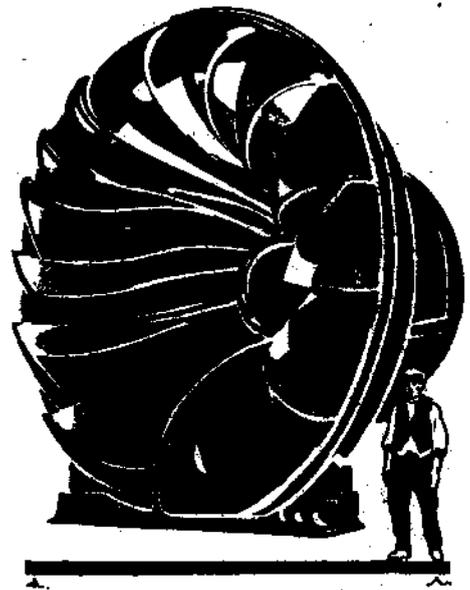


ДЕ

ИНЖ. В. Д. МИКОЛЬСКИЙ

# ЭНЕРГИЯ И СОВРЕМЕННАЯ ТЕХНИКА



ГОТОВИТЬ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО  
ЛЕНИНГРАД,  
1925

70



2003

1972

Мин. В. Д. НИКОЛЬСКИЙ

Пр. 1938г.

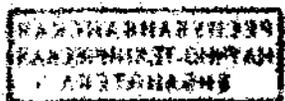
# ЭНЕРГИЯ И СОВРЕМЕННАЯ ТЕХНИКА

1282199  
пог. Кривого

РЕСПУБЛИКАНСКАЯ  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ  
БИБЛИОТЕКА

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО  
ЛЕНИНГРАД  
1925

2005



Гна. № 11259.

10.000 экз.

Ленинградский Гублит № 13421.

## ПРЕДИСЛОВИЕ.

Даже при беглом изучении истории техники и ее завоеваний, наше внимание привлекается одной характерной особенностью, красной нитью проходящей через все отдельные этапы развития этой отрасли человеческой деятельности. Мы имеем здесь в виду неизменное и по существу своему такое понятное стремление человека — заменить свой мускульный труд каким-либо иным источником силы. Найти более простые способы обработки материалов, усовершенствовать качество орудий, посредством которых человек строит свое здание внешней культуры, увеличить прочность своих изделий, поднять производительность своего труда, найти послушный и легко доступный источник энергии — вот, пожалуй, сжатое выражение всего хода развития человеческой техники.

Этими источниками силы и энергии, помимо собственной мускульной силы человека, еще в далекие времена, отделенные от нас рядом тысячелетий, служила сила животных, которых человек сумел приручить и сделать домашними. Использовать силу ветра и текущей воды удалось ему уже значительно позже, когда поднялся общий уровень его культуры и техники. Памятники древности сохранили для нас изображения этих первобытных двигателей, почти точную копию которых еще и сейчас можно встретить на Востоке и в Африке.

Задачей этой книжки будет дать для читателя, знакомого с начатками физики и интересующегося успехами современной силовой техники, — общий обзор этих успехов за последнее время. Несмотря на глубокий интерес, который представляют собой первые шаги развития машин-двигателей, автор не счел возможным уделить им внимания больше того, чем это необходимо, так как иначе

настоящая книга грозила бы в свою очередь черезчур разростись. Поэтому в дальнейшем речь идет по преимуществу о двигателях, появившихся за последние десятилетия и уже внесших такие глубокие изменения в общий уклад политической и экономической жизни всех культурных народов.

Знакомство с тем, что достигнуто в области силовой техники за границей, можно думать — так же составит значительный интерес для читателя в СССР, — страны, где силовое хозяйство не стеснено рамками капиталистических противоречий, стоит теперь на одном из первых мест в общем плане государственного строительства.

*Инж. В. Д. Никольский.*

Ленинград.  
Июнь, 1925 г.

## ГЛАВА I.

### Паровые двигатели.

Развитие паровой машины. Мускульная энергия человека и животных так долго служившая единственным источником двигательной силы, весьма ограничена (в среднем, работа, производимая человеком, соответствует работе  $\frac{1}{6}$  лош. силы, достигая лишь в короткие моменты наибольшего напряжения до  $\frac{1}{2}$  лош. силы); — изобретение рычагов, блоков и воротов, посредством которых древние возвели свои изумляющие нас сооружения, позволили лишь увеличить силу, производя данную работу в более продолжительный срок, но не увеличили самый источник этой силы; с другой стороны, недостаток научных знаний и сравнительно невысокий уровень техники древних и средних веков надолго задержали развитие других двигателей. В эти эпохи мы встречаемся лишь с намеками, прообразами новых источников энергии, которым в последние два века суждено было внести такой коренной переворот в культуру всего человечества.

Мы имеем здесь в виду силу пара или, лучше сказать, тепловую энергию, заключенную в топливе и передаваемую пару, являющемуся, таким образом, лишь передаточной станцией в процессе ее превращения в механическую работу.

Нет сомнения, что с паром и его свойствами человек познакомился еще в отдаленные времена, когда стал впервые нагревать воду в закрытом сосуде. Белые горячие клубы пара, поднимавшиеся над поверхностью кипящей воды, долгое время, однако, не вызвали в нем ничего, кроме простого удивления и только хитроумные Египетские жрецы сумели использовать пар, заставляя его с шумом выходить через нос и глаза своих бронзовых идиолов в целях поддержания религиозного настроения и страха среди молящихся...

Существует еще рассказ об одной древней шутке, где пар сыграл главную роль. Один человек, желая отомстить своему соседу, поставил под полом его комнаты, куда тот пригласил гостей на пирушку, — большой медный котел с короткой трубой.

При нагревании котла, вырвавшаяся из трубки струя пара произвела страшный шум и грохот во всем доме, заставив гостей разбежаться в испуге, думавших что это начало землетрясения...

Первые сведения о паре, как о новом источнике силы, относятся ко II веку до нашей эры, когда александрийским ученым Героном была построена механическая игрушка — так называемый Геронов шар, наполненный кипящей водой. Пар, вырвавшийся из загнутых трубок, укрепленных на этом шаре, приводил его в вращательное движение. Никаких практических применений этот прибор не получил.

Первая попытка применить к делу силу сжатого пара принадлежит Соломону де-Ко, описавшему в 1614 году свою водоподъемную машину, состоявшую из большого закрытого сосуда, под которым разводился огонь, нагревавший воду, при чем образовавшиеся пары гнали воду по особой трубе.

Разумеется, в этой форме прибор не мог иметь никакого практического значения. Но первая мысль об использовании силы пара была брошена и хотя стояла изобретателю потери рассудка, была вскоре подхвачена маркизом Вочерстером, давшим в своей книге (вышедшей в первой половине XVII века) описание своего паро-водяного насоса.

Мы не будем подробно останавливаться на других открытиях и последовательных этапах развития парового двигателя — назовем лишь несколько наиболее славных имен. Бронка (1629 г.) устроил первую модель паровой турбины в виде колеса с лопатками, на которые ударяет струя пара; Денис Папин (1690 г.) соорудил свой паровой котел, ставший родоначальником современных котлов, в 1707 г. он же осуществил, конечно весьма несовершенную, модель паровой машины; в 1698 г. Савэри изобрел паровую водоподъемную машину, шаг за шагом, особенно после работ Ньюкомена и Коудея, построивших в начале XVIII века первую практическую машину, получившую значительное применение для откачки воды на английских угольных копях.

Но только после гениальных изобретений Джемса Уатта, относящихся ко второй половине XVIII века, паровая машина приобретает те органы и те свойства, которые быстро обеспечили ей первое место среди всякого рода других механических двигателей.

Проницательный ум Уатта<sup>1</sup> придал паровой машине все ее главнейшие элементы, которые она сохранила

<sup>1</sup> Историческая справедливость требует сказать, что еще за 6 лет до Уатта все его идеи высказаны и осуществлены на построенной модели русским механиком Иваном Ползуновым, умершим вскоре после этого, не будучи оцененным своими современниками.

и до настоящего времени. Все дальнейшие усовершенствования, внесенные в нее в последующие столетия многочисленными конструкторами и изобретателями, только оттенили заслуги ее первоначального творца — Джемса Уатта. Устройство конденсатора, где происходит сгущение пара, регулятора правильного и равномерного хода машины, питательного насоса, махового колеса, золотникового парораспределения и целый ряд других усовершенствований обязаны ему своим изобретением.

Об огромном экономическом и социальном значении изобретения паровой машины не приходится распространяться, так как только получив в руки этот новый могучий источник силы, который можно было иметь где угодно, в любом промышленном центре, обеспечив лишь его в достаточной степени топливом, — мировая техника и промышленность прошлого века могли сделаться тем, чем они есть.

Отсюда был только один шаг до идеи сделать этот источник силы вообще независимым от какого бы то ни было места, приспособив его ко все растущим потребностям транспорта. Этот шаг было суждено сделать Роберту Фультону и Джоржу Стефенсону, обессмертившим свое имя созданием первого парохода (1801 г.) и первого паровоза (1825 г.).

Дальнейшие усовершенствования в паровой машине пошли главным образом по двум линиям: по пути конструктивных улучшений ее деталей и по пути поднятия ее тепловой отдачи. В дальнейшем мы еще вернемся к этому последнему вопросу.

Большим этапом в развитии паровой машины была предложенная в 1781 г. англичанином Горнблвером двухцилиндровая паровая машина, где пар, отработав под высоким давлением, после своего расширения вступает во второй цилиндр, где также производит работу под пониженным давлением. Вульф в 1804 г. попытался, хотя и не совсем удачно, практически осуществить эти идеи. В отношении конструкции паровой машины уже в первой половине XIX века наблюдается чрезвычайное разнообразие. Вот краткая их классификация:

I. Машины с балансиром (коромыслом) передающим движение поршня кривошипу, связанному с маховиком. Тип этот постепенно уступил место другому сочетанию движущихся частей.

II. Машины без маховика и кривошипа с одними прямолинейными движениями. Тип этот применяется для приведения в движение поршневых насосов, паровых копров и молотов.

III. Машины с вращающимся цилиндром, где кривошип неподвижен, а цилиндры вместе с поршнем и шатунами вращаются вокруг кривошипа. Тип этот в виду его сложности не получил распространения.

IV. Машины с качающимися цилиндрами, где шток поршня служит шатуном; машины эти, появившиеся около 1820 года, также не получили дальнейшего развития.

V. Коловратные паровые машины, с вращающимися поршнями; непосредственно вращающими вал; благодаря некоторым конструктивным трудностям они также не привились на практике.

VI. Паровая машина с кривошипом, шатуном и направляющими приспособлениями для ползуна является теперь единственно распространенным типом, благодаря своей надежности, простоте и приспособляемости. В дальнейшем мы, поэтому, будем иметь в виду именно этот тип паровых машин.

В отношении способа питания паром, как мы только что говорили, произошла следующая эволюция до Уатта; в машинах Ньюкомена и Коулея давление пара производилось лишь на одну сторону цилиндра, и конденсация пара происходила внутри самого цилиндра. Уатт вынес конденсатор наружу и заставил пар давить попеременно на обе стороны цилиндра; Вульф и Горнбловвер создали машину с многократным расширением и тем подняли ее производительность.

Изобретение компаундных паровых машин, сделанное около 1834 г. Рентгеном и Вольфом, которые ввели между цилиндром высокого и цилиндром малого давления пароприемник или ресивер, — еще более улучшило качество работы паровой машины. Различают также паровые машины с расширением и без расширения, смотря по тому, в течение ли всего времени движения поршня пар поступает в цилиндр, или только в течение части этого времени, после чего впуск свежего пара закрывается и пар в цилиндре действует уже своим расширением. Без расширения строятся обыкновенно небольшие машины.

По способу выпуска пара различают машины без охлаждения, или с выпуском так называемого „мягкого пара“ прямо на воздух, и машины с охлаждением, когда пар впускается в особый холодильник, где сгущается и тем самым создаёт в нем известное разряжение ниже атмосферного, увеличивающее силу машины.

В зависимости от того, сколько раз происходит расширение пара, различают машины одиночного, двойного, тройного и четверного расширения с одним или несколькими цилиндрами. Широкое прим

нение находит теперь паровая машина с двумя лежащими один за другим цилиндрами и одной кривошипной передачей — так называемая тендэм-машина.

Также часто встречается и другое расположение цилиндров — рядом, параллельно друг другу с ресивером, расположенным между ними; это — машины компаунд.

В конструктивном отношении современные паровые машины отличаются также установкой своих цилиндров. Здесь различают вертикальные и горизонтальные цилиндры. Первые паровые машины были вертикальными, — такова машина Уатта; впоследствии, однако, было признано целесообразным в некоторых случаях располагать цилиндры горизонтально.

В быстроходности паровые машины сделали также громадный шаг вперед. Дело в том, что чем быстрее работает двигатель, тем меньшие размеры может он иметь при одинаковой мощности сравнительно с медленно движущейся машиной. Первые машины после Уатта делали не более одного-двух десятков оборотов в минуту, сейчас же машина с 60 — 70 оборотами в минуту считается тихоходной, а в некоторых машинах (например, Виллонса) это число доходит до 450 оборотов в минуту (в машинах Беллиса и Моркома даже до 650 оборотов в минуту).

Такое увеличение быстроходности вызвало необходимость весьма тщательного уравновешения движущихся частей машины, так как при быстром вращении, когда их центр тяжести не совпадает с осью вращения, в них возникают опасные силы, стремящиеся раскачать и сорвать машину с ее фундаментных болтов. Неравномерность, с которой пар давит на поршень, уравновешивается тяжелым маховым колесом, в котором работа может как бы запасаться и расходоваться в короткие моменты ослабления давления пара в цилиндре.

Было бы слишком долго останавливаться здесь на всех, подчас очень интересных, деталях паровых машин. Упомянем здесь лишь о нескольких усовершенствованиях, появившихся за последние десятилетия.

Усовершенствования эти главным образом обязаны общему прогрессу машиностроительной и металлообрабатывающей промышленности этой эпохи. Уатт в письме к одному приятелю выражал свое живейшее удовольствие „точности“ работы того времени при обделке вручную внутренней поверхности парового цилиндра, так как в зазор между цилиндром и поршнем, по его словам, едва можно было просунуть монету в один доллар (размером в пятак)... Усовершенствование токарных и других металлообрабатывающих станков, дающих точность пригонки в сотых долях миллиметра, заставляет нас теперь с улыбкой вспо-

мнить об этой младенческой поре машиностроения. При тех больших давлениях, достигающих 10—15 атмосфер, с которыми также приходится иметь дело в паровых машинах, прежние способы уплотнения между поршнем и стенкой цилиндра, посредством мягкой набивки, оказались совершенно несостоятельными. Теперь для уплотнения употребляются особые металлические упругие кольца, надеваемые на поршень и прижимаемые изнутри небольшими пружинами к стенке цилиндра. При этом способе всякая утечка пара устранена, а чтобы уменьшить износ стенки цилиндра, последние делают в виде тонкостенного внутреннего цилиндра, отливаемого отдельно и вставляемого при помощи пресса в наружный цилиндр. Этот внутренний цилиндр отливается из особо твердого чугуна и тщательно вытачивается по диаметру трения. Промежуток между внутренним рабочим и наружным цилиндром образует так называемую паровую рубашку, предохраняющую от охлаждения пар, впускаемый в цилиндр.

В сальниках или уплотнениях штока и поршня, проходящих через крышку парового цилиндра, мягкая набивка (из асбестовых и других специальных прокладок) также начинает заменяться упругими металлическими кольцами, особенно в машинах, работающих перегретым паром или паром высокого давления.

Уатт первый ввел автоматический механизм для впуска и выпуска пара, называемый золотником. Говоря в самых общих чертах, это — плоская коробка, перекрывающая поочередно отверстия внутри особой полости, где устроены отверстия, связанные с каналами для впуска и выпуска пара. Коробка эта получает свое движение от штанги, связанной с эксцентриком на валу машины. В зависимости от того, работает ли машина с расширением или без расширения пара, изменяется и соотношение между длиной золотника и шириной паровпускных отверстий. Ряд обнаружившихся крупных недостатков этой конструкции, ставших особенно заметными при увеличении давления пара, заставил техническую мысль искать других решений задачи парораспределения. Этими главными недостатками были значительные потери на трение и невозможность менять величину наполнения цилиндра паром; для этого приходилось прибегать к регулированию впуска пара так называемым дроссельным клапаном, — делая это вручную или при помощи автоматического регулятора. Новые конструкции свободны от этих недостатков. Так, при двойном золотнике Майера можно менять отсечку пара и наполнение цилиндра в весьма широких пределах, а потери на трение были доведены до минимума в круглых золотниках

где золотниковая коробка состоит из круглой цилиндрической камеры, внутри которой ходит круглый же золотник, плотно прилегающий к ее стенкам.

Круглые золотники получили широкое распространение в паровозных и локомотивных машинах.

В современных машинах стационарного (неподвижного) типа употребляются две системы парораспределений. Для Англии, Америки и связанных с ними странах в ходу распределение Корлиса, появившееся лет шестьдесят тому назад, а в Европе — клапанное распределение.

В верхней части цилиндра с парораспределением Корлиса устроена камера для впуска пара, в нижней — для его выпуска. Краны эти представляют собою цилиндрические скалки с выемками, связанные между собою тягами, которые поворачивают эти краны таким образом, чтобы они, попеременно, то открывали, то закрывали выпуск и выпуск пара в цилиндре.

Клапанное распределение производится посредством 4-х клапанов (два для впуска и два для выпуска). Клапан состоит из тарелки, укрепленной на стержне, который то подымается, то опускается посредством вилки и особого зацепления, связанного с движением поршня. В конструкции этого рода особенное внимание обращается на плотную посадку клапана на свое клапанное гнездо. При этом парораспределении можно с большой точностью и быстротой изменять выпуск пара в машину, при чем на весь клапанный механизм требуется весьма небольшая сила.

В 1904 году проф. Штумфом были изобретены так называемые прямоточные машины, где впускные клапаны отсутствуют, — выпуск пара происходит через два клапана, а выпуск — через отверстия, сделанные на середине цилиндра, при чем ход поршня равен половине длины цилиндра. Прямоточными эти машины были названы потому, что пар тек в них прямо — от концов к середине, что имело своим последствием меньшие температурные колебания стенок цилиндра и меньшие потери на охлаждение свежего пара. Машины этой системы получили большое распространение во всех отраслях промышленности.

Одним из ценнейших свойств паровой машины является гибкость и приспособляемость ее работы: в случае какого-нибудь непреодолимого для нее препятствия, поршень, конечно, останавливается, но, благодаря наличию в цилиндре известного количества пара, эта остановка производится без толчка, так как пар сыграет здесь роль буфера. Если необходимо, то усиленной подачей пара можно также временно увеличить мощность машины. Благодаря созре-

менным регулирующим механизмом, опытный машинист при паровой машине „держит ее в руках“, управляя каждым ее движением, как хороший наездник управляет своей лошадью, и в этом отношении для некоторых работ паровая машина надолго еще останется идеальным двигателем, несмотря на появление в последние десятилетия других, более экономичных источников энергии.

Посмотрим, как увеличилась отдача паровой машины. Одна из лучших машин времен Уатта поднимала на высоту 100 футов 5 000 куб. футов воды, потребляя при этом около 112 фунтов угля, что дает при вычислении общий коэффициент полезного действия машины равным 2,1%. Иначе говоря, лишь около  $\frac{1}{50}$  части теплоты, заключавшейся в топливе, была преобразована в полезную механическую работу, а ведь в свое время машина Уатта казалась чудом совершенства, так как работала в два-и даже в четыре раза экономнее своих предшественниц.

Известным физиком Р. Майером, установившим один из важнейших законов учения о теплоте и работе, была высчитана в 1851 г. тепловая отдача лучших паровых машин того времени, и она оказалась равной около 5%, что составляет расход около 2 килограммов угля на 1 лош. силу в час. Полвека спустя машина компаунд средней величины расходовала около 1 кг пара на 1 полезную лош. силу, что соответствует использованию 10% энергии топлива, а в больших машинах тройного расширения эта отдача доходит уже до 15%. Опыты, производившиеся над работой машин, работавших на мятом паре, выпускаемом на воздух, дали коэффициент полезного действия машины лишь 4—5%. Включение конденсатора увеличило его до 7%, а применение перегретого пара до 400° довело коэффициент полезного действия до 16%. Эта цифра, повидимому, близка к высшему пределу полезного действия паровой машины, так как в ней уже достигнуты два крайних предела — почти полная конденсация и температура перегрева, выше которой можно уже опасаться пригорания смазочного масла в цилиндре и „заедания“ поршня. Если бы мы располагали жидкостью, кипящей при температуре в 25° и требующей для своего испарения не 530, а лишь 100 калорий на 1 килограмм, мы легко достигли бы в паровой машине вместо 10-15% — 30-45% утилизации тепла. В этом направлении давно уже работают физики и конструкторы всех стран, и, как мы увидим дальше, здесь уже намечаются новые пути. Пока же единственными средствами поднять производительность паровой машины является увеличение давления пара и поднятие температуры перегрева, ограниченное, впрочем, свойствами смазочного материала в цилиндре.

В зависимости от ряда работ, для которых предназначена паровая машина, последней придается множество самых разнообразных конструкций. Существуют машины для приведения в движение мощных прокатных станков, для поднятия клетки из шахт, для вращения динамо-машины, для откачки воды, для судовых установок, для паровых молотов и т. д. и т. д. На рис. 1 изображена мощная паровая машина тройного расширения с вертикально расположенными цилиндрами, соединенными с электрическим генератором переменного тока.

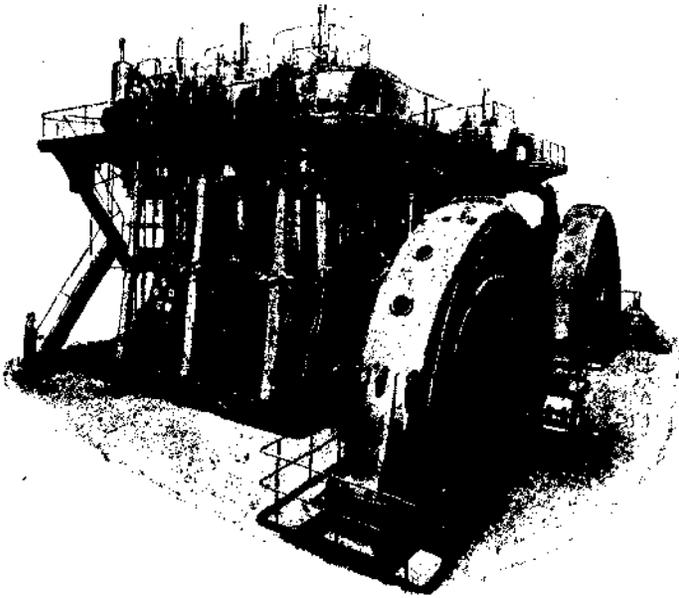


Рис. 1. Вертикальная паровая машина тройного расширения.

Локомобили представляют собою паровые машины, непосредственно соединенные с котлом, и устриваются главным образом с той целью, чтобы иметь переносный двигатель, содержащий в себе все необходимое для того, чтобы он мог в любом месте, без фундамента и каких-либо других предварительных установок, развивать механическую энергию. Локомобиль состоит из парового котла с топкой и дымовой трубой, а также из паровой машины, установленной на общем подвижном основании. Котел представляет главную часть всей машины; на нем укреплены все движущиеся части. Над топкой расположен цилиндр с золотниковой коробкой, на другом конце расположен маховик с главным валом, и между ними над или

сбоку котла движутся поршневые стержни, парораспределительные механизмы и т. д.

Локомотивы применяются уже с тридцатых годов; в течение долгого времени они получались по преимуществу из Англии, в позднейшее же время немецкие локомотивы по выделке сравнялись с английскими, а в солидности и тщательности выделки даже превзошли их. Локомотивы находят применение в тех особых случаях, где установка постоянных паровой машины и котла недоступны или нерациональны, в особенности для временных работ; они принадлежат к давних пор к наиболее важным генераторам энергии в сельском хозяйстве. Они применяются в широких размерах также для приведения в действие водяных насосов, например при устройстве каналов при рытье фундаментов, для временных электрических установок и т. д.

Подобного рода машины пригодны для работы на водокачках, при различных гидротехнических сооружениях; они могут быть применяемы и в виде пожарных паровых насосов; по отделении насоса они могут служить как обыкновенные локомотивы для приведения в действие любого механизма. Локомотивы высокого давления строятся обыкновенно на 8—35 лощ. сил; на большую мощность, в 20—50 лощ. сил, рекомендуются, хотя и слишком дорогие и сложные, но доставляющие большую экономию при работе в угле, локомотивы компаунд с ресиверами.

Применение локомотивов представляет во многих случаях—не только для временных установок, но и для постоянных—некоторые преимущества перед постоянными паровыми котлами и паровыми машинами в виду того, что котел, машина и все принадлежности в них соединены в одном месте и всегда все находятся на виду.

Подобного рода неподвижные установки локомотивного типа находят себе все большее применение в небольших электрических станциях и заводских установках. Особенную известность в этом отношении приобрела германская фирма Вольфа, строящая такие стационарные локомотивы, мощностью до 1 000 лощ. сил, с потреблением всего около 4 кг пара на 1 лощ. силу в час, и обладающие весьма высоким (до 17%) коэффициентом полезного действия (рис. 2).

Паровые турбины и их развитие. Несколько сот лет тому назад никому, конечно, не могло прийти в голову, что игрушечный Геронов шар, вращающийся силой вырывающегося из него пара, или паровое колесо Бронка 1628 г., вертевшееся в струе пара и даже приводившее в движение аптекарскую ступку,—могли бы стать для человечества

главными источниками движущей силы. Главное основное отличие этих механизмов от паровых машин заключается в отсутствии качающихся частей с попеременным движением. В паровой машине утилизируется упругость пара, в турбине — его скорость движения. В паровой машине на поршень действует давление пара, а в паровой турбине — живая сила удара его отдельных частиц. Недостатки паровой машины, где пару постоянно приходится преодолевать инерции масс поршня и других частей, были ясны еще Уатту и продолжателям его работ. В продолжение ста лет творческая мысль инженеров искала способов устройства машины с непрерывным вращательным

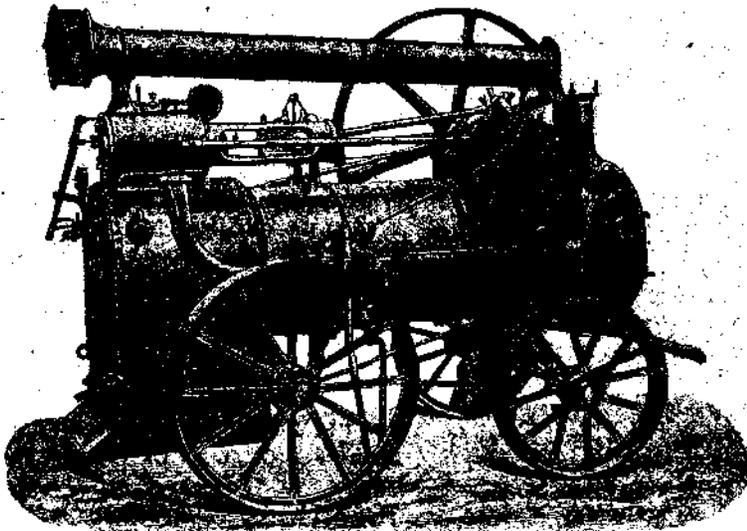


Рис. 2. Локомотивъ.

движением ее частей, но лишь в 1884 году найдено было удачное решение этой задачи. В этом году английский инженер Парсонс взял патент на свою первую паровую турбину „реакционного“ типа (прообраз — шар Герона), а через год шведский инженер Густав де-Лаваль создал турбину „акционного“ или прямого действия (типа колеса Бронка).

Идея использовать ударное действие струи пара, таким образом, от игрушечных старинных механизмов стала воплощаться в жизнь. Если взять цилиндрическую трубку и начать из нее выпускать пар на лопатки металлического колеса, последний придет во вращательное движение. Но явления, возникающие в такой трубке и связанные с образованием так называемой „критической скорости“, когда ско-

рость пара перестанет увеличиваться, как бы мы ни повышали давление внутри сосуда с паром, делает работу турбины при таких условиях маловыгодной. Заслуга де-Лавалья и Парсонса состоит в том, что они дали научно обоснованную форму „сопла“ — трубки, из которой пар ударяет в колесо турбины. Сопла эта имеет несколько расширяющуюся к выходу форму, что дает возможность применения пара высокого давления и получения больших скоростей его выхода.

Рабочее колесо паровой турбины имеет на своей окружности сотни небольших изогнутых лопаток, при чем характер кривизны и промежутков между ними определяет собою самый тип турбины (рис. 3).



Рис. 3. Рабочее колеса паровой турбины.

Скорость выхода струи пара из сопла паровой турбины при его расширении от 5 атмосфер до  $\frac{1}{10}$  атмосферы достигает 1 100 метров в секунду, — т.-е. скорости, значительно превышающей скорость полета пули, или в три раза больше скорости звука...

Поэтому и скорость вращения турбин, например, де-Лавалья может быть доведена до 25 — 30 000 оборотов в минуту, так как по расчетам наиболее выгодная скорость на окружности лопаток колеса турбины должна быть равна половине скорости струи пара, — т.-е. больше скорости

вращения точки земного экватора. Для реактивной турбины эта скорость должна равняться скорости пара. Здесь возникло немалое затруднение, так как при таких скоростях, благодаря центробежной силе, в диске турбины могут развиться настолько большие разрывающие усилия, что колесо разлетится вдребезги. Затем малейшая неточность в расположении массы металла относительно оси вращения создает „биения“, и дело опять-таки может кончиться катастрофой. Но находчивость конструктора сумела обуздать непокорную силу.

Де-Лаваль очень остроумно обошел первое затруднение — он сделал ось турбины достаточно гибкой и тонкой (при 300 лощ. сил всего 3 сантиметра толщины), чтобы она могла сама прогибаться при нарушении равновесия, не повреждая при этом подшипников, на которых она укреплена. Для уменьшения числа оборотов, ось турбины

была им связана с особой зубчатой передачей, понижающей их в 10—30 раз. Благодаря исключительно высокой скорости вращения, эти турбины имеют весьма небольшой размер по сравнению с паровой машиной такой же мощности. При их установке нет также необходимости в устройстве очень тяжелых фундаментов, что дает значительную экономию средств и места.

Парсонс пошел по другому пути, с целью уменьшить число оборотов турбины, искусственно уменьшил скорость выхода пара. Этому он достиг тем, что заставил пар проходить через несколько вращающихся дисков, попеременно вращающихся и неподвижных; последние служат направляющими и укреплены на кожухе турбины, а рабочие колеса сидят на одном длинном валу.

Тогда давление пара постепенно падает по мере его прохождения через диски турбины, отчего они и названы „турбинами со степенями давления“. В каждой ступени пар теряет свою скорость, и последняя, таким образом, разбивается на нескольких колесах, отчего и скорость их вращения может быть сделана значительно меньшей, чем в турбинах Лавалья, и вал турбины можно непосредственно сцеплять с машиной или электрическими генераторами.

Новое дитя машиностроительной техники выросло и окрепло чрезвычайно быстро, можно сказать, почти на наших глазах. Выяснилось также, что работа турбины может быть сделана тем выгоднее, чем больше разрежение пара в конце процесса расширения и чем выше его перегрев. Вот краткая таблица головокругительных быстрых успехов турбиностроения за последние тридцать лет.

Годы.	Мощность лощ. сил.	Потребление пара на 1 л. с. в час.
1884	6	20—25
1888	150	13—14
1894	500	10—11
1899	1 500	9—10
1906	6 000	8—9
1908	10 000	7
1912	30 000	6
1915	40 000	5—6
1918	60 000	4—5
1921	95 000	ок. 4

Таким образом, за период в 30 лет мощность паровых турбин возросла в сотни раз, а экономичность ее увеличилась втрое. В настоящее время, благодаря работе целой армии изобретателей и конструкторов, паровая

Энергия современной техники.

2

РЕСПУБЛИКАНСКАЯ  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ  
БИБЛИОТЕКА

651282199

турбина может считаться одним из наиболее усовершенствованных и экономичных тепловых двигателей. Ряд фирм (Вестингауз, Целли, Броун-Бовери, Кертисси, Юнгстрема, Рато) внесли в устройство турбины свои изменения и особенности в зависимости от рода и условий работы, для которых данная турбина предназначена. Мы не будем здесь останавливаться на этих деталях, так как это завело бы слишком далеко от нашей темы — общего очерка развития силовых источников последнего полувека.

Паровая турбина очень скоро обогнала свою предшественницу — паровую машину, так как уже в 1908 году мощность турбины стала значительно превышать мощность самой большой паровой машины. Сейчас их мощность

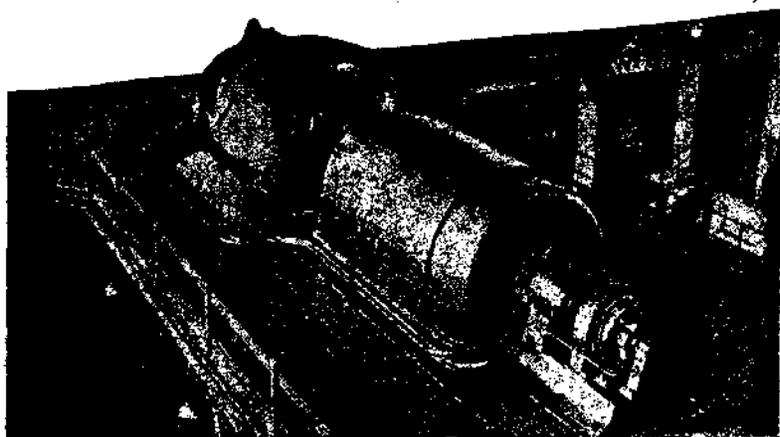


Рис. 4. Современная паровая турбина в 35 000 киловатт.

достигла почти ста тысяч лошадиных сил, и существуют проекты довести ее до 150 000 лошадиных сил, но здесь неожиданно является одно препятствие: размер отдельных частей получается при этом настолько большим, что их нельзя уже перевезти по железной дороге...

Интересно также отметить здесь чрезвычайную компактность паровой турбины по сравнению с паровой машиной. Так, 35 000 киловаттная паровая турбина (48 000 лошадиных сил) занимает площадь в длину 20 м, при ширине 6,1 метра; на такой площади едва могла бы уместиться горизонтальная паровая машина в 6—7 тысяч сил (рис. 4). Что касается экономичности турбинных установок, то коэффициент их полезного действия доходит до 20—21%, тогда как в лучших паровых машинах он не превосходит 18%.

Хотя паровые турбины значительно меньше одинаковых с ними по мощности паровых машин, но тем не менее они достигают внушительных размеров. Так, в турбине Парсонса в 35 000 лощ. сил, построенной для Эдисоновской компании в Чикаго, полная длина машины достигает 23,2 метров ширины, 5,5 метров высоты (без конденсатора); вал турбины имеет диаметр не меньше 40 сантиметров, длина вала—около 18 метров. В части турбины с высоким давлением пара, последний проходит через 64 рабочих и направляющих колеса со многими десятками тысяч лопаток. Гигантский конденсатор турбины высотой в 6 метров состоит из сотни тонких трубок с общей охлаждающей поверхностью в 3 700 кв. метров. Новейшие турбины в 60 и 100 000 сил имеют еще более подавляющие размеры.

Паровая турбина прежде всего вытеснила паровую машину на крупных электрических станциях (о них мы скажем подробнее на своем месте), — с начала этого столетия мы видим попытки применить ее и в качестве судового двигателя. Быстрота вращения оси турбины изменяется здесь посредством гибкой зубчатой передачи особой конструкции.

Простота управления, сравнительно малый вес механизма (до 1 пуда на силу) и, наконец, большая экономичность—быстро завоевали для турбины симпатии судостроителей. Особенно привились паровые турбины в военном флоте, где экономия места и легкость машины, при все растущих мощностях, сделали немислимыми дальнейшие установки паровых машин. Довольно будет сказать, что на дредноутах и современных крейсерах мощность установленных машин достигает 150 000 и даже 180 000 лощ. сил. Мощность эта, конечно, распределяется на несколько единиц.<sup>1</sup>

Вот еще пример современной гигантской судовой паровой турбины. Это турбины, поставленные на пароходе „Аквитания“, спущенном несколько лет тому назад и являющемся одним из самых больших судов в мире. Водоизмещение его равно 53 000 тоннам, длина—277,5 метров; для приведения в движение этой громады со скоростью 40 верст в час потребовалась установка нескольких турбин, развивающих до 60 000 лощ. сил. Турбины эти тройного расширения вращают четыре вала гребных винтов. Вот размеры турбины высокого давления: длина вала 12 метров, расстояние между центром главных подшипников 7,7 метров, диаметр барабана с лопатками—2,71 метра, длина его

<sup>1</sup> Один из последних американских крейсеров типа „Конституция“ с водоизмещением 43 500 тонн будет обладать установкой из четырех турбин с общей мощностью в 180 000 лощ. сил.

4,51 метра, общий вес 240 тонн. Конденсатор этих труб имеет 5,7 метров в высоту и снабжен 9 553 латунными трубками с общей поверхностью охлаждения в 2 140 кв. метров.

**Паровые котлы.** Посмотрим теперь на те механизмы, которые необходимы для работы парового двигателя. Пар, необходимый для работы паровой машины и турбины, получается, как известно, нагреванием воды в особых закрытых металлических сосудах, называемых паровыми котлами. Котлы эти были во время Уатта простыми, небольшого размера, круглыми сосудами из железа, при чем большая часть тепла, затраченного в топке, пропадала даром. В дальнейшем эти котлы вытянулись в длину, приобретая вид цилиндров из клепаных железных листов, при чем для лучшего использования тепла топка стала устраиваться в железной длинной (так называемый жаровой) трубе, укрепленной внутри самого парового котла.

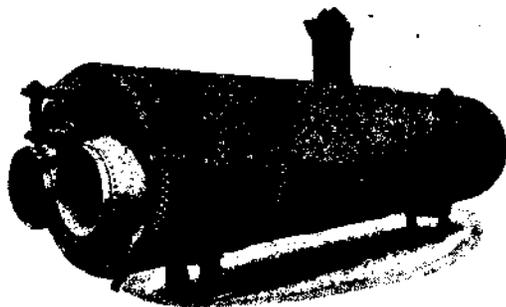


Рис. 5. Ланкаширский котел.

При одной такой трубе, котел называется Корнваллийским, а при двух — Ланкаширским (рис. 5). В передней части этих труб устраивается топка из чугуновых колосников с поддувалом для притока свежего воздуха. Горячие газы, после выхода их из жаровой трубы, заставляют обойти котел и с наружной его стороны, для лучшего использования заключающегося в них тепла. Чем больше поверхность нагрева, омываемая горючими газами, тем больше воды можно превратить в пар. Котел устанавливается (или подвешивается) на специальных опорах и обкладывается кругом огнеупорным кирпичом и простой кирпичной кладкой. Выступающие наружу части котла по возможности стараются покрыть каким-нибудь составом, плохо проводящим тепло, с целью уменьшения потерь на лучеиспускание.

Все котлы обязательно испытываются перед пуском в ход гидравлическим давлением, и только при отсутствии течи ими разрешают пользоваться.

На всех котлах имеется арматура — предохранительные клапаны (изобретенные еще Денисом Папином около 300 лет тому назад), указатель уровня воды и манометр для указания давления. Без этих приборов котел представлял бы немалую опасность, так как, не зная давления, можно так сильно поднять давление пара в котле, что котел разорвет. Для выпуска избытка пара при ненормально высоком давлении и служит предохранительный клапан. Не менее опасно также настолько опустить воду в котле, что обнажатся жаровые трубы, — последние под давлением пара могут размягчиться, и тогда взрыв неминуем. На обязанности кочегара и машиниста лежит неослабное наблюдение за этими приборами, снабжение топки горючим и регулировка питания котла свежей водой (посредством инжекторов и насосов).

Несоблюдение правил ухода за паровыми котлами или случайный дефект в конструкции котла иногда бывали причиной страшных несчастий, уносивших с собой десятки человеческих жизней.

Так, однажды в 1887 г. на одном железнодорожном заводе в Силезии одновременно взлетели на воздух 22 котла, при чем 12 человек было убито и 38 человек ранено.

Еще ужаснее был взрыв котла во Франции в г. Морниволе в 1883 г. на одном заводе, когда пострадало около 100 человек. Самый сильный известный до сего времени взрыв случился на американском речном пароходе „Соутон“ около г. Мемфиса 27 апреля 1868 г., когда погибло 1500 человек пассажиров.

Чем объясняется эта сила? Почему закрытый котел с кипящей водой опасен? Здесь будет, пожалуй, необходимо объяснить смысл некоторых физических явлений, проявляющихся в паровой машине и кладущих известный предел ее дальнейшему усовершенствованию.

Если взять открытый сосуд с водой и нагревать его на огне, мы заметим, что температура воды будет повышаться, дойдя до 100° (если атмосферное давление нормально), и больше подниматься не будет. Зато вода начнет постепенно превращаться в бесцветный горячий газ — называемый паром. Пар этот мы видим лишь тогда, когда он начнет сгущаться в мельчайшие водяные частицы белого тумана. Если этот сосуд закрыть, то давление газа в нем поднимется, и жидкость начнет испаряться при несколько повышенной температуре. Так, например, при давлении в 5 атмосфер температура кипения воды будет равна 154°, при 10 атмосферах — 180°, при 25 атмосферах — 223°. Если давление такой нагретой воды быстро уменьшить — значительная ее часть мгновенно перейдет в пар, занимающий в 1772 раза больший объем, чем вода, и кото-

рый с огромной быстротой и силой разнесет все окружающее. Здесь тепловая энергия превращается в энергию механическую (как известно, 1 калория тепла, способная нагреть 1 килограмм воды на  $1^{\circ}$  Ц., соответствует работе 427 килограмметров). Кроме того, было найдено, что для нагревания 1 килограмма ледяной воды до точки кипения надо около 100 калорий, а для превращения того же количества в пар необходимо от 538 калорий (при давлении 1 атмосферы) до 456 калорий (при давлении 20 атмосфер). Все это количество теплоты при быстром падении давления в виде пара, стремящегося занять в 1772 раза больший объем, чем вода, мгновенно освобождаясь, превращается в механическую энергию и производит разрушительные действия; наблюдаемые нами при „взрывах“ паровых котлов. Было вычислено, что средних размеров паровой котел, находящийся под давлением 7 атмосфер (около 7 килограммов на 1 кв. сантиметр), обладает запасом энергии, достаточным для того, чтобы швырнуть его на высоту 5 километров. Не будет поэтому преувеличением сказать, что часовой, охраняющий склады пороха, может чувствовать себя гораздо безопаснее, чем любой машинист, обслуживающий котлы под парами...

**Трубчатые и водотрубные котлы.** В дальнейшем конструкции паровых котлов подверглись множеству изменений и усовершенствований. Прежде всего было найдено, что для более интенсивной работы котла необходимо привести по возможности большую поверхность его в соприкосновение с горячими газами. Это повело к изобретению котлов с несколькими жаровыми трубами, названными „голландскими кипятилниками“, укрепленными поперек главных жаровых труб. Логическим развитием этой идеи был переход к так называемым „трубчатым котлам“, где газы из топки проходят через многочисленные, как их называют, „дымогарные“ трубки небольшого сечения, укрепленные внутри котла. Этим достигается очень большая поверхность нагрева, но зато, благодаря большему сопротивлению, для прохождения через эти трубки горячих газов требуется усиленная тяга. Эти котлы вскоре после своего появления получили значительное распространение благодаря ряду своих достоинств, особенно в тех случаях, где от котла требуются большая паропроизводительность и экономия в занимаемом им месте.

Кроме того, котлы эти менее опасны тем, что в них содержится меньшее количество воды, и в случае взрыва количество образующегося пара будет также невелико.

Ремонт таких котлов совершается сравнительно быстро, так как можно иметь запасные части; немалым

преимуществом является также возможность его разборки на небольшие и не слишком громоздкие части, что облегчает их перевозку и установку котла в труднодоступных местностях с плохими дорогами.

Современные паровозы устроены именно по такой системе. От топки, находящейся у одного конца котла, газы проходят через множество дымогарных труб в особую камеру под дымовой трубой, где посредством пара создается сильная искусственная тяга.

В сороковых годах появились так называемые „водотрубные“ котлы Альбона, состоящие из ряда горизон-

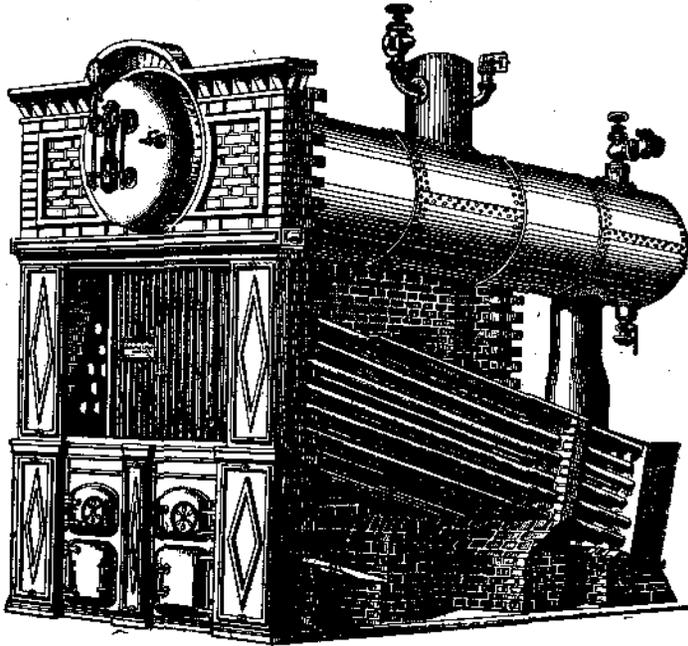


Рис. 6. Водотрубный котел.

тальных труб, входящих своими концами с одной стороны в общий котел. Идея разбить самый котел на ряд маленьких котлов-трубок и тем самым увеличить поверхность нагрева была весьма удачна; однако ряд недостатков (например, плохая циркуляция подогретой воды) вызвали к жизни новые, более совершенные конструкции этого рода (котлы Бельвилля и Роота, затем Штеймюллера, Дюрра, Вольтера, Бабкока, Вилькокса и др. систем). Котлы Штеймюллера и Дюрра состоят из одного или двух верхних котлов небольшого диаметра, соединенных с двумя плоскими камерами, находящимися под ними. Камеры эти связаны между собою несколькими десятками наклонных трубок (рис. 6).

Топка устроена непосредственно под этими трубами, и горячие газы проходят между последними, заставляя находящуюся в них воду испаряться и подниматься вверх, через переднюю камеру парового котла, в паровое пространство последнего.

В котле Дюрра камера разделена перегородкой на две части для того, чтобы испаряющаяся вода не смешивалась с паром. Холодная вода поступает в переднюю часть камеры и, нагретая и смешанная с паром, идет в верхний котел.

Оригинально устроен водотрубный котел Шухова, — в нем трубки входят не в плоские ящики, нуждающиеся в особых скреплениях, а в круглые камеры, головки которых соединены между собою короткими патрубками.

Одним из наиболее распространенных в мире типов водотрубных котлов являются котлы Бабкок и Вилкоккс, изображенные на рис. 7. Он также состоит из верхнего котла с запасом воды *A*, на котором укреплена арматура: манометр *M*, водомер *B* и предохранительный клапан *в*. К нижней части концов котла прикреплены „карманы“, соединяющиеся с несколькими литыми камерами *С—С*, связанными между собой многочисленными трубками *е е*, между которыми, благодаря перегородкам *р р* — циркулируют горячие газы, перед тем как уйти в дымовой канал. Устье последнего машинист посредством цепи *а* может в большей или меньшей степени закрывать и тем регулировать силу тяги. Над этими трубами, под котлом установлено несколько секций трубок маленького диаметра, где пар, полученный в котле, еще более перегревается. Котлы эти могут обслуживаться различными топками и сортами топлива. На рис. 7 изображена так называемая автоматическая цепная топка — *т* (об этих топках мы скажем ниже).

В котле этой системы можно использовать, превратив воду в пар, до 80% тепла затраченного топлива. Котлы эти могут дать до 20 — 28 килограммов пара в час с одного квадратного метра поверхности нагрева, которая достигает иногда до нескольких сот квадратных метров в одном котле.

Последними достижениями в области паровых котлов можно считать котлы системы Гарбе, появившиеся около 15 лет тому назад. Это, конечно, тоже водотрубные котлы; состоят они из двух поперечных барабанов — верхнего и нижнего. Барабаны эти непосредственно связаны рядом почти вертикально поставленных трубок, между которыми проходят топочные газы. Это вертикальное расположение трубок способствует меньшему осаждению на них грязи, лучшей циркуляции воды и более сильному парообразованию, достигающему до 40 килограммов пара с 1 кв. метра поверхности нагрева в час (рис. 8).

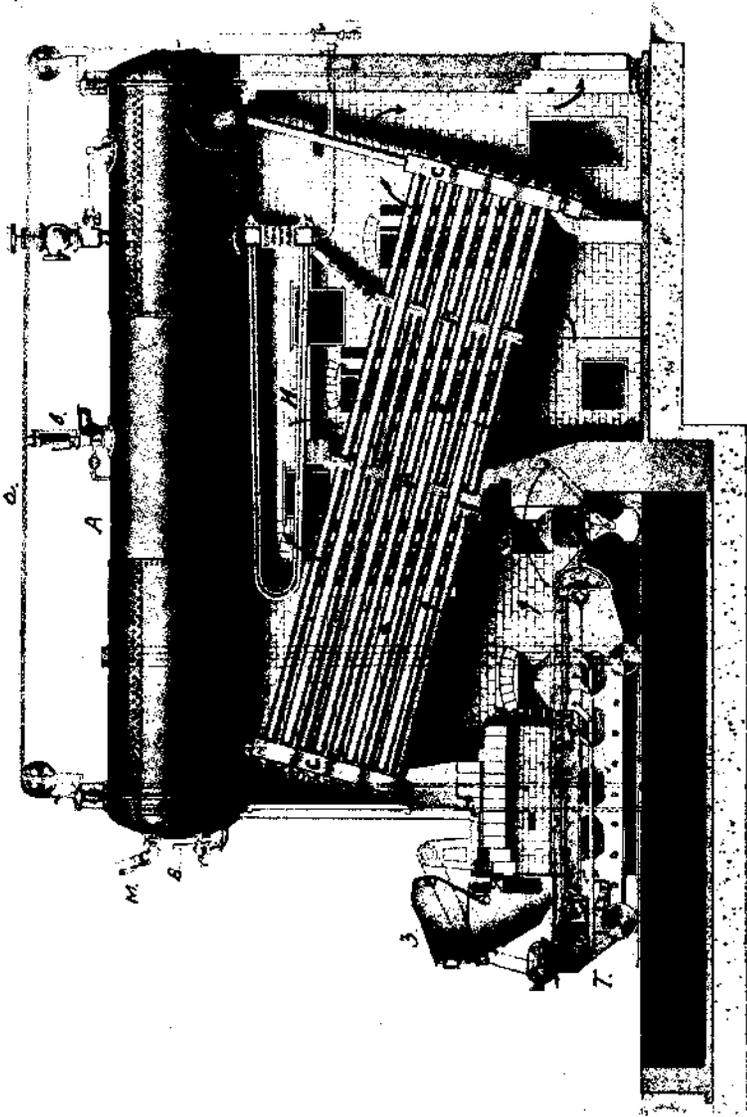


Рис. 7. Водотрубный котел Бабкок и Вилькокс.

На пароходах, где к котлам также предъявляют довольно тяжелые требования, в ходу котлы системы Стирлинга и системы Ярроу. Последние несколько напоминают котел Гарбе и состоят из верхнего парособиравателя и двух нижних коллекторов, от которых идут к нему многочисленные трубки. Все сооружение напоминает собою шатер, под которым устроена топка. Котлы эти отличаются большой паропроизводительностью и допускают значительную их форсировку.

Стремясь поднять паропроизводительность котла и увеличить полезное действие турбины, в последние годы

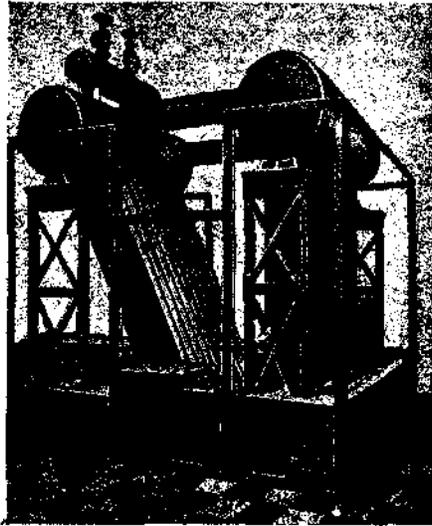


Рис. 8. Котел Гарбе.

стали применять все большие давления. Прежние котлы строились на 5—6 атмосфер, однако, вскоре перешли к 10 атмосферам и выше. Теперь очень часто можно встретить паровые установки в 15—20 атмосфер.

Шведский инженер Бломквист построил в 1897 г. котел с давлением до 200 атмосфер, обслуживавший турбину Лавала на одной шведской выставке. Однако, ряд недостатков этого котла заставил изобретателя переделать этот котел, понизив давление до 50 атмосфер (1915 г.). Котел этот состоит из нескольких толстостенных длинных (3 м) стальных цилиндров, быстро вращаемых на огне посредством мотора. Внутри этих цилиндров вбрызгивается вода, отбрасываемая центробежной силой к горячей стенке, отчего происходит быстрое и энергичное ее испарение,

доходящее до 277 кг пара с 1 кв. метра поверхности нагрева, как показали опыты 1923 г. на одном шведском заводе, где были установлены котлы Бломквиста с давлением в 100 атмосфер. Полезное действие таких котлов доходит до 73—77%.

Однако, было бы ошибочно думать, что с увеличением давления выше известного предела мы приобретаем какие-то выгоды. Все труднее будет достигнуть полной водонепроницаемости, сильно будет давать о себе знать температурное расширение отдельных частей, удорожится устройство подогревателя (экономайзеров). Известный авторитет по паровым установкам проф. Клингенберг считает, что пока наиболее подходящее для большинства случаев будет давление около 35 атмосфер и перегрев пара до 400°. Большой интерес вызывает появившийся недавно котел „внутреннего горения“ Брунлера, где сгорание жидкого топлива, смешанного с водой, происходит внутри самого котла.

**Принадлежности котельной установки.** Не входя в детали устройства котлов, мы упомянем вкратце те приспособления, которые сделали паровые котлы за последние два десятка лет тем совершенным аппаратом для испарения воды, которым мы пользуемся на наших теплосиловых установках.

I. Арматура котла—о ней мы уже говорили. Она состоит из манометра для указания давления, указателя уровня воды в котле и предохранительного клапана.

II. Для питания котлов свежей водой пользуются паровыми насосами или так называемыми инжекторами, засасывающими воду.

III. Для лучшего использования тепла холодная вода перед ее поступлением в котел подогревается в особых подогревателях „экономайзерах“, состоящих из многочисленных секций чугунных труб, устанавливаемых в камере, через которую проходят газы перед их поступлением в дымовую трубу. В этих экономайзерах топочные газы, входящие сюда еще с температурой около 400°, нагревают питательную воду до 100—130°. Наибольшим распространением пользуются экономайзеры Грина, дающие до 15% экономии топлива.

IV. Пароперегреватель. В виду того, что сухой пар не содержит в себе частиц неиспарившейся воды, такой пар работает лучше сырого пара, так как появление воды в паровом цилиндре может иногда повести к нежелательным последствиям, то всячески стремятся к тому, чтобы по возможности „высушить“ образующийся в котле пар. Для этого устанавливают под верхней частью котлов так назы-

ваемые „сухопарники“, откуда уже пар идет в паропровод, а также ставят на пути пара особые водоотделители.

В последние десятилетия вошли во всеобщее употребление так называемые пароперегреватели, где пар нагревается до температуры 250—300°, теря всякие следы влажности. Перегрев этот способствует также значительному повышению полезного действия котла.

V. Паропроводы. Подвести к паровому двигателю огромное количество пара, при температуре свыше 200°, находящегося под давлением до 20 атмосфер, является делом далеко не легким. Помимо исключительной прочности и способности выносить без поломки значительные колебания температуры, паропроводы, достигающие иногда большой длины, должны быть хорошо изолированы, подобно паровым котлам, от потери теплоты специальной обмазкой из асбеста или другого вещества, плохо проводящего теплоту.

VI. Топки паровых котлов. В первых паровых котлах топки устраивались очень просто: под котлом или внутри жаровых труб устанавливались так называемые колосниковые решетки, на которых сжигалось топливо; доступ воздуха под решетку регулировался особым поддувалом. Эта конструкция с некоторыми изменениями сохранилась и до сих пор под большинством котлов.

Научное выяснение условий наилучшего горения внесло много ясности и определенности в конструкцию топок, — последние стали строиться согласно точных расчетов, в зависимости от условий работы котла и рода употребления топлива. Тем не менее работа кочегара на таких топках остается одной из самых трудных: стóит только спуститься в котельную большого океанского парохода. В атмосфере, насыщенной парами масла, в нестерпимой духоте, лопату за лопатой забрасывают полуобнаженные кочегары уголь в раскаленное жерло топок и время от времени, обжигаемые их жаром, длинными железными шестами перемешивают — „шуруют“ спекшиеся куски угля...

Без преувеличений можно сказать, что здесь мы, как в угольных копях, находимся в передовых окопах на фронте труда.

Изобретение механических топок избавило кочегара от этого каторжного труда. Говоря по правде, толчком к этому изобретению послужили менее гуманные соображения: дело в том, что при частых открываниях топки туда проникает слишком много холодного воздуха, что ухудшает процессы горения. В механической топке этот недостаток устранен. Кочегару незачем забрасывать уголь в самую топку. Последний силою тяжести идет по особым железным желобам и трубам из угольного склада,

устроенного над котельным помещением. Иногда уголь или торф приходится загружать вручную в коническое устье топки, но о дальнейшем кочегару не приходится беспокоиться: топливо падает на вращающуюся бесконечную ленту, составленную из коротких чугунных или огнеупорных глиняных колосников, связанную шарнирами и намотанную на два зубчатых барабана. Последние приводятся в движение небольшим электрическим мотором, и таким образом топливо постепенно, по мере сгорания, передвигается вперед, зола падает в промежутки между колосниками в зольник, а прикипевшие к ним куски шлака сами отламываются при обходе концевых барабанов и снимаются особыми скребками, установленными в конце топки. Регулировка горения здесь достигается идеальная, дыма почти не образуется, и один кочегар может без труда обслуживать несколько таких топок.

Острота у нас топливного кризиса, которая стала чувствоваться уже последние годы войны, дала толчок к изобретению двух чрезвычайно ценных топок для наших условий. Мы имеем здесь в виду топку для сырых дров проф. Кирша и топку для торфа инженера Макарьева.

Топка для сырых дров относится к так называемому шахтному типу. Сырые дрова могут туда загружаться, будучи срубленными прямо с корня, нерасколотыми кусками по три аршина длиной. Верхние слои наваленных дров постепенно просушиваются теплыми газами, и горение происходит лишь в нижней части топки.

Наконец, в самое последнее время стали появляться топки для пылевидного топлива. Совсем еще недавно эта угольная пыль и мелочь, неизбежно получавшаяся при добыче и сортировке угля, считалась досадным балластом предприятия, видевшего в ней лишь чистый убыток. Всеобщее стремление к экономии, так ярко проявившееся во всех областях народного хозяйства, заставило техников задуматься над задачей использования угольной пыли.

И что же? Оказалось то, что было отбросом, как раз и есть наиболее ценное в угольном топливе. Перемолотый, просеянный и очищенный мелкий уголь оказался идеальным топливом, который горит и отдает тепло гораздо лучше, чем обычный уголь, состоящий из крупных кусков. Разумеется, с введением угольной пыли пришлось видоизменить конструкцию топки, получившей вид довольно обширной камеры, выложенной огнеупорным кирпичом, внутрь которой вдувается подогретый воздух с угольной пылью, сгорающей там в виде широкого огненного снопа пламени. Несгоревшие частицы и зола падают

мелкой пылью на дно камеры, откуда они легко удаляются через нижние отверстия. К достоинствам топки с угольной пылью принадлежит легкость и быстрота ее пуска в ход, — в несколько минут можно довести до  $\frac{1}{8}$  его наибольшей паропроизводительности, а также легко достигается форсировка котла. Испытания, произведенные с новой топкой угольной пылью, показали также, что коэффициент полезного действия котла может дойти до 80% и даже 90%, т.е. почти все тепло, заключенное в угле, передается котлу.

Опыты, произведенные в Америке на железнодорожной линии Шонтон-Марселин, показали, что и в паровозе применение угольной пыли может дать около 25% экономии сравнительно с обычным способом топки крупным углем. Такие же обнадеживающие результаты получились и при пользовании угольной пылью в некоторых металлургических печах.

Нет сомнения, что применение угольной пыли в качестве топлива внесет полный переворот в топливной технике; доказательством этого служит хотя бы то, что большая часть паровых станций Германии переходит к этому новому способу, а новейшие крупные центральные паровые станции Америки, в роде станции Кахокия в 300 000 киловатт, также вводят у себя отопление угольной пылью.

Топка для торфа была уже неоднократно построена. Инженеру Макарьеву удалось, однако, создать тип топки, где горение такого „неблагодарного“ и сырого топлива, как торф, происходило бы в условиях, обеспечивающих наилучшее его сгорание.

Эта топка состоит из удачного сочетания шахтной и механической топок, позволяющих снимать до 50 килограммов пара в час с 1 кв. метра поверхности нагрева котла Гарбе, — результат тем более поразительный, что топливом служит сырой торф, а не уголь.

Для отопления нефтью употребляются нефтяные форсунки, приводящие нефть в тончайшую пыль, с силой разбрызгиваемую посредством сжатого воздуха внутри топочного пространства в виде горячей струи длиной в несколько метров. В настоящее время имеется несколько систем этих форсунок. Нефтяное отопление, в виду все более ощущаемого недостатка в нефти, находит теперь применение исключительно на военных судах, где этот род топлива имеет ряд ценных преимуществ, благодаря экономии занимаемого им места. В заключение скажем два слова о новой, недавно предложенной топке проф. Бона, где паропроизводительность доводится до колоссальной цифры 140 кг пара в час с 1 кв. метра поверхности нагрева. Это котел с дымогарными трубками, запол-

ненными кусками пористой огнеупорной массы; после растопки, благодаря искусственной тяге, горящий газ втягивается внутрь трубок, раскаляя находящиеся там куски, способствующие лучшему перемешиванию и полному сгоранию газов.

VII. Тяга. Для того, чтобы заставить горящие газы пройти сложный и извилистый путь между трубками и каналами парового котла, требуется создание весьма значительной тяги. Тяга эта достигалась раньше устройством высоких дымовых труб, где теплый воздух, поднимающийся кверху, увлекает за собою воздух, находящийся в топке. Для получения сколько-нибудь сильной тяги приходится в этом способе прибегать к устройству чрезвычайно высоких труб (до 100 метров и выше).

В паровозах, где устройство высоких труб невозможно, прибегают к вдуванию отработанного пара, который увлекает с собою горячие газы.

Однако, наиболее совершенным способом, получающим все большее распространение, особенно там, где требуется получение значительных количеств энергии, является искусственная тяга посредством вентиляторов, отсасывающих и выбрасывающих наружу использованные продукты горения. При этом высокие кирпичные трубы-башни могут быть заменены более дешевыми короткими, слегка уширяющимися кверху железными трубами.

Электрические паровые котлы и паровые аккумуляторы Рута. В стремлении по возможности создать более экономичные условия для работы центральных паровых электрических станций, теплотехника последних лет дала два новых изобретения, которым суждено в будущем сыграть немалую роль в хозяйстве центральных станций.

Неравномерность работы электрических станций, обусловливаемая неодинаковым потреблением энергии в разные часы дня, влечет за собой два неприятных последствия. Во-первых, приходится всегда держать под парами для запаса мощности несколько большее количество котлов, чем это необходимо в каждый момент, а во-вторых, учитывая временное повышенное требование на энергию в период высокой нагрузки, длящейся иногда всего 1—2 часа, приходится строить всю котельную установку на эту временную высокую мощность, при чем в остальное время суток котлы эти стоят без работы. Оба эти обстоятельства в значительной мере удорожают стоимость отпускаемой электрической энергии.

Инженер Рут предложил несколько лет тому назад устанавливать на дворе станции больших размеров котел с хорошей тепловой изоляцией, вода в котором нагревалась бы паром от рабочих котлов в часы малой нагрузки

станции. В часы же большой нагрузки, вместо того чтобы пускать запасные котлы, будет достаточным брать пар для машин из этого котла, который играл бы роль уравнилителя станционной работы и сделал бы излишним установку запасных котлов. Практика вполне подтвердила такие предположения и показала, что применение аккумулятора Рута может сберечь до 30 % обычного расхода топлива станции и удешевить всю установку.

Опыты с нагреванием котлов электрическим током также показали полную целесообразность этого способа в некоторых случаях.

Нагревание это достигается либо посредством сопротивления, в виде проволок из хромоникелевой стали, при чем иногда ток проходит частью через спираль, частью через воду, или посредством электродов, когда сама жидкость в котле служит этим сопротивлением.

Избытком электрической энергии в часы малой нагрузки станции можно производить нагревание паровых аккумуляторов Рута; весьма удобно также запасать тепловую энергию в таких электрических котлах, когда они расположены далеко от центральной станции. В производствах, где требуется пар, электро-паровые котлы также могут найти себе широкое применение, так как они легко регулируются и позволяют обойтись, не устраивая своей собственной котельной.

Кроме того, электро-паровые котлы не образуют накипи, происходящей при нагревании воды снаружи, а также значительно безопаснее при опускании уровня воды, так как совершенно исключается возможность перегрева стенок котла. Так как для получения одного килограмма пара необходима затрата от 1,25 до 1,5 киловатт часа энергии, то пользование электро-паровыми котлами делается выгодным лишь при достаточно низком тарифе на электрическую энергию.

---

## ГЛАВА II.

### Двигатели внутреннего сгорания и новейшие тепловые двигатели.

**Газовые двигатели.** Попытки построить такой двигатель, где работа могла бы производиться без помощи сложного котельного устройства, а прямо в цилиндре, делались уже давно.

Конечно, нельзя себе представить возможности устройства топки в самом цилиндре, который служил бы тогда одновременно и котлом и цилиндром, — это был бы технический абсурд. Но заставить какой-нибудь горючий газ или какое-нибудь вещество, легко превращающееся в газы, сгореть внутри цилиндра и упругостью образовавшихся газов получить некоторое количество механической энергии, — такая мысль приходила в голову многим выдающимся изобретателям последних трех веков.

Самыми старыми газовыми двигателями, в широком смысле, могут считаться пушки, но так как они не представляют двигателя в обыкновенном смысле этого слова, следует считать первыми предшественниками газовых двигателей — пороховые двигатели. Подобный двигатель был конструирован уже Гюйгенсом; он описывает подобный двигатель с цилиндром и поршнем в сочинении 1680 года; поршень в нем приводился в движение сжиганием пороха. Папин также конструировал подобный двигатель, но эти попытки не имели успеха; также не имели успеха и опыты, произведенные сто лет спустя в конце XVIII столетия в Англии, где горючим материалом был уже не порох, а горючие газы. В первое десятилетие XIX столетия в Англии было взято много привилегий на газовые двигатели, из которых двигатели Райта (1833 г.) уже довольно близки к позднейшим двигателям подобного рода: в цилиндре работает смесь горючего газа и воздуха, подобно пару в паровых машинах; цилиндры были окружены оболочкою для охлаждения

водою, и двигатель был снабжен регулятором для регулирования притока газа.

Потребность в небольшом экономичном двигателе, всегда готовом к работе, толкнула техническую мысль на разработку теплового двигателя другого типа, чем паровая машина, где в механическую работу непосредственно превращалась бы теплота горения и взрывы горючего газа.

Для мелкой промышленности требуется двигатель небольшой силы, занимающий мало места, легко устанавливаемый везде и могущий быть пущенным в ход в любое время, смотря по надобности, без предварительной подготовки; надо иметь возможность легко его обслуживать, и если нет в нем надобности, то иметь возможность не держать его постоянно наготове; работа его не должна представлять никакой опасности, и, наконец, работа и ремонт его должны быть дешевы. Этим требованиям, которые не могут быть удовлетворены паровыми машинами, вследствие их особенностей, вполне отвечают газовые двигатели; они могут заменять паровые машины небольшой мощности, отчего они давно стали самым важным двигателем в мелкой промышленности.

Газовые двигатели, как и паровые машины, принадлежат к калорическим машинам, так как в них скрытая энергия горючих тел, именно теплота горения, заключающаяся в газообразном топливе, превращается в механическую силу. Принцип действия их заключается в использовании упругостью сжигаемых газов и взрывчатой смеси; последний значительно проще, чем принцип действия паровых машин, так как здесь топливо само непосредственно производит давление на поршень, тогда как в паровых машинах, как мы знаем, полученная при горении угля энергия сперва передается другому водяному пару и потом уже превращается в энергию механическую.

Если смешать в известном соотношении светильный газ и воздух и зажечь их в замкнутом пространстве, то смесь вспыхивает или взрывается, т.е. сгорает весьма быстро; при этом выделяется большое количество тепла, благодаря чему сгоревшие газы нагреваются до высокой температуры и доводятся до высокого давления. Взрыв сильнее, и внешнее действие его больше в том случае, когда воздух и газ смешаны в таком отношении, что количество кислорода первого вполне достаточно для полного сжигания газа. При избытке газа только часть его сгорает; при излишке воздуха в смеси, развивающееся тепло расходуется также и на нагревание излишка воздуха, а потому внешнее действие взрыва в этом случае меньше. При слишком большом избытке воздуха,

т.е. при недостатке газа, смесь вообще не загорается; смотря по соотношению в смеси составных частей, горение протекает или медленно или мгновенно, в виде взрыва.

Смотря по составу газа, различно также колеблется воздух, который необходим для полного сгорания, и при котором смесь начинает или прекращает быть горючей или взрывчатой; например, светильный газ начинает гореть с развитием давления, при примеси четвертного объема воздуха, а при 12 частях воздуха на 1 часть газа смесь становится невоспламеняемой. Наибольшее внешнее действие происходит при примеси к 1 части газа от 5 до  $7\frac{1}{2}$  частей воздуха.

Так как энергия, развиваемая при взрыве, пропорциональна количеству сгоревшего газа, а последний при данном объеме зависит от плотности газа, то при применении сжатой газовой смеси увеличивается внешнее действие взрыва; этим пользуются, сжимая смесь перед ее воспламенением.

В 1838 году англичанином Барнеттом были взяты привилегии на три различных газовых двигателя, в которых в главных чертах уже ясно видны те же основания, по которым и до сих пор еще строятся газовые двигатели. Первый двигатель был простого действия; он состоял из цилиндра с особым пространством для газовой смеси и газового и воздушного насосов, для накачивания в это пространство газа и воздуха.

Другой двигатель был двойного действия, но благодаря некоторым своим недостаткам не получил практического применения,<sup>2</sup> — обстоятельство, достойное удивления, так как в этих машинах были уже намечены все главные основы будущих газовых двигателей, играющих сейчас такую крупную роль в современной технике.

Также не имели никакого успеха многочисленные конструкции, появлявшиеся в ближайшие два десятилетия; они оставались неизвестными в техническом мире до тех пор, пока в 1860 году не началось впервые действительное развитие газовых двигателей с устройством первого удобного для практического применения газового двигателя Лемуара. Лемуар первоначально был работником на одной бронзовой фабрике; впоследствии вместе с одним товарищем он основал гальванопластическое заведение, но не имел с этим предприятием никакого успеха; затем он пытался воспользоваться силой взрыва смеси газа и воздуха для получения механической работы, и только после нескольких неудачных попыток ему удалось разрешить эту задачу.

Машина Лемуара работала светильным газом и имела сходство с небольшой горизонтальной паровой машиной;

цилиндр ее — двойного действия и обладает водяной рубашкой и вторым кожухом для своего охлаждения. Как и в паровой машине, движение к валу передавалось посредством поршня и кривошипа.

В двигателе Лемуара при движении поршня в одну сторону цилиндр наполняется смесью воздуха и газа, затем, когда поршень дойдет до середины, выпуск смеси прекращается, смесь посредством электрического запала взрывается, поршень толкается назад; затем, благодаря инерции тяжелого маховика (необходимая принадлежность всякого газового двигателя), снова идет обратно, вытесняет продукты горения, и процесс начинается снова. Это так называемый двухтактный двигатель — все процессы в нем соединяются в продолжение двух тактов.

Двигатель Лемуара потреблял около 3 куб. метров светильного газа на 1 эффективную (действительную) силу в час. Двигатель этот удержался в мелкой промышленности до начала восьмидесятых годов прошлого столетия.

На смену им пришел новый газовый двигатель, впервые появившийся на всемирной Парижской выставке в 1867 г. Отто и Ланген выставили свой небольшой газовый двигатель, поразивший всех исключительно малым потреблением газа — всего около 0,8 куб. метров на силу-час. Двигатель этот был атмосферическим двигателем простого действия и вертикальным, напоминая немного таким образом старинную паровую машину Ньюкомена. Вследствие остывания газообразных продуктов горения, под поршнем образуется сильное разрежение, и внешнее давление заставляет поршень двигаться вниз, совершая при этом работу. Во время подъема поршня двигатель продолжает работать только благодаря живой силе маховика.

Эти атмосферические газовые двигатели Отто и Лангена, несмотря на некоторые их недостатки, в течение десяти лет почти везде считались лучшими двигателями для мелкой промышленности; за этот промежуток времени фирмой было установлено свыше 10 000 таких двигателей; теперь же и эта конструкция имеет только историческое значение.

В 1871 году французский инженер Де-Роша предложил строить газовые двигатели, где процессы должны совершаться не в два, а в четыре такта, иначе говоря, следующим образом:

Во время первого такта происходит всасывание газовой смеси.

Во время второго такта происходит ее сжатие.

Во время третьего такта происходит вспышка смеси и ее расширение; в это же время совершается работа двигателя.

Во время четвертого такта происходит выпуск сгоревших газов.

По этому принципу были построены Отто его двигателя нового типа, появившиеся в 1871 году.

Ход двигателя Отто и многих других современных двигателей, построенных по тому же принципу, при хорошей конструкции и тщательном выполнении, спокоен и равномерен настолько, что они могут быть применяемы для движения ткацких и прядильных станков и даже таких чувствительных к неравномерности хода машин, как динамо-машины. Мгновенные сильные толчки, как и неприятный сильный шум, — свойства старых взрывных двигателей, — в изобретении Отто были почти устранены.

Из предыдущего описания этого двигателя следует, что на четыре простых хода поршня, т.-е. на два полные оборота кривошипа приходится только один взрыв; большая часть получаемой при этом энергии должна быть передаваема для выравнивания сильному маховику, который был бы в состоянии отдавать запасенную энергию в течение 3 последующих ходов поршня или во время  $1\frac{1}{2}$  оборотов для того, чтобы рабочие машины могли идти без заметного замедления — равномерно, и обладали бы, кроме того, достаточным запасом энергии для трех последующих перемещений поршня.

В дальнейшем газовый двигатель еще более усовершенствовался. Для равномерности хода и правильности впуска и выпуска газа в нем применяется как золотниковое, так и клапанное распределение. Одинаковое число оборотов в нем достигается особым центробежным регулятором; для охлаждения применяется водяная рубашка; шум и сотрясение в значительной мере устранены.

Двигатели Отто, называемые также двигателями Дейтца, строятся заводом газовых двигателей Дейтца самых разнообразных величин, от  $\frac{1}{8}$  и  $\frac{1}{4}$ -сильных карликовых двигателей до 400-сильных, а также самых разнообразных устройств. Первые двигатели, как уже упомянуто, были горизонтальными одноцилиндровыми. Когда требуется весьма равномерный ход, устраиваются двигатели с двумя маховыми колесами, по одному с каждой стороны вала.

Успех двигателей Отто-Дейтца вызвал множество подражаний, и вскоре в восьмидесятых годах в промышленности появляются газовые двигатели других систем — Кертинга, Кросслея и др. Все они отличаются от двигателей Отто лишь своими деталями и не уступают ему по своим качествам (см. рис. 9).

С 1889 года возник вопрос об увеличении их мощности; появились двигатели до 1 000 лошадиных сил в одном

цилиндре, но практически оказалось более выгодным не превосходить 300—400 лошадиных сил. В стационарных (неподвижных) установках применяется горизонтальное расположение, в судовых устройствах — вертикальное.

Одним из самых больших недостатков газового двигателя была его „привязанность“ к городу, где только и можно было иметь под руками светильный газ. Но в 1878 году Даусон показал способ, как избавиться от этой зависимости и как можно добывать в любом месте газ, необходимый для нового двигателя.

Аппарат Даусона, так называемый газогенератор, состоял из цилиндрической печи, загружаемой ко-

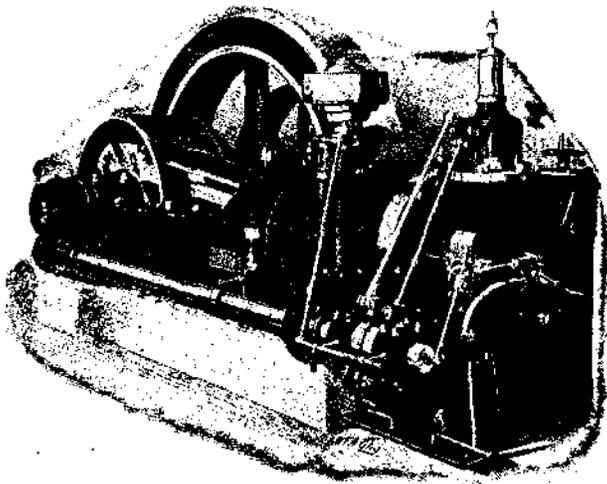


Рис. 9. Газовый двигатель.

ксом сверху, снабженной отверстиями для осмотра и перемешивания топлива.

После того как загруженный кокс раскалится, через него пропускают струю пара, от чего происходит разложение воды и образование смеси двух горючих газов — окиси углерода и водорода с азотом воздуха. Всего в полученной в газогенераторе смеси содержится до 40% горючих газов.

Газ, образовавшийся в газогенераторе, перед поступлением в цилиндр подвергается очистке от содержащихся в нем смолистых и иных соединений, могущих загрязнить машину. Достигается это пропусканием газа через особые фильтры (скрубберы), состоящие из цилиндра, наполненного кусками кокса, по которым стекает вода, увлекающая пыль, содержащуюся в газе, затем газ проходит еще через другой очиститель, через фильтр из

опилок и, наконец, поступает в газгольдер — сосуд для хранения некоторого запаса газа на случай временной остановки или продувки газогенератора.

На 1 кг угля с теплотворной способностью в 7 000 калорий можно получить до  $4\frac{1}{2}$  куб. метров газа с теплотворной способностью в 1 300 калорий; иначе говоря, здесь утилизируется около 80 % тепла, заключенного в топливе. Хорошие двигатели, работающие на газе Даусона, потребляют 0,8—1 кг топлива на 1 лошадиную силу-час; коэффициент полезного действия этих двигателей доходит до 23—25 %.

В газогенератор может загружаться не только уголь и дрова, но всякого рода горючие остатки, щепки, опилки, кора, жмыхи, шелуха и проч. В таких случаях, когда используются отбросы производства, стоимость энергии может быть весьма понижена; это свойство газового двигателя и газогенератора особенно ценно в наше время, проходящие под знаком нужды в топливе и экономии в производстве.

Последние два десятилетия создали для газового двигателя новое и чрезвычайно важное применение. Мы имеем здесь в виду начавшееся использование газов доменных печей, образующихся при выплавке чугуна. Газ этот раньше совершенно бесполезно выпускался на воздух, пока около полувека тому назад не был предложен способ обогреть его теплотой холодный воздух, вдуваемый через фурмы в доменную печь. В 1892 г. Гвейт подал мысль использовать эти газы, содержащие до 30% горючей окиси углерода, — в газовых двигателях.

Каждая тонна угля, загруженная в доменную печь, дает около 3 400 куб. метров газа, а каждые 22 куб. метра дают 1 лошадиную силу в час. В 1898 году известный завод Коккерия в Бельгии утилизировал 50 000 куб. метров газа, получившихся при выплавке 600 тонн чугуна в день в топках паровых котлов. Вскоре после того, как удалось добиться хорошей очистки газа от пыли и золы, этим же заводом был построен в 1900 году огромный по тому времени двигатель в 650 лош. сил для работы на доменном газе. В 1914 г. этот завод довел мощность доменного газового двигателя с 4 цилиндрами до 8 000 лош. сил, при чем коэффициент полезного действия этого гиганта достиг целых 30%.

В настоящее время доменным газом для двигателей пользуется целый ряд крупных заводов Европы и Америки.

Прежде чем перейти к описанию дальнейших успехов тепловой техники, скажем два слова об одном интересном двигателе, появившемся в шестидесятых годах, но не получившем, благодаря скорому появлению газовых и кероси-

новых моторов, дальнейшего развития. Это так называемые *калорические машины, работающие нагретым воздухом.*

Первую модель такой машины построил Джон Стрелинг в 1827 г., но успех его машина не имела. Швед Джон Эрикссон в 1833 г. самостоятельно построил двигатель, работавший за счет расширения воздуха, нагретого в цилиндре. Недостаточное знание законов термодинамики, только еще начинавших устанавливаться гениальными работами Мейера, Джауля и других, привели его к мысли, что в этой машине можно иметь чуть ли не вечный двигатель — стоит лишь восполнять потерю на лучеиспускание. Построенные им в Америке две больших паровых машины доказали, однако, ошибочность его ожиданий, так как калорическая машина работала не лучше паровой.

Это заставило снова вернуться к конструированию небольших двигателей, имевших одно время некоторый успех (двигатели Лемана, Фидера и др.) главным образом в виду простоты и абсолютной безопасности их действия. Однако, благодаря низкому коэффициенту полезного действия (не более 2—3%) двигатели эти были скоро вытеснены другими, более совершенного типа машинами.

Двигатели внутреннего сгорания с жидким топливом. Нет сомнения, что избавление газового двигателя от зависимости в пользовании услугами газового завода было огромным шагом в деле популяризации этих новых двигателей. Изобретение газогенератора дало газовому двигателю эту независимость и позволило ему найти самое широкое применение на удаленных от городов фабрично-заводских предприятиях, мельницах, сельскохозяйственных экономиях и т. д.

Мелкий заводчик, кустарь, фермер получили возможность располагать дешевой силой в любое время.

В наших условиях применение такого газогенераторного двигателя несомненно сыграет еще большую роль, чем на Западе, в виду все растущей потребности крестьянского населения в дешевом источнике энергии для целей электрификации своих кооперативных предприятий, а также и потому, что в качестве топлива для газогенератора может теперь служить не только кокс и антрацит, но и простые дрова.

Следующим шагом было избавиться и от этого тяжелого, но неизбежного придатка газовой машины, каковым является газогенератор. Для этого было необходимо образование взрывчатого газа в самом цилиндре или получение этого газа каким-нибудь более простым способом.

Еще в 1873 г. появился керосиновый двигатель Гока, и с тех пор идея использовать в качестве источника силы

жидкие горючие вещества в роде нефти, керосина, мазута, бензина, газалина и других углеводов не перестает занимать техническую мысль.

Сперва попробовали пропускать под поверхностью бензина струю воздуха, насыщавшегося парами бензина, и этот воздух использовать в газовом двигателе. Затем предлагалось продувать воздух через шерсть, смачиваемую бензином. Все эти конструкции отличались большой опасностью, легко взрывались и особенного успеха не имели.

Но потребность в легком, автономном и негромоздком двигателе делалась все более и более настоятельной. С одной стороны, мелкая промышленность, с другой — нарождавшийся механический транспорт и воздухоплавание продолжали попрежнему нуждаться в легком и надежном моторе.

Электрическая передача энергии в то время находилась лишь в первой стадии своего развития, и этим объясняются неоднократные попытки применить газовые двигатели для целей движения. Интересна в этом роде попытка, сделанная Люригом в 1892 году, построить городской трамвайный вагон с газовым двигателем. Под кузовом вагона были помещены несколько железных резервуаров со сжатым газом, а в середине вагона мотор и двухцилиндровые газовые двигатели; посредством системы зубчатых колес вращение вала передавалось ведущим осям. Такие вагоны были построены в нескольких германских городах, но были вскоре вытеснены появившимся электрическим трамваем.

Однако, лишь Даймлеру в 1884 г. удалось достичь первого осязательного успеха в деле построения двигателя внутреннего сгорания, работающего на горючем жидком топливе.

Год, когда Даймлер взял патент на свой бензиновый двигатель, можно считать поворотным пунктом в деле развития легких двигателей внутреннего сгорания. Для механического и воздушного транспорта открывалась новая эра.

Даймлер не даром был долгое время управляющим заводом газовых двигателей Отто, и его изобретение явилось результатом долголетних его размышлений.

Если газовый и нефтяной двигатели можно сравнить с нетребовательной на пищу рабочей лошадью, то бензиновый легкий двигатель можно уподобить породистому быстрого коню, которому не всякий корм будет по вкусу.

Двигатель так называемого автомобильного типа работает на легком топливе, как-то — бензин, бензол, спирт, керосин и смеси из различных легких продуктов

перегонки нефти и спирта. Легкость воспламенения и большая теплотворная способность (в одном килограмме нефти и бензина содержится до 11 000 больших калорий), а также одновременный прогресс в области получения обработки специальных сортов стали—создали для этого нового двигателя чрезвычайно благоприятную обстановку, для его усовершенствования.

Простота обслуживания и установки, легкость управления, возможность быстрого пуска в ход, незначительность веса, экономичность работы—все это были как раз те качества „идеального“ двигателя, которых не хватало в тех многочисленных неосуществленных проектах изобретателей всех стран того времени.

Легкий экипаж—автомобиль, воздушный корабль—дирижабль, легкий аэроплан, подводные лодки—все эти, такие обыденные в наше время, вещи были уже намечены и разработаны в своих главных чертах, но долго были бы еще вынуждены оставаться мертвыми грудями стали, дерева и полотна без оживившего их мощного и легкого двигателя.

В бензиновом и керосиновом двигателе газовая смесь образуется в особом приборе—так называемом карбюраторе, состоящем из небольшого сосуда, куда поступает горючая жидкость из расположенного выше резервуара. Небольшой поплавок с автоматическим клапаном закрывает доступ бензина, когда жидкость достигает известного предела, что обеспечивает равномерный напор и поступление в форсунку. Последняя по своему действию напоминает пульверизатор,—жидкость увлекается и распыляется сильным током воздуха, образуя взрывчатую смесь, поступающую в цилиндры мотора. В первых конструкциях воздух пропускался через жидкость или над ее поверхностью, но в настоящее время удержался лишь тип пульверизационный.

Наилучшими и наиболее распространенными в настоящее время типами считаются карбюраторы „Зенит“ и „Клодель“. Подача горючего в карбюратор производится либо самотеком, либо под давлением; с 1920 года, особенно в Америке, этот способ подачи начал вытесняться подачей топлива под вакуумом (разрежением).

**Автомобильный двигатель.** В общих чертах автомобильный двигатель обладает следующими частями.

На прочной закрытой металлической коробке (картере) укреплены один или несколько цилиндров; кривошипы их связаны с коленами вала, подшипники которого также укреплены на картере. Необходимость получения возможно более ровного хода и нежелание утяжелять двигатель тяжелым маховиком заставили прибегнуть в боль-

шинстве случаев к установке нескольких цилиндров с различным расположением поршней относительно друг друга. Тогда, например, при шести цилиндрах — на один оборот вала придется не один, а шесть взрывов, что обеспечит лучшую равномерность работы.

Обычно автомобильные моторы строятся на 4, 6, 8 и 12 цилиндров, один за другим, в один или два ряда, расположенных под некоторым углом друг к другу (рис. 10).

Цилиндры окружаются для охлаждения так называемой водяной рубашкой — металлической камерой, в которой циркулирует вода, нагнетаемая маленьким насосом.

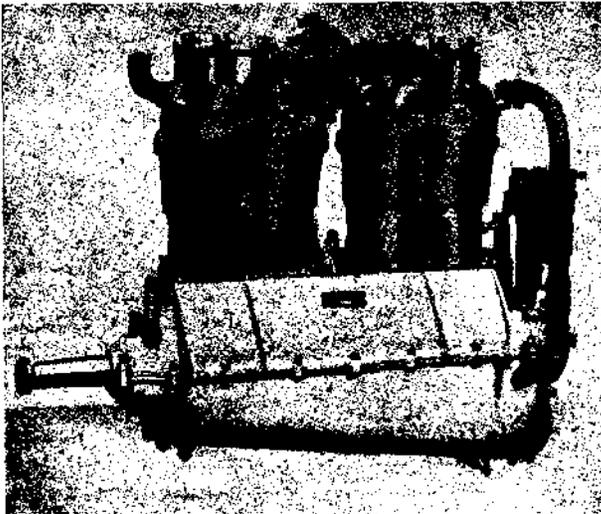


Рис. 10. Четырехцилиндровый автомобильный двигатель.

Горячая вода поступает в специальный холодильник, называемый радиатором, состоящий из многочисленных трубочек, или ячеек, между которыми проходит струя встречного воздуха. Впрочем, эта система охлаждения в последние годы стала заменяться другой, а именно термо-сифонным охлаждением, где движение воды происходит благодаря разности удельных весов нагретой и ненагретой воды.

Кроме того, все больше входит в употребление воздушное охлаждение цилиндров, достигаемое током встречного воздуха. В этом случае наружная сторона цилиндров имеет ребристую поверхность, способствующую лучшей отдаче теплоты охлаждающему воздуху. На моторах малой мощности употребляется исключительно эта

система охлаждения, но ее удобства и простота сравнительно с другими системами постепенно начинает завоевывать ей место и в моторах значительно большей мощности.

Впуск взрывчатой смеси и выпуск сгоревших газов производится посредством автоматически действующих клапанов, приводимых в движение тягами от особого вала с эксцентриками.

Смазка мотора происходит посредством маленького масляного насоса, работающего от главного вала. Избыток масла стекает в нижнюю часть картера, откуда снова поступает в насос, пройдя через очистной фильтр.

Регулирование мощности двигателя происходит посредством изменения количества и состава взрывчатой смеси, получаемой в карбюраторе.

Взрывание газовой смеси делается электрической искрой, проскакивающей между концами изолированных проводов (в так называемой свече), получающих ток от небольшой магнито-электрической машины (магнето), связанной зубчатой передачей с главным валом.

Со времени изобретения Даймлером первого удачного автомобильного двигателя появились десятки новых конструкций, получивших всемирную известность. Достаточно будет назвать моторы Бенц, Неккарсульм, Испано-Суиза, Рено, Пежо, Либерти и целый ряд других, соперничающих между собою в выносливости и экономичности работы.

Моторы эти строятся на самые различные мощности, начиная от 1 лошадиной силы, для мотоциклеток и до 400 лошадиных сил, для мощных гоночных и авиационных моторов.

На одну лошадиную силу современные автомобильные моторы потребляют от 200 до 250 граммов бензина в час.

Успех, выпавший на долю газовых двигателей Отто (1876 г.) и бензинового двигателя Даймлера (1884 г.), дал сильнейший толчок технической изобретательности и научной разработки вопросов лучшего использования топлива.

Техника с каждым годом обогащалась все более совершенными источниками движущейся силы; газовый двигатель, связанный с городской газовой сетью, вытесняется газовыми двигателями с самостоятельным источником газа — газогенераторами; затем появляется автономный бензиновый двигатель. Здесь творческая мысль как бы раздвоилась и пошла по двум руслам: по пути возможно большего облегчения бензинового двигателя и его приспособленности к нуждам транспорта и по пути удешевления, упрощения его работы на более дешевых сортах жидкого топлива, каковыми являются, например, нефть и керосин.

Первый керосиновый двигатель был изобретен в 1889 году Пристмоном в Англии. Двигатель Пристмона — работа на керосине, испарявшемся в отдельной камере, подогреваемой лампой, и взрывался посредством электрической искры. В 1892 г. появился двигатель Хорнби, где с большим остроумием была решена задача питания двигателя горючей смесью без всякого рода электрических запалов, аккумуляторов и подогревателей. Необходимо было только вначале прогреть особый калильный шар, где испарялся керосин, чтобы дальнейшей теплотой взрывов температура шара поддерживалась на нужной температуре. Горячие газы при следующем ходе поршня сжимались, от чего происходило их новое повышение температуры и следовал взрыв.

Двигатель Дизеля и его применение. Другим типом был двигатель Дизеля, предназначенный для керосина, нефти и других нефтяных остатков. Это изобретение имело огромное значение и стоит того, чтобы остановиться на нем немного подробнее.

В 1893 г. германский инженер Рудольф Дизель издал брошюру: „Теория и конструкция рационального теплового двигателя“, где он развивает теоретические требования и предположения о практическом выполнении теплового двигателя на новых основаниях, которые должны представлять существенные улучшения существовавших до того времени тепловых двигателей.

Однако, только около середины 1897 г. стали известны среди специалистов опыты Дизеля, после того как ему удалось после многих лет неутомимой и настойчивой работы преодолеть большие затруднения, лежавшие между созданием правильной идеи нового двигателя и его практическим осуществлением.

Пытаясь создать идеальную, экономно работающую машину, Дизель не всегда стоял на правильном пути. Отсюда ряд ошибок и трудностей, могших привести в отчаяние любого изобретателя, — но только не Дизеля с его железным упрямством в преследовании намеченной себе цели.

Дизель выходит из основного положения, давно уже применявшегося в двигателях с нагретым воздухом и в газовых двигателях, — сжигания топлива в самом рабочем цилиндре; на основании теоретических законов термомеханики, Дизель нашел для этого сжигания новые условия, позволявшие ожидать лучшей утилизации тепла. При рациональном тепловом процессе в двигателях температура, при которой происходит сжигание топлива, должна получаться механическим сжатием одного воздуха; для этого необходимо сжатие до 30 — 50 атмосфер, при чем:

температура повысится до температуры горения топлива. Последнее должно вводиться в сильно нагретый и сжатый воздух не сразу и не сразу сжигаться, но постепенно, таким образом, чтобы теплота, развиваемая при постепенном сгорании, расходовалась на одновременное расширение и связанное с ним охлаждение, т.е. превращалась бы в механическую работу — давление на поршень. При этом необходимо, чтобы во время последующего периода горения не имело бы места повышение температуры.

Вследствие признания теоретического преимущества двигателей Дизеля, они возбудили интерес выдающихся специалистов и значительных заводов, поддержавших Дизеля в его попытках. Известный большой машиностроительный завод в Аугсбурге предоставил в его распоряжение свою испытательную станцию, снабженную всеми современными средствами науки и техники.

После неоднократных разочарований и неоправдавшихся надежд, наконец Дизель добился практических результатов, привлечших внимание специалистов. В конце 1895 г. был изготовлен первый опытный двигатель на двенадцать лошадиных сил; топливом в нем могли служить как керосин, так и светильный газ.

Не останавливаясь на первых успехах, Дизель строит ряд других типов (между прочим он сконструировал двигатель, работающий на угольной пыли), и испытание, сделанное в конце девяностых годов над одной из его машин, показало, что человечество получило в свои руки небывало экономичный новый двигатель.

Тогда как в лучших паровых машинах того времени использовали лишь 15—13% тепла топлива, а в машинах меньше 50 сил — всего лишь 5—6% и ниже, — в первых двигателях Дизеля удалось использовать 25%.

Новый двигатель Дизеля в утилизации тепла превосходит все до сих пор существовавшие тепловые двигатели. Расход топлива достигает около 180 граммов на действительную лош. силу в час; общий коэффициент полезного действия вдвое выше, чем паровой машины и достигает 35%, т.е. из теплоты горения топлива  $\frac{1}{2}$  превращается в полезную механическую работу.

Наконец, существенным свойством двигателя является то, что работа его может регулироваться, как при паровых машинах, изменением степени наполнения, т.е. изменением периода впуска топлива; двигатель следует за регулятором замечательно точно, как это было доказано на опытах при мгновенной полной его нагрузке и разгрузке.

Двигатели Дизеля в сравнении с паровыми машинами имеют, кроме того, общее с газовыми двигателями ценное свойство постоянной готовности к работе: нет котла, нет

сложных паропроводов, не надо разводить огонь в топке; после какого угодно продолжительного перерыва в работе двигатель этот в любое время может быть сейчас же пущен в ход.

Двигатель нуждается лишь а слабым надзоре; топливо — керосин и нефть — занимает немного места и легко может доставляться к самому двигателю, пуск в ход очень прост (необходим лишь запас сжатого воздуха для первых оборотов маховика и первых ходов поршня). Вполне естественно, что на новое изобретение стали возлагать много надежд, и, действительно, надежды эти, как показало дальнейшее, не были обмануты.

Для небольших станций заводов и прочих учреждений, располагающих жидким топливом, двигатель Дизеля, благодаря всем своим вышеперечисленным свойствам, является одним из лучших источников движущей силы (рис. 11).

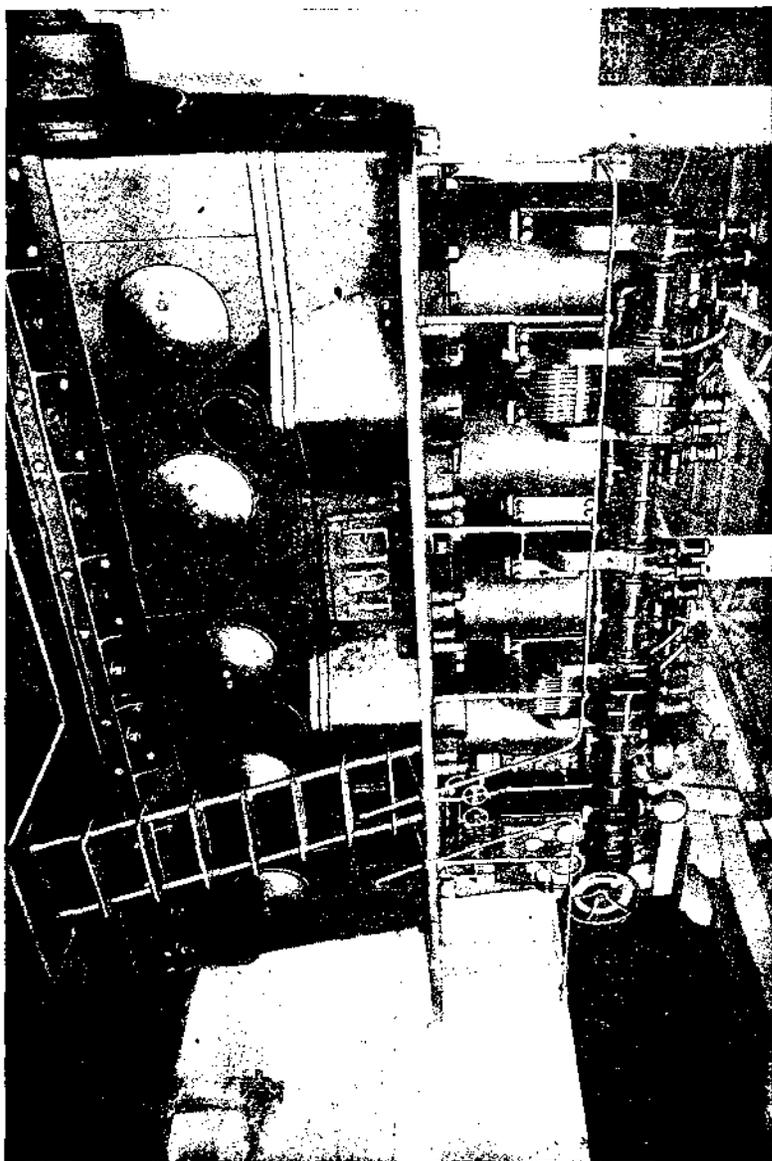
Еще рельефнее выступают достоинства двигателя Дизеля для судовых установок, где экономия места и топлива играют первенствующую роль. В отличие от пароходов, такие суда, на которых установлены дизеля, называются теперь теплоходами. Последние годы дизеля начинают проникать и в такую область, где пар не знал себе раньше соперников. Мы говорим о тепловозах, оборудованных нефтяными двигателями, над конструкцией которых сейчас усиленно работает техническая мысль, особенно у нас в СССР (тепловозы Гаккеля и Ломоносова).

На судах применение Дизеля выгоднее тем, что благодаря экономическому потреблению нефти, занимающей мало места, в сильной степени расширяется тот радиус дальнего плавания, во время которого суда могут не заходить в порты для возобновления своих запасов горючего. Обстоятельство это было скоро оценено морскими державами, увидевшими в дизелефикации своих боевых флотов одно из средств поднять и усилить их мощь и сферу влияния, и служит одной из причин той ожесточенной борьбы за нефтяные источники, которая сейчас происходит между Англией и Америкой.

Особенно широкое распространение получил двигатель Дизеля на подводных лодках, где во время хода лодки на поверхности воды работает Дизель, а, при погружении ее в воду, винтовой механизм соединяется с электрическим мотором, приводимым в движение аккумуляторной батареей.

В коммерческом флоте дизеля также завоевали себе прочное место, при чем о быстроте развития теплоходного строительства могут дать некоторое представление данные Английского Морского Ллойда, зарегистрировавшего

Рис. 11. Двигатель Дизеля.



к 1 июля 1914 года — 297 теплоходов с водоизмещением 234 000 тонн, а к 1 января 1922 года — свыше 1 600 судов с 3 000 000 тонн (рис. 12).

Двигатели Дизеля сейчас строятся разных размеров, начиная от нескольких десятков до нескольких тысяч сил. Опасение перегрева цилиндра служит пока одной из главных причин, препятствующих увеличению мощности двигателя Дизеля. Двигатель с мощностью в 1 500 лощ. сил на один цилиндр является пока пределом в этой области. Одним из крупнейших Дизелей в настоящее время считается построенный в Германии на Аугсбургском заводе

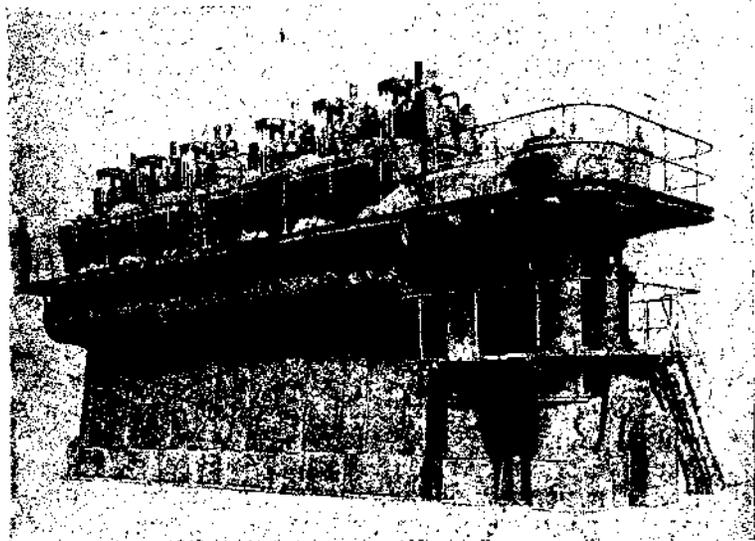


Рис. 12. Судовой двигатель Дизеля большой мощности.

десятицилиндровый двигатель, развивающий мощность в 15 000 лощ. сил.

Авиационные двигатели. Требования возможно большей легкости и прочности, предъявляемые автомобильным и авиационным моторам, дали мощный толчок к изучению новых сверхкрепких металлических сплавов. Обычная сталь и чугун не могли уже удовлетворять этим повышенным требованиям и уступили свое место новым сортам стали и новым металлам. В главе о материалах современной техники мы уже говорили об этих новых металлах, поэтому здесь лишь бегло коснемся их снова.

Употребление хромоникелевой и ванадиевой стали позволило значительно уменьшить размеры некоторых частей автомобильного двигателя, не посту-

паясь их прочностью. Картер давно уже начал делаться из алюминиевой отливки, а после изобретения дюралюминия (сплава алюминия с некоторыми металлами), замечательным образом соединившего в себе прочность стали с легкостью алюминия (удельный вес его всего 2,8), из этого сплава начали иногда готовить такие ответственные части, как цилиндры, поршни и т. д.

Успехи авиации, как это мы уже упоминали раньше, в значительной мере обязаны появлению легких и достаточно надежных двигателей внутреннего сгорания. Современная машиностроительная техника действительно может гордиться своим достижением — авиационным мотором, за какие-нибудь десять лет ставшим из капризной механической игрушки надежным и выносливым механизмом.

Первые попытки применить к авиации легкий двигатель принадлежали Жиффару, поставившему в 1872 году легкий паровой двигатель на борт своего дирижабля, но без большого, однако, успеха, в виду слабости механизма. Попытка Вельферта в 1897 году применить бензиновый двигатель кончилась катастрофой — дирижабль и сам изобретатель погибли от взрыва. Также неудачны были опыты Шварца и Максима, построивших в 1894 году, аэроплан с паровым двигателем, необычайно малого веса — всего несколько килограммов на 1 лош. силу. Удачнее были опыты 1896 г. Ланглея, Гофмана, Сантос-Дюмона и Цепелина, сумевших к началу этого века достичь некоторых существенных результатов в деле применения двигателей для воздушных судов.

Совершенствовались моторы, уточнялись и выяснялись приемы авиостроения, и вот, в первой половине девятисотых годов бр. Райт совершают первый полет, длящийся целый час, на аэроплане с двигателем собственной системы. Затем быстро появляется ряд других конструкций, и моторы Анзани, Фармана, Рено, Вуазена и др. немало способствуют первым успехам авиации. Мощность этих моторов колебалась между 20 и 40 лош. силами. Огромный успех имел появившийся в 1909 году вращающийся авиомотор „Гном“, не нуждавшийся в охлаждении водой, благодаря быстрому вращению своих звездообразно расположенных цилиндров. Большинство мировых рекордов между 1909 и 1914 годами было поставлено именно с этим мотором. Мощность его могла быть уже доведена до 100 лош. сил (рис. 13).

К началу мировой войны часть аэропланов была оборудована ротативными, вращающимися, частью стационарными, автомобильного типа моторами. Практика доказала ряд серьезных преимуществ последних в смысле надежности, экономичности и удобства надзора, почему

в настоящее время на самолетах и дирижаблях в ходу исключительно именно эти моторы.

Было бы совершенно невозможно вкратце перечислить здесь все разнообразие появившихся конструкций. Укажем здесь, что современные авиационные моторы почти ничем не отличаются как в общем, так и в деталях, от моторов автомобильных, если не считать их большей легкости, доведенной в некоторых системах моторов до поразительной цифры 1,5, 1 и даже 0,66 килограмма на 1 лош. силу

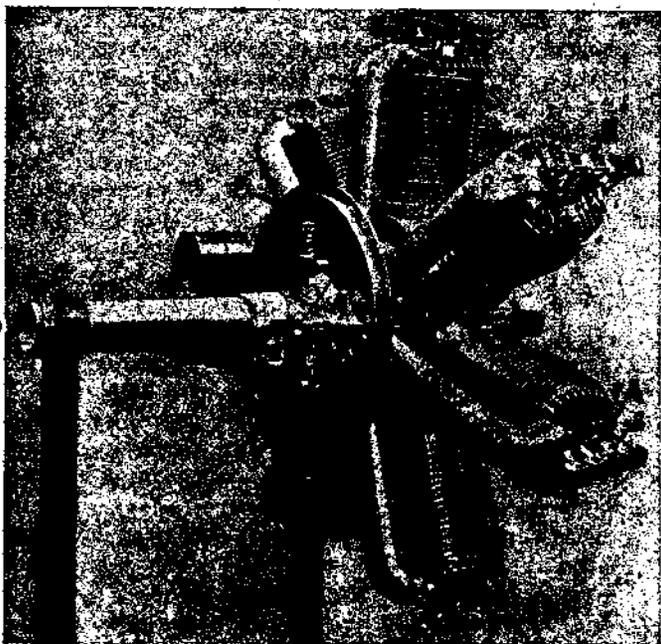


Рис. 13. Вращающийся авиационный мотор.

(двигатель Юнкерса). Еще десять лет тому назад редкий мотор мог работать без перебоев несколько часов, — а теперь сплошь да рядом работа авиомотора может длиться сутки и более... Прежняя быстрая изнашиваемость частей теперь также не превышает обычной нормы изнашиваемости автомобильных моторов, что, помимо большой надежности, повело к значительному удешевлению мотора.

Немало способствовало удешевлению моторов их стандартизация, т.-е. установление одного общего типа и массовое их изготовление на некоторых крупных заводах. Стоимость авиомотора, заметим кстати, все-таки

и сейчас довольно велика, — так, цена хорошего двигателя в 100 лощ. сил не меньше 10—12 000 рублей золотом. Средняя продолжительность жизни мотора теперь составляет 300—450 часов работы.

Основные условия, которыми должны удовлетворять авиационные моторы, являются, помимо их легкости и надежности, также простота конструкции, экономичность и приспособленность к работе.

Современные конструкции значительно проще, чем несколько лет тому назад, при чем эта простота, тесно связанная с надежностью, искусно соединена с возможной автоматичностью действия самого мотора (в области смазки, охлаждения, регулирования и т. д.). Экономичность мотора, на которую раньше обращалось мало внимания, скоро стала основным требованием, предъявляемым к мотору, так как чем меньше потребление горючего, тем большее его количество может взять на себя воздушное судно, и тем шире будет продолжительность и радиус его действия. Современные моторы потребляют в 1 час на 1 лощ. силу около 240 граммов бензина и 12 граммов масла.

Задача ближайшего будущего заключается в доведении этого расхода до 200 граммов и в замене дорого стоящего бензина тяжелыми маслами (нефтью).

Говоря о приспособленности к условиям работы, мы имеем в виду способность мотора работать при разных числах оборотов, высоте полета и окружающей температуре.

Регулирование мощности достигается изменением взрывчатой смеси и числа оборотов мотора. Хуже обстоит дело при полетах на большой высоте, где благодаря разреженности воздуха, достигающей, например, 45% на высоте 6 000 метров, мотор начинает „задыхаться“. Применение специальных турбокомпрессоров, нагнетающих воздух в мотор, позволяет справиться с этим препятствием и достичь высоты 13 000 метров. Не менее удачно справляются некоторые моторы (например, мотор „Юпитер“) с изменением температуры, одинаково хорошо работая как в тропическом климате, так и в полярных районах.

В погоне за большими скоростями и грузоподъемностью в последние годы стали строиться моторы все большей мощности; уже в войну мощность эта дошла до 150—180 лощ. сил, а сейчас мощность 300, 400 и 450 лощ. сил является вполне обычной.

Вот несколько данных, относящихся к одному из лучших современных американских моторов „Либерти“, явившемуся как бы сочетанием всего прежде достигнутого опыта моторостроения.

Мотор этот имеет 12 цилиндров, расположенных в два ряда, и обладает мощностью 400 лощ. сил при 1650 оборотах в минуту; вес его равен всего 1 кг на 1 лощ. силу. С этим мотором были достигнуты несколько выдающихся рекордов продолжительности и высоты полета.

В области конструирования авиомоторов далеко еще не сказано последнее слово. В периоде разработки интереснейший двигатель Юнкерса с двумя поршнями в одном цилиндре, движущимися в противоположные стороны; не совсем еще решена задача использования тяжелого топлива и создание двигателей большой мощности в 1000 и более лощ. сил (моторы Гаруффо и Юнкерса). Последнее требование все настойчивее предъявляется к авиомотору со стороны новейших дирижаблей и пассажирских самолетов, нуждающихся уже в мощности по несколько тысяч лошадиных сил.

Последнее время положило некоторый интерес к моторам малой мощности от 1 до 5 лощ. сил (мотоциклеточного типа) в связи с развитием планеризма и любительской авиации на аэропланах небольших размеров (аэроциклетках). Серьезная конструкторская работа идет сейчас также над типами газовой авиационной турбины и реактивного двигателя, действующего по принципу ракеты — реакцией или отдачей вырывающихся газов.

**Возможное усовершенствование парового двигателя.** Изучая историю развития тепловых двигателей в целом, несмотря на все поразительные достижения в этой области, выразившиеся в увеличении мощности и в появлении новых, подчас чрезвычайно остроумных механизмов, мы не можем все-таки не заметить, как мало возросло полезное использование топлива в этих тепловых двигателях за полтора-два столетия, со времени изобретения паровой машины...

Машина Уатта использовала и превращала в механическую силу не более 2—3% энергии топлива; к середине XIX века это использование возросло для крупных машин — 15%, будучи для небольших машин значительно меньшим, а в наше время с самых крупных паро-турбинных установок, где применены все меры по возможной экономии тепла, в роде подогрева воды и воздуха, перегрева пара, конденсации и т. д., этот коэффициент теплового использования все-таки не выше 21—22%. Даже применение пара с исключительно высоким давлением не может поднять эту цифру выше 25%.

Иначе говоря, в лучшем случае, в наиболее современных паровых двигателях от  $\frac{1}{5}$  до  $\frac{3}{4}$  тепловой энергии топлива теряется совершенно бесполезно. Попытки использовать часть теряемого в холодильнике тепла для целей

отопления окружающего района, хотя и может в некоторых случаях поднять общую тепловую отдачу паровой станции до 40—50%, но это возможно лишь вблизи крупных населенных пунктов, да и по существу дело не связано с улучшением тепловой отдачи самой машины.

Двигатели внутреннего сгорания в этом отношении несколько совершеннее, — в них полезно используется уже около 28—30%, а в некоторых двигателях Дизеля даже 35% тепловой энергии жидкого топлива. Но и в них  $\frac{2}{3}$  этой энергии пропадает для человека.

Обстоятельство это еще более бросается в глаза, если мы сравним степень полезного действия тепловых двигателей с двигателями другого рода.

Хороший механический привод передает до 90—95% затраченной энергии; в динамо-машине можно превратить в электрическую энергию до 95% механической энергии; водяные двигатели используют до 93% энергии падающей воды; и все эти успехи были достигнуты за последние десять-двадцать лет.

В чем же здесь дело? Почему только паровой двигатель так упорно сопротивляется попыткам поднять степень его полезного действия? Попытаемся объяснить это чрезвычайно важное обстоятельство.

В паровых котлах здесь в лучшем случае уже теряется около 12—15% тепла, уносящегося вместе с дымом в трубу. Полезное затраченное тепло идет на парообразование, при чем для превращения одного килограмма воды в пар при давлении в несколько атмосфер требуется около 660 калорий, затем идут потери тепла этого пара в трубопроводах и в самой машине. В машине пар расширяется, производит полезную работу, охлаждается и превращается в конденсаторе в воду, при чем для охлаждения его требуется значительное количество холодной воды. В этот момент пар отдает охлаждающей воде около 500 калорий. Производя перед пуском в машину перегрев пара, можно сообщить ему еще некоторое количество тепла (около 100—200 калорий), которое превратится в механическую энергию. Таким образом, даже пренебрегая потерями в машине и в трубопроводах, мы, затратив 700 калорий, вернем в виде механической энергии не более 200, т.-е. не более 35%, а принимая потери в котле, трубопроводах и в машине — придем к неутешительному выводу, что истинная степень использования теплоты топлива будет еще меньше, т.-е. не более 22—24%, что и дает нам практика...

Добрых пятьсот калорий тепла на один килограмм теряется даром! Вода здесь подобна жестокому ростовщику, берущему 300% за отданный ему капитал...

Физика и термодинамика давно уже доказали, что благодаря этому свойству воды, т.е. ее высокой цифре теплоты испарения, здесь трудно чего-нибудь добиться, и техника паровых двигателей заранее обречена на неудачу в области дальнейшего, сколько-нибудь крупного, поднятия их тепловой отдачи. Невольно возникает вопрос: нельзя ли вместо воды использовать в паровом котле и в турбине какую-нибудь иную жидкость, которая не взимала бы столь непомерной пошлины за право превратить ее в пар?

Действительно, об этом уже неоднократно подумывали многие физики и изобретатели. Для этой цели предлагались и не без успеха испытывались некоторые летучие жидкости в роде спирта, эфира и т. д. (двигатель Трэмблея в 50-х годах), но опасность для взрыва, которой обладает смесь их паров с воздухом, большая сложность оборудования и значительная их дороговизна (тогда как вода находится всегда под руками) — дали, к сожалению, мало обнадеживающие результаты.

**Парортутная турбина Эммета.** Более успешными и многообещающими были недавние опыты в Америке над парортутным котлом и турбиной Пр. Эммета, применившего в качестве источника пара ртуть, требующую около 70 калорий на 1 килограмм для своего превращения в пар.

Задача, которую удалось разрешить Эммету, была не из легких, так как пары ртути хотя и не отличаются взрывчатостью, но зато, благодаря своей ядовитости, представляли бы огромную опасность для обслуживающего персонала, в том случае, если бы обнаружилась хотя бы маленькая утечка.

Сам котел (см. рисунок 14), где нагревается ртуть, состоит из множества шестигранных трубок, сложенных в виде пчелиных сот (*B*), между которыми циркулируют горячие газы из толки *A*. Давление в этом котле около  $2\frac{1}{2}$  атмосфер, а температура паров ртути около  $350^\circ \text{C}$ . По трубопроводу *F* пары ртути идут к специальной турбине *G*, из которой поступают в холодильник *H*, где сгущаются в жидкое состояние, отдавая свою теплоту воде. Иначе говоря, этот холодильник можно рассматривать как паровой водяной котел, пар которого по трубе *K* заставляет работать обычную паровую турбину. Жидкая ртуть по трубе *J* идет в подогреватель *C*, обогреваемый горячими газами ртутного котла. На пути этих газов установлены, кроме того, водяной пароперегреватель *D* и подогреватель питательной воды *E*.

Эта интересная комбинированная ртутноводяная установка была осуществлена недавно в большом масштабе

в городе Гартфорде; парортутная турбина развивала 1 800 киловатт, а пароводяная турбина — 2 200 киловатт.

Общая масса ртути, заключенная в котле и трубах, равна около 12 000 килограммов, но изобретатель надеется в дальнейшем уменьшить это количество. Испытания, произведенные над этой установкой, показали, что коэффициент полезного действия ртутной турбины оказался равным около 52%, т.е. вдвое выше, чем у паровой турбины, а средний коэффициент полезного действия всей установки был около 32%, т.е. почти столько же, как



Рис. 14. Схема парортутной турбины Эммета.

и в нефтяном двигателе. Нет сомнения, что здесь мы стоим в начале новой эры в деле использования тепловой энергии. Если в современных гигантских паровых турбинах,

где приложены все новейшие завоевания теплотехники, удастся дойти до 27% использования тепла, то в такого же рода парортутных турбинах не исключена возможность достичь коэффициента полезного действия в 50—60%.

**Двигатель Стилла.** Другой замечательной новинкой в области построения экономического двигателя можно считать мотор Стилла, изобретенный перед войной. Стилл решил использовать часть того бесполезно теряемого тепла (до 40%), затрачиваемого на нагревание цилиндра двигателя Дизеля и уносимого охлаждающей водой. Стилл чрезвычайно смело подошел к решению этой задачи: он соединил паровой и нефтяной двигатели в одном цилиндре. Вода, протекающая в рубашке цилиндра, доводится до кипения, затем пар этот перегревается в особом котле, отапливаемом горячими отработавшими газами, которые потом подогревают еще и воду для

охлаждения цилиндра. Полученный пар под давлением около 8 атмосфер поступает затем на другую сторону поршня, работая там как в обыкновенной паровой машине. В двигателе этой системы удалось использовать около 46% теплоты, заключенной в топливе.

Таким образом, благодаря изобретению Стилла отпадает одно из самых серьезных препятствий для увеличения мощности нефтяного двигателя, так как с таким трудом удаляемая теплота нагревания цилиндра — в новом двигателе Стилла уже не будет помехой, а сама является дополнительным источником полезной энергии.

Французский инженер Фарко сделал еще один шаг дальше: он построил двигатель для любого жидкого топлива, где камера сгорания совершенно отделена от рабочего цилиндра. Камера эта облицована огнеупорным материалом и рассчитана на давление в 100 атмосфер. Горячие газы производят работу в двух цилиндрах, охлаждаясь там от 2000 до 50°. Тепловая отдача в этих цилиндрах доходит до 85%, а общий коэффициент полезного действия всего двигателя равен 45—48%.

Серьезная работа идет за границей также над созданием практичной газовой турбины, которой будет суждено в отношении остальных всех двигателей внутреннего сгорания сыграть такую же роль, как паровой турбине относительно прежних паровых двигателей.

## ГЛАВА III.

### Гидравлические двигатели.

**Развитие водяных двигателей.** Все гидравлические двигатели или машины для утилизации водяной силы, т.-е. служащие для превращения или преобразования энергии, заключающейся в текущей воде, в полезную механическую силу, служащие для приведения в действие исполнительных механизмов рабочих машин, могут быть разделены на две главные группы: на вододействующие колеса и водостолбовые машины. Во-первых—движущаяся вода приводит в непрерывное вращение колесо, насаженное на вал; во-вторых—вода, действуя давлением на плотно входящий в цилиндр поршень, приводит его в прямолинейное движение вперед и назад.

Вододействующие машины разделяются на водяные колеса и на турбины. В вододействующих колесах вода по преимуществу действует своим весом, в турбинах же—своею живою силою, именно давлением и реакцией. Однако, различие это проводится не везде строго; так, например, колесо Понселе, где вода действует главным образом давлением, подобно тому как и в турбинах, обыкновенно причисляется к водяным колесам.

Изобретение вододействующих колес относится к глубокой древности; повидимому, они применялись в соединении с водоподъемными машинами сперва в Египте и Ассирии, а впоследствии в Греции и Риме. Имеются сведения о различных вододействующих колесах в Малой Азии и в Риме, относящиеся к середине первого столетия нашей эры.

Эти водяные мельницы были расположены вне города Рима, на каналах, снабжавших город питьевой водой.

Первые сведения о водяных мельницах в Европе относятся к концу IV столетия. В течение многих столетий они остаются, повидимому, малоизвестными и малоупотребительными. В XI и XII столетиях они, наоборот, уже сильно распространены в Германии и во Франции. Около

половины XI столетия в Венеции были в ходу вододействующие колеса, приводимые в движение не течением реки, но морскими приливами и отливами; отсюда видно, что высказываемая в новейшее время мысль о возможности воспользоваться для данной цели громадную силою приливов и отливов — совсем не нова.

В начале XVII столетия началась научная разработка способа действия и вопроса о построении вододействующих колес. Однако только споловины XVIII столетия вступили на верный путь и пришли к удовлетворительным результатам, так что в настоящее время построение вододействующих колес уже твердо стоит на научных основаниях и на опытных данных.

Скажем два слова о системах этих двигателей. Смотря по положению места входа воды в колесо, разделяются вододействующие колеса по особенностям устройства впуска воды и лопаток на верхнебойные (верхненаливные), среднебойные (средненаливные) или заднебойные (боковые) и низобойные (подливные) колеса; далее различаются еще среднебойные и полусреднебойные колеса, смотря по тому месту, где поступает вода — на высоте или оси колеса, или между нею и нижней точкой колеса.

Лучше всего вода используется в верхнебойных колесах; их коэффициент полезного действия достигает 80%.

В заднебойных (средненаливных) колесах вода поступает в колесо или на высоте его оси, или по верхней части окружности, но ниже уровня верхней воды. Колеса эти имеют, однако, меньший коэффициент полезного действия — обыкновенно не более 65 — 70%.

В чисто подливном низобойном колесе вода действует только ударом; в виду этого коэффициент полезного действия даже при лучших устройствах и выполнении всегда невелик, только 30 — 35%.

Для возможно лучшего пользования водяною силою при напоре в  $\frac{1}{2}$  —  $1\frac{1}{2}$  м и для получения большего числа оборотов лучше всего пригодно вертикальное колесо Понселе. Колесо Понселе имеет криволинейные лопатки, изогнутое по определенной кривой русло и наклонный, расположенный возможно ближе к колесу, щит; таким способом вода подводится к колесу при особо благоприятных условиях; она поступает в лопатки без удара, протекая между руслом и щитом в строго определенном направлении, подымается по лопаткам вверх и передает при этом живую силу колесу. При хорошем устройстве и правильной конструкции в этих колесах возможно достигнуть коэффициента полезного действия в 60 — 70%. Щит устанавливается зубчатой шестерней, снабженной

рукояткой и захватывающей зубчатую рейку верхней части щита.

**Водяные турбины.** Значительная громоздкость, тяжесть и тихоходность вододействующих колес послужили препятствием для сколько-нибудь широкого их применения.

Когда дело шло об обслуживании мельницы, небольшого завода, шахты или водоподъемника, эти машины кое-как справлялись со своей работой. Но по мере спроса на все большие мощности, росла и их величина, принимая уже неприемлемые размеры.

В пример можно привести вододействующее средне-поливное колесо на острове Мэн в Англии для откачки воды из шахт. Сделано оно из железа, имея поперечник 22 метра и ширину 1,8 метра. При одном обороте в минуту колесо это развивает всего 200 лошадиных сил.

Нужен был другой какой-то принцип для создания нового типа водяных двигателей. Принцип этот был известен уже с самой глубокой древности, — Герон воспользовался им для приведения во вращение своего шарнигрушки, ставшей в наш век прообразом паровой турбины.

В первой половине XVII века Бернулли и Сегнер доказали действие реакции вытекающей из сосуда струи воды. В 1786 году Сегнер построил свое реакционное вододействующее колесо.

Здесь вращение получалось оттого, что струя воды с силой вытекала из боковых отверстий трубок, расположенных в виде спиц колеса вокруг сосуда с водой, вращающихся вокруг вертикальной оси. Здесь движущей силой была реакция струи воды, ее противодавление, — та сила, которая заставляет откатываться лафет орудия при вылете из него ядра.

Позже, в двадцатых годах прошлого столетия, французские инженеры Бурден, Понселе и Фурнейрон строили турбины, из которых имела успех только турбина гражданского инженера Фурнейрона, так как только ею было создано хорошее, применимое на практике горизонтальное вододействующее колесо. Турбина эта состоит из двух концентрических, лежащих друг против друга, колес; внутреннее неподвижное представляет собою направляющее колесо, внешнее — турбинное рабочее колесо.

В турбине Фурнейрона рабочая вода проведена в так называемый кожух, в середине которого находится цилиндрическое пространство для турбины; вода течет через направляющие лопатки турбины; принужденная ими двигаться по кривой линии, вдоль их плоскостей, вода производит давление на лопатки; последние приводят во вращение колесо и связанный с ним вал машины.

Фурнейрон получил в 1833 году за свое изобретение премию, назначенную за подобное изобретение много лет раньше и которую уже ранее стремился получить Понселе; при представлении своей работы на конкурс Фурнейрон мог уже сослаться на выполненные и хорошо действовавшие турбины, отдача которых достигала до 80%. Конструкция Фурнейрона имела громадное значение на развитие постройки турбин.

Мы не будем рассматривать более подробно различия в системах этих турбин, отсылая интересующихся к специальным курсам. Мы хотели только лишь раз подчеркнуть проявившуюся и здесь столь часто повторяющуюся в истории техники тесную связь научной мысли с ее практическим воплощением.

Для водяных турбин „новая история“, можно считать, начинается лишь с изобретения американцем Френсисом турбины, носящей ныне его имя.

**Турбина Френсиса.** Турбины Френсиса, благодаря ряду своих преимуществ и высокой цифре полезной отдачи, очень скоро вытеснили во всех крупных установках бывшие там ранее турбины. В то же время, трудами многочисленных конструкторов, турбина Френсиса сама значительно усовершенствовалась,—так, в 1849 г. одно и то же колесо турбины Френсиса, развивавшее при напоре 25-футов — 200 оборотов в минуту и мощность 25 лош. сил, в 1910 году давало около 250 оборотов и 317 лош. сил, а в 1914 году — 250 оборотов и 442 лош. силы, — иначе говоря, мощность турбины за этот период увеличилась в 22 раза. Это обстоятельство важно тем, что позволило значительно уменьшить число машин, которое необходимо для использования энергии какого-нибудь источника, и тем самым удешевить всю установку. Там, где еще недавно требовалось ставить 10 турбин и такое же число соединенных с ними электрических генераторов, теперь можно ограничиться установкой всего лишь одного гидравлического двигателя.

Лучшие водяные колеса превращают в механическую энергию не более 75% энергии падающей воды,—турбины Френсиса в этом отношении стоят значительно выше. В больших современных турбинах эта отдача не меньше 85 — 90%, доходя иногда до 93%.

Турбина Френсиса состоит из двух стальных венцов, между которыми укреплены изогнутые по особому расчету лопасти, на которые действует сила протекающей воды. Через верхнюю крышку турбины проходит ось, на которую насаживается шкив или электрическая машина. Размеры турбинных колес весьма различны — от нескольких вершков до нескольких саженей. На рис. 15 изображено колесо гигантской турбины в 35 000 лош. сил, для одной

американской установки, диаметром в 6 метров. Такого же размера будут турбины нашей Волховской гидроэлектрической станции.

Чтобы получить на одном валу возможно большую мощность, часто соединяют на этом валу 2, 3 и 4 турбины; вал в зависимости от принятого плана станции распола-

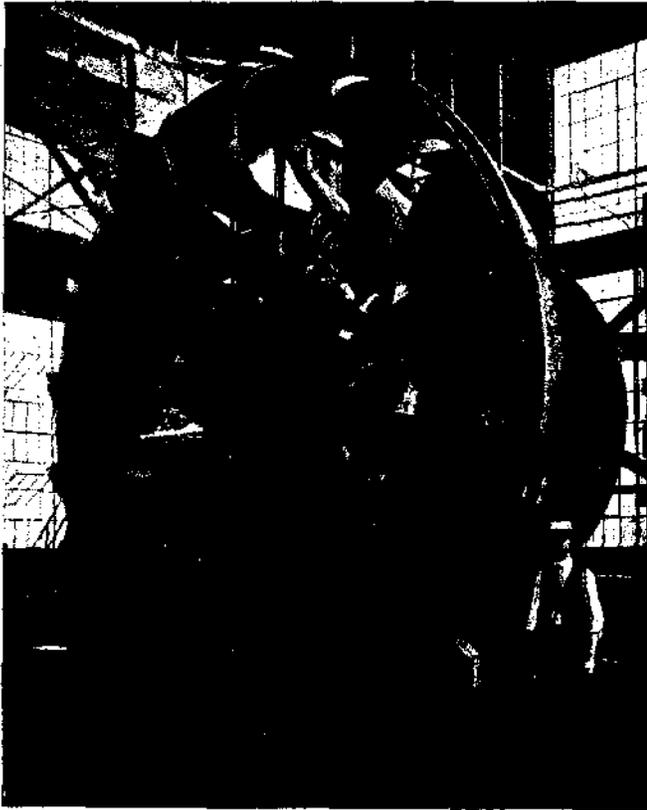


Рис. 15. Колесо турбины Френсиса в 35(0) лош. сил.

гают либо вертикально, либо горизонтально. В первом случае электрический генератор устраивают в виде зонтика над всеми соединенными турбинами, а во втором случае вал пропускают через особую стенку в соседнее помещение, где расположены электрические машины.

Иногда в небольших установках заставляют несколько турбин посредством зубчатой передачи действовать на один вал и уже на нем устанавливают электрическую машину.

Наконец, если напор воды очень велик, воду подводят к турбине посредством труб, а турбины заключают в прочный железный кожух (см. рис. 16) или в чугунной камере, изогнутой в форме спирали (см. рис. 17), а при высоте напора более 150—200 метров прибегают к установке колеса Пельтона, изобретенного в Америке в 1884 году.

**Колесо Пельтона.** Колесо Пельтона представляет собою акционную турбину высокого давления с горизонтальной осью и с партиальным внешним притоком воды без направляющего аппарата; колесо работает только живой силой струи воды, вытекающей на лопатки из конического наконечника. Колесо насажено на горизонтальный вал и по окружности снабжено ковшеобразными лопатками;

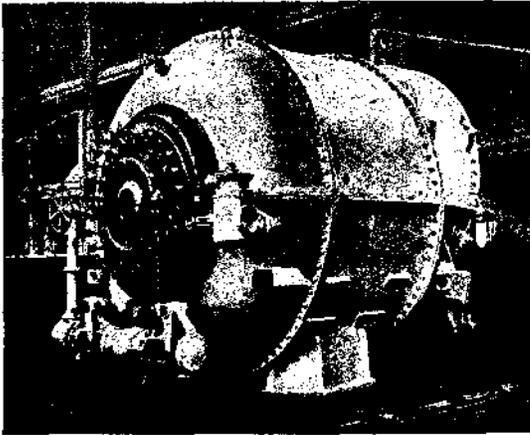


Рис. 16. 10 000-сильная турбина в кожухе.

рабочая вода подводится трубами из склепанного железа и стали.

Регулирование количества протекающей воды и вместе с тем хода колеса производится запорным краном, помещенным в водопроводной трубе перед коническим наконечником, при помощи особого регулятора. Лопастки, на которых вода отдает колесу свою живую силу, делаются из твердой бронзы и с внутренней стороны тщательно полируются. Отдача колеса Пельтона чрезвычайно велика, она равна 80—85%, а при благоприятных условиях и еще выше. Колесо это пригодно в особенности при больших напорах, начиная по крайней мере с 10 метров; чем больше напор, тем благоприятнее условия для применения колеса Пельтона и тем выше его отдача. Высшие пределы давления (напора) определяются только прочностью водопро-

водов и допустимую скоростью вращения, безопасную для колеса. До сих пор еще не достигли высших пределов; в Америке одно время работала установка шести колес Пельтона в шахтах на руднике Комсток с напором в 512 метров, т. е. с давлением воды свыше 50 атмосфер, при чем отбача колеса достигает 88%. Для еще большего напора, именно в 642 метра, компанией колес Пельтона около г. Сан-Франциско установлено с 1892 года колесо для рудника; давление столба воды (напор) у наконечника трубы при закрытом кране достигает 64 атмосфер. Колесо делает 1 150 оборотов в минуту или 17 в секунду; оно диаметром 914 мм, так

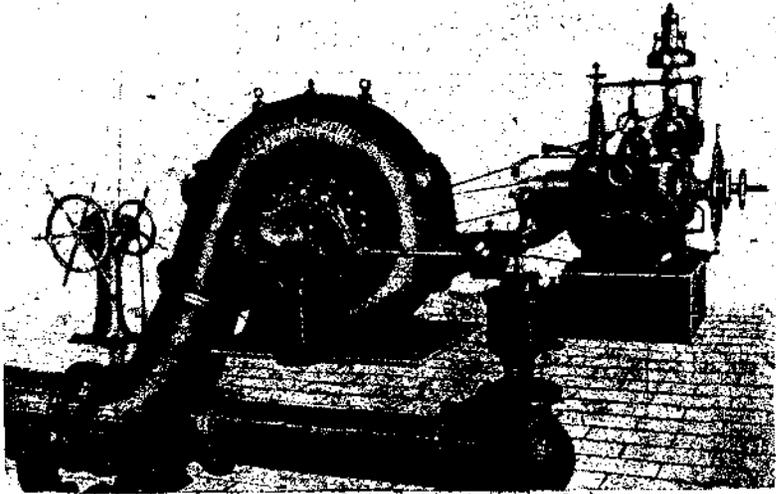


Рис. 17. Турбина Френсиса в спиральной камере.

что по окружности оно имеет чрезвычайно большую скорость в 55 метров в секунду. Так как при такой скорости вращения развивается большая центробежная сила, то для избежания разрыва колеса оно сделано из цельного стального диска, к которому и приклепаны лопатки или ковши.

Область применения колеса Пельтона весьма широка; их можно применять при самых малых количествах воды и для получения малых сил, как, например, в  $\frac{1}{30}$  лошадиной силы для проведения в действие швейных и тому подобных машин; их же, при соответствующей величине напора, можно устраивать в виде одного колеса мощностью в 30 000 и более лошадиных сил. Главное их преимущество сравнительно с другими турбинами заключается в малых размерах колеса при большой его мощности; колесо на 2 000 лошадиных сил имеет, например, при напоре в 300 метров

диаметр в 1,80 метров и весит только около 1 000—1 400 кг. Применением большего числа струй воды на одно и то же колесо можно достигнуть двойной, тройной и большей мощности. На рис. 18 изображена установка колеса Пельтона с регулятором и направляющим аппаратом.

**Современное турбиностроение за границей.** Быстрота вращения турбины связана с напором воды и мощностью турбины. Чем быстрее будет вращаться турбина при одном и том же напоре, не теряя сколько-нибудь в своей полезной отдаче, тем легче будет соединенный с ней электриче-

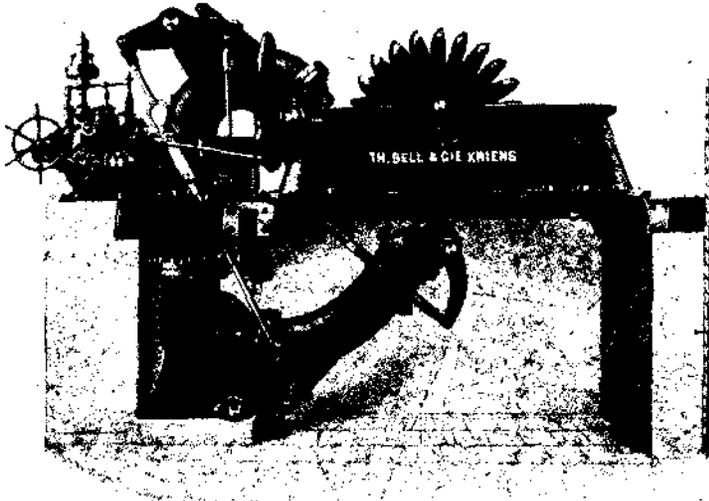


Рис. 18. Колесо Пельтона с регулятором и направляющим аппаратом.

ский генератор и тем легче будет и сама турбина. Это обстоятельство заставило конструкторов добиваться возможно большей быстроходности; последние десять лет подарили технике несколько значительных достижений в этой области. Новейшие турбины Каплана, Лавачека, Бодиша и некоторых других конструкторов увеличили быстроходность турбины в несколько раз по сравнению с турбинами Френсиса.

Турбина Каплана по своему внешнему виду напоминает паровой винт и состоит из центрального вала, от которого отходят несколько изогнутых лопастей (см. рис. 19), при чем наружный венец совершенно отсутствует. Лопасти эти в некоторых конструкциях могут изнутри поворачиваться, будучи связаны с регулятором, устанавливая наиболее выгодное положение, что увеличивает

полезное действие турбины. Сейчас построены для одной шведской станции (Ли́ла-Эдет) турбины Каплана, дающие при 6,5 метров напора мощность в 10 000 лош. сил, и есть основания думать, что это еще не последнее слово в деле построения быстроходных и мощных турбин с малым напором.

Водяная турбина сейчас перегнала паровую. Пора- зительна та быстрота, с которой развивается современная

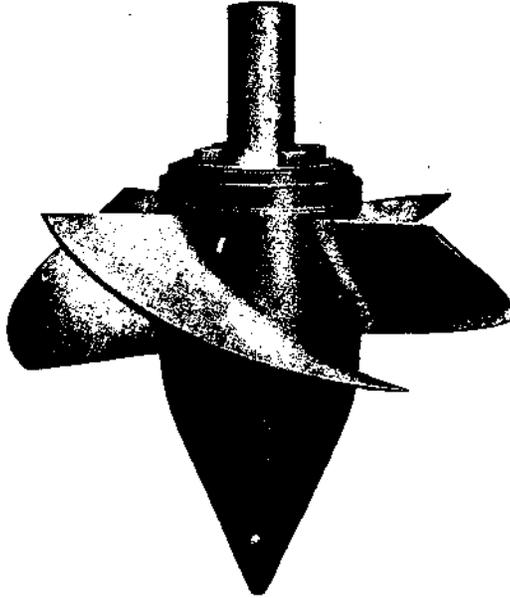


Рис. 19. Колесо турбины Каплана.

турбинная техника... Вот несколько цифр роста мощ- ности единичной турбины:

1880 год . . . . .	около	1 000	лош. сил.		
1890	"	3 000	"	"	
1895	"	5 000	"	"	
1900	"	6 000	"	"	
1905	"	10 000	"	"	
1907	"	13 000	"	"	
1909	"	18 000	"	"	
1912	"	22 000	"	"	
1919	"	37 000	"	"	
1922	"	55 000	"	"	
1924	"	70 000	"	"	
строятся . . . . .	"	87 000	"	"	

Размеры этих чудовищных машин, из которых, например, последние равны всей установленной мощности Волховской гидроэлектрической станции, — поражают своей величиной. Рис. 20 изображает разрез величайшей в мире турбины, которая в количестве трех штук сейчас устанавливается на одной из Ниагарских электрических станций. Вес этого гиганта равен около 500 тонн, а через трубу, подводящую воду, мог бы проехать локомотив. Для обточки некоторых частей этой турбины, развивающей при

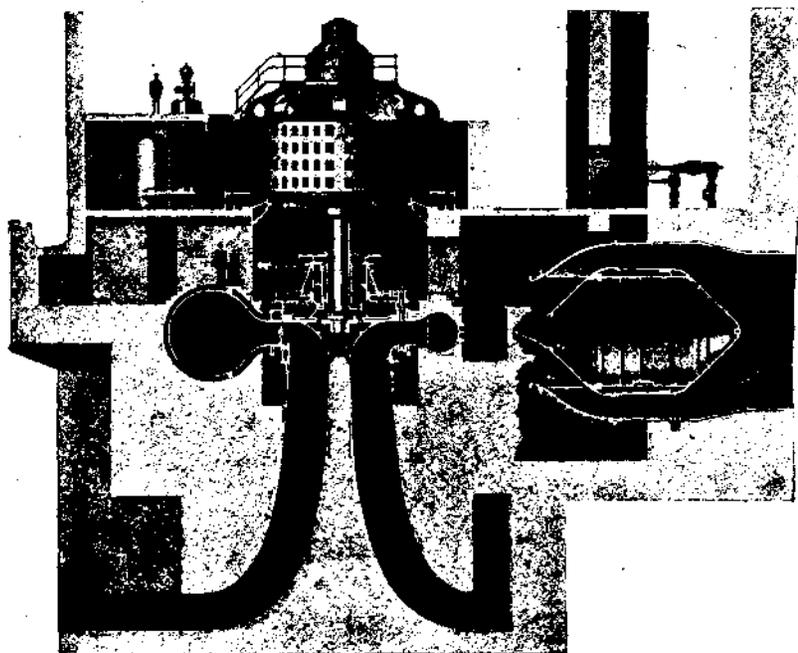


Рис. 20. Водяная турбина в 87000 лощ. сил.

напоре 85 метров и 107 оборотах в минуту от 70 до 80 тысяч лощ. сил, пришлось построить специальные станки и машины.

Турбины Френсиса могут работать при самых различных напорах. Существуют турбины, которые работают при напоре от 1 метра до 2,4 метра (установлено на Майне около Франкфурта), а в некоторых установках при 261 метре (35 000-сильная турбина 1923 года одной американской станции).

При напорах свыше 200 метров, вообще говоря, выгоднее пользоваться не турбинами Френсиса, а колесами Пельтона, могущими развивать огромную мощность при небольших, сравнительно, размерах. На рис. 21 изображено одно

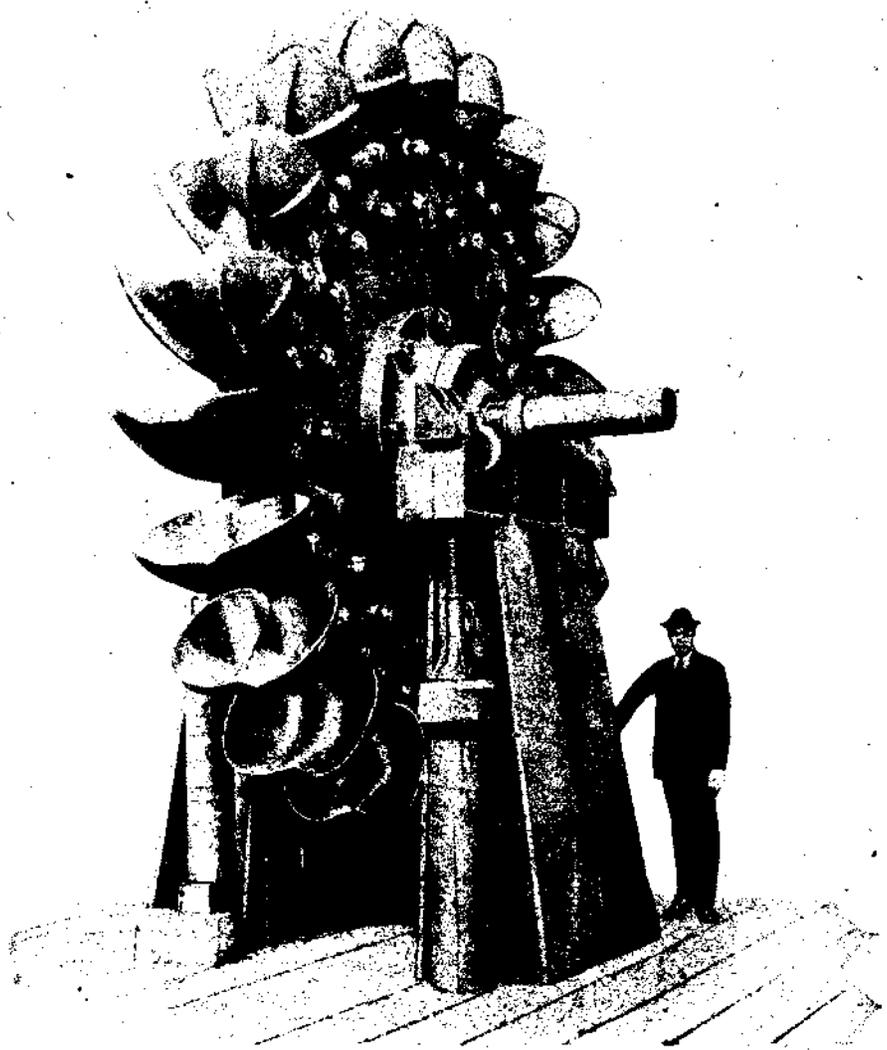


Рис. 21. Колесо Пельтона в 30 000 лош. сил.

из величайших колес Пельтона в 30 000 лош. сил для американской установки Гарибу.

Предел высоты напора, при котором может работать колесо Пельтона, ограничен пока лишь прочностью труб и частей его механизма. Существуют установки (на р. Роне около Мартины во Франции), где напор этот равен 1 650 метрам, т.-е. полуста верстам. Струя воды под таким давлением по своей твердости равна железу,—если попытаться (такие опыты делались) перешибить ее ударом сабли, то последняя ломается, как при ударе о камень...

Турбиностроение особенно развито в Америке, где, например, одна всемирно известная фирма Моррис построила за тридцать лет турбин с общей мощностью в 3 миллиона лош. сил. Известен также завод Эшер-Висса в Швейцарии, являющийся одним из старейших турбиностроительных заводов в Европе, и Карлстадский завод в Кристинагамне (в Швеции), где, между прочим, заказаны турбины для Волховстроя.

Конструкторская мысль не остановилась на достигнутых успехах; помимо недавно появившихся быстроходной турбины Каплана и других, появились совершенно новые типы турбины Банки (прямого действия), напоминающие собою колесо Пельтона, но могущие работать при довольно низких напорах.

---

Вот краткий и довольно неполный очерк успехов построения различных двигателей — паровых, газовых, внутреннего сгорания и водяных,—успехов, давших человечеству возможность во много раз увеличить ту силу, которой он располагал раньше.

Успехи сообщения и транспорта, гигантский рост мировой промышленности, развитие металлургии и машиностроения, общее поднятие культурного уровня, механизация труда — все это было невозможно, если бы современная техника не обладала возможностью превращать в нужные для нее формы механической, тепловой, электрической и световой энергии — силы, запасенные природой в топливе и текущей воде.

---

## ГЛАВА IV.

### Современные источники энергии.

**Электрическая передача энергии.** Конец XVIII века, создав паровую машину, дал жизнь гиганту, мощно двинувшему вперед мировую промышленность; конец XIX столетия, овладев новой силой — электричеством, освободил этого гиганта, позволив ему проявлять свою силу на любом расстоянии от места своего рождения.

Произвести, получить энергию, это — лишь половина задачи. Доставить энергию к месту ее потребления — вторая половина этой задачи и тем более трудная, чем дальше находится это место. На расстояниях, измеренных несколькими метрами, для этой цели пользуются рычагами и зубчатыми колесами; для несколько больших расстояний прибегают к устройству ременной и канатной передачи.

На Рейне еще недавно работала установка, где энергия передавалась посредством стальных канатов, подвешенных к блокам, на несколько километров, при чем, конечно, больше половины ее бесполезно терялось.

Для передачи энергии в некоторых случаях пользовались сжатым воздухом и давлением воды, нагнетаемых по трубопроводам. Но высокая стоимость установки и значительные потери на трение в трубах в сильной степени ограничили район применения этих способов передачи энергии.

Только лишь электрическая передача как бы раскрепостила энергию, — стало возможным устраивать фабрики и заводы и пользоваться энергией не только поблизости от источников их получения (паровых и гидравлических станций), но на весьма значительном от них расстоянии.

Это свойство электрической энергии — передаваться на любое расстояние от места своего производства — составляет факт огромного значения, без чего все остальные успехи электротехники были бы почти сведены на-нет.

Возможность передавать электрический ток по проводнику была известна уже давно. При этом было найдено, что чем длиннее расстояние, тем больше теряется тока, тем большее напряжение приходится брать или, если это невозможно, то надо увеличить диаметр проводника. Однако увеличивать напряжение машин постоянного тока оказалось по многим причинам неудобным, а делая проводник слишком толстым, надо затратить на него столько меди, что вся установка делается чересчур дорогой и невыгодной.

Получалась как-будто какая-то довольно узкая граница для передачи электрической энергии, ограниченная каким-нибудь десятком верст... Это было тем досаднее, что всего в 1872 г. нашли, что всякая динамо-машина, если в нее пустить ток, начнет вращаться и работать как двигатель. Перед электро-техникой вставала заманчивая перспектива — не только освещать дома и улицы, но и приводить в движение бесчисленные станки и машины на фабриках и заводах...

Выход из этого положения, как оказалось, был намечен еще в гениальных работах Фарадея, — „отца электротехники“, и именно в отделе магнитной индукции, а Румкорфова спираль ясно указывала на тот путь, где следовало искать правильного решения задачи — передачи электрической энергии на далекие расстояния.

Действительно, если взять железный сердечник и насадить на него две катушки с проволокой, то, пропуская переменный ток по одной из них, будем иметь такой же переменный ток в другой катушке. Если число витков первой катушки будет, например, 20, а второй — 100, то индуктированный ток во второй обмотке будет иметь в 5 раз большее напряжение, чем в первичной; и, наоборот, пуская ток по вторичной обмотке, можно в первичной получить напряжение в 5 раз меньшее.

Таков принцип трансформатора.

Легко понять, что дало изобретение этого прибора.

Стало возможным, произведя переменный ток, превратить его в повышающем трансформаторе в ток очень высокого напряжения, передать без больших потерь по тонким проводам на далекое расстояние и, снова пропустив его на конце линии через понижающий трансформатор, получить ток низкого напряжения, которым можно уже безопасно пользоваться для любых целей.

Яблочков пытался в 1878 г. построить такой прибор, имея в виду регулировать действие своих электрических ламп.

Первыми изобретателями трансформатора надо, однако, считать русского механика Усагина, демонстри-

ровавшего в 1881 г. подобного рода прибор, и Клерка построившего его год спустя.

Большая заслуга в деле выработки практического типа трансформатора принадлежит фирме Ганц в Будапеште, чьи приборы позволили уже сделать несколько значительных по тому времени передач электрической энергии. Опыты с передачей энергии, которые в 1886 г. производил французский электрик Марсель Дебрэ с машинами постоянного тока, дали потерю в проводах около 50%, тогда как при передаче на такую же длину посредством трансформаторов — удалось эти потери уменьшить вдвое.

Исторический опыт передачи энергии, произведенный в 1890 г. на выставке во Франкфурте, открыл собой эру электропередач токами высокого напряжения.

На реке Некар около местечка Лауфен было решено использовать водяную энергию этой реки для одного цементного завода, а избыток ее передавать в форме электрического тока в город Гейльброн на расстоянии 10 километров. Тем временем подоспела большая промышленная выставка во Франкфурте, лежащая на расстоянии 175 километров от Лауфена, и строителям новой станции пришла в голову смелая мысль — не удастся ли передать энергию реки в этот город.

Это было так необычайно, что многие серьезные техники того времени плохо верили в исполнимость такого плана. Тем не менее работы начались. Была построена гидравлическая станция с 3 турбинами по 300 лошадиных сил, вращавших машины переменного трехфазного тока, который затем повышался до 25 000 вольт напряжения в особых трансформаторах, состоящих из трех железных сердечников с обмотками, погруженными для лучшей изоляции в масло. Такие же трансформаторы для понижения тока были установлены во Франкфурте.

Удачные результаты Лауфенского опыта, где потери не превышали 27%, имели решающее значение для дела электрической передачи энергии. Стало совершенно ясным, что отныне пределы дальности электропередачи будут зависеть лишь от совершенства машин, трансформаторов и линии передачи.

Действительно, через несколько лет строится на р. Рейне около г. Шафгаузена станция, где используется и передается по проводам около 15 000 лошадиных сил, и знаменитая первая Ниагарская электрическая установка на 40 000 лошадиных сил.

Первые машины для выработки электрической энергии не превосходили обычно нескольких десятков и сотен сил, но прогресс электротехники был так стремителен,

что уже в девяностых годах заканчивают с постройкой генераторов Ниагарской станции в 5000 лошадиных сил.

Напряжение динамо-машин, постоянного тока берется обычно не выше 500 вольт, что же касается машин переменного тока, или альтернаторов, как их называют, то напряжение бывает в несколько тысяч вольт, так как это дает значительную экономию на меди.

Наибольшая длина большинства электропередач еще в начале этого столетия не превосходила сотни километров, при чем напряжение в проводах ограничивалось 50—70 тысячами вольт. Сказочно-быстрое развитие электротехники последних десятилетий быстро раздвинуло рамки возможной дальности электропередачи.

К 1910 г. уже работала линия в 200 километров с напряжением в 110 000 вольт; затем, с повышением напряжения до 140 000—дальность передачи увеличилась до 350 километров. В настоящее время удалось достичь напряжения 220 000 вольт с дальностью передачи в 600 километров, и идет оживленная работа (особенно в Америке) над выработкой типов трансформаторов и других аппаратов на 300 000 вольт и выше.

Не даром в Европе и Америке недавно созданы специальные лаборатории для изучения и испытания действия электрического тока при напряжении в 1 000 000 вольт...

На рис. 22 представлен один такой гигант-трансформатор, рассчитанный на передачи 30 000 лошадиных сил и 220 000 вольт напряжения. Вес его превышает 100 тонн, а о размерах могут дать представление работающие около него монтеры.

Самая линия электрической передачи устраивается на высоких деревянных, железобетонных или железных мачтах, принимающих при больших пролетах вид огромных решетчатых башен высотой в несколько десятков метров (рис. 23).

Такие опоры устанавливаются на солидных башенных фундаментах на расстоянии 100, 200 и более метров одна от другой. В верхней своей части они имеют перекладины, на которых укрепляются изоляторы с проводами (для напряжения не свыше 30 000 вольт). При более высоких напряжениях, провод для лучшей изоляции подвешивается на нескольких тарелкообразных изоляторах, связанных в виде четок. Провод в большинстве случаев делается из меди, но кое-где медь начинает вытесняться алюминиевой бронзой. Для защиты от влияния грозовых разрядов и молнии, линия защищена целым рядом приборов, описывать которые мы здесь не будем.

В том пункте, куда подводится станция, напряжение значительно понижается. Для городской сети это

понижение не бывает, однако, меньше 3000—5000 вольт, затем от понижающей станции под улицами идут к местам потребления изолированные и бронированные подземные кабели.

Но это напряжение еще слишком опасно для непосредственного его пользования, отчего в домах, заводах, театрах оно понижается на местных трансформаторах до 500—100 вольт.

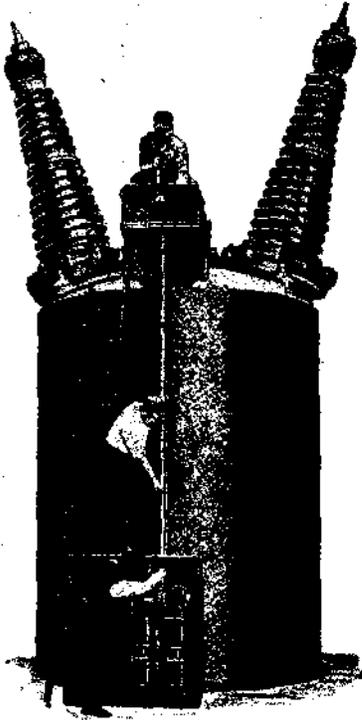


Рис. 22. Гигантский трансформатор на 220 000 вольт.

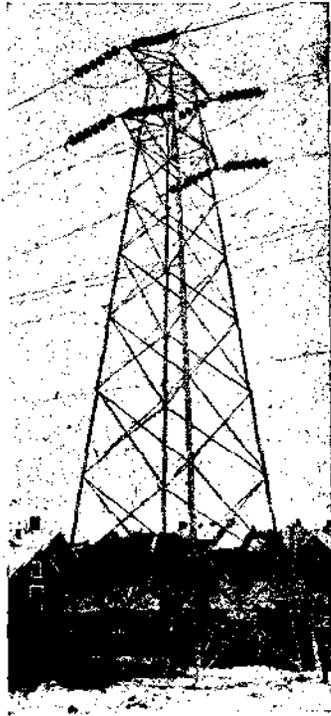


Рис. 23. Опора линии электропередачи.

Часто приходится трансформировать не только одно напряжение в другое, но и превращать постоянный ток в переменный трехфазный (наиболее употребительный в электрическом современном хозяйстве) или, наоборот, из переменного тока получать ток постоянный. До последнего времени для этой цели служили так называемые умформеры, или вращающиеся преобразователи, состоящие из соответственно соединенных между собой машин переменного и постоянного тока. Открытие около двадцати лет Купер-Юитом ртутной лампы внесло в эту

область полный переворот. Было найдено, что известным образом построенная ртутная лампа с вольтовой дугой внутри безвоздушного пространства с парами ртути способна вырабатывать проходящий через нее переменный ток в ток постоянный. Конструктивное развитие этой лампы привело в настоящее время к созданию ртутных выпрямителей до 2000 киловатт мощностью, получающих все большее распространение благодаря замечательной экономичности и простоте их работы.

Радиотехника и ее изумительные достижения за последние годы открывают для электропередачи новые, многообещающие перспективы. Мы имеем здесь в виду передачу энергии без проводов.

В самом деле, если радио дает возможность передать за десятки тысяч верст небольшое количество энергии, действующее на приемочный механизм, и если, судя по последним опытам Маркони, удастся радиоволны передать, по одному, определенному направлению, — то нет причин думать, будто электротехнике не удастся когда-нибудь справиться с заманчивой задачей беспроводной передачи больших количеств электрической энергии. Излишне говорить, какой переворот произведет это открытие во всех областях нашей жизни, — энергия будет тогда, как воздух, повсюду. Исчезнут дорого стоящие линии электропередач, — достаточно будет легкой антенны, чтобы извлечь из пространства посылаемую сверхмощными центральными станциями энергию, необходимую для заводов, городов, деревень, поездов и аэропланов. Мечты, которые, быть может, скоро станут действительностью.

Современные паровые центральные станции. Потребление энергии, получаемой всем человечеством от разных двигателей, может быть оценено кругло в 120 миллионов л. сил, при чем около  $\frac{1}{3}$  этой энергии вырабатывается центральными электрическими станциями.

Взглянем на устройство современной крупной паровой электрической станции. Лет тридцать тому назад, когда техника передачи и трансформирования электрической энергии была еще недостаточно развита, во избежание больших потерь в проводах, центральные станции устраивались по возможности ближе к центру. Дороговизна земли, однако, заставляла экономить место, и в результате станцию приходилось строить в несколько ярусов, как это видно из рис. 24, изображающего разрез, одной из первых в мире — станции в Нью-Йорке, основанной знаменитым американским электротехником Эдисоном (рис. 25). В первом этаже расположены паровые и электрические машины, во втором этаже установлены котлы, еще выше устроено помещение для угля. Скоро выяснилось, однако,

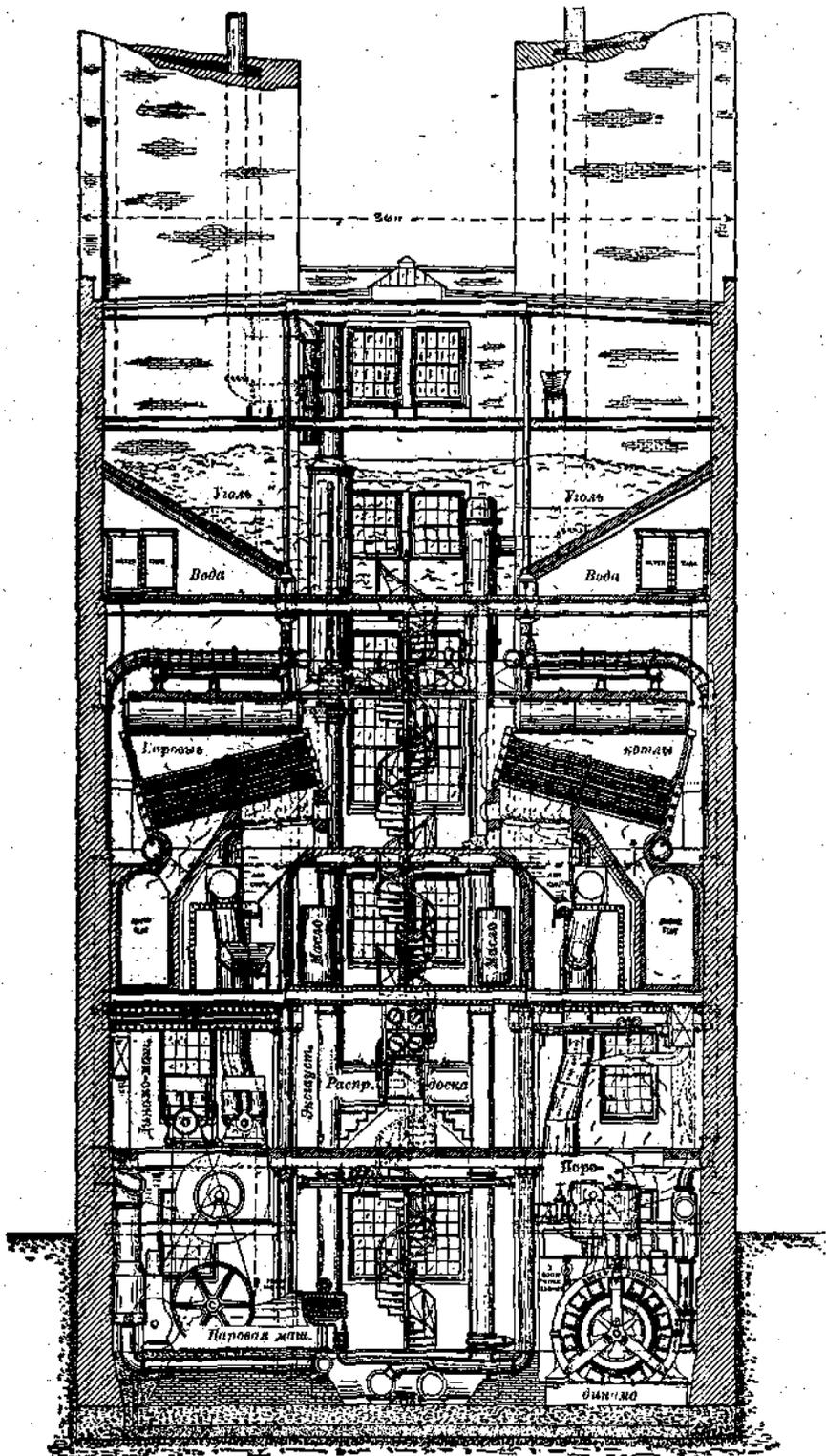


Рис. 24. Старая электрическая станция Эдисона в Нью-Йорке.

что благодаря огромному росту спроса на электрическую энергию, электрические станции необходимо строить, имея достаточно места для ее будущего расширения; кроме того, благодаря успехам электротехники, стало вполне возможным иметь станцию на довольно значительном расстоянии от места потребления, так как дешевле было передавать электрическую энергию по проводам.



Рис. 25. Эдисон.

чем подвозить на такое же расстояние необходимое для нее топливо.

Это обстоятельство позволило вынести центральные паровые станции за черту города и в некоторых случаях строить их непосредственно около угольной копи или

торфяного болота и уже оттуда передавать энергию к месту ее потребления.

В современных крупных центрах можно ясно различить три отдельные ее части — котельное помещение, где происходит сгорание топлива и получение пара, машинное помещение с турбинами, генераторами и конденсаторами и, наконец, помещение с электрическими распределительными механизмами и трансформаторами (последние имеются, если станция работает на электропередачу).

Место для постройки станции выбирают возможно ближе к воде, требующейся в большом количестве для охлаждения конденсаторов, а также удешевляющей подвоз топлива к станции. Непосредственно к станции прилегал обширный двор для склада топлива; обычно несколько железнодорожных веток связывает эти склады с ближайшей линией железной дороги (см. рис. 26).

Угольный склад, видный на рисунке справа, обслуживается несколькими механическими кранами и ковшами, выгружающими прибывший на станцию уголь и укладывающими его в правильные штабеля вдоль путей. За этими штабелями необходим постоянный надзор, так как нередки случаи самовозгорания больших масс сложенного угля. Со склада уголь поступает на станцию, причем вся эта операция происходит чисто механически. Вот один из способов такой механической доставки. Среди штабелей движется от особого мотора ряд вагонеток, связанных одной общей цепью; вагонетки эти нагружаются углем и по наклонному помосту поднимаются в верхнюю часть здания котельной, где высыплют свое содержимое в бункера — угольные ящики над котлами. Иногда под угольными складами проходит бетонный туннель, в котором движется конвейер — непрерывная стальная лента с ковшами; уголь засыпается в них через особые окна в потолке туннеля и доставляется конвейерами к бункерам над котельной. Иногда при этом уголь подвергается автоматической очистке и сортировке.

Успех топок от угольной пыли, на которую переходит сейчас чуть не половина германских паровых установок, ввел в эту схему некоторые изменения. Уголь перед поступлением в бункера очищается, перемалывается и уже в виде тонкого порошка поступает в бункера, а оттуда по трубам вдувается в топочное пространство котла.

Раньше уголь просто подвозился на вагонетках в котельное помещение и сваливался там перед топкой, куда кочегары забрасывали его лопатами, обливаясь потом от жара, пышущего из открытых топочных дверей, при

чем особенно тяжела была работа кочегара при шуровании и очистке колосников от скопившихся шлаков.

Теперь это устройство сохранилось лишь в небольших установках. На всех крупных станциях устроены бункера или железные конические ящики в верхней части котельной, откуда уголь под влиянием собственной тяжести поступает в загрузочные ковши топок. Запаса угля в бункерах обыкновенно хватает на несколько часов работы котла, на случай неожиданной порчи конвейера. Непрерывное питание станции, обслуживающей иногда огромный район, настолько важно, что для большей надежности работы устраивают все ответственные ее арте-

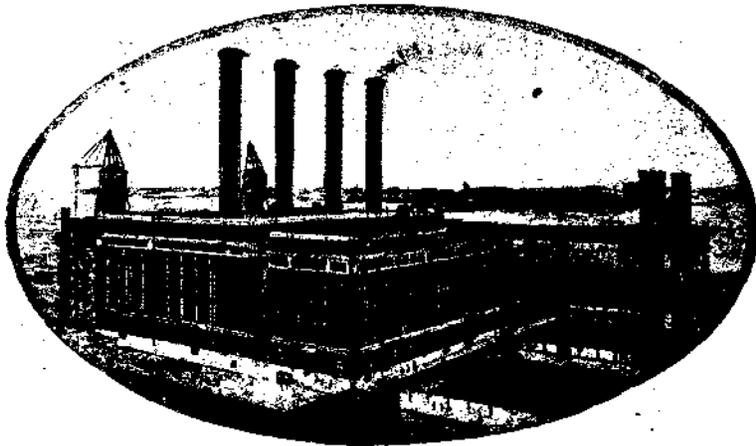


Рис. 26. Общий вид крупной современной паровой электрической станции.

рии, как-то: конвейеры, паро- и водопроводы в двойном комплекте.

Вопрос снабжения топки топливом, строго необходимым для данного режима котла, блестяще разрешен в настоящее время изобретением так называемых механических топок, где уголь (или торф) подается в топку посредством бесконечной ленты из огнеупорных колосниковых пластинок, приводимых в движение небольшими моторами. Возможность регулировать скорость подачи и количество топлива обеспечили этим топкам всеобщее распространение, благодаря достигаемой с ними экономии топлива.

Рис. 27 изображает внутренний вид такой котельной с автоматической подачей угля и механическими топками.

В такой котельной можно пройти не запачкав платья, — исчезли грязные кучи золы: она через особые люки

проваливается вниз и отвозится на вагонетках по подземному коридору. Поражает незначительность персонала для обслуживания большой котельной, — достаточно всего несколько механиков и чернорабочих. Над котельной, над каждой группой котлов выситя железная, слегка расширяющаяся кверху, труба с принудительной тягой, так как это устройство найдено более дешевым, чем сооружение гигантских кирпичных труб, требующих много места для дымовых боровов и массивных фундаментов.



Рис. 27. Котельная с механическими топками.

Ряд контрольных приборов указывает персоналу котельной о силе тяги, количестве подаваемого топлива, температуре топки и давлении пара; над котлами, точно кольца гигантских белых червей, извиваются изолированные паропроводы, несущие в себе энергию десятков тысяч лошадиных сил.

Войдем теперь в машинный зал. Всюду удивительная чистота и порядок. Полы и стены из белого кафеля. Масса света и воздуха, и только мерный, точно из недр земли выходящий гул говорит нам, что где-то здесь поблизости скованы гигантские запасы рвущейся наружу энергии. На рисунке 28 изображена внутренность одной из первых паровых станций в г. Делтфорде, оборудованной старыми паровыми машинами и генераторами Фер-

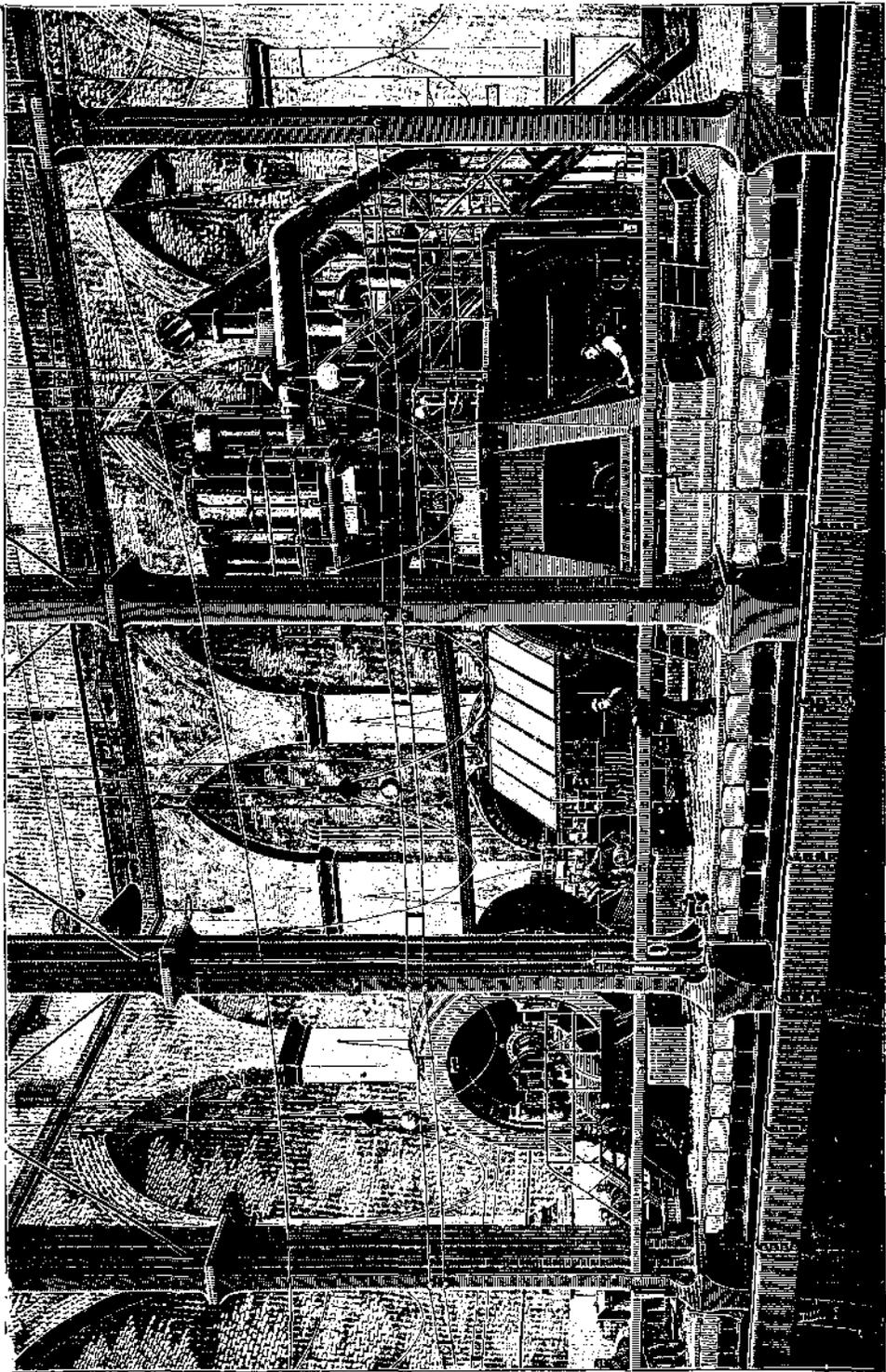


Рис. 28. Старая паровая электростанция.

ранти. На рисунке 29 представлен машинный зал одной германской электростанции, построенной в девяностых годах, с горизонтальными паровыми машинами. Каждая такая машина раза в 2—3 мощнее, чем машина на предыдущем рисунке. Наконец, рис. 30 дает представление о современной станции с паровыми турбинами (Ленинградская трамвайная электрическая станция).

Как мы уже говорили раньше, все новые крупные централи оборудованы паровыми турбинами, и даже старые станции постепенно заменяют ими свои отслужившие

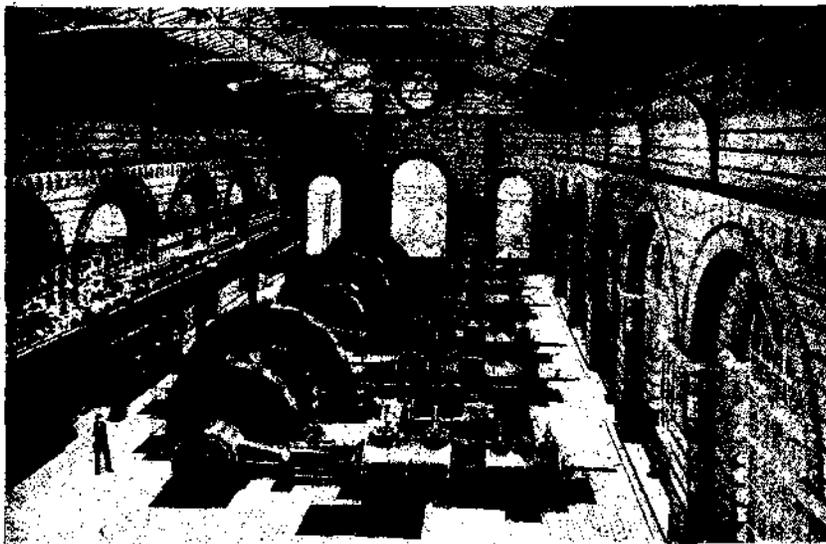


Рис. 29. Паровая электрич. станция с горизонтальными паровыми машинами.

паровые машины; это не удивительно, так как на месте прежней паровой машины в 3000 лощ. сил можно установить турбину в 5 раз более мощную, а экономия в топливе и паре в несколько лет окупит все расходы по переустройству.

Вес современных гигантов-турбин настолько значителен, что для их установки и ремонта над ними устраивается мостовой подъемный кран, движущийся вдоль железных балок, уложенных на ственных выступах машинного зала. Подъемная сила таких кранов на больших станциях достигает иногда 100 тонн и более.

В нижнем этаже под машинным залом помещаются все вспомогательные механизмы, необходимые для работы турбины: насосы, конденсаторы, фильтры для

воздуха и воды, паропроводы, водопроводы, водоотделители и проч. Самой существенной частью здесь является конденсатор, где охлаждается и сгущается отработавший в турбине пар, создавая вакуум или разрежение (до 0,05 атмосферного давления), способствующее лучшему использованию силы пара. Размеры таких конденсаторов, обладающих несколькими тысячами квадратных метров охлаждающей поверхности, иногда достигают огромных размеров. Количество воды, которое необходимо для охлаждения 1 кг пара примерно, равно 60 литрам, [поэтому для мощной стан-



Рис. 30. Современная электр. станция с паровыми турбинами.

ции в 200 000 киловатт (около 270 000 лош. сил) надо в час около 50 000 куб. метров — целую речку холодной воды... Если нет возможности иметь достаточное количество свежей холодной воды, когда станция, например, построена вдалеке от водного бассейна, прибегают к искусственному охлаждению теплой воды из конденсатора в градирнях — высоких башнях, с многочисленными решетками; горячая вода подается на верх градирни, охлаждается сквозным током воздуха и со дна бассейна, устроенного под градирней, вновь накачивается в конденсаторы.

В конце или сбоку машинного зала устроен распределительный мостик — высокая площадка, где на рас-

пределительной доске установлены все наблюдательные и контрольные приборы, связанные с работой турбин, электрических генераторов и трансформаторной станции. Здесь же помещаются приборы, показывающие силу тока, напряжение и потребляемую мощность отдельных линий (фидеров) электропередачи или кабельной сети. Здесь дежурный по станции, как капитан корабля, может видеть в любой момент характер работы каждого крупного механизма станции. Отсюда же одним поворотом рукоятки дежурный может пустить в ход и остановить любую из гигантских машин и обслуживающих ее механизмов.

К машинному залу примыкает обширное здание распределительного устройства, где находятся трансформаторы, многочисленные выключатели, предохранители и, вообще говоря, вся сложная „нервная система“ центральной станции. Вход сюда, в виду опасности, представляющей высоким напряжением, разрешается лишь ответственному персоналу станции.

**Рост паровых электрических станций.** О росте и развитии крупных электрических станций могут дать представление следующие цифры. В 1922 году в Америке было выработано и отпущено центральными станциями 47 000 миллионов киловатт-часов энергии (из них 17 200 гидроэлектрическими станциями) или около 450 киловатт-часов на одного жителя; в Швейцарии эта цифра еще выше, достигая 700 киловатт-часов на одного жителя... В Германии имеется до 100 000 километров электропередач, передающих общую среднюю мощность до 300 000 киловатт и временную до 1 миллиона киловатт. Мелкая сеть, связывающая там между собой деревни и экономии, имеет напряжение около 15 000 вольт. Так называемые нитательные пункты связаны главными линиями с напряжением от 30 000 до 60 000 вольт, а линии магистрального значения обладают напряжением до 110 000 вольт. Намечается также создание соединительных сверх-магистралей с напряжением в 220 000 вольт.

Еще лет десять-пятнадцать тому назад мощность самых крупных центральных станций измерялась лишь десятками тысяч лошадиных сил, при чем мощность отдельных машинных единиц не превосходила 15 000 лош. сил. В настоящее время, в связи с увеличением спроса на электрическую энергию, мощность таких станций увеличилась в несколько раз. В Германии есть центральная мощность в 150 000 киловатт, оборудованная 3 турбогенераторами на 50 000 киловатт каждый; в Париже недавно закончена паровая станция Женевилье с общей установленной мощностью в 200 000 киловатт из пяти турбогенераторов по 40 000 киловатт.

Еще больших размеров достигают паровые центральные станции в Америке. Сейчас заканчивается постройка сверх-мощной паровой станции „Кахокиа“ близ г. Сан-Луи, которая будет работать на угольном порошке. Предельная мощность этой станции рассчитана на 300000 киловатт (около 400000 сил); станция будет оборудована по последнему слову техники котлами в 24 атмосферы давления и 6 турбогенераторами по 60000 киловатт каждый. Еще больше строящаяся станция около Чикаго — ее мощность рассчитана на 500000 киловатт.

Наши центральные станции Москвы и Ленинграда далеко уступают этим колоссам, так как мощность самой крупной из них не превышает 50000 лощ. сил.

Практика показала, что чем крупнее станция и чем ровнее она загружена в продолжение часов дня и года, тем дешевле обходится отпускаемая ею энергия.

Для выравнивания суточной нагрузки, которая, например, для силовых осветительных станций колеблется между 10% (днем) и 80—90% (вечером) от установленной мощности, — все большее значение приобретают описанные уже нами тепловые аккумуляторы — котлы Р у т а, нагреваемые избытком пара в часы малой нагрузки для того, чтобы отдавать запасенное тепло в виде пара в часы усиленной работы станции. Для поднятия общей тепловой отдачи станции прибегают иногда (если станция расположена в городе) к использованию тепла конденсационной воды и отработавшего пара для целей пароводяного отопления окружающих районов, чем можно достичь 45—50% общего использования тепловой энергии.

Этого можно достигнуть не только постройкой большой станции, но и объединением в одну общую сеть нескольких менее крупных станций, или, как говорят, их „кустованием“. Примером тому могут служить приводимые профессором Горевым в его книге „Электрификация Франции“ — электростанции Бельгии, общая мощность которых достигла к 1911 году 563000 киловатт, а степень их использования 32%. Иначе говоря, все станции отдавали лишь  $\frac{1}{3}$  той энергии, которую могли бы развить, если бы работали круглый год полностью. Расчет показал, что при выключении ряда мелких слабо работающих станций и объединении остальных в общую сеть, при том же отпуске количества энергии — 1570 миллионов киловатт-часов, — суммарная их мощность могла бы быть понижена до 382000 киловатт, а коэффициент использования возрос бы до 47%. При этом расход угля, достигавший в 1911 г. 3662000 тонн, понизился бы до 1833000 тонн, а расход угля на 1 выработанный киловатт упал бы с 2,33 кг до 1,17 кг, т. е. почти вдвое. Если же при-

менить все новейшие усовершенствования в паровом хозяйстве, то расход угля можно было бы понизить даже до 0,86 кг на 1 киловатт-час. Однако такая безусловно выгодная для Бельгии и других стран концентрация электрических станций встречает серьезные препятствия, связанные, главным образом, с противоречием частновладельческих интересов.

В СССР эти препятствия отсутствуют. Советским правительством выработана широкая программа электросилового строительства. Программой Государственной Комиссии по электрификации СССР намечены (кроме 10 гидроэлектрических крупных станций) следующие паровые централи:

Районы.	Число станций.	Мощность в киловаттах.
Северный . . . . .	1	30 000
Центральный . . . . .	6	280 000
Южный . . . . .	4	280 000
Волжский . . . . .	4	160 000
Уральский . . . . .	3	140 000
Кавказский . . . . .	1	20 000
Сибирь и Туркестан . . . . .	1	40 000
<b>Всего . . . . .</b>	<b>20</b>	<b>890 000</b>

Одной из крупнейших таких станций будет Шатурская торфоэлектрическая станция в 130 верстах под Москвой, мощность которой предполагается довести до 96 000 киловатт.

Современные гидроэлектрические станции и их развитие. Рост спроса на электрическую энергию по случайной случайности совпал с тем временем, когда техника уже имела в своем распоряжении весьма совершенный водяной двигатель — турбину Френсиса, дававшую возможность использовать свыше 80% гидравлической энергии. В поисках дешевых природных источников энергии инженерная мысль вполне естественно обратилась к энергии текущей воды. Действительно, ни один, пожалуй, источник энергии в природе не обладает таким постоянством — вечным и неистощимым, как энергия, заключенная в водопадах и быстротоках.

Неистощима эта энергия потому, что она обязана своим происхождением солнцу, испаряющему колоссальные массы воды с поверхности океанов и заставляющему эти воды подниматься в виде облаков, разносимых ветром повсюду. Облака эти отдают свою влагу в форме дождя, тумана и снега, питающих бесчисленные ручьи, потоки и реки, снова впадающие в океан. Пома светит солнце

и пока длится этот кругооборот воды в природе, до тех пор человечество будет располагать энергией этих текущих вод.

Как велики эти запасы? Неоднократно делавшиеся различными учреждениями и лицами подсчеты дают несходные между собой цифры. Далее мы приведем сводную таблицу запасов угля и торфа гидравлической энергии по разным странам. По самым осторожным подсчетам, общее количество водной энергии (обеспеченной в продолжение 8 месяцев в году) не менее 280 миллионов лошадиных сил, а по другим сведениям—оно равняется около 700 миллионов лошадиных сил. Речь идет здесь о той энергии, которую действительно можно с выгодой использовать в современных гидротехнических сооружениях; если же подсчитать все теоретическое количество водной энергии на земном шаре, приняв во внимание среднюю высоту отдельных сторон и соответствующее им количество атмосферных осадков, то—по подсчетам известного германского гидротехника профессора Ребока—получится цифра не менее 8.000 миллионов лошадиных сил.

Выше, в главе III, мы познакомились с историей водяных двигателей. Посмотрим теперь на те же способы утилизации водной энергии, которыми пользуется современная техника.

Примитивные водяные колеса, ограниченные мощностью всего нескольких десятков лошадиных сил, остались как живой пережиток старого лишь в глухих уголках, куда не дошло еще влияние новой жизни. Под мерный стук их деревянных лопастей и плеск текущей воды мирно доживают свои дни старинные мельницы, постепенно исчезая и уступая место новым сооружениям с меньшими, легкими и, хочется сказать, грациозными водяными турбинами. Успехи турбинной техники, как мы уже говорили, дали мощный толчок водяному строительству. Страны с обильными быстрыми реками и водопадами поняли, что в их руках действительно ценное сокровище и, начиная с восьмидесятых годов, особенно после удачного опыта с использованием чисто гидравлической силы Рейна и успеха Лауфэнской электропередачи энергии, западно-европейские страны и Америка начинают покрываться сетью гидравлических и гидроэлектрических установок.

Поскольку постройка паровой станции, несмотря на всю сложность ее оборудования, является все-таки в целом ясной и определенной задачей, постольку проектирование и сооружение гидроэлектрической станции имеет в себе целый ряд трудных вопросов, решаемых каждый раз для данной установки совершенно независимыми

и новыми методами. В паровой станции инженер имеет дело, главным образом, с машинами и зданием обычного типа; в гидроэлектрической установке ее строитель имеет дело также и с живой природой, которую он должен разгадать, покорить и использовать...

Было бы невозможно описать здесь все разнообразие конструкций, иногда в высшей степени остроумных, современных гидроэлектрических станций.

Главные типы гидроэлектрических станций. По конструкции гидроэлектрические станции могут разделяться на три основных типа: станции с низким, средним и высоким напором воды.

К низконапорным принадлежат те, где турбины работают под напором до 3—4 метров. Нижний предел, при котором еще выгодно использование энергии воды, ограничено единственно экономическими соображениями и подсчетами. В настоящее время существуют установки, работающие даже при одном метре напора. Таким напором обладает подавляющее большинство гидравлических установок на степных и равнинных реках, как, например, в СССР, где большая часть установок (главным образом мельничных) по анкете 1912 года обслуживается водяными колесами (около 80% из общей мощности 700 000 лш. сил).

В установках этого типа река обычно перегораживается плотиной, создающей некоторый подпор воды, величина которого ограничена допустимыми затоплениями вышележащих культурных земель. Тип плотин чрезвычайно разнообразен и зависит не только от напора, но и от характера грунтов дна и берегов. Главной заботой строителя является создание достаточно прочного сооружения, которое не могло бы опрокинуть давление воды.

О значении этого давления мы можем себе составить представление, если скажем, что на 1 кв. метр боковой поверхности действует при напоре 3 метров сила в 3 тонны, а на погонный метр плотины, высоту в 5 метров, при том же напоре — действует давление в 10,5 тонн, стремящееся ее опрокинуть. Плотина делается из камня, бетона и трамбованной земли, при чем всячески стремятся избежать возможной фильтрации воды под плотиной и станцией, для чего иногда забивают один или несколько рядов свай (шпунтов), тесно прилегающих один к другому. Плотины, назначение которых только поднять уровень воды, называются глухими, в отличие от водосливных, роль которых, помимо создания подпора, заключается также в периодическом пропуске излишнего количества воды.

В низконапорных и средненапорных плотинах эти отверстия состоят из деревянного или бетонного пола (флютбета) и промежуточных быков, между которыми

устанавливаются щиты или затворы, опускаемые с верхнего мостика (см. рис. 31).

Последние бывают различных систем (Сtoneя, Дефонте на, Шаоана и др.), описание которых, равно как и описание всех деталей гидротехнических стационарных сооружений, завело бы нас слишком далеко. На реках, где весенний расход воды бывает особенно велик, невысокие плотины часто делаются разборчатыми. Плотины этого типа (например, системы Пуарэ) устраиваются следующим образом: на прочном основании, уложенном по дну, укрепляются опоры железных ферм, имеющих вид



Рис. 31. Плотина с щитовыми затворами и гидроэлектрич. станция (справа).

высоких трапеций, между которыми закладываются деревянные щиты, подпирающие воду. При открытии плотины щиты эти вынимаются, а самые фермы, могущие вращаться около своих опор, спускают одну за другой на дно плотины, оставляя свободный проход для льда и весенних вод.

Здание станции, в зависимости от топографии местности и характера грунта, располагают либо в одну линию с плотиной, либо под некоторым углом к ней, ближе к одному из берегов. Для защиты станции от напора льда, перед ним тогда устраивается особая достаточно прочная ледозащитная стенка. Само здание строится, как и плотина, из дерева, бетона или железобетона. По числу установленных на станции турбин, на солидном фундаменте устраивается несколько камер, где и поме-

щаются турбины. При невысоких напорах, для того, чтобы уменьшить число электрических машин и удешевить стоимость постройки, турбины устанавливаются по несколько штук в одной камере, на одном и том же валу. Отработавшая вода отводится посредством всасывающих труб наружу. Перед впуском в камеру вода проходит через одну или две очистные решетки, задерживающие плавающие предметы и лед, при чем сама камера может закрываться особыми щитами во время ремонта турбин.

Распределительное устройство (трансформаторы, защитные приборы, шины высокого и низкого напряжения

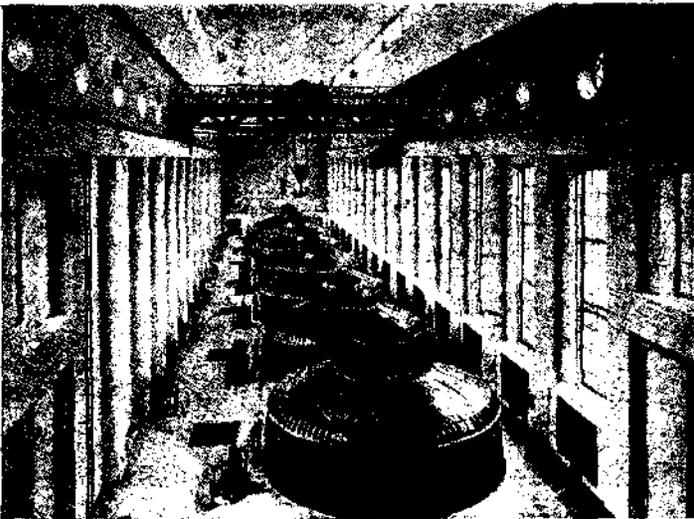


Рис. 32. Внутренность гидроэлектрической станции.

и т. д.) помещается либо рядом с машинным залом, либо над ним, а иногда выносится на берег в независимое от станции здание. На рисунке 32 изображена внутренность гидроэлектрической станции, изображенной на предыдущем рисунке и работающей при напоре от 10 метров. Станция оборудована турбинами и генераторами с вертикальным валом.

В установках со средним напором, который лежит между 4 и 25 — 30 метрами, общее расположение гидротехнических сооружений остается таким же, только все получает значительно большие и солидные размеры. Весьма интересны типы плотин при этих напорах. Чаще всего их делают массивными из каменной или бетонной

кладки, однако нередко прибегают к услугам железобетона. Вся плотина тогда устраивается в виде отдельных наклонных сводчатых перекрытий, лежащих на вертикальных ребристых опорах. Если ширина реки или ущелья не очень велика, каменную плотину делают в виде одного гигантского свода, упертого в оба берега, чем достигается значительная экономия в толщине и стоимости самой плотины. Есть установки, где вся станция помещается в теле такой железобетонной плотины...

В гористых местностях иногда устраивают посредством высоких каменных или бетонных дамб так называемые водохранилища с целью водоснабжения или выравнивания расхода воды в реке в период маловодья. Высота таких дамб достигает иногда высоты в десятки метров. В Америке построены дамбы (плотина Рузвельта и Шосонская плотина), достигающие ста метров высоты, и намечена к постройке в долине реки Колорадо (в ущелье Бэлдер) колоссальная плотина в 200 метров высоты. Напор таких водохранилищ часто используется расположенными рядом гидроэлектрическими станциями, которые тогда могут быть отнесены к типу высоконапорных станций.

Гидроэлектрическими станциями с высоким напором могут быть названы, вообще говоря, те станции, где установка турбин в открытых камерах встречает уже некоторые затруднения, т.-е. при напорах выше 25—30 метров. В этом случае турбины заключаются в прочный железный кожух, и вода к ним подводится по железным, железобетонным или деревянным трубам. Это позволяет устраивать самую станцию на некотором расстоянии от плотины.

Иногда с целью выиграть в напоре, станция строится не около самой плотины, а в конце подводящего канала, идущего вдоль берега реки и обладающего меньшим падением уровня, чем река. Длина в таких каналах в некоторых случаях достигает многих километров. Такое расположение применяется во всех трех типах гидроэлектрических станций, — только в первых двух вода поступает непосредственно в турбинные камеры, а в высоконапорных установках в конце канала (или около плотины) имеется здание напорного бассейна, где помещаются затворы труб и очистные решетки.

В гористой местности, где обычно встречаются станции с высоким напором, подвод воды к станции совершается не только открытыми каналами, но и посредством туннелей, достигающих в некоторых случаях также длины нескольких километров. Трубы для напоров до 100 метров делаются из стали, железобетона и дерева. О размерах железных труб на некоторых установках может дать пред-

ставление прилагаемый рисунок (см. рис. 33). Деревянные трубы, как это ни странно, оказываются дешевле и долговечнее железных, почему сейчас они находят большое распространение в Америке. Делаются они из отдельных брусьев, скрепляемых, на манер бочек, железными обручами, и достигают 5 метров в диаметре. Для напоров более высоких применяются исключительно стальные трубы. Турбины Френсиса могут работать до 200—240 метров давления. При таких напорах турбины окружаются прочной спиральной стальной камерой, напоминающей собою улитку. Если приходится иметь дело с еще более высокими напорами, — пользуются уже колесами Пельтона, работающими при любом давлении, как бы высоко оно ни было. В Швейцарии существует установка Вуври, где используется напор в 1000 метров, а недавно во Франции около Мартиньи пущена в ход станция, предполагающая еще большим напором в 1650 метров. Можно отметить, что чем выше напор станции, тем дешевле обходится все ее устройство, а следовательно, и получаемая гидравлическая энергия, так как все механизмы выходят более компактными и быстроходными.

Большим достоинством гидроэлектрических установок является легкая возможность регулирования их мощности: задерживая немного воду в реке в часы (или дни) малого потребления энергии, можно эту воду пустить на турбины в периоды большей нагрузки станции. Иногда в помощь работе гидроэлектрической станции ее соединяют с резервной паровой установкой.

Сказанного будет достаточно, чтобы иметь общее представление о типах гидроэлектрических установок. Еще лучше поможет в этом описание некоторых известных построек этого рода.

Волховская гидроэлектрическая станция. Вот как построена, например, Волховская гидроэлектрическая станция, которой суждено будет сыграть выдающуюся роль в деле снабжения Ленинграда дешевой электрической энергией.

Плотина, подпирающая воды р. Волхова на 10 метров и затопляющая все вышележащие пороги, состоит из 11 железобетонных кессонов, опущенных в русло реки и заполненных бетонной кладкой. Промежутки между кессонами закрывались временными щитами и также заполнялись бетоном, так что впоследствии получалась прочная массивная плотина около 200 метров длины. Этот интересный способ работ впервые применяется при постройке такой большой плотины.

Силовая станция, к постройке которой было приступлено зимой 1921—1922 гг., в настоящее время вполне

уже закончена. Это — огромное здание из бетона, длиною около 100 саженей, где будет размещено все механическое и электрическое оборудование. Выстроить такую громаду на земле, на хорошем грунте, представляет нелегкую задачу, — что же сказать о ее постройке не на берегу, а в русле бурной и капризной реки, вечно угрожающей производимым работам. Здесь пришлось поэтому прибегнуть к установке кессонов, площадью до 50 кв. саженей каждый. Всего здесь было подведено 11 кессонов, под которыми пришлось извлечь около 2700 куб. саженей

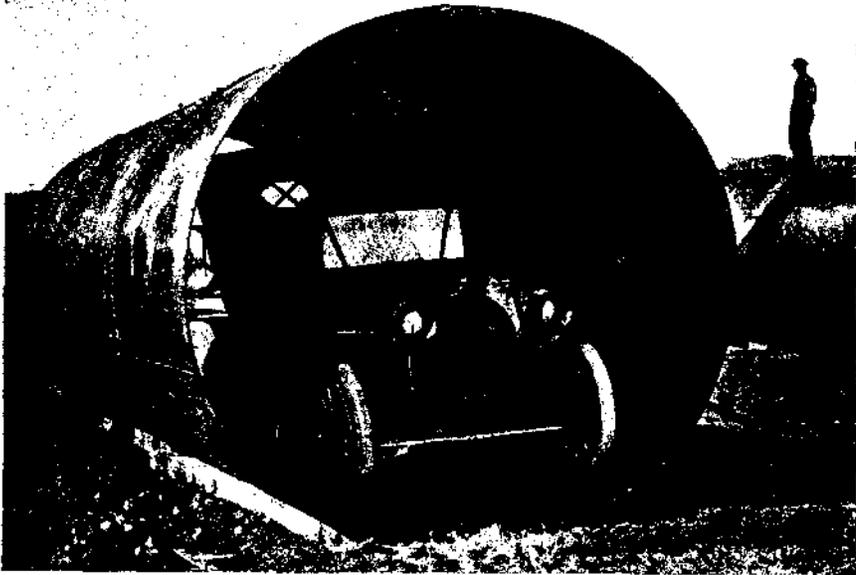


Рис. 33. Часть железной 3-метровой трубы.

камня. Когда кессоны были установлены, на них было начато возведение самой станции с турбинными камерами и отводящими каналами. Последние строятся следующим образом: сперва устанавливались деревянные формы, сделанные по точно рассчитанным чертежам, а пространство вокруг этих форм наполнялось бетоном. Затем, когда бетон делался прочным, формы убирались, стенки каналов сглаживались и исправлялись.

Весьма интересны металлические конструкции, применявшиеся на постройке. Заметим кстати, что металлом, в виду его дороговизны, здесь пользуются с большой осторожностью и экономией. Все вспомогательные сооружения, мосты и их устои, стены, баракы,

краны — все это делается из дерева, и когда кто-нибудь впервые придет на Волховстрой, то ему покажется, что дерево здесь царит безраздельно. Но это не так, дерево это лишь помощник в работе, дешевый и доступный для нас. Когда все работы будут закончены, дерево уберется, и над бурными водами Волхова будет высится монолитная громада из бетона и стали...

Сталь и железо применены во всех ответственных местах. Прежде всего — шиты и затворы. Для пропуска весенних вод, в плотине оставлено несколько отверстий шириной 9 метров, закрываемых так называемыми „шитами Стояя" — большим щитом высотой 10,5 метра и весом 65 тонн и малым, находящимся в верхней части пролета, высотой 3,8 метра, весом 11 тонн.

Давление воды на такой большой щит достигает здесь около 820 тонн или около 50 000 пудов... Еще больше ворота, запирающие шлюз, — каждая половина их имеет высоту 16 метров (т. е. высоту пятиэтажного дома), ширину 9,5 метра и весит около 100 тонн.

Само собою разумеется, что такие гигантские части приводятся в движение специальными электрическими двигателями и механизмами. Интересно устройство, которое позволяет производить ремонт всасывающих труб турбин (т. е. тех каналов, по которым уходит отработавшая вода). Отверстия этих труб расположены под водой, поэтому здесь прибегают во время ремонта к установке батопорта или пловучего затвора. Батопорт состоит из железной плоской камеры шириной 7,5 метра, высотой 1,5 метра, который подводится к отверстию трубы, нагружается водяным балластом и садится на дно, прижимаясь напором наружной воды к стенке, по мере выкачивания воды из турбинной камеры.

Имеется целый ряд других интересных металлических конструкций, но размеры этой статьи не позволяют останавливаться на них более подробно.

Мы описали только несколько моментов этого грандиозного сооружения. Быть может, нижеприводимые цифры дадут некоторое представление об общем масштабе работ.

Чтобы построить плотину, станцию и шлюзы, необходимо вынуть около 750 000 куб. метров грунта, заготовить и употребить в дело 300 000 куб. метров камня, 200 000 куб. метров песка, 450 000 бочек, (74 000 тонн) портландского цемента, установить около 7 500 тонн (460 000 пуд.) разных металлических конструкций, использовать около 110 000 куб. метров леса. Если сложить в кучу все это количество камня, грунта и песка, получили бы огромный холм высотой 100 метров, почти с Исаакиевский собор,

и шириною около 200 метров в основании. Если все железо и сталь, пошедшие на постройку (не считая машин) сплавить в один кусок, то получится куб около 10 метров в стороне...

Но это еще не все: пришлось для разного рода служб и помещений возвести около 220 000 куб. метров гражданских сооружений, уложить 15 километров железных дорог широкой колеи, 12 километров узкой, устроить временную электрическую станцию в 2 900 сил, заготовить перевозочные суда с общей грузоподъемностью в 6 300 тонн.

Турбины Волховстроя будут одними из самых больших турбин в Европе. Диаметр колеса со стальными лопатками — около 4 метров, а вес его около 2 000 пудов. Этим размерам не приходится удивляться, если припомнить, что каждая такая турбина должна развивать 10 000 лош. сил при напоре воды в 10 метров. Турбины эти изготовлены на шведских заводах, построивших немало хороших машин подобного рода.

Турбины эти вращают сидящие на их оси электрические генераторы, ток которых в особых трансформаторах повышается до напряжения в 110 000 вольт и по медным проводам передается на расстояние в 110 верст в Ленинград. Провода эти подвешены на фарфоровых изоляторах к двум линиям железных и деревянных опор и идут в понижающую станцию, строящуюся на Выборгской стороне где напряжение понижается и идет в город по подземному бронированному кабелю.

Что же даст Волховстрой для Ленинграда? В чем его смысл и значение?

Вот что отвечает нам жизнь и расчеты.

Ленинград и его промышленность растут и ширятся с каждым днем. Все дальше и дальше уходят в прошлое годы разрухи и голода. Все больше требуется электрической энергии для приведения в движение бесчисленных станков и моторов, для трамвая, для водопровода, для освещения. Воздух, отравляющийся в Петербурге дымом целого леса фабричных труб, должен стать в Ленинграде здоровым и чистым, а это будет тогда, когда промышленность его будет электрифицирована. В 1923 году общая нагрузка всех электрических станций Ленинграда соответствовала 42 000 киловатт (или около 57 000 лош. силам). Изучение роста потребления тока позволяет думать, что через пять-шесть лет эта потребность значительно превзойдет 10 000 киловатт.

Даже волховской энергии будет тогда недостаточно, и потому приходится уже теперь начинать постройку новых мощных гидроэлектрических станций на р. Свири и на

р. Неве. В виду неравномерного расхода воды в Волхове, его гидроэлектрическая станция будет давать в разное время года неодинаковую мощность, она будет колебаться от 30 до 80 000 лощ. сил; в среднем можно считать, что Волхов даст около 40 000 лощ. сил (около 30 000 киловатт). Но даже и в маловодный год Волховская станция может дать Ленинграду 150 миллионов киловатт-часов, в средний по количеству воды — даст около 230 миллионов киловатт-часов, а в многоводный — 290 миллионов киловатт-часов. Это составит соответственную экономию на угле за год от 11 000 000 до 20 000 000 пудов или, считая по 35 коп. за пуд — сбережение от 4 до 7 миллионов рублей в год. Иначе говоря, за десяток полтора лет Волховская гидроэлектрическая станция в значительной степени окупит свою стоимость.

Но этого мало. Цена энергии, отпускаемой ею, будет меньше стоимости электрической энергии паровых станций. Ленинград и его промышленность в сильной степени избавятся от зависимости в привозном топливе — воды Волхова заменят сотни вагонов Донецкого угля.

Кроме того, железнодорожный транспорт разгрузится на несколько миллионов пудов, и сбереженный уголь можно будет бросить в другие нуждающиеся районы. Удешевление стоимости заводской энергии удешевит и стоимость выпускаемых ими изделий, — огромная важность этого не нуждается в пояснениях.

Избыток гидравлической энергии летом позволит использовать ее на ряде будущих электрометаллургических и электрохимических заводах около самого Волхова, тем более, что неподалеку от него, в районе Тихвина найдены богатые залежи боксита, из которого добывается алюминий, столь нужный для нашей молодой авиопрмышленности. Есть ряд еще и других существенных преимуществ в переходе промышленности на электрическую энергию, — но думаем, что сказанного достаточно для выяснения огромного экономического и технического значения Волховстроя.

Скандинавские установки — Трельгатан и Рюканфос. Автору пришлось в свое время довольно близко познакомиться со шведскими и норвежскими гидроэлектрическими станциями; мы приведем здесь поэтому краткое описание двух наиболее известных. Крупнейшей шведской гидроэлектрической станцией считается построенная в 1910 г. государственная станция Трельгатан, на реке Гота, вытекающей из озера Венерн. Последнее считается одним из величайших озер Западной Европы (поверхность его равна около 5.600 кв. км) и позволяет производить пол-

ное регулирование расходов воды в реке. Река в этом месте образует ряд порогов; несколько выше их начала построена плотина, закрываемая цилиндрическими затворами, чрезвычайно интересной конструкции (довольно распространенных в скандинавских странах и Германии). Затворы этой системы состоят из огромных клепаных длинных железных цилиндров (длиной 20 м), могущих посредством цепей и подъемников вкатываться вверх, открывая проход для льда и воды (рис. 34). Непосредственно около плотины начинается подводящий канал длиной 1 300 метров, закрываемый огромным железным щитом на катках шириной 17 метров и высотой 9 метров, весящим



Рис. 34. Плотина с цилиндрическим затвором у Трольгатана.

60 тонн. Канал кончается расширенным напорным бассейном, откуда идет 8 больших высеченных в скале трубопроводов к зданию станции, оборудованному на 8 турбин, и электрических генераторов, дающих при напоре 32 метра до 80 000 лощ. сил. Полная мощность этой классической установки, после ее расширения, дойдет до 200 000 сил.

Еще интереснее, но совершенно в другом роде, установка около водопада Рюканфос в Норвегии, где Норвежско-Германским обществом построена одна из величайших гидроэлектрических станций в Европе, а также огромный завод для добывания воздушной селитры. Энергию станция эта получает от реки Маан, вытекающей из горного озера Месванд, где прежде всего была построена

плотина, собирающая в озере весенние воды в количестве около 800 миллионов куб. метров для равномерного выпуска в остальное время года. В нескольких километрах ниже этой плотины на реке имеется другая плотина, от которой начинается 4-верстный туннель, подводющий воду к напорному бассейну. От последнего через 10 железных труб двухметрового сечения вода проводится к турбинам электрической станции, лежащей на 290 метров ниже бассейна (см. рис. 35). Неподалеку от станции река суживается и образует знаменитый норвежский водопад Рюкан, низвергающийся с высоты около 50 саженей. Вода разбивается о скалы на мельчайшие брызги, и кажется, будто вода кипит, окутанная паром... Не даром название водопада означает по-норвежски — дымящий... Общее падение воды, которое можно было бы здесь получить, равно почти полуверсте, около 500 метров, — но тогда трубы и турбины получились бы слишком громоздкими, почему строители решили разделить общую мощность реки между двумя станциями, — первая была уже закончена, когда мы ее осматривали в 1912 году, и развивала на своих 10 турбинах (колесах Пельтона) около 150 000 лош. сил. Другая станция строилась несколько ниже первой и должна дать около 110 000 лош. сил. Электрическая энергия алюминиевыми и медными проводами передается за 4 версты к заводу, около села Сохейм. Целый ряд в высшей степени интересных гидроэлектрических станций построен в настоящее время в Европе и в Америке, — но, к сожалению, объем этой книги не позволяет остановиться на их описании.

**Американские крупные гидроэлектрические установки.** Самым значительным используемым источником водной энергии, несомненно, можно считать знаменитый **Ниагарский водопад** на границе Канады и С. Американских Соединенных Штатов. Река **Ниагара** вытекает из озера Эри и впадает в озеро **Онтарио**, лежащее на 100 метров ниже первого. Падение это распределено весьма неравномерно; в 27 километрах от озера **Онтарио** ложе реки образует огромный подковообразный уступ, высотой около 50 метров, с которого низвергаются воды реки, образуя один из величайших в мире водопадов. В одну секунду река несет в себе свыше 6 000 куб. метров, т.-е. в три раза больше, чем наша **Нева**. Общая мощность, заключающаяся в этом водопаде, от 3 до 4 миллионов лош. сил. Уже в 1895 году практичные американцы приняли за использование этого водопада. Здесь не понадобилось никаких плотин, — часть воды была отведена в канал и оттуда поступала в 10 вертикальных железных трубопроводов с находящимися внизу их турбинами. Трубы эти и турбины были установлены в длинной и узкой шахте, откуда

шел подземный туннель для отвода отработавшей воды. От каждой турбины шел вверх огромный вал, на конце которого был укреплен электрический генератор.

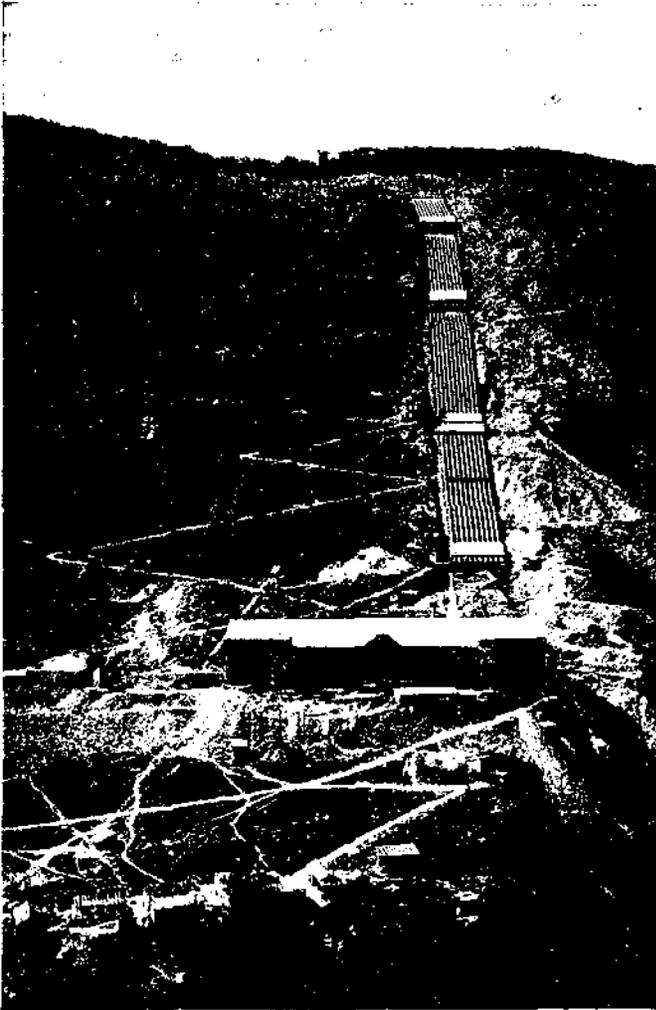


Рис. 35. Гидроэлектрическая станция Рюканфос.

Начиная с 1895 года, около Ниагары возник целый городок с несколькими гидроэлектрическими районными станциями и заводами, производившими бумагу, электроплавку руды и стали, алюминий, карборунд, кальций-карбид, искусственный графит для смазки, азотистые соединения из воздуха и т. д.

К настоящему времени использовано около  $1\frac{1}{2}$  миллиона лощ. сил, т.-е. больше  $\frac{1}{3}$  всей энергии Ниагары, и уже раздаются голоса, предупреждающие о скором исчезновении этого красивейшего водопада, прелькающего к себе тысячи туристов со всех концов света.

Новейшие установки на Ниагаре далеко оставляют за собой первые появившиеся там станции. Последние найдено более выгодным устраивать у самой воды внизу Ниагарской котловины, а воду подводить по каналам и подземным туннелям.

Одной из крупнейших Ниагарских станций можно считать установку Квинстон-Чиппавы (принадлежащей Hydro-Electric Power Commission of Ontario). Средством длинного заборного канала шириной 5 метров, глубиной около 12 метров, а длиной 20 километров удалось использовать напор почти в 100 метров, но для это пришлось вынуть около 11 миллионов куб. метров грунта и около 4 миллионов куб. метров скалы. По железным трубопроводам вода поступает к 5 турбинам мощностью около 55 000 лощ. сил каждая. Общая же мощность станции рассчитана на 300 000 сил, а канал рассчитан на пропуск воды для 600 000 сил.

Компания, которой принадлежит эта замечательная установка, снабжает энергией, помимо ряда заводов, 260 общин и городов на несколько сот километров в окружности и будет в ближайшее время располагать на своих станциях энергией в 1 389 000 лощ. сил. Эта же компания, по словам ее руководителя, имеет финансовую и техническую возможность построить новую, еще более мощную установку около Ниагары, мощностью до 1 миллиона лощ. сил, где только один канал обойдется в 200 миллионов рублей...

Другая компания (Niagara Falls-Power Company) заканчивает теперь постройку своей третьей станции; вода подводится к станции частью прежними ее каналами, частью по величайшему в мире напорному туннелю высотой около 10 метров и длиной около 1400 метров. Установка эта имеет всего три турбины, но каждая из них обладает мощностью в 70 000 сил, являясь, таким образом, величайшими в мире турбинами. Диаметр вала этой турбины, изображенной на рис. 20, — около метра, вес всех вращающихся частей — около 500 тонн, и вес генератора — около 700 тонн.

Еще крупнее будет строящаяся в северной Калифорнии гидроэлектрическая станция Пит № 1 с напором около 150 метров и конечной мощностью в 600 тысяч лощ. сил.

Но и это еще не является пределом для американских гидроэлектрических станций; так, разрабатываются

несколько проектов постройки сверхмощных станций на р. с в. Лаврентия и на р. Колорадо. На последней спроектированы установки в 8,5 миллионов лш. сил с электропередачами в 700 километров и водохранилище, рассчитанное на орошение 3,5 миллионов десятин...

Недостаток места не позволяет нам коснуться весьма интересных установок, где энергия реки затрачивается на работу насосных оросительных станций, как например, на плотине Шошон (близ города Минидока в С. Америке), где 30 000 лш. сил тратится на орошение около 18 000 десятин. Такого рода установки, обслуживающие оросительные предприятия, сыграют когда-нибудь огромную роль на нашем Юге и в Туркестане. Ниагарский водопад, несмотря на всю свою грандиозность, все-таки не может считаться величайшим водопадом в мире. В Бразилии на р. Игуазу (притоке р. Параны) существует водопад высотой 64 метра и 3 километра шириной; мощность его исчисляется в 8 миллионов лш. сил. Еще больше водопад Виктория на р. Замбези в Центральной Африке, высотой 120 метров и шириной около 2 километров. Их использование еще дело будущего, но рано или поздно, когда в том назреет потребность, и эти колоссы будут покорены человеком, — размах и быстрота современной техники утилизации водных сил в том служат порукой...

## ГЛАВА V.

### Использование гидравлической энергии и мировые запасы белого и черного угля.

Рост утилизации водных сил в разных странах. Использование водных сил в разных странах шло далеко не одинаковым темпом. Страны более бедные и более отсталые технически, естественно, не успевали идти в ногу со странами, где широкая научная разработка вопросов прикладной гидравлики совпадала с живой работой инженерной строительной мысли и неослабевающим развитием машиностроения. С другой стороны, некоторые страны, бедные углем, в роде Швейцарии, Италии и Швеции и отчасти Франции, в стремлении стать независимыми от ввоза иностранного угля, развили у себя чрезвычайно оживленное строительство гидроэлектрических станций.

В приводимой ниже таблице<sup>1</sup> виден ход развития использования водных сил некоторых стран за 1914—1923 гг.

	Мощность устан., турбин 1914—1915 гг.	1922—1923 гг.	Увеличение в %/о
Канада . . . . .	1 936 000	2 974 000	54
Франция . . . . .	800 000	2 100 000	163
Италия . . . . .	1 000 000	1 650 000	65
Япония . . . . .	590 000	1 500 000	154
Норвегия . . . . .	530 000	1 654 000	211
Испания . . . . .	281 000	580 000	106
Швеция . . . . .	850 000	1 560 000	84
Швейцария . . . . .	500 000	1 531 000	206
С. А. Соед. Штаты	8 609 000	9 540 000	11

<sup>1</sup> Таблица эта, равно как и часть сведений о состоянии использования гидравлической энергии в разных странах — взяты из статей проф. Э. И. Романского и инж. И. М. Суперанского, помещенных в „Известиях Научно-Мелиорационного Института“ за 1924 г., а также из других иностранных источников.

В этой таблице бросается в глаза быстрый рост утилизации водных сил во Франции, вынужденной расширить свои силовые источники в виду недостатка в угле во время войны, а также рост утилизации в Норвегии и Швейцарии, совершенно лишенных угольных запасов.

В Соединенных Штатах только после 1920 г. была создана специальная Федеральная Комиссия, ведающая рассмотрением проектов гидроэлектрических станций и выдачей разрешения на их постройку. Поэтому уже к концу 1923 года общая мощность всех построенных и строившихся гидравлических и гидроэлектрических станций достигала там огромной цифры 12 000 000 лощ. сил. Цифра эта говорит сама за себя, если припомнить, что мощность всех электрических генераторов на тепловых и гидроэлектрических станциях к 1 октября 1921 года достигала 14 667 000 киловатт (или около 20 миллионов лощ. сил). И это еще только начало: уже в 1924 г. вновь устанавливаются, по данным строительных фирм, около 2 миллионов лощ. сил. Прошений и проектов к концу 1923 года было подано на общую мощность 28 миллионов лощ. сил, при чем выдано разрешение на 7 миллионов лощ. сил. Уже сейчас, при утилизации 12 миллионов лощ. сил, это составляет около 43% всей (минимальной) гидравлической силы, имеющейся в Соед. Штатах; поэтому весьма вероятно, что в ближайшие десять лет весь „первоочередной“ запас гидроэлектрической энергии Штатов будет использован, и предприимчивость американских техников должна будет обратиться к другому роду энергии в природе.

На первом месте по степени использования водных сил стоит Германия, где уже более тридцати лет тому назад было приступлено к планомерному строительству гидравлических станций и где из 1,5 миллионов свободных гидравлических сил уже использовано около половины, т.-е. 750 000 лощ. сил. В южной гористой части Германии работает много станций с водохранилищами, из которых, например, начатая в 1918 г. постройкой станция Вальхензее будет обладать мощностью 168 000 лощ. сил. Намечена также к утилизации река Рейн, где можно будет получить свыше 1 300 000 лощ. сил. Лишившись части своих угольных районов, Германия особенное внимание уделяет теперь вопросу постройки крупных гидро- и торфоэлектрических станций, которые будут связаны общей сетью электропередач и поставят Германию на одно из первых мест в области электрификации.

В Италии, богатой в своей северной части источниками водной энергии, к 1923 году из ее общего запаса 5,5 миллионов лощ. сил использовано около  $\frac{1}{4}$ , а именно

1 250 000 лош. сил и 600 000 сил находится в постройке, что с мелкими установками составит цифру используемой энергии около 2 057 000 лош. сил, тогда как еще в 1908 г. было использовано всего около 550 000 лош. сил.

В Швейцарии, где гористая местность, обильная ледниками и горными потоками, представляет исключительно удобную обстановку для получения дешевой гидравлической силы, из общих ее запасов, исчисленных в 4 милл. лош. сил, в 1911 году было использовано лишь 380 000 сил, а к концу 1924 года эта цифра дошла до 1,5 миллионов сил. На электрическую тягу скоро там будет переведена вся сеть железных дорог, электрическое освещение имеется в самых глухих деревнях, и почти вся промышленность также работает на электрической энергии.

Запасы водных сил Швеции исчисляются в 6—6,75 милл. лош. сил, из какого количества к 1923 г. использовано около 1,2 милл. лош. сил и предполагается к 1927 году использовать 2,1 милл. лош. сил, т. е. около  $\frac{1}{3}$  свободных запасов.

В Норвегии, из ее 12 милл. гидравлических лош. сил к 1923 году утилизировано свыше 1 650 000 лош. сил и идет, равно как и в Швеции, дальнейшая оживленная работа в области утилизации водной энергии, которой скоро суждено будет вытеснить потребление угля не только для освещения и силы, но и иногда для отопления жилищ.

Война дала сильный толчок развитию постройки гидро-электрических установок и во Франции. Из ее значительных запасов водных сил, исчисляемых в 9 милл. лош. сил, в 1915 году было использовано лишь 750 000 сил, а в 1921 году было уже установлено 2 100 000 лош. сил к концу же 1924 г. — до 2 500 000 лош. сил. Сейчас там разрабатывается стройный план электрификации страны и предложено в ближайшие 2 десятилетия перевести на электрическую тягу около 10 000 километров железных дор. Из крупных установок, предложенных к постройке в первую очередь, замечательна гидравлическая станция в верховьях Роны около Женевы, мощностью в 280 000 лош. сил, где гигантская плотина высотой в 76 метров, запирающая ущелье, образует водохранилище в 5 миллиардов куб. метров. Часть энергии в этой станции будет идти в Париж по линии электропередачи длиной в 500 километров.

**Водные богатства СССР.** В СССР, по данным профессора Москвитина, запасы водных сил распределены следующим образом:

1) Северный район . . . . .	1 500 000	лош. сил.
2) Сев. Зап. район . . . . .	650 000	" "
3) Южный район . . . . .	1 000 000	" "
4) Урал . . . . .	260 000	" "
5) Кавказ . . . . .	23 000 000	" "
6) Сибирь . . . . .	10 265 000	" "
7) Туркестан . . . . .	4 584 000	" "
Всего . . . . .	41 259 000	" "

Эти данные, конечно, далеко не полны, так как совершенно нет сведений о запасах водной энергии для целого ряда рек Сибири и Туркестана. К сожалению, в отношении распределения этих водных богатств СССР поставлен в довольно неблагоприятные условия, так как наиболее заселенные промышленный, центральный и южный районы как раз обладают самыми меньшими запасами гидравлических сил. Впрочем, возможность развития в центральном (Подмосковном районе) торфоэлектрических станций несколько улучшает общее положение.

Из отдельных источников водных сил замечательна на севере в Беломорском районе река Нива (260 000 л. с.) р. Ковда (80 000 л. с.), р. Кемь (220 000 л. с.), р. Выг (200 000 л. с.), р. Онега (около 100 000 л. с. в нижней ее части); затем р. Суна, где, при полном использовании водной энергии в ее нижнем течении, можно получить около 30 000 лош. сил (по проекту, сделанному в 1916 году автором этой книги по поручению Военного Ведомства, начавшего там постройку завода азотной кислоты из воздуха). Река Свирь, намеченная к утилизации, может дать около 210 000 лош. сил, река Нева до 100 000 лош. сил; Волхов дает в среднем около 40 000 лош. сил.

На Кавказе река Кубань может дать около 200 000 лош. сил, река Терек — около 300 000 лош. сил, реки Черноморского побережья (Чорох, Бзыбь, Кодор и др.) — 250 000 лош. сил, Рион — около 300 000 лош. сил, Кура — 120 000 лош. сил, Аракс с притоками — 150 000 лош. сил, и т. д. Сейчас на Кавказе заканчивается постройка около г. Тифлиса Земо-Авчальская установка мощностью в 35 000 лош. сил, которая явится первой крупной гидроэлектрической станцией этого богатейшего края.

На Юге первое место занимает р. Днепр, пороги которого предположено утилизировать и шлюзовать в первую очередь. По имеющемуся проекту, там намечается около г. Александровска постройка высокой каменной плотины со шлюзами, где создается напор в 32 метра и будет установлено 850 000 лош. сил, что делает эту станцию одной из величайших во всем мире.

Энергией этой реки предположено снабдить южный промышленный район и электрифицировать несколько губерний. Проект этот также предусматривает возможность искусственного подъема воды для целей орошения около 400 000 десятин земли, страдающих от недостатка влаги.

В Туркестане только в долинах Ферганской, Чирчикской и Зеравшанской можно будет извлечь до 4 миллионов лош. сил. Из этого огромного запаса используется пока лишь несколько тысяч лошадиных сил. Появившиеся в последние годы проекты открывают неограниченные перспективы в деле утилизации водных сил и орошения засушливых земель этого края.

Советским правительством правильно учтены те выгоды, которые может дать стране утилизация водных сил и связанная с ней электрификация. Специальными органами составлен поэтому план ближайших работ в этой области, приведенный в следующей таблице.

Район.	Место расположения буд. установки.	Мощность в киловаттах.
Южный . . . . .	Р. Днепр.	До 820 000
Кавказ . . . . .	„ Белая.	„ 70 000
„ . . . . .	„ Терек.	„ 40 000
„ . . . . .	„ Кубань.	„ 40 000
Север . . . . .	„ Волхов.	„ 30 000
„ . . . . .	„ Свирь.	„ 100 000
Урал . . . . .	„ Чусовая.	„ 25 000
Сибирь и Туркестан	—	„ 80 000
Всего . . .		1 205 000

Стоимость осуществления этой огромной программы первой очереди — постройки 20 паровых и 10 гидравлических станций, предусматривающей использование 600 000 киловатт гидравлической и около 1 000 000 киловатт пароэлектрической энергии. (всего около 2 200 000 лош. сил), потребует затраты 370 миллионов рабочих дней, 6 миллионов бочек цемента, 150 миллионов штук кирпича, 8 миллионов пудов железа, 2,5 миллионов пудов меди и пр. и пр. Стоимость этих работ исчислена в 834 000 000 рублей золотом.

Если не считать мощности строящихся больших гидростанций, то из всего этого огромного водного богатства использование около одного миллиона лошадиных сил, т.-е. не больше 25%, приходящихся на долю мелких и весьма несовременных устройств, так как к 1916 году общее количество построенных в России турбин равнялось всего лишь 3 139 штук на общую мощность 104 000 лош. сил,

и ввезено было из-за границы с 1883 по 1913 г. около 910 штук на общую мощность 60 000<sup>1</sup>, т.-е. мощность одной из новейших Ниагарских турбин... Здесь перед нами еще огромное поле работы, чтобы сравняться с нашими западными соседями...

Мировые запасы гидравлической энергии и минерального топлива. Небезынтересно здесь будет привести сводку данных об утилизации водной энергии в разных странах.

НАЗВАНИЕ СТРАН.	Мощность имеющихся запасов водн. энергии в миллионах лош. сил.	Использованная мощ- ность в миллион лош. сил.	% использованн.	Водная энергия на 1 кв. км пло- щади, в лош. силах.		Водная энергия в лош. силах, на 100 жит.	
				Имеющ.	Использ.	Имеющ.	Использ.
1. СССР . . . . .	41,261	0,989	2,4	1,84	0,094	23	0,55
2. С.-А. Соединенн. Штаты . . . . .	28,100 51,398	9,800 —	35,0 —	3,72 —	1,29 —	31 —	10,6 —
3. Британские ко- лонии (кроме Ка- нады) . . . . .	30,000 50,000	0,700 —	— —	— —	— —	— —	— —
4. Канада . . . . .	25,700	3,280	12,8	5,13	0,655	322	40
5. Бразилия . . . . .	26,000	0,320	1,23	3,02	0,037	122	1,5
6. Япония . . . . .	8,000	1,500	18,8	19,13	3,62	15,4	2,9
7. Норвегия . . . . .	8,000	1,250	15,6	25,7	4,01	343	54
8. Швеция . . . . .	6,750	1,200	17,7	15,1	2,66	122	21,8
9. Б. Австро-Вен- грия . . . . .	6,460	0,566	8,8	1,07	0,084	13	1,1
10. Испания . . . . .	6,000	0,830	13,9	11,9	1,65	32,2	4,5
11. Франция . . . . .	5,587	1,600	28,7	10,4	2,98	14	3,9
12. Италия . . . . .	5,500	1,250	22,8	23,25	5,3	14	4,3
13. Швейцария . . . . .	4,000	1,400	35,0	96,5	33,8	106	37
14. Исландия . . . . .	4,000	1,000	25,0	38,4	9,61	5100	1270
15. Германия . . . . .	1,500	0,750	50,0	2,76	1,38	2,6	1,05
16. Англия . . . . .	0,900	0,200	22,2	5,95	1,32	2,4	0,5

<sup>1</sup> По данным проф. И. И. Москвитниова.

Всего, согласно этой таблицы, в перечисленных странах имеется от 207 757 000 до 251 055 000 лощ. сил гидравлической энергии, которую можно с выгодой использовать в настоящее время.

Как распределены и использованы ее запасы во всем мире?

Ответ на это может дать следующая таблица, составленная Американским Геологическим Комитетом.

СТРАНЫ СВЕТА.	Общий запас водных сил.	Использование до 1921 г.	% использования.
Европа . . . . .	45 000 000	8 877 000	19,73
Сев. и Средн. Америка	62 000 000	12 210 000	19,69
Южн. Америка . . . . .	50 000 000	424 000	0,85
Азия . . . . .	71 000 000	1 160 000	1,63
Австралия и Океания .	17 000 000	147 000	0,86
Африка . . . . .	190 000 000	11 000	0,01
Всего . . . . .	439 000 000	22 819 000	5,27

Таблица эта дает наглядное представление о распределении и использовании мировых водных сил. Мы видим, что наиболее интенсивно это использование идет в Европе и Америке, особенно в последней. Очень немного сделано в Азии, и почти нетронуты колоссальные богатства запасов водной энергии в Африке.

Как бы то ни было, около 23 миллионов лощ. сил, а в настоящее время, к концу 1924 года (по другим подсчетам), около 32 миллионов лощ. сил, бесполезно пропадавших раньше, — использованы человеком, сберегая ему не менее 200 миллионов тонн угля в год.

Мировые перспективы тепловой и гидравлической энергии. Прежде чем покончить с вопросом об использовании силовых ресурсов земного шара, взглянем на те перспективы, которые открываются перед человечеством в связи с еще далеким, но уже ощущаемым недостатком в каменном угле.

Чтобы понять положение дела, весьма полезно будет здесь ознакомиться с докладом, сделанным инженером Гейс в 1924 году<sup>1</sup>. Автор группирует собранные им

<sup>1</sup> El. Journal. № 2. 1925 г.

из различных источников материалы, дающие довольно полную картину состояния мирового энергетического хозяйства. Вот эти данные:

СТРАНЫ СВЕТА.	Жителей в мил- лионах.	Поверхность в милл. кв. кило- метров.	Коллич. учтенных запасов угля в милл. тонн.	Коллич. запасов бурого угля и сланцев в милл. тонн.	Всего запасов угля в миллион. тонн.	Годовая добыча в милл. тонн.
Австралия . . . . .	8	8,55	133 820	35 138	170 410	16
Африка . . . . .	132	29,82	62 290	1 054	63 344	11,6
Азия . . . . .	997	44,39	1 168 055	112 983	1 281 038	70,1
Америка . . . . .	207	43,06	1 746 565	1 506 947	3 253 512	526,0
Европа . . . . .	496	9,91	1 003 375	63 715	1 067 090	756,6
Всего . . . . .	1 840	133,65	3 814 105	1 719 837	5 834 394	1380,3

СТРАНЫ СВЕТА.	Запасы торфа в милл. кубических метров <sup>1</sup> .	Годовая до- быча нефти в тоннах.	Запасы водн. сил в милл. киловатт.	Используйов. милл. кило- ватт.
Австралия . . . . .	—	—	6,33	0,200
Африка . . . . .	—	—	0,15	—
Азия . . . . .	—	3 747 000	105,10	1,423
Америка . . . . .	30 000	89 304 000	66,85	9,378
Европа . . . . .	320 000 500	5 447 000	96,02	7,446
Всего . . . . .	320 030 500	98 498 000	274,46 (около 375 милл. л. с.).	18,497 (25,2 милл. лош. сил).

<sup>1</sup> 1 куб. метр торфа может считаться равным около 1/2 тонны воздушного сухого торфа, что соответствует по теплотворной способности от 0,2 до 0,3 тонн угля.

СТРАНЫ СВЕТА.	Запасы угля.		Запасы водной энергии.	
	На 1 чело- века тонн.	На 1 кв. км тонн.	На 1 чел. киловатт.	На 1 кв. км кило- ватт.
Австралия . . .	21,300	20.000	0,079	0,740
Африка . . . .	480	2.725	0,0012	0,005
Азия . . . . .	1,285	28.910	0,105	2,380
Америка . . . .	15,700	75.500	0,322	1,553
Европа . . . .	2,130	108.000	0,193	9,700
Всего . . . . .	3,170 (средн.)	43.563 (средн.)	0,149	2,053

Таблица эта чрезвычайно поучительна. Вот что она нам говорит.

При одинаковом годовом потреблении, около 1 380 миллионов тонн наличных запасов угля должно хватить на 4 300 лет, а по другим данным даже на 7 000 лет; кроме того, запасы торфа, обладающие способностью расти, возобновляясь полностью за период 300—400 лет, дадут готовый прирост около 1 000 000 миллионов куб. метров, что будет соответствовать 200—300 миллионов тонн угля в год.

Казалось бы, все обстоит благополучно и нет основания для беспокойства. Но это не так.

Уже сейчас во всем мире используется мощность около 120 миллионов лошадиных сил (не считая мощности автомобилей, паровозов и пароходов), из которых лишь одна шестая часть приходится на источники гидравлических сил<sup>1</sup>. При быстром росте потребления энергии можно ожидать, что через несколько десятков лет эта цифра удвоится и утроится, и тогда не хватит даже наличных запасов водной энергии земного шара, тем более что останется ряд производств, где уголь трудно будет заменить каким-нибудь другим источником тепла.

Хуже всего обстоит дело с нефтью. Запасов нефти, благодаря сильно возросшему ее потреблению для двигателей внутреннего сгорания, хватит не более как на

<sup>1</sup> По данным, приводимым Моисенко-Горевой в № 3 журнала „Электрификация“ за 1923 г., общее количество сил всех двигателей в СССР (кроме жел. дор.) равны 4 660 000 лошадиных сил, из них 1 314 000, или 28%, приходится на паровые машины, 1 212 000, или 26%, — на паротурбины, около 541 000 лошадиных сил, или 11,6%, — на ветряные двигатели, 731 000, или 13,7%, — на двигатели внутреннего сгорания и 708 000 лошадиных сил, или 11,9%, — на водяные двигатели.

несколько десятилетий, так как из 12500 миллионов тонн мировых запасов нефти уже извлечено около 40%. Особенно заинтересована в этом Америка, потребляющая большую часть добываемой нефти и где ее запасов хватит не более как на 10 лет. Не менее необходима нефть и для другой морской державы — Англии, и здесь кроется узел многих сложнейших международных отношений и будущих империалистических войн<sup>1</sup>. Без нефти сделаются неподвижными два десятка миллионов (а к тому времени много больше) автомобилей: имеющихся в Америке, не смогут летать эскадрильи из десятков тысяч аэропланов, неподвижными громадами стали станут в гаванях гигантские броненосцы и подводные лодки военных флотов, исчезнет целый ряд продуктов, добываемых из перегонов нефти, — одним словом, последствия истощения нефтяных источников будут неисчислимы по своим печальным результатам... Техническая и научная мысль упорно работает над способом получения искусственных нефтяных продуктов и, как кажется, стоят уже на верном пути, так как работы некоторых исследователей увенчались в этой области серьезным успехом.

С углем дело обстоит не так катастрофически. Обследованных его запасов хватит на многие годы. Из всего этого количества угля можно сделать куб высотой около 18 километров или покрыть всю площадь Европейской части СССР слоем в 1 метр. Тем не менее о сроке в 4000 лет говорить не приходится. Дело в том, что эта цифра нами установлена из современного годового потребления; но потребление угля растет в такой быстрой прогрессии, что срок этот придется значительно укоротить.

Выше, в главе, посвященной добыче угля, мы уже касались этого вопроса и указывали, что заграничные авторитеты уменьшают этот срок до 900 лет. Особенно озабочена этим вопросом Англия, являющаяся главным поставщиком угля для многих стран.

В 1870 году Правительственная Комиссия, после предостерегающих статей проф. Стенли Джевонса о необходимости экономии в расходовании угля, исчислила угольные запасы Англии в 147000 миллионов тонн, что при годовой добыче в 110 миллионов тонн должно хватить на 1300 лет. Но уже в 1900 году добыча угля возросла до 220 миллионов тонн, а срок длительности его запаса упал до 650 лет. В 1913 году добыча возросла до 287 миллионов тонн, а время истощения запасов сокра-

<sup>1</sup> См. Пьер Л'Эспаньоль. „Мировая борьба за нефть“. Издательство Украины и Султан-Заде. „Железо, уголь и нефть“. Изд. „Прибой“.

тилось до 500 лет. Если же рост добычи угля будет удваиваться каждые 25—30 лет, то последняя тачка из глубины английских рудников будет вывезена еще раньше, и праправнуки современного поколения англичан станут свидетелями разорения и промышленного паралича их страны, если наука не найдет новых источников энергии в природе.

К рассмотрению этих „глубоких резервов“ природной энергии мы и перейдем в следующей главе.

## ГЛАВА VI.

### Использование энергии будущего.

**Энергия морского прилива.** Обратимся теперь к рассмотрению другого источника гидравлической энергии, обязанного своим происхождением силе притяжения Луны и Солнца — морским приливам и отливам.

Энергия эта получается в результате последовательных подъемов и падений огромных водяных масс и оказывается, конечно, тем больше, чем значительнее высота приливной воды в данной береговой полосе.

Высота приливов на разных морских побережьях колеблется в очень широких пределах, в зависимости от неровностей морского дна близ берегов, от характера данной береговой полосы, от большей или меньшей ширины морских проливов, входов в бухты, устьев впадающих в море рек и пр. На берегах Ламанша, например, он доходит в среднем 6,5 метров (в Гранвилле — 8,2 м, в С.-Мало — 7,75 м, в Булони — 5,4 м), в Бристольском канале — 9 — 10 метров, на берегах Испании — 2,5 — 3 метров, на Атлантическом побережье С.-Штатов и Канады — 3 — 6 и более метров, и т. д.

Наглядное представление о грандиозной величине этой энергии может дать нам хотя бы следующий пример: если бы вся сила приливов и отливов на берегах Англии была полностью утилизирована, то ее с большим избытком хватило бы на удовлетворение силовых нужд во всей этой стране. К сожалению, однако, пользоваться этой силой, которая при всей мощи оказывается, благодаря очень медленному нарастанию и спаданию приливной волны, весьма слабо напряженной, практически возможно далеко не везде, а только в некоторых, сравнительно немногих, удобных для того по своему характеру, местностях морского побережья.

Во время прилива огромные массы воды надвигаются на морской берег и заливают его, а при отливе спадают, отступая обратно в море. Можно ли, спрашивается, прямо,

непосредственно, без всяких вспомогательных сооружений или приспособлений, на любом участке периодически заливаемого берега использовать силу этого движения воды, т.-е. заставить ее приводить в действие какой-либо двигатель? Расчет показывает, что это будет возможно, если заставить проходить через колесо или турбину значительное количество воды под некоторым напором, для чего необходимо устройство плотины и некоторых других сооружений.

Представим себе, что в нашем распоряжении имеется на берегу сообщающийся с морем узким проливом или входом и заполняемый во время прилива водой большой бассейн. Заградим его со стороны моря плотиной, оставив в ней неширокий открытый проход, установим в последнем наше колесо и посмотрим, какие получатся результаты. Положим, что площадь бассейна равняется 10 000 кв. метров (2 000 кв. саженей или немного менее десятины), а средняя глубина  $2 - 2\frac{1}{2}$  метра. Так как в сообщающихся между собой водоемах вода всегда стремится стоять на одной и той же высоте, то при повышении уровня моря во время прилива, например, на  $\frac{1}{10}$  метра в течение 10 минут настолько же должен подняться за тот же промежуток времени уровень и в бассейне, а для этого в последний, при указанной величине его, должно влиться из моря 1 000 куб. метров, т.-е. в каждую секунду через колесо, занимающее весь свободный промежуток в плотине, должно проноситься немного менее 1,75 куб. метров воды. Но тесный проход окажется не в состоянии легко пропускать чрез себя приливающую с моря в таком значительном количестве воду, которая поэтому станет скопляться и подниматься перед плотиной, образуя некоторый напор, под влиянием которого колесо начнет вращаться и производить работу. Нетрудно понять, что то же самое только при обратном токе воды (из бассейна в море) будет происходить и при отливе, и что, таким образом колесо будет работать почти безостановочно (с краткими перерывами в моменты стояния воды в море на самом низком и самом высоком уровне). Само собою разумеется, что такой силовой эффект должен получиться и при наличии в плотине щита, при помощи которого воду в бассейне можно задерживать на высшем приливном уровне и затем заставлять падать с большей или меньшей высоты.

Как видит читатель, утилизация силы приливов и отливов вполне возможна и даже легко осуществима, но только при том непременно условии, что слабость напряжения этой силы возмещается огромными массами действующей на двигательные механизмы воды. А чтобы

располагать такими массами, очевидно, нужно иметь под руками и соответственно большие водоемы или бассейны. Чем больше будут эти рабочие водоемы, тем и эксплуатация приливной силы пойдет успешнее и окажется более выгодной.

Так как об устройстве на морских берегах искусственных водоемов размерами в десятки или сотни тысяч квадратных метров в виду непомерно больших расходов не может быть и речи, то поэтому при сооружении приливно-силовых станций приходится довольствоваться только готовыми уже естественными углублениями или выемками в береговой полосе, т.е. оврагами, бухтами с узким входом, устьями рек и пр., которые легко могут быть заграждаемы со стороны моря плотинами. Но такие благоприятные для создания станций природные условия встречаются на морских побережьях не часто, а потому и пользоваться приливной силой можно далеко не везде, где она имеется.

**Старые приливно-силовые мельницы.** В основе своей идея утилизации силы приливов и отливов настолько проста и легко выполнима на практике (при наличии подходящих условий), что она сама собою должна была возникнуть и действительно возникла у приморских жителей еще в очень давние времена. В Англии, например, по вполне достоверным свидетельствам, мельницы (для помола зерновых хлебов), работавшие силой приливно-отливной воды, существовали уже в XI веке. Устраивались они тогда, вероятно, так же, как и в позднейшее время, когда при сооружении таких мельниц пользовались узкими устьями небольших рек или морских бухт, загороженных плотиной, с оставленным в ней свободным проходом (а впоследствии — со шлюзом), поперек которого, во всю его ширину, устанавливался между вбитыми в дно сваями большой и тяжелый плот, поднимавшийся и опускавшийся при колебаниях уровня поддерживавшей его воды. На нем подвешивалось большое, высокое и широкое колесо (до 4 саж. ширины), снабженное прямыми лопатками и концами своего горизонтального осевого вала опиравшееся на боковые вертикальные стойки на этом же плоту. Благодаря особым, наклонно опускавшимся вниз щитам, приделанным к переднему и задним краям плота, большая часть воды, устремлявшейся чрез проход в плотине из моря в бассейн во время прилива и обратно из бассейна в море при отливе, проносилась не под, а над плотом и, производя напор на лопатки затопленного в нижней части колеса, заставляла последнее вместе с его валом вращаться то в одном (при приливе), то в другом, обратном (при отливе), направлении. При помощи механического

приспособления это переменное вращение водяного колеса превращалось в передаточной системе, состоявшей из зубчатых колес, шестерней и пр., — в однообразное (в одном и том же направлении), причем и сила его переводилась затем на мельничные постава.

Старые мельницы этого рода сохранились от прежних времен кое-где на побережьях Англии и продолжают действовать еще и до сих пор. Такова, например, мельница, уцелевшая в Вулбридже (на юго-восточном берегу). Она стоит у входа в узкую и мелкую, загражденную плотиной бухту, служащую водозадерживающим бассейном, поверхность которого равна около  $2\frac{1}{2}$  десятин. Вододетствующее колесо с прямыми радиальными деревянными лопатками, имеющее в высоту (в диаметре) 14 футов, а в ширину (по оси) 6 футов, приводится в движение снизу, напором воды, падающей на нижние лопатки. Вращается оно при этом довольно медленно, а именно делает не более шести оборотов в минуту. Работа может продолжаться около 12 часов в сутки. Что же касается силы, получаемой от колеса, то она определяется в 10—12 лош. сил. На том же побережье находится силовая установка с двумя колесами, имеющими по 18 фут. в диаметре и 6 фут. в ширину и дающими каждое по 20 лош. сил, и с 7 мельничными поставами. Как названные, так и кое-какие другие захолустные приморские мельницы представляют теперь только исторический интерес в виду их малой продуктивности и низкой степени использования действия (20—30%) всей энергии воды.

В то время как в Англии и Бретани немногие сохранившиеся старые, примитивные, приливно-силовые мельницы доживают теперь свои последние дни, в некоторых других странах создаются в последнее время очень любопытные проекты и делаются удачные и заслуживающие полного внимания попытки утилизации приливной силы в довольно широких размерах.

Около десяти лет тому назад появился проект сооружения силовой станции на нормандском берегу Ламанша, близ города Гранвилля, где средняя высота прилива оказывается более 8 метров (немного менее 4 саж.). Намеченное для нее место представляет собой обширную ровную площадь, лежащую почти на уровне самой низкой воды, обнажающуюся поэтому только во время полного отлива и окаймленную с боков и сзади, как валом, невысокой грядой и благодаря этому дающую легкую возможность для заграждения со стороны моря плотиной и для превращения ее в бассейн, поверхностью в 1 кв. километр. В проекте поднимающаяся вода входит из моря в бассейн,

а спадающая уходит из него обратно в море чрез ряд установленных в плотине больших турбин, которые напором ее и приводят в движение. Так как в 24 часа происходят два прилива и два отлива, то при описанной установке они должны работать 16 часов в сутки.

**Новые проекты приливно-силовых установок.** Недостатки таких приливно-силовых станций заключались, главным образом, в их дороговизне, так как даже при наличии удобного места для устройства заграждающих плотин приходилось брать очень большое число тяжелых турбин, работающих на низких напорах. В последние годы, однако, с появлением новых усовершенствованных быстроходных турбин, позволяющих удешевить стоимость всей установки, а также в связи со все растущей потребностью замены тепловых электро-станций — гидравлическими, появилось несколько чрезвычайно интересных проектов использования силы приливов на берегах Англии, Франции и Калифорнии.

При наличии одного бассейна должна применяться описанная выше схема попеременного впуска и выпуска воды. Неудобство этой схемы заключается в том, что от 6 до 8 часов в сутки электрическая станция совсем не работает, или работает очень слабо.

Для устранения этого недостатка необходимо применять другую схему, предложенную еще в XVIII веке Белидором и в 1890 г. Десонгом, из двух связанных между собой бассейнов, с двумя станциями, из коих одна работает, когда другая стоит,

На побережье Бретани (во Франции) найдено сейчас несколько мест, где устройство таких морских гидро-электрических станций было бы довольно выгодным. Таковы местности в устье р. Роны между портом Сен-Тон и портом Сан-Губер, где удается заградить залив с общей площадью в 600 десятин и скапливать до 240 милл. куб. метров воды, при чем мощность, развиваемая станциями с установленными на них 35 турбинами, будет колебаться между 2600 и 117000 лощ. сил. Детально разработан также проект утилизации энергии приливов в заливе около Мон-Сан-Мишель (горы св. Михаила) в Бретани; там предполагается насыпка огромной каменной дамбы длиной 21 км, которая образует два связанных между собой бассейна с общей поверхностью 400000 гектаров (400 кв. км или около 40.000 десятин). Проектируемые станции могут давать от 300000 до 1000000 лошадиных сил. Автор проекта, инженер Мер, исчисляет стоимость этой установки в 2½ миллиарда франков (или около 300 миллионов золотых рублей).

В районе Гранвилля можно получить от 65 до 130 тысяч лошадиных сил, а вообще на северном и западном побережье Франции по предварительным расчетам возможна постройка приливных станций с общей мощностью до 1 300 000 лош. сил.

Не менее интересен проект утилизации морских приливов на западном берегу Англии, разработанный инженерами Джибб, Форгюссон и Мензис. Согласно этому проекту, приливная установка, являющаяся наиболее грандиозным проектным сооружением подобного рода, расположена в устье глубокого залива Сэверн недалеко от г. Бристоля. С сооружением этой установки связано создание за плотинами особого порта для валийского угля, площадью в 70 кв. километров, куда будут подходить через шлюзы морские пароходы; кроме того с ним связано устройство железнодорожного пути между Ньюпортом и Бристолем (через залив), сокращающего расстояние существующего железнодорожного сообщения на 80 км. Проект предусматривает две гидроэлектрические установки, из коих одна большая, основная, мощностью в 500 000 лошадиных сил, а другая, расположенная в 20 км от первой, будет играть роль вспомогательной, для усиления работы первой в часы интенсивной ее работы. Энергия будет передаваться под напряжением в 60 000 вольт в районы: Лондонский (176 км), Бирмингамский (115 км) и в Южно-Валийский угольный (40—60 км).

Стоимость плотин и станций при исполнении их в 7 лет исчислена в 25—30 милл. фунтов стерлингов (около 300 миллионов рублей). Себестоимость 1 киловатта энергии не превышает около ½ пенса (2 коп.), что надо признать весьма низкой ценой для гидроэлектрических установок приливного типа.

**Использование силы ветра.** Сила ветра проявляет себя в давлении на предметы, встречающиеся на его пути. Использование этой силы относится к самым отдаленным временам, когда применение паруса в мореплавании открыло новую страницу в истории человеческой культуры.

Мы не имеем данных для того, чтобы установить время, когда был изобретен первый ветряной двигатель. Но, во всяком случае, он насчитывает за собой добрую тысячу лет. В Европе ветряные двигатели, заимствованные от арабов крестоносцами, стали распространяться с начала XII века, при чем наружный вид их и внутреннее устройство почти без изменения прошли через века, сохранившись в „ветряках“ и „млынах“ на Украине.

Ветряные двигатели, состоявшие обыкновенно из горизонтального вала с четырьмя или шестью лопастями

и устроенные так, что их можно было устанавливать против ветра, нашли, благодаря простоте своей конструкции, самое широкое применение с сельском хозяйстве, где ими пользуются для помола зерна. В Голландии с давних пор ветряные двигатели употребляются также для откачивания воды с земель, залитых морем (польдеров) и осушаемых болот.

В СССР по данным на 1923 год имелось около 200 000 ветряных мельниц, общей мощностью в 540 000 лошадиных сил, перемоловших в 1914 году из общего урожая 3,4 миллиарда пудов — около 2 миллиардов. За границей ветряные двигатели почти совершенно исчезли, уступив место более надежным и сильным паровым и иным двигателям. Тем не менее в последнее десятилетие и здесь появились новые мысли, способствовавшие возрождению ветряных двигателей. Выяснилось прежде всего, что энергия, которую можно иметь от ветряного двигателя, не так уж мала, как это кажется на первый взгляд.

Измерения показали, что свежий ветер, дующий со скоростью 2,3 саж. в секунду оказывает на 1 кв. саж. перпендикулярной к его направлению поверхности около 1,5 пудов давления, а сильный ветер, дующий со скоростью 7 саж. в секунду — около 10 пудов. О действиях, которым подвергаются предметы со стороны ветра, дующего с силой урагана, не приходится говорить, — в этих случаях давление ветра достигает сотни пудов на 1 кв. сажень.

Новое слово в построении ветряных двигателей сказали американские конструкторы, создавшие около 40 лет тому назад оригинальный тип мощных и легких ветряных моторов, работающих даже при очень слабом ветре и в то же время не боящихся сильных его порывов, так как они имели устройство, автоматически ставившее крылья в безопасное положение от ветра. Кроме того они имели приспособление — нечто в роде большого флюгера — автоматически устанавливавшее ветряной двигатель в наивыгоднейшее его положение. Американские ветряные двигатели делают целиком из железа и имеют не шесть, а множество переставных железных лопастей, составляющих вместе довольно значительную поверхность. Устанавливаются они обыкновенно на высоких решетчатых башнях и служат для подъема воды, вращения небольших мельниц и станков, а также для производства электрической энергии. В Южной Америке они имеются почти в каждом более или менее крупном хозяйстве; в одной Аргентине таких двигателей установлено более 40 000 штук.

Двигатели эти очень удобны там, где не требуется постоянная сила, например для накачивания воды в запасные резервуары, откуда вода расходуется потом по мере

надобности. Мощность ходовых ветряных двигателей равна при средней силе ветра около 10—15 лошадиных сил, но построены и работают так же и большие двигатели с крыльями диаметром 20 метров, развивающие даже при слабом ветре несколько десятков лошадиных сил.

**Значение ветряных двигателей для СССР.** Для СССР с его небогатыми сельскими хозяйствами, где подчас установка парового или нефтяного двигателя еще долго будет недоступной роскошью, — усовершенствованные ветряные двигатели могут сыграть немалую роль.

По официальным данным за 1914 год роль ветра в производстве энергии (в миллионах киловатт-часов) была такова:

Род двигателя.	В мукомольн. деле.	В электр. станциях.	На фабриках и заводах.	Всего мил. киловатт-час.	%.
Водяные . . .	64	15,45	79,75	159,19	5
Тепловые . . .	96	1 211,55	1 116,45	2 424	80
Ветровые . . .	480	—	4,80	484	15
Всего . . .	640	1 227	1 200	3 068	100

Конечно, в промышленных странах роль ветровых двигателей в общем силовом хозяйстве не так значительна как у нас, но тем не менее в последние годы и там в сильной степени поднялся интерес к этим двигателям.

**Новейшие ветряные двигатели.** Усовершенствование в этой области использования силы ветра или, как ее называют, „синего угля“ состоит, главным образом, в увеличении коэффициента полезного действия, в повышении быстроходности, в удешевлении и упрощении всей конструкции двигателя в целом. Вместо прежних простых подшипников были, между прочим, с успехом применены подшипники на шариках, сводящие до минимума потери на трение.

Главное внимание конструкторов было обращено на автоматическое регулирование двигателя, так как даже незначительные колебания скорости вращения динамомашины, соединенной с ветряным двигателем, влечет за собою колебание в напряжении и вызывает мигание лампочек (системы Броун-Бовери, Лакура, Энзена и Виндинга и др.). В настоящее время все эти задачи успешно разрешены, и ветряной двигатель может в некоторых случаях успешно конкурировать с другими двигателями.

Главным недостатком ветряного двигателя служит **неравномерность** в развиваемой им силе, обусловливаемая непостоянством ветра. Может случиться так, что в самое нужное время ветер утихнет, двигатель остано-

вится, и станут обслуживаемые им машины. Для этого ветровые установки полезно соединять с каким-нибудь другим двигателем, работающим во время безветрия. Для этой же цели чаще всего пользуются батареей электрических аккумуляторов, заряжаемых во время работы ветрового двигателя и питающих во время остановки ветрового двигателя обслуживаемые им механизмы и осветительную сеть. Такие комбинированные ветро-электрические станции могут иногда оказаться не менее выгодными, чем гидравлические, и тепловые установки.

Иногда в качестве ветрового двигателя используются ветровыми турбинами, состоящими из колеса с лопастями на вертикальной оси, при чем лопасти с одной стороны поворачиваются боком навстречу дующему ветру, а с другой стороны колеса становятся под прямым углом к направлению ветра.

Американским электротехником Бруцем лет 25 тому назад была построена довольно крупная ветро-электрическая станция с колесом около 17 метров в диаметре, укрепленным на поворачивающейся башне высотой в 18 метров. Колесо это состояло из 144 крыльев, с общей поверхностью в 160 кв. метров и развивало до 20 лошадиных сил, приводя в движение небольшую динамомашину.

Ветросиловые станции могут найти себе применение в северных холодных странах, обладающих постоянными сильными ветрами, — так, например, в Маунт-Хопе (поселок Аляски на севере Америки) уже несколько лет работает ветро-электрическая станция, служащая не только для целей освещения, но и для отопления калориферами местной миссии.

Много надежд возлагают сейчас на применение к ветровым двигателям ротора Флеттнера<sup>1</sup> с таким успехом примененному в мореплавании, где этому изобретению, повидимому, суждено вытеснить прежние громоздкие паруса. Уже составлен проект постройки около Берлина огромных железных башен 200 метров высотой, с гигантскими ветровыми колесами и ротором, которые должны развивать мощность в несколько тысяч лошадиных сил.

Несомненно и здесь, в области использования силы ветра, остается еще немало над чем поработать, особенно, если иметь в виду, какие огромные природные запасы энергии здесь имеются в нашем распоряжении.

<sup>1</sup> Принцип ротора следующий: если в потоке воздуха с определенной быстротой вращать длинный легкий барабан, то последний, благодаря отклонению встречных воздушных струй, получит боковое движение. Как выяснили опыты, два таких больших ротора могут вполне заменить на судне существовавшие там паруса.

**Использование силы морских волн.** На море действия ветра проявляются, главным образом, в образовании морских волн. Волна — это колебательное движение частиц воды, обладающее вполне определенной скоростью распространения в зависимости от длины волны. Волнообразное движение воды распространяется также вглубь, постепенно изменяясь в своей силе. Чем сильнее ветер, тем более высокую волну он может поднять. Океанские волны во время сильных бурь достигают иногда 20 метров высоты и обладают колоссальной силой, разбрасывающей самые крупные каменные сооружения, защищающие порты и гавани. Было выяснено, что при высоте волн в 5 метров энергия их на поверхности одного квадратного миллиметра может быть исчислена в несколько сот тысяч лошадиных сил. Что сказать тогда об энергии волн во время бури на пространстве даже небольшой части океана?

Вполне естественно рождается мысль — нельзя ли эту дикую силу заставить работать на пользу человека?

Попытки такого рода делаются уже давно, да и теперь, время от времени, мы слышим о новых механизмах для этой же цели. Но, повидимому, пора для вполне удачного решения этого вопроса еще не пришла, так как в распоряжении техники имеется целый ряд других мало использованных источников энергии.

Одно из простейших приспособлений для утилизации энергии волн имеется в приморском городке Отен-Гров, неподалеку от Нью-Йорка. В нескольких метрах от берега вбит ряд свай, между которыми повешены на горизонтальных осях большие деревянные щиты, качающиеся вперед и назад во время прибоя. Щиты эти соединены тягами с поршнями насосов, качающих воду для поливки улиц и других городских нужд.

Есть проект установить на якорях несколько пловучих понтонов, связанных между собою шарнирами. При волнении понтоны эти начинают качаться и посредством особых, укрепленных на них насосов нагнетают воздух в центральный резервуар, откуда по трубам этот сжатый воздух доставляется на берег.

Интересен проект волнового мотора Бреша, состоящий из цилиндрических буйков, свободно насаженных на вертикальные оси, по которым они то опускаются, то поднимаются даже при малом волнении. Движение это передается на установленный над ними вал, связанный с электрической машиной, при чем передача эта устроена так, что вал может вращаться лишь в одном направлении. Установки подобного рода уже работают на побережье Атлантического океана. На одном приморском курорте

имеется такая установка, дающая энергию в 25 киловатт, достаточную для его освещения.

Французским инженером Гоше недавно был предложен проект волновой установки иного типа. Гоше предлагает устроить огромный поплавок в виде колокола, весом до 100 тонн, укрепленный между сваями; волновое движение заставляет этот поплавок то подниматься, то опускаться, сжимая находящийся в нем воздух, который по трубам идет в установленную на берегу камеру. В другом проекте, вдоль линии берегового прибоя предлагается устроить ряд маленьких бетонных камер, куда будут с силой устремляться волны, сдавливая находящийся там воздух. Последний, по особым каналам, будет собираться и использоваться для разных технических целей.

Автором настоящей книги недавно была спроектирована волно-силовая установка в виде длинной железобетонной подводной закрытой камеры, где установлены прочные стальные цилиндры с поршнями. Концы поршней выходят наружу, где они соединены с тяжелыми поплавками; заставляющими поршни при волнении двигаться вверх и вниз, перегоняя под большим давлением воду (а по другому проекту — ртуть), заставляющую вращаться колесо Пельтона, связанное с электрическим генератором, установленным в конце этой камеры. Электрическая энергия, выработанная станцией, по бронированным кабелям передается на берег. Вся установка удерживается на месте посредством троссов и якорей. Мощность такой пловучей подводной волновой станции в своем проекте исчислена автором в 50 000 лошадиных сил.

Как видно, область утилизации энергии волн составляет еще много для человеческой изобретательности.

**Солнце и жизнь на Земле.** Идея непосредственной утилизации солнечной теплоты далеко не нова и насчитывает за собой не одну сотню лет. Однако сравнительно невысокий уровень физических и химических знаний прежних веков и слабое развитие техники того времени не позволяли воплотить эти мечты в реальные формы. Бессознательно, однако, человечество давно уже научилось использовать и сохранять теплоту Солнца, — правда не непосредственно, но в форме разного рода топлива и водяной энергии. В сущности почти все законы, которыми располагал и располагает человек, обязаны своим происхождением Солнцу. Поверхность земли, покрытая растительным покровом, является важнейшим для человека собирающим и хранителем этой энергии. Находящееся в зеленых частях растения особое органическое вещество, называемое хлорофиллом, каким-то образом, под влиянием

тепловых и химических лучей Солнца, способствует разложению находящейся в атмосфере углекислоты и усвоению растением углерода, взятого от последней, при чем углерод этот составляет главный строительный материал, так сказать — скелет растения.

Поэтому, когда мы сжигаем дерево, мы заставляем этот углерод вновь соединиться с кислородом воздуха, выделив при этом известное количество теплоты. Вдумчивый наблюдатель может в блеске пламени костра и в мерцании тлеющего угля увидеть отсвет солнечных лучей, создавших когда-то топливо для этого костра, ибо каменный уголь, как известно, есть также не что иное как остатки доисторических лесов, погребенных под землей сотни тысяч лет тому назад.

В пище, которой мы поддерживаем свое существование, будь то растительная или животная пища, также скрыта часть солнечной энергии. Не даром древние обожествляли Солнце и его лучи, видя в них источник всего живущего на земле.

Вечный кругооборот влаги в нашей атмосфере, происходящий благодаря испарению воды с поверхности океанов и ее осаджению в форме облаков, дождя и снега в более холодных частях, — также обязан энергии солнечных лучей.

Ручьи и потоки, питаемые дождями и горными ледниками, сливаясь в величественные реки и образуя на крутых склонах kloкочущие водопады и пороги, — заключают в себе колоссальную энергию, которой человечество только начинает сейчас пользоваться. Энергия эта также целиком образована за счет энергии Солнца.

Ветры, надувающие паруса кораблей и заставляющие вращаться колеса ветряных мельниц, представляют собой воздушные течения, возникающие благодаря неравномерному нагреванию Солнцем различных областей земной поверхности. Даже запасы внутренней теплоты земли обязаны своим происхождением запасам теплоты Солнца — центрального светила, частью которого некогда была наша планета. Одним словом, мы можем теперь с уверенностью утверждать, что Солнце — это главный источник жизни на земле, и что почти все источники энергии, которыми пользуется современный человек — только ничтожно малые запасы этой энергии, предоставленные ему окружающей природой.

Невольно напрашивается здесь вопрос:

Как велики эти запасы? Надолго ли их хватит? На последний вопрос нельзя дать еще положительного ответа. Как бы то ни было, этот период, когда лучеиспускание Солнца будет еще настолько велико, чтобы под-

держивать жизненные процессы на земле, — исчисляется сотнями миллионов лет, и мыслящему человечеству пока еще рановато беспокоиться по поводу будущего обеднения солнечной энергии, подобно тому как сейчас начинает оно задумываться над сравнительно близким исчезновением нефти и угля.

Что же касается запасов и интенсивности солнечной энергии, то многочисленные исследования привели к следующим поразительным результатам.

Было найдено, что всей теплоты, излучаемой Солнцем в одну минуту, было бы достаточно, чтобы растопить слой льда вокруг него толщиной в 11,2 метров, или довести до кипения 48 миллиардов кубических километров ледяной воды.

Земной шар, удаленный от солнца на расстояние около 140 миллионов километров перехватывает лишь 1:2300000000 часть этой энергии, но и этого количества было бы достаточно, чтобы заставить растаять на нем в продолжение года воображаемый ледяной покров толщиной в 31 метр, облегающий всю землю.

Французский ученый М. Рожак, занимавшийся изучением теплового хозяйства земного шара, приходит к близким цифрам. По его расчетам 1 кв. метр земной поверхности (на границе атмосферы) получает в минуту 25 больших калорий (т.-е. солнечную постоянную он принимает равной 2,5 малых калорий), а все тепло, получаемое землей в одну минуту — 3,2 триллиона малых калорий. Человечество в год потребляет твердого минерального топлива около 1300 миллионов тонн и нефти около 98 миллионов тонн, что в переводе на тепловые единицы составляет, не считая дров, около 10,1 триллионов малых калорий, — иначе говоря, Солнце дает нам за 3 минуты столько же тепла, сколько дает топливо, сжигаемое за год во всем мире.

По вычислениям Рожака и других исследователей, вся лучистая теплота Солнца составляет от 80000 до 100000 триллионов больших калорий в секунду.

Небезынтересно привести здесь подсчет утилизаций солнечной энергии хлорофиллом растений. Можно считать, что 1 гектар (около 0,9 дес.) леса или луга извлекает за год от 2000 до 5000 килограммов углерода. На широте 45° 1 кв. метр леса дает за год около 0,25 килограмма древесины с теплотворной способностью в 4000 больших калорий, или всего 1400 больших калорий, что дает в минуту поглощаемость солнечных лучей в 5,32 малых калорий. Принимая, что до земной поверхности в среднем в этих широтах доходит на 1 кв. метр около половины солнечной теплоты, падающей на землю, или около

9750 малых калорий в минуту, получим степень полезного действия при усвоении растениями солнечной теплоты около  $5,32/9750 = 0,00055$ , или около 0,05%, т.е. величину весьма незначительную.

По новейшим исследованиям было найдено, что так называемая „солнечная постоянная“ для земли, без учета влияния атмосферы, равна 1,95 малых калорий, т.е. на поверхность в 1 кв. сантиметр, перпендикулярную к лучам Солнца, в одну минуту падает такое количество теплоты, которое может нагреть 1,95 грамма воды на 1 градус Цельсия. Для полушария, обращенного к Солнцу, это составит огромную цифру 2500 000 биллионов (2 500 000 000 000 000 000) малых калорий в минуту, что эквивалентно работе 237 000 000 000 000 лошадиных сил.

Более понятными эти огромные цифры нам станут, если мы скажем, что в среднем за 1 год на 1 кв. метр земной поверхности падает 2560 миллионов малых калорий, что соответствует средней работе 0,458 лошадиных сил, а на 1 десятину около 5,050 лошадиных сил.

Вот каковы те гигантские силы солнечной энергии воздействующей на поверхность нашей земли. В сравнении с этими 237 биллионами лошадиных сил все запасы гидравлической энергии на земле, исчисляемые максимумом в 8 миллиардов лошадиных сил (при чем полезно утилизируемым будет не более 700 миллионов), составят лишь 0,0034 процента, а вся энергия искусственная, получаемая человечеством во всякого рода двигателях и не превосходящая 120 миллионов лошадиных сил, будет составлять ничтожно малую величину, равную около

$\frac{1}{2\ 000\ 000}$  энергии, получаемой землей от Солнца.

Теоретически, теплота, получаемая 1 кв. метром в год, соответствует затрате около 2-х тонн угля, сжигаемого в котле современной паровой машины. Таким образом, для замены 2 миллиардов тонн каменного угля, добываемого за год во всем мире, было бы достаточно использовать солнечную теплоту с 1000 кв. километров, т.е. с поверхности уезда средней величины...

Вот где неисчерпаемый источник силы, откуда техническая мысль человечества в недалеком будущем извлечет новые гигантские количества энергии...

Попытки использования солнечной теплоты. Первая, исторически известная попытка непосредственно использовать солнечную теплоту, принадлежит знаменитому физику древности Архимеду, жившему около 2000 лет тому назад в гор. Сиракузах. Увы, это первое применение благо-

детельных солнечных лучей имело далеко не мирные цели. Предания говорят, что во время осады Сиракуз, родины Архимеда, римлянами, он предложил всем женщинам города, имеющим ручные туалетные зеркала, — а таких набралось несколько тысяч, — выйти на стены и направить отражение солнца, или попросту „зайчики“, на корабли осаждающих армий. В результате, если верить преданию, совокупное тепловое действие отдельных отражений Солнца вызвало пожар и гибель римского флота и Сиракузы были спасены...

В 1760 году известный натуралист Бюффон направил свет 360 небольших зеркал на расстоянии 70 метров на кусок дерева, и дерево сгорело. Вскоре после этого ему удалось расплавить посредством сферического (вогнутого) зеркала 3 килограмма олова.

В 1775 году Хозен в Дрездене (Германия) успешно применил для получения высоких температур параболические зеркала, а Вольф выплавил из руды некоторые металлы.

В 1770 году физик Соссюр устроил парник из 5 стеклянных ящиков, положенных один на другой, и получил температуру воздуха под нижним ящиком в  $110^{\circ}$ . В 1834 г. астроном Гершель повторил опыт под горячим небом мыса Доброй Надежды в Африке и получил температуру в  $120^{\circ}$ .

Адамс в 1878 году в Бомбее, закрыв черный котелок (черная поверхность лучше поглощает тепловые лучи) двумя стеклянными колпаками кипятил в нем воду и жарил бифштексы; одно время даже подумывали ввести этот прибор в обиход солдатских кухонь в Индии.

В 1890 г. русский астроном Церасский построил большое параболическое зеркало и достиг в фокусе его  $3000^{\circ}$ , при каковой температуре плавилась и кипели почти все металлы.

Профессор Ланглей делал опыты на вершине одной горы в Калифорнии на высоте 4200 метров с небольшим деревянным ящиком, закрытым с одной стороны двойной стеклянной стенкой и окруженным слоем ваты, и наблюдал повышение температуры внутри этого ящика до  $113^{\circ}$ . Другой американский ученый, Вери, производя такие же опыты в равнине, где солнечная постоянная не превышала 1,3 малых калорий на 1 кв. сантиметр в минуту, получал температуру в  $104—105^{\circ}$ . Известный американский электротехник Фессенден в начале этого столетия построил „тепловой ящик“ или, как его называют, тепловой аккумулятор, где повышение температуры достигало  $200^{\circ}$  и выше. В этой температуре вода быстро закипала, жарилось мясо, и даже плавилась некоторые легкоплавкие металлы.

Весьма интересную солнечную кухню устроил недавно проф. Аббот, один из астрономов Солнечной обсерватории горы Вильсон в Америке. Печь эта состоит из вогнутого полированного металлического луча, отражающего лучи Солнца на медную трубку, по которой все время циркулирует масло, нагревающееся до  $150^{\circ}$ . Посредством часового механизма это отражающее зеркало поворачивается, следуя движению Солнца на небе, что обеспечивает лучшее отражение тепловых лучей. Нагретое масло идет в особую духовую печь с изолированными от потери теплоты стенками и отдает свое тепло помещаемым внутри печи кушаньям, при чем тепло в этой печи сохраняется круглые сутки. В Калифорнии, стране с ясным климатом, сейчас имеется много домов, где под стеклянной крышей установлены баки с водой, нагреваемой до  $40 - 50^{\circ}$  и употребляемой для разных домашних надобностей.

Использование солнечной теплоты как источника силы. В конце XVI века неаполитанский ученый Порта, в своей книге „Естественная магия“, указывает, между прочим, на механические приложения солнечной теплоты. „Если поместить, — говорит он, — медный шар на вершине башни, и если от этого сосуда опустить вниз трубку, оканчивающуюся в резервуаре с водой, то, при нагревании верхнего шара огнем или солнцем, воздух в шаре расширится и выйдет из него по трубке. Когда солнце удалится, медный шар охладится, и в него всосется вода“.

Соломон де Ко в начале XVII века дал описание первой подъемной машины, приводимой в действие солнцем. Представим себе ряд медных ящиков, поставленных над водоемом и наполненных на одну треть водой; они расположены в ряд, а над ними проходит горизонтальная трубка, сообщающаяся посредством коротких вертикальных трубочек с водой каждого ящика. Солнечное тепло, производя расширение воздуха в ящиках, увеличивает давление его на воду, и заставляет ее по вертикальным трубкам входить в верхнюю горизонтальную трубку. В этой трубе сделано отверстие, из которого, может таким образом выбрасываться струя воды. Когда часть воды, содержащейся в ящиках, поднимается вверх, а воздух в них с наступлением ночи охладится и потеряет свою упругость, то вода из резервуара, сообщающаяся с ящиками посредством небольших сифонов с клапанами, поднимается и вновь наполняет ящики.

Более новые попытки применить солнечную теплоту в качестве источника движущей силы принадлежат французу Мушо и шведу Эрикссону. Мушо начал в семи-

десятих годах прошлого столетия с постройки небольших солнечных печей, состоящих из серебряного полуцилиндрического зеркала полметра ширины, покрытого стеклом, в фокусе которого он помещал небольшой котелок. За 3—4 часа в такой печи можно было сжарить мясо, выпечь три фунта хлеба, производить перегонку спирта и т. д. Потом Мушо, вернувшись к идеям Соломона де-Ко, построил аппарат для поднятия воды посредством солнечной теплоты на высоту до 14 метров. Не довольствуясь достигнутыми результатами, он сконструировал прибор, состоящий из конического поворачивающегося зеркала, в середине которого он укрепил железный котел, окруженный стеклянным цилиндром. Вода в котле испарялась, а пар поступал в поршневую машину мощностью около 1 лошадиной силы. Этот гелиомотор, названный так Мушо, и построенная Абелем Пифром в 1880 году солнечная машина фигурировали на многих заграничных выставках, приводя в движение печатный станок, печатавший на глазах у публики газету „Солнце“. Степень использования солнечной теплоты в этом гелиомоторе Мушо не превышала  $1—1\frac{1}{2}\%$ .

Мушо и Эрикссон пользовались для концентрации солнечных лучей большими вогнутыми параболическими отражательными зеркалами, в фокусе которых устанавливался паровичок и надлежащее положение которых по отношению к движущемуся по небу Солнцу поддерживалось посредством часового механизма. Вода в котле при таких условиях действительно кипела, и маленький паровой двигатель работал, но такой способ утилизации солнечных лучей оказался сопряженным с непомерными расходами, будучи мало продуктивным, крайне невыгодным и практически непригодным. К каким огромным и, следовательно, дорогим параболическим зеркалам приходится при нем прибегнуть для получения даже весьма небольших количеств двигательной силы, об этом мы можем судить по тому факту, что даже при очень благоприятных условиях (при пользовании горячими солнечными лучами в южных широтах) на одну лошадиную силу требуется, по расчету, около 10 кв. метров (около  $2\frac{1}{2}$  кв. саж.) зеркальной поверхности. Наиболее усовершенствованный из таких солнечно-паровых моторов, установленный Эрикссоном в 1898 г. в Пасадене (Калифорния), снабженный параболическим зеркалом с поверхностью в 930 кв. метров и обошедшийся крайне дорого, давал при своем функционировании всего только около 10 пар. лош. В виду таких более чем скромных результатов Эрикссон, упорно работавший в течение многих лет над решением поставленной им себе задачи, пришел в конце концов

к тому заключению, что концентрационный способ пользования солнечными лучами совсем негоден для экономной работы, и решительно отказался от него.

Другой, гораздо более практичный и дешевый метод механической утилизации солнечной теплоты был предложен (в 80-х годах прошлого века) французским ученым Шарлем Телье. Главнейшей частью аппарата, устроенного этим изобретателем, является плоский „пластинчатый“ паровик, нагреваемый непосредственно падающими на него солнечными лучами. Он представляет собой большой, но очень низкий металлический ящик, герметически закрытый сверху тонким толем или железным листом, предназначенным для восприятия солнечной теплоты. Узкое пространство между этим листом и дном ящика наполняется не водой, а какой-нибудь очень летучей жидкостью — например, сернистым углеродом или сгущенным в жидкость аммиачным газом. Так как жидкости эти кипят уже при очень низких температурах, то солнечной теплоты, поглощаемой толем и передающейся внутрь паровика, оказывается вполне достаточно для энергичного паро- или газообразования. Получающийся при выставлении аппарата на Солнце газ довольно высокого давления поступает в мотор и приводит его в действие, а затем, пройдя чрез холодильник, где снова превращается в жидкость, направляется в паровик обратно так что содержащийся в последнем и циркулирующий в замкнутом круге летучий жидкий материал совсем не растрачивается при работе аппарата.

Хотя Шарлю Телье, предназначавшему свой солнечный мотор, главным образом, для подъема воды в целях орошения и мечтавшему, между прочим, о мирном „завоевании“ при помощи Солнца африканских пустынь, нуждающихся для превращения их в культурное состояние только в обильном орошении, — и не удалось создать выработанный во всех деталях и пригодный для практики солнечный мотор, но его идея этого мотора (с плоским паровиком, или парообразователем) не заглохла: много лет спустя ею с успехом воспользовались другие техники-изобретатели при их попытках механической утилизации солнечной теплоты. Об этих новейших попытках мы, сделав предварительно несколько пояснительных замечаний, и поговорим в дальнейших строках.

В системах солнечно-тепловых двигателей, которые были изобретены и испытаны за последние годы, вода нагревается солнечными лучами, прямо, без посредства собирательных стекол или зеркал падающими на обширную поверхность плоского паровика, до  $95^{\circ}$ — $100^{\circ}$  Ц. и даже выше. Так как повседневный опыт показывает нам, что при обыкновенных условиях тела на земной

поверхности никогда не нагреваются Солнцем в такой сильной степени, то, весьма естественно, у читателей может возникнуть вопрос: каким же образом вода в упомянутых системах разогревается при указанной обстановке солнечными лучами до такой необычно высокой,  $100^{\circ}$  температуры, т.-е. до точки кипения. В ответ на этот возможный вопрос мы заметим прежде всего, что определяемая термометром температура какого-либо тела, подвергающегося непосредственному влиянию солнечных лучей, не дает нам никакого понятия о количестве всей теплоты этих лучей. В самом деле, вода, например, выставленная на Солнце, поглощая получаемую ею от последнего теплоту, в то же самое время теряет и отдает большую или меньшую часть ее в окружающую среду. Таким образом, степень нагревания тела солнечными лучами, или температура его, всецело обуславливается в каждый момент величиной разности количеств полученной и потерянной им теплоты, и вот эту-то только разность, — а вовсе не величину тепловой силы лучей, — термометр и указывает большим или меньшим повышением ртутного столбика. Так как разные тела обладают неодинаковой способностью поглощать и отдавать теплоту, то поэтому при действии на них одних и тех же тепловых лучей и степень разогревания их оказывается неодинаковой. Так, если у одного из двух рядом выставленных на Солнце и показывающих одну и ту же температуру термометров покрыть шарик черной краской или сажой, сильно поглощающей теплоту, то ртуть в нем быстро поднимается и будет стоять значительно выше, чем в другом. Тот же самый результат получится и без зачернения шарика, если только так или иначе предохранить термометр от отдачи им тепла, — например, если поместить его внутрь закрытого стеклянного сосуда.

Стекло, как известно, теплопрозрачно, т.-е. пропускает чрез себя тепловые лучи, однако же не все, а только светлые (с короткими волнами), исходящие от светящихся тел вроде Солнца; темные же или тепловые лучи (с длинными волнами) от нагретых темных предметов (например, от сосуда с горячей водой) не проходят чрез него. Поэтому солнечные лучи свободно проникают чрез стеклянную стенку термически изолированного теплового ящика и нагревают находящиеся в нем воздух или предметы; последние становятся при этом источником темных тепловых лучей, которые, встречая на своем пути непроходимое для них стекло, отражаются от него обратно. Таким образом, в прибор поступают через стекло все новые и новые количества теплоты, которые благодаря тому же стеклу и изоляции (например, ватой) не находят выхода

\*

наружу, а скопляются, аккумулируются внутри все в больших и больших количествах, поднимая, как мы видели, температуру в ящике не только до точки кипения воды (100° Ц.), но и гораздо выше. Указанными теплозадерживающими свойствами стекла объясняется, между прочим, высокая по сравнению с окружающей средой температура в парниках, отчасти в оранжереях; ими же пользуются при устройстве и всех новейших солнечно-силовых систем, в которых плоские парообразователи снабжаются стеклянными „парниковыми“ рамами, предназначенными для уловления и сохранения солнечной теплоты, к беглому описанию которых мы теперь и переходим.

**Солнечно-силовая установка Шумана.** Из числа этих систем — которые, к слову сказать, все созданы американскими инженерами — мы укажем прежде всего на небольшую опытную солнечно-силовую установку Франка Шумана, построенную в 1905 г. (в Филадельфии). Роль парообразователя играет в ней очень мелкий прямоугольный резервуар, или, точнее, низкий ящик, имеющий 6 метров в ширину и 18 метров в длину и тщательно закрытый сверху двумя расположенными на очень близком расстоянии одна от другой стеклянными рамами. На дне ящика, тотчас под рамами, уложен змеевик с циркулирующей в нем водой. Под влиянием солнечных лучей в пространстве под рамами температура поднимается до 120—130°, вода кипит в змеевике и дает обильный и достаточно напряженный пар, давлением которого и приводится в действие небольшой паровой двигатель обыкновенного типа (поршневой) или паровая турбина. Эта установка действовала в 1908 г. в Фактори (близ Филадельфии) как нельзя более успешно, при чем получение от нее силы обходилось дешевле, чем при обыкновенных паровых машинах, работающих углем.

При общей поверхности нагрева, в 478 кв. метров за 8 часов работы было произведено 2190 кг пара, т.е. 0,5 кг пара с 1 кв. метра в час против 20,25 кг в обыкновенных котлах. Паровая машина развивала около 3 лошадиных сил и качала на высоту 10 метров 11 куб. метров в минуту. При ценах на уголь выше 13,6 довоенных франков работа этой машины обходилась дешевле работы обычной паровой машины. Убедившись в практичности и экономической выгодности своего солнечного мотора, Шуман приступил к разработке проекта большой, рассчитанной на добывание 1000 паров. лошадиных сил солнечно-силовой системы, отличающейся от только что описанной некоторыми частностями своего устройства и предназначенной им для целей орошения в южных широтах. По его расчетам, в таких, например, областях, как Нижний Египет или штаты

Техас, Новая Мексика, Аризона, Южная Калифорния и пр. (35—30° с. ш.), не говоря уже о тропических странах, заливаемых потоками очень горячих солнечных лучей, для солнечно-силовой установки указанной мощности вполне достаточен плоский „парниковый“ квадратный парообразователь с длиной стороны в 120 метров (около 56 саж.), и, значит, с площадью в 14,400 кв. метров (3,136 кв. саж., или около 1 $\frac{1}{3}$  десятины). Этот огромный парник представляет собой в проекте вырытый в земле очень неглубокий резервуар с асфальтовым дном и со стенками из креозотированного дерева. В резервуар наливается вода слоем в 75 миллиметров (около 1 $\frac{1}{2}$  вершка), а сверху он герметически закрывается деревянно-стеклянной рамой, находящейся на расстоянии 15 сантиметров (3 с половиной вершка) от поверхности воды. Вторая такая же рама, устройство которой, при указанных огромных размерах резервуара, обошлось бы очень дорого — в шумановском парообразователе заменяется тонким (в 1,5 миллиметра толщиной) слоем жидкого парафина (плавится при 40° Ц.), плавающего поверх воды и передающего последней поглощаемую теплоту. Для того, чтобы образующийся пар не производил опасного давления на стеклянную раму, циркулирующая под парафином вода доводится только до температуры, близкой к точке кипения, и поступает в резервуар или прямо, или пройдя предварительно чрез большой цилиндрический бак (диаметром в 22 метра и высотой в 6 метров, вместимостью в 2280 куб. метров) в котором она запасается в горячем состоянии для работы ночью, а также по утрам и вечерам, когда Солнце греет мало, — в помещении паровой турбины низкого давления, связанной с конденсатором, охлаждаемым холодной водой. Так как давление в конденсаторе вследствие сгущения поступающего в него пара меньше, чем в турбинной камере, то горячая (около 95° Ц.) вода в последней закипает и дает в достаточном количестве пар, устремляющийся в турбину, приводящий ее в действие и затем выходящий из нее в холодильник. Там он превращается обратно в воду, которая по трубам отводится в сторону нагревательного резервуара и возвращается в последний снизу, чрез многочисленные мелкие отверстия в его дне, не смешиваясь с нагретой водой (под парафиновым слоем) и постепенно вытесняя ее в запасный бак или прямо в турбинную камеру. Таков в самых общих чертах шумановский проект, при осуществлении которого на устройство самой дорогой части системы, а именно гигантского парообразователя или нагревателя, потребуется около 40 000 долларов (по 40 долларов, или 80 руб. на каждую пар. лош. силу). Шуман, полагает, что такие крупные

(чем крупнее тем дешевле и выгоднее) солнечно-силовые заводы, или станции, снабженные усовершенствованными (тем же изобретателем) паровыми двигателями низкого давления, могут давать под тропиками, — где их прежде всего и предполагается соорудить, — в одной только Америке силу в количестве нескольких миллионов паров. лош., при чем эта солнечно-паровая сила будет обходиться гораздо дешевле угольно-паровой даже при цене угля в 3 доллара за тонну (10 коп. за пуд).

Этому весьма интересному проекту Шумана не суждено было осуществиться, но тем не менее к 1914 году по его проекту была сооружена в Каире (Египет) довольно крупная солнечная установка, состоявшая из 5 кипятильников, расположенных в фокусах параболических зеркал 62,5 м длины и 4 м ширины и снабженных поворотным механизмом для наивыгоднейшей их установки по отношению к падающим солнечным лучам. Часовая производительность этой установки равна 500 кг при давлении 1,05 атмосферы. Мощность паровой машины низкого давления с конденсацией достигала 50 лош. сил, а степень использования в котле теплоты доходила до 57%. Установка эта уже могла успешно конкурировать с обычной паровой машиной при цене 12,5 франков за тонну угля.

**Новые солнечно-тепловые двигатели.** Другая солнечно-силовая система в том же роде, предназначаемая тоже, главным образом, для целей орошения, изобретена инженером Уилси. Наиболее существенной частью в ней является такой же плоский, с большой теплопоглощающей поверхностью „парниковый“ водный резервуар с двойной стеклянной рамой, но получающаяся в нем горячая (95°—100° Ц.) вода, поступающая из него в тщательно защищенный от охлаждения толстыми слоями войлока и пр. бак, служит не для парообразования, а для нагревания котла, с жидким сернистым ангидридом или так называемым сернистым газом. Воспринимая теплоту воды, эта крайне летучая жидкость быстро испаряется и дает сильно напряженный, оказывающий весьма высокое давление (более высокое, чем пар в обыкновенных паровых машинах) газ, которым и приводится в действие (поршневый) мотор. Выходящий из мотора отработавший, но далеко не вполне потерявший напряжение газ (с давлением около 3-х атмосфер) поступает в конденсатор, поверхность которого охлаждается холодной водой и легко сгущается там в жидкость, которая помпой, работающей силой мотора, перекачивается обратно в котел. Таким образом, в этом сернистогогазовом двигателе, функционирующем, к слову сказать, очень экономно, рабочая жидкость циркулирует все время в замкну-

том круге, и, значит, первоначальный запас ее совсем не расходуется при работе. Что же касается горячей воды, нагревающей котел с жидким сернистым ангидридом, то при помощи особой помпы, приводимой в действие тем же мотором, она поднимается в установленный на некоторой высоте распределительный резервуар, из которого и стекает по трубе назад в нагревательный бассейн, под двойную стеклянную раму. В этой системе установлен еще вспомогательный паровик обыкновенного типа (с угольной толкой), который пускается в ход в случае надобности (при временном отсутствии или недостатке солнечной теплоты) и обеспечивает непрерывность работы.

Небольшая опытная солнечно-силовая станция была устроена Уилси в 1911 году в Нидльсе (Калифорнии). Она работает безукоризненно и при небольших, сравнительно, размерах своего нагревательного бассейна (воспринимающая солнечную теплоту поверхность имеет около 100 кв. метров, или 21 кв. саж.) дает в среднем силу в 15 лош. сил.

Основываясь на данных своего обширного опыта, Уилси приходит к тому выводу, что устройство такой большой солнечно-силовой станции в Калифорнии, — где каждый квадратный метр нагреваемой Солнцем поверхности парникового бассейна может поглотить не менее 5 000 калорий в день, — обойдется около 160 долларов (320 рублей) на одну пар. лош. силу (значит, сооружение солнечного двигателя мощностью, например, в 500 сил будет стоить почти 100 000 долларов), между тем как стоимость обыкновенного парового двигателя (с толкой) не превышает 40 долларов на одну силу, т. е. вчетверо дешевле. Но зато солнечный мотор Уилси работает несравненно экономнее парового: получение силы в одну лошадиный час прием обходится (считая тут все расходы на эксплуатацию, погашение и проценты на затраченный капитал) всего только в 0,6 цента (1, 2 коп.), в то время как при угольно-паровом — более чем втрое дороже. В южных странах с горячим Солнцем, она, повидимому, имеет все шансы получить самое широкое распространение.

Упомянем еще здесь о двух новейших проектах утилизации солнечной энергии проф. Берлинского университета А. Маркузе и Дорнига в Италии.

Солнечная машина Маркузе<sup>1</sup> должна состоять из ящика с небольшим раструбом, на конце которого укреплена большая стеклянная линза, собирающая солнечные

<sup>1</sup> Следует отметить, что подобную идею значительно раньше высказывал русский ученый К. Э. Циолковский.

лучи и направляющая их через небольшое отверстие внутрь особого отполированного снаружи и черного внутри шара, заключенного в ящике и хорошо изолированного от потери теплоты. Внутри этого шара находится другой, меньший шар, который отражает лучи на внутреннюю поверхность наружного шара, который служит как бы ловушкой солнечных лучей. Теплота, утилизируемая стенками шара передается окружающему его маслу, кипящему при значительной температуре и отдающему свою теплоту установленному поблизости паровому котлу с водою.

Другой проект проф. Дорнига и Боджио еще более интересен; он касается вопроса использования теплоты воды южных морей и океанов. В самом деле—море можно рассматривать как гигантский парник, верхним стеклом которого служит атмосфера. Под действием солнечных лучей верхние слои нагреваются сильнее, достигая температуры 20—30°, в то время как на глубине нескольких сот метров, куда не проникают лучи солнца, эта температура вечно держится на 5—6°. По идее изобретателей морская вода при температуре 25° пропускается через особую камеру с трубками, по которым циркулирует легко кипящая жидкость (например, нашатырный спирт), пары которого идут в установленные рядом турбины. Отработанный пар из последних сгущается в конденсаторе и вновь поступает в котел. Конденсатор, связанный с турбиной охлаждается холодной водой, подающейся по трубопроводу с глубины 500—600 метров. Таким образом, для работы машины используется разность температуры около 20° между верхними и нижними слоями воды, что обуславливает невысокую тепловую отдачу всей установки.

Авторы проекта предполагают установить все механизмы на солидных железобетонных понтонах, удерживаемых якорями, и передавая энергию на сушу посредством подводного кабеля. Общая стоимость установки в 130 000 лошадиных сил исчислена ими в 100 миллионов рублей, а эксплуатационные годовые расходы—в 9 миллионов рублей, что при 780 миллионах киловатт-часов, выработанных станцией, составит лишь 1,1 копейки за 1 киловатт-час энергии, т.е. значительно дешевле энергии на лучших современных паровых станциях.

Конечно, только будущее покажет, насколько практичны и экономически выгодны эти проекты.

Неудобство солнечных паровых станций заключается в том, что для получения пара под сколько-нибудь значительным давлением необходима температура выше 100° и устройство прочных и дорогостоящих трубопроводов.



В новейших установках это неудобство обходят тем, что пар получают при давлении ниже атмосферного, что возможно и при температуре ниже  $100^{\circ}$ , и затем перегревают его, как это делается на современных паровых станциях, искусственным образом, отчего получается значительная экономия в месте и стоимости всех устройств.

Это испарение удобно производить в особых автоиспарителях (системы Гофурье), состоящих из закрытого и изолированного от потери теплоты бака, в верхнюю часть которого поступает горячая вода, стекающая книзу по ряду железных воронок. При создании некоторого разрежения внутри этого испарителя часть воды испаряется и отводится посредством паропроводов, а оставшаяся часть воды снова поступает в солнечный котел. Содержащаяся в воде грязь оседает на стенках конусов и на дне сосуда, откуда легко удаляется. Применение таких автоиспарителей улучшает циркуляцию и нагревание воды в трубках солнечного котла, так как вода туда поступает без примеси пара. Для обеспечения непрерывности действия солнечной установки в случайные часы облачности — между солнечным котлом и автоиспарителем можно включить водяной аккумулятор тепла (в роде котла системы Рута), состоящий из большого котла со стенками, обшитыми плохими проводниками тепла, откуда горячая вода может расходоваться во время перерыва в работе солнечных котлов.

В последние годы Берландом был разработан весьма интересный проект утилизации солнечной энергии, в котором им были применены все описанные выше усовершенствования. Солнечный подогреватель его системы состоит из длинного параболического зеркала, в фокусе которого, т. е. на линии, где собираются отражаемые зеркалом лучи, укреплен трубообразный паровой котел, окруженный стеклянным цилиндром. Ось зеркала, в отличие от установки Шумана, не горизонтальна, а параллельна оси земли (для климата Сахары это составит угол около  $20^{\circ}$  к горизонту). Такое расположение обеспечит более отвесное падение солнечных лучей на зеркало и большую тепловую отдачу, а также будет способствовать лучшей циркуляции воды в паровом котле. Самое зеркало, посредством роликов и сильного часового механизма автоматически поворачивается соответственно с движением Солнца также с целью лучшего использования его лучей.

Процесс использования тепла в такой солнечной установке происходит следующим образом:

1. Вода накачивается в солнечный котел, где подогревается до  $90^{\circ}$ .

2. Горячая вода собирается в водяном котле-аккумуляторе.

3. Из аккумулятора вода идет в автоиспаритель Гофурье, где частично превращается в пар  $80^{\circ}$ , а неиспарившаяся вода при температуре  $70^{\circ}$ — $75^{\circ}$  снова накачивается в котел.

4. Пар из испарителя поступает в подогреватель, отапливаемый каменным углем, где приобретает температуру  $120^{\circ}$  (возможно, конечно, устройство и солнечного подогревателя).

5. Подогретый пар поступает в турбину с конденсатором, откуда выходит в виде воды с температурой  $25^{\circ}$ , и снова накачивается в солнечный котел.

Каковы технические результаты этой установки?

При поглощении 1 кв. метра зеркала около 8—9 больших калорий в минуту и тепловой отдаче котла в 60%, вода в нем получает около 300 калорий тепла в час. При понижении температуры воды в испарителе с  $20^{\circ}$  до  $80^{\circ}$  каждый куб. метр воды даст теплоту, достаточную для образования 18 килограммов пара, что дает в турбине с конденсатором в  $25^{\circ}$ —3,18 индикаторных лошадиных силочасов (или 2,5 эффективных силочасов на валу турбины).

Расчет показывает, что общие затраты на подогрев 18 килограммов конденсатора и 982 килограммов воды до  $90^{\circ}$  потребуют 10 990 калорий, для чего находим около 370 кв. метров зеркал, или около 15 кв. метров на 1 лош. силу. Установив разные потери, Берланд считает, что в климате Египта надо иметь около 18 кв. метров на 1 лош. силу.

Кроме того, для перегрева 18 кг. пара (из 1 кубич. метра воды) до  $120^{\circ}$  необходимо около 8 кг. угля, или 1450 калорий тепла, из коих около 1 000 калорий превращается в механическую работу.

Таким образом, один гектар (10 000 кв. м. около 0,9 десятин) может дать до 550 лош. сил, при чем продолжительность работы такой установки будет равна 10 часам в течение около 330 дней в году.

Берландом разработан чрезвычайно интересный проект солнечно-силовой электрической станции для Туггуртского оазиса в Сахаре с населением в 12 000 человек и обильным пальмовым насаждением (около 350 000 стволов), требующими поливки и мощности в 100 киловатт. Все чаще появляются также предположения о возможности и выгоды устройства ряда солнечных силовых станций в южных колониях Франции для питания током электрических железнодорожных линий, которые не будут нуждаться в водопроводе, как обычные железные дороги.

Конечно, это еще первые робкие шаги солнечно-силовой техники, и для конструкторов и изобретателей здесь огромное поле для творческого полета их мысли. Задача стоит того, чтобы над ней поработать, — ведь одни безбрежные пространства Сахары способны дать на своих 5 милл. кв. километрах до 250 миллиардов лоша. сил, т.-е. в сотни раз более того, что сейчас необходимо всей человеческой культуре...

Для СССР успехи солнечной силовой техники также представляют немалый интерес. Если в районе Ленинграда и в средней части СССР установка солнечных двигателей, благодаря значительной облачности и невысокому напряжению солнечной теплоты, не может быть экономически выгодной, то в южных губерниях, на Закавказьи и особенно в Туркестане, где небо ясно и солнечные лучи с избытком падают на землю, — там солнечные двигатели, несомненно, должны найти себе самое широкое применение. Доказательством этого возникающего интереса к солнечно-силовым установкам может служить недавнее образование при Петровско-Разумовской С.-Х. Академии в Москве особой Комиссии по изучению солнечных двигателей.

**Внутренняя теплота земного шара.** Запасы внутренней теплоты земного шара с трудом поддаются точному учету. Мы только можем теперь судить о глубине залегания огненного внутреннего ядра. В отдаленнейшую геологическую эпоху, — много миллионов лет тому назад, — вся наша планета представляла огненножидкую массу, на поверхности которой, как шлак на расплавленном железе, едва начинали обозначаться контуры суши. Прошли снова миллионы лет, и благодаря излучению теплоты земли в межпланетное пространство поверхность земли покрылась тонкой корой, на которой мало-по-малу возникала органическая жизнь. Мы говорим тонкой, так как даже сейчас толщина твердой земной коры не превышает нескольких десятков километров — ничтожная величина по сравнению с диаметром земли — 12000 верст, тоньше яблочной кожуры рядом с яблоком...

Что внутри под этой тонкой корой? В каком состоянии находятся внутренние глубокие слои земного шара? В этом вопросе мнения ученых расходятся. Одни считают внутренность земли в огненно-жидком состоянии, при чем отдельные всплески этого огненного моря мы иногда наблюдаем при извержении вулканов, — другие отводят этой жидкой массе более скромное место, считая что внутреннее ядро все-таки состоит из твердого вещества. Как бы то ни было, температура и давление внутри земного шара должны быть огромны, и мы, по нашим лабо-

раторным наблюдениям, производящимся в узких пределах нескольких тысяч градусов и атмосфер, не можем себе составить никакого представления о действительном состоянии материи на глубине тысяч верст.

Человечество кое-где и сейчас уже пользуется внутренней теплотой земли, хотя и в ничтожно-малых размерах, как, например, в горячих целебных источниках, но как об источнике энергии, о внутренней теплоте земного шара стали подумывать лишь в самое последнее время.

При прорытии глубоких шахт было замечено, что с углублением в почву температура последней возрастает на 30—33° по Цельсию, так что на глубине около 1 версты (до такой глубины и даже более достигает несколько шахт в Европе) окружающая температура доходит до 30°, сильно затрудняя производящиеся работы. В Америке около Верхнего озера в одном медном руднике было обнаружено увеличение температуры в 1° на каждые 67 метров, а в другом месте — на каждые 123 метра.

Попытки и проекты использования подземных источников тепла. В Италии, в Тосканском промышленном районе уже около 20 десятков лет идет использование внутренней земной теплоты, заключенной в горячих вулканических парах, вырывающихся там из горных расщелин. Там есть районы, где на расстоянии одна от другой в несколько десятков метров рассеяны многочисленные трещины глубиной до 120 метров, откуда вырывается горячий пар под давлением в 3 атмосферы. Содержащийся в нем некоторые вредные примеси вначале сильно тормозили работу поставленной там в 1897 году паровой машины, но постепенно дело наладилось, и с 1905 года там уже работает несколько паровых машин. В 1912 году была установлена турбина в 300 лошадиных сил, а с 1916 г. после установки особых кипятильников и очистных аппаратов, удалось пустить в ход станцию с 2 турбино-генераторами в 3000 лошадиных сил каждый. Ток, вырабатываемый станцией, питает окружающий район с городами Флоренция, Пиза, Ливорно, Сиенна и др. Жители Флоренции, пользующиеся трамваями, могут похвастаться, что они пока единственные во всем мире передвигаются силою внутренней теплоты земли.

Успех первых опытов в этом районе заставил итальянских техников обратить внимание на усовершенствование в этой области. Сейчас предполагается новая установка на одном французском курорте, где источником движущей силы будет пар из местных горячих источников, при чем здесь намечена та же схема, что и в недавнем проекте утилизации солнечной теплоты Берланда. Горячая вода при температуре около 90° идет в ряд осо-

бых автоматических испарителей системы Гофурье, состоящих из железных или алюминиевых, защищенных от охлаждения, сосудов, где вода медленно протекает по тонким железным воронкам, отчасти испаряясь при этом. Пар из этих сосудов проходит через особый пароподогреватель, отапливаемый небольшим количеством угля, после чего, приобретя температуру от  $122^{\circ}$  до  $186^{\circ}$ , вступает в паровую турбину с конденсатором. Теплая же вода, вытекающая из последнего, при температуре  $46^{\circ}$  поступает в купальное заведение.

Такие естественные тепловые источники имеются не только в Италии, но и в ряде других стран, где тоже подумывают об их использовании. Япония, Новая Зеландия, Кавказ, Южная Америка, Исландия, Аляска и Калифорния обладают немалым числом таких горячих источников, отчасти уже использованных.

В Калифорнии, в графстве Сонома, пробиты две скважины, пар которых вращает турбины местной электрической станции. Там же город Хельдбург снабжается светом и теплом от такого же подземного источника энергии. В Дании недавно разработан проект использования тепла многочисленных горячих ключей и гейзеров Исландии, где их теплую воду предполагают по деревянным трубам провести в близлежащие города для целей отопления. В Аляске имеется долина, покрытая многочисленными горячими источниками, носящая название „долины тысячи курильщиков“ за клубы пара, вечно стоящие над этим местом; по предварительным соображениям эта долина может дать еще большее количество энергии, чем Тосканская долина в Италии.

У читателя, наверно, родится вопрос — почему не попытаться прокопать такую шахту, чтобы на ее глубине могла бы закипать вода и превращаться в пар, который можно было бы использовать в паровой турбине? Такой вопрос задавали себе уже некоторые выдающиеся заграничные техники. Для того, чтобы дойти до температуры в  $100^{\circ}$ , пришлось бы прорыть шахту глубиной в 3—4 000 метров, а для достижения температуры в  $200^{\circ}$  — до 8 километров.

С таким проектом выступил недавно (в 1920 году) на одном лондонском съезде известный заграничный инженер Парсонс, предлагавший вырыть такую шахту, глубиной около 18 километров, для использования теплоты земного шара, но встретил ряд серьезных возражений. Если даже допустить, что удастся построить такие машины, которые могли бы производить рытье шахты при температуре выше кипения воды, что было бы возможно лишь при устройстве специальных охлаждающих аппаратов, — то все-таки вряд ли можно окупить те огромные затраты,

которые понадобились бы на осуществление такого гигантского предприятия, о котором уже давно мечтал известный французский астроном Фламарион. Есть и еще одно обстоятельство, которое ставит под большое сомнение выполнение такого проекта; дело в том, что, благодаря низкой теплопроводности горных пород, приток тепла к воде, налитой в эту шахту, будет настолько слаб, что там может испариться лишь весьма незначительное количество воды, — во много раз меньше, чем даже в самых примитивных котлах, не говоря уже об усовершенствованных паровых котлах, позволяющих снимать с 1 кв. метра до 100 и более килограммов пара в час. Чтобы увеличить отдачу такой подземной установки, пришлось бы ей придать совершенно невыполнимые размеры. Но все-таки вопрос об искуственной утилизации земной теплоты стоит не так уж печально: на очереди — использование горячих источников и паров, вырывающихся на поверхность земли, и дальше — использование тепла около готовых уже подземных отдушин — вулканов, — задача, которая по своей трудности и смелости наверное еще не скоро будет по силам человеческой технике.

**Внутриатомная энергия.** Вот те природные запасы энергии, которыми располагает и может в ближайшее время располагать человеческая техника.

Однако некоторые открытия последних десятилетий в области физики открыли перед нами совершенно новые горизонты в области получения энергии.

Эти новые ее источники по сравнению со всеми другими, о которых мы здесь говорим, — необъятно велики и поистине неисчерпаемы. В начале этого столетия физиком Кюри был открыт новый, чрезвычайно редкий в природе элемент, названный радием за его поразительные свойства выделять особый род лучей, действующих на организм и проникающих через непрозрачные предметы. Выяснилось также, что радий самопроизвольно все время выделяет, вместе с потоком частиц, некоторое количество теплоты и сам при этом исчезает бесследно. Материя здесь превращается в энергию, — поразительный факт, послуживший началом новой эры в области физики и перевернувший все наши прежние представления о природе материи.

Исследования показали, что окончательное распадение радия происходит в 2500 лет; выяснилось также, что почти все другие вещества обладают известной радиоактивностью, нуждаясь, однако, для своего разложения в огромных периодах времени. Работами ряда ученых было найдено, что энергия такого распада атомов, заключенная в веществе, — необъятна и с трудом поддается точ-

ному исчислению. Один грамм радия, разлагаясь в 2 000 лет, по определению английского физика Д. Томсона, выделяет 100 миллиардов килограммометров энергии; Эберхам считает ее равной 80 миллиардам, а французский физик Лебон — около 7 миллиардов.

Как бы то ни было — эти цифры подавляюще велики. Возьмем даже низший предел — 7 миллиардов килограммометров. Если бы эту энергию мы могли освободить в продолжение одной секунды, мы получили бы мощность около 100 миллионов лш. сил... Энергия 1 грамма радия была бы достаточна, чтобы провести тяжелый товарный поезд из Ленинграда в Москву, а запаса энергии распада 30 тонн — одного вагона радия хватило бы, чтобы заменить все современные двигатели на земном шаре в продолжение года... Такими же колоссальными запасами энергии, повидимому, обладают все окружающие нас вещества, только распад их происходит в бесконечно долгое время.

Перед техникой будущего стоит, таким образом, заманчивая задача — найти то „волшебное слово“, которое могло бы ускорить этот естественный процесс распада атомов и тем дало бы в руки человека эти неисчерпаемо огромные запасы энергии.

### Заключение.

Мы познакомились здесь в общих чертах с тем путями, по которым шло развитие силовой техники последнего времени. Было бы, конечно, совершенно невысказимо дать на протяжении небольшой книги сколько-нибудь полное освещение тех многочисленных машин-двигателей различных систем, которые появились за этот период.

Как основное характерное явление последних десятилетий в деле построения силовых двигателей надо отметить углубление и пристальное изучение тех физических, механических и химических процессов, которые имеют место при работе данного двигателя.

Работы Корно, Джоуля, Мейера, Ранкина, Парсонса, Стодола, Цейнера и других исследователей выяснили механические и тепловые процессы, происходящие в котле паровой машины и паровой турбины, поставив дальнейшее их развитие на строго научную почву.

Применение перегрева пара, высоких давлений и топок с угольной пылью позволили за последнее десятилетие поднять общий тепловой коэффициент полезного действия

паровой установки до 27—28%, что еще совсем недавно считалось совершенно невыполнимым.

Изобретение газовых двигателей упростило силовые установки, позволив обходиться без дорогостоящих и громоздких котельных установок. Изображение газогенератора позволило использовать сорта топлива, считавшиеся до этого времени малоценными и бросовыми. Последние годы дали газовым двигателям — новое неожиданное широкое применение в области использования газов, получавшихся при металлургических процессах в доменных печах.

Появление керосиновых, нефтяных и бензиновых двигателей в еще большей степени, чем паровой и локомотив, помогло завоевать пространство и время, так именно этим моторам обязаны мы поразительными успехами автомобилостроения и авиации. Легкий, но мощный бензиновый двигатель дал человечеству, наконец, возможность осуществить свою стародавнюю мечту — покорить воздушную стихию, — подобно тому как паровой двигатель помог ему победить океаны и сушу.

Каждый год, каждый месяц — дает что-нибудь новое в конструкции и работе современных силовых двигателей.

Еще недавно, например, для Дизеля считалась границей сотня — другая сил на один цилиндр, — а теперь уже 1500 сил не являются высшим пределом. Двигатель Стилла, остроумно объединившей паровую машину с двигателем Дизеля, открывает здесь для машиностроительной техники заманчивые перспективы. Далеко не сказано также последнее слово в области других двигателей внутреннего сгорания, особенно автомобильных и авиационных моторов.

Вытеснение капризного и дорогостоящего бензинового двигателя более экономичным нефтяным двигателем, по видимому, дело самого близкого будущего. Вообще говоря вся силовая техника последних десятилетий проходит под знаком достижения возможно большей экономичности двигателей и в этом отношении успех налицо.

Паровая турбина и паровая машина достигли, по видимому, своей зрелости; дальнейшее их усовершенствование вряд ли возможно в сколько-нибудь крупных пределах: полезная отдача — 28—29% современных больших паровых установок близка к своему теоретическому пределу.

Двигатели внутреннего сгорания дают 35 и даже 43% (двигатель Стилла) и здесь есть еще широкое поле для дальнейшего их усовершенствования.

В водяных двигателях экономичность почти не оставляет желать ничего лучшего — 93% полезного действия, — вот предел, которого достигают современные крупные

водяные турбины. Появление ультра-быстроходных турбин (Каплана, Лавачека и др.) открывают и здесь широкие перспективы в деле возможного упрощения и удешевления гидравлических установок.

Техника утилизации тепловой энергии топлива всех видов и энергии гидравлической на мощных центральных станциях, — стремительно развивающиеся на глазах этого поколения, целиком обязаны своим ростом электротехнике, разрешившей в восьмидесятых годах великую задачу преобразования и передачи энергии на расстояние посредством электрических токов высокого напряжения. Все большее и большее значение приобретает в экономике отдельных стран и народов — правильное энергетическое хозяйство, — выражение появившееся лишь в последние годы. Особенное значение оно имеет для СССР, которая является первой страной в мире, где социалистическая форма народного хозяйства позволила поставить задачу рационального использования силовых запасов в полном ее объеме и значении.

Мощность станций в 500—600 тысяч лошадиных сил не является уже сейчас чем то исключительным. Близятся к осуществлению установки в миллион лошадиных сил. Единичная мощность паровых и гидравлических турбин доходит до 100 000 сил и наверно еще ближайшее пятилетие удвоит эту колоссальную мощность.

Электропередачи на расстоянии 600 километров с напряжением 220 000 вольт скоро будут превзойдены линиями длиной в 1 500 километров с напряжением в пол-миллиона вольт.

Исключительно быстрые успехи радио-техники с каждым днем делают все возможное разрешение задачи беспроводной передачи энергии сулящее в корне изменить весь уклад нашей жизни.

Оживленная научно-техническая работа идет также в области использования силы приливов, ветра, солнечной теплоты, теплоты земного шара и с каждым годом, — правда, — еще далекий призрак истощения угольных и нефтяных запасов земли делается для нас все менее страшным...

Наконец, разгадка тайны атома и овладение необъятно огромными запасами внутри-атомной энергии окончательно сделают человека властелином над всеми силами природы и день, когда это будет, станет днем величайшего торжества человеческой техники...

## ОГЛАВЛЕНИЕ.

	СТР.
Предисловие . . . . .	3
Глава I. Паровые двигатели . . . . .	5
Развитие паровой машины. Локомобили. Паровые турбины и их развитие. Паровые котлы. Трубчатые и водотрубные котлы. Принадлежности котельной установки. Электрические паровые котлы и паровые аккумуляторы Рута.	
Глава II. Двигатели внутреннего сгорания и новейшие тепловые двигатели . . . . .	33
Газовые двигатели. Двигатели внутреннего сгорания с жидким топливом. Автомобильный двигатель. Двигатель Дизеля и его применение. Авиационные двигатели. Возможное усовершенствование парового двигателя. Парорутная турбина Эммета. Двигатель Стилла и Фарко. Газовая турбина.	
Глава III. Гидравлические двигатели . . . . .	58
Развитие водяных двигателей. Водяные турбины. Турбина Френсиса. Колесо Пельтона. Современное турбиностроение за границей.	
Глава IV. Современные источники энергии . . . . .	70
Электрическая передача энергии. Современные паровые центральные станции и их устройство. Рост паровых электрических станций. Современные гидроэлектрические станции и их развитие. Главные типы гидроэлектрических станций. Волховская гидроэлектрическая станция. Скандинавские установки: Трольгата и Рюканфос. Американские крупные гидроэлектрические установки.	
Глава V. Использование гидравлической энергии и мировые запасы „белого“ и черного угля . . . . .	102
Рост утилизации водных сил в разных странах. Водные богатства в СССР. Мировые запасы гидравлической энергии и минерального топлива. Мировые перспективы тепловой и гидравлической энергии.	

Проф. О. Д. ХВОЛЬСОН

## ХАРАКТЕРИСТИКА РАЗВИТИЯ ФИЗИКИ ЗА ПОСЛЕДНИЕ 50 ЛЕТ

Свидетель и летописец полувековой истории физики в оригинальной высоко-поучительной книге обзорекает достижения своей науки за последнее полувековье, отмечает ее богатейшие приобретения и, сопоставляя их с успехами физики за предшествующие полвека, делится своими впечатлениями о характере ее эволюции...

Книга принадлежит к области философии физики и составляет здесь крупное и интересное явление. С большой пользой и удовольствием прочтет ее каждый интересующийся развитием естествознания; она не требует специальных познаний ни по математике, ни даже по физике, обстоятельно разъясняя и излагая все те физические понятия, факты и теории, над которыми она оперирует, и предполагает лишь умение читать серьезные книги.

(„Педагогическая Мысль“.)

Стр. 218.

Ц. 1 р. 20 к.

## Е. Кресси — СОВРЕМЕННАЯ МАШИНА

### ТЕПЛОВЫЕ ДВИГАТЕЛИ

Перевод с английского инж. М. С. Горфинкеля

**СОДЕРЖАНИЕ:** Каким образом работает современная паровая машина. Пионеры до Уатта. Джемс Уатт. Получение пара. Современные поршневые машины двойного действия. Паровые турбины. Газ вые двигатели. Бензиновый двигатель. Нефтяной двигатель. Паровоз. Судовые машины. Топливные проблемы настоящего и будущего.

«Книга о машинах Эдварда Кресси, известного английского популяризатора в области машиноведения, написана для юношества, не вооруженного основательными познаниями в математике и физике. Применительно к такому кругу читателей, автор избегает всяких сложных математических выкладок, а где это необходимо по ходу изложения, довольствуется простейшими и наглядными вычислениями.

Язык изложения простой и безыскусственный, а трактовка предмета наглядна, разностороння и, благодаря удачным сравнениям и аналогиям, очень поучительна.

Такие вопросы, как расширение и конденсация пара, тонкие особенности паровой турбины, сложные термические процессы в двигателях внутреннего сгорания, новейшая идея поверхностного горения газов в применении к паровым котлам и т. п. вопросы, автор, не вдаваясь в строго научные подробности, разрешает просто и доступно.

Книга изобилует таким множеством новейших данных, что будет прочитана с интересом и всяким инженером».

(Из предисл. переводчика.)

Стр. 303.

С 142 рис.

Ц. 2 р. 50 к.

## Ганс Доминик — В ВОЛШЕБНОМ МИРЕ ТЕХНИКИ

Перевод с немецкого инж. И. Мандельштама

**СОДЕРЖАНИЕ:** Сказка об энергии. Пар-силач. Власть огня. Сила воды. По проводам в даль. Чародей-электродвигатель. Стальные гончики. Железные птицы. Голоса в эфире.

Стр. 139.

С 89 рис. в тексте.

Ц. 1 р.

Глава VI. Использование энергии будущего . . . . .

Энергия морского прилива. Старые приливно-силовые мельницы. Новые проекты приливно-силовых установок. Использование силы ветра. Значение ветряных двигателей для СССР. Новейшие ветряные двигатели. Использование силы морских волн. Солнце и жизнь на Земле. Попытки использования солнечной теплоты. Использование солнечной теплоты, как источника силы. Солнечно-силовая установка Шумана. Новые солнечно-силовые установки Уильси. Внутренняя теплота земного шара. Попытки и проекты использования подземных источников тепла. Внутриатомная энергия.

включение . . . . .

2470

Цена 85 к.

Д Е П

-282199-

RLST



0000000088787



*[Handwritten signature]*