Матвей Аронович Файн — кандидат технических наук, специалист по тепловым двигателям и по экспертизе изобретений. Автор около 60 научных трудов по двигателям внутреннего сгорания.*