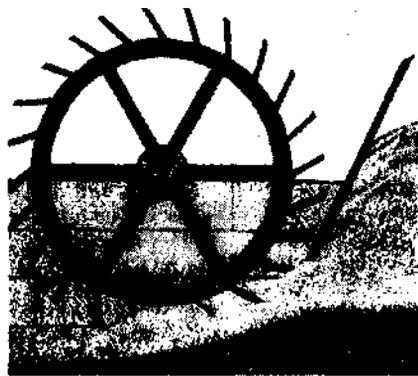


# ГИДРОТУРБИНА

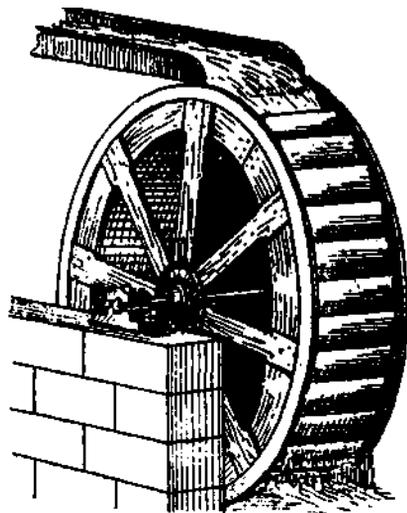
В истории человечества водяные двигатели всегда играли особую роль. На протяжении многих веков различные водяные машины были главным источником энергии в производстве. Затем развитие тепловых (а позже электрических) двигателей сильно сузило сферу их применения. Однако везде, где имелись дешёвые гидроресурсы (ручей с быстрым течением, водопад или порожистая река), водяной двигатель мог оказаться предпочтительнее всех других, поскольку был очень прост по своей конструкции, не требовал топлива и имел сравнительно высокий КПД. После того как в первой половине XIX века была изобретена водяная турбина с очень высоким КПД, гидроэнергетика пережила как бы второе рождение. С началом электрификации по всему миру развернулось строительство гидроэлектростанций, на которых электрогенераторы получали свой привод от мощных гидротурбин различных конструкций. И в наше время на долю гидротурбин приходится немалая часть мирового производства электроэнергии. Поэтому это замечательное устройство по праву входит в число самых великих изобретений.

Водяная турбина развилась из водяного колеса, и прежде чем говорить о ее устройстве, следует сказать несколько слов о водяных колесах. Как уже отмечалось, первые водяные колеса стали использоваться в древности. По конструкции они делились на нижнебойные (или подливные) и верхнебойные (или наливные).

Нижнебойные колеса были наиболее простым типом водя-



*Нижнебойное водяное колесо*



*Наливное водяное колесо*

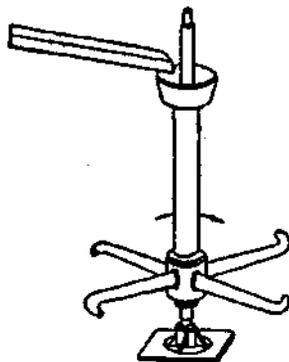
ного двигателя. Они не требовали для себя строительства каналов или плотин, но в то же время имели самый низкий КПД, так как их работа основывалась на достаточно невыгодном принципе. Этот принцип заключался в том, что подтекающая под колеса вода ударяла в лопатки, заставляя их вращаться. Таким образом, в подливных колесах использовалась только сила напора воды. Более рациональны с энергетической точки зрения были наливные колеса, в которых использовался еще и вес падающей воды.

Устройство наливного колеса также было очень просто. Как видно из рисунка, по ободу большого колеса или барабана приделывался ряд ковшей. Вода сверху из желоба наливалась в верхний ковш. Наполненный водой ковш становился тяжелее, опускался вниз и тянул за собой весь обод. Колесо начинало вращаться. На место опускающегося колеса становился следующий ковш. Он тоже наполнялся непрерывно текущей водой и начинал опускаться. На его место приходил третий, потом четвертый и так далее. Когда ковши доходили до нижней точки обода, вода из них выливалась. При прочих равных условиях мощность верхнебойных колес была выше, чем у нижнебойных, но зато эти колеса имели большие габариты и невысокую скорость вращения. Кроме того, для их эффективной работы требовалось создавать значительный перепад воды, то есть строить каналы, плотины и прочие дорогостоящие сооружения.

Любое водяное колесо насаживалось на вал, который вращался вместе с колесом, а от него вращение передавалось дальше к той машине, которую хотели привести в действие. В древности и средневековье такие двигатели широко использовали в самых разных отраслях производства, где с их помощью приводили в движение молоты, воздуходувные мехи, насосы, ткацкие машины и другие механизмы.

Может показаться, что за многовековую историю существования водяных колес механики узнали о них все. Да и что можно было придумать нового в этой старой как мир конструкции? Однако оказалось, что можно. В 1750 году венгр Сегнер, работавший в Геттингенском университете, выдвинул совершенно новую идею водяного двигателя, в котором наряду с напором и весом использовалась еще и сила реакции, создаваемая потоком воды.

Устройство этого горизонтального колеса видно из рисунка. Вода поступала сверху в сосуд, соединенный с осью, внизу которого располагались крестообразные трубки с загнутыми в одну сторону концами. Вода вытекала через них, и получавшаяся при этом сила реакции действовала во всех четырех трубках в одну и ту же сторону, приводя



*Колесо Сегнера с четырьмя водоотводными трубками*

во вращение все колесо. Это была чрезвычайно остроумная находка, не получившая, впрочем, в этом виде никакого практического применения, но возбуждавшая к себе живейший интерес некоторых математиков и инженеров.

Великий немецкий математик Эйлер одним из первых откликнулся на эту новинку, посвятив исследованию колеса Сегнера несколько своих работ. Прежде всего, Эйлер указал на недостатки в конструкции Сегнера, отметив при этом, что невысокий КПД колеса был следствием нерациональных потерь энергии. Далее он писал, что эти потери могут быть значительно снижены, если идея нового двигателя получит более полное воплощение. Значительные потери происходили, прежде всего, при входе воды в колесо из-за резкого изменения направления и скорости течения воды (энергия здесь расходовалась на удар). Но их можно было уменьшить, если подводить воду к колесу в направлении вращения со скоростью этого вращения. На выходе так же имелись потери, так как часть энергии уносилась с выходной скоростью воды. В идеале вода должна отдавать колесу всю свою скорость. Для этого Эйлер предлагал заменить горизонтальные водовыпускные трубки трубками криволинейной формы, идущими сверху вниз. Тогда уже не было нужды делать отверстия для выпуска воды сбоку, так как можно было просто оставлять открытым нижний конец замкнутой трубки. Эйлер предсказал, что в будущем гидравлические машины этого нового типа (собственно, речь здесь шла о гидравлической турбине, но самого этого названия еще не было в употреблении) будут иметь две части: неподвижный направляющий аппарат, по прохождению через который вода будет поступать в нижнее вращающееся колесо, являющееся рабочим органом машины. Несмотря на высказанные замечания, Эйлер очень высоко оценил изобретение Сегнера и прозорливо указал, что тот открыл новый путь развития гидравлических двигателей, которому суждено большое будущее.

Однако и колесо Сегнера, и работы Эйлера несколько опередили свое время. Следующие семьдесят лет никто не пытался усовершенствовать колесо Сегнера в соответствии с замечаниями Эйлера. Интерес к ним в первой четверти XIX века возродили работы французского математика Понселе, который предложил особый вид подливных колес новой конструкции. КПД колеса Понселе достигало 70%, что было совершенно недостижимо для других типов водяных двигателей. Секрет успеха заключался в том, что лопаткам колеса была придана особая полукруглая форма, так что подводимая вода поступала на них в направлении их кривизны, проходила некоторое расстояние вверх по лопатке, а затем, опускаясь, выходила наружу. При таких условиях совершенно устранялся удар воды о лопатки при входе, на который обычно терялась значительная часть энергии водяной струи. Изобретение Понселе стало важным шагом на пути к водяной турбине. Для того чтобы этот путь был пройден до конца, не доставало второго элемента, турбины, описанного Эйлером — направляющего аппарата.

Впервые направляющий аппарат к водяному колесу применил профессор Бюрден в 1827 году. Он же первый назвал свою машину турбиной (от

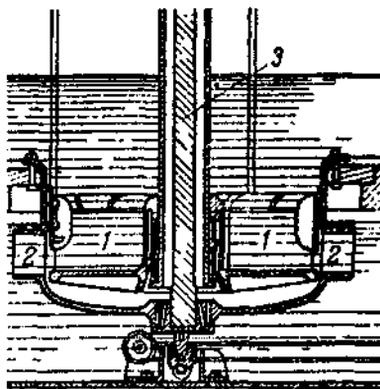
латинского turbo — быстрое вращение), после чего это определение вошло в обиход. В 1832 году первую практически применимую гидротурбину создал французский инженер Фурнейрон.

Его турбина состояла из двух concentрических, лежащих друг против друга колес: внутреннего, неподвижного К, представлявшего из себя направляющий аппарат, и внешнего с изогнутыми лопатками а, которое и было рабочим турбинным колесом. Вода поступала в турбину сверху через трубу, обхватывавшую вал турбины, и попадала на лопатки направляющего аппарата. Эти лопатки

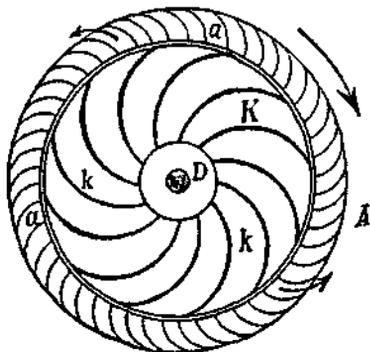
принуждали воду двигаться по кривой линии, вследствие чего она втекала в горизонтальном направлении в лопатки турбинного колеса, без удара, по всей его внутренней окружности, отдавая последнему всю свою энергию, а затем равномерно стекала по его внутренней окружности. Вновь поступающая и отработанная вода нигде не смешивались между собой. Турбинное колесо было накрепко соединено с вертикальным валом О, через который передавалось движение.

КПД турбины Фурнейрона достигал 80%. Созданная им конструкция имела громадное значение для дальнейшей истории турбостроения. Слух об этом удивительном изобретении быстро распространился по всей Европе. Специалисты-инженеры из многих стран в течение нескольких лет приезжали в глухое местечко Шварцвальда, чтобы осматривать работавшую там турбину Фурнейрона как великую достопримечательность. Вскоре турбины стали строить по всему миру.

Переход к турбинам стал революционным переворотом в истории гидравлических двигателей. В чем же заключалось их преимущество перед старым водяным колесом? В приведенном выше кратком описании турбины Фурнейрона трудно увидеть колесо Сегнера. Между тем она основана на том же



*Вертикальный разрез турбины Фурнейрона: 1 - направляющий аппарат; 2 - рабочее колесо; 3 - вал турбины*

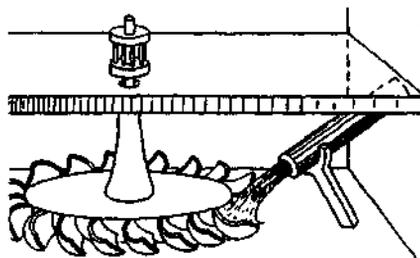


*Горизонтальный разрез турбины Фурнейрона*

принципе использования реактивного движения водяной струи (отчего этот тип турбин и получил позже название реактивных). Просто Фурнейрон внимательно учел все замечания Эйлера и использовал свой собственный опыт инженера-гидравлика. Турбина Фурнейрона отличалась от водяного колеса несколькими принципиальными моментами. В водяном колесе вода входила и выходила в одном и том же месте. Из-за этого как скорость, так и направление движения воды в лопатке колеса были различны в разные моменты времени — колесо как бы затрачивало изрядную часть своей полезной мощности на постоянное преодоление сопротивления струи. В турбине Фурнейрона вода из направляющего аппарата входила на одну кромку лопатки колеса, проходила по лопатке и стекала с другой ее стороны. Вследствие этого в турбине вода не останавливалась, не меняла направления своего течения на обратное, а от входных до выходных кромок текла непрерывно. В каждой точке лопаток скорость ее была одинакова по направлению и отличалась только по величине. В результате скорость вращения турбины теоретически зависела только от скорости воды, и поэтому турбина могла вращаться в несколько десятков раз быстрее обычного водяного колеса. Другое выгодное отличие турбины заключалось в том, что вода одновременно проходила по всем лопаткам колеса, а в водяном колесе — только через некоторые. В результате, энергия водяной струи использовалась в турбине гораздо полнее, чем в водяном колесе, а ее габариты при той же мощности были в несколько раз меньше.

В последующие годы выработалось несколько основных видов гидротурбин. Не вдаваясь здесь в подробности, отметим, что все турбины XIX века можно условно разделить на два основных типа: реактивные и струйные. Реактивная турбина, как уже говорилось, представляла собой усовершенствованное колесо Сегнера. Она имела турбинное колесо, насаженное на вал, с особым образом искривленными лопатками. Это колесо заключало внутри себя или было окружено направляющим аппаратом. Последний представлял из себя неподвижное колесо с направляющими лопатками. Вода устремлялась вниз через направляющий аппарат и турбинное колесо, причем лопатки первого направляли воду на лопатки второго. При выливании вода давила на лопатки и вращала колесо. От вала вращение передавалось дальше к какому-нибудь устройству (например, электрогенератору). Реактивные турбины оказались очень удобны там, где напор воды невелик, но есть возможность создать перепад в 10—15 м. Они получили в XX веке очень широкое распространение.

Другим распространенным типом турбин были струйные. Их принципиальное устройство заключалось в том, что струя воды под сильным напором ударяла в



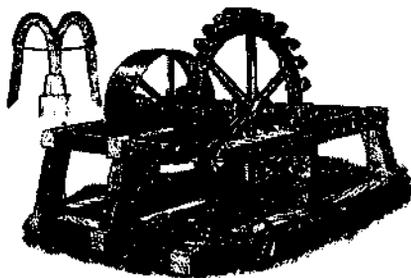
*Простейшая струйная турбина*

лопатки колеса и этим заставляла его вращаться. Сходство струйной турбины с нижнебойным колесом очень велико. Пробразы таких турбин появились еще в средние века, как это можно заключить из некоторых изображений того времени.

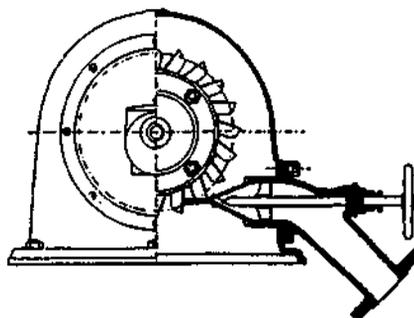
В 1884 году американский инженер Пельтон значительно усовершенствовал струйную турбину, создав новую конструкцию рабочего колеса. В этом колесе гладкие лопатки прежней струйной турбины были заменены особыми, им изобретенными, имеющими вид двух соединенных вместе ложек. Таким образом, лопатки получились не плоскими, а вогнутыми, с острым ребром посередине. При таком устройстве лопаток работа воды почти целиком шла на вращение колеса и только очень малая ее часть терялась бесполезно.

Вода к турбине Пельтона поступала по трубе, идущей от запруды или водопеда. Там, где воды было много, труба делалась толстой, а где воды оказывалось меньше, она была тоньше. На конце трубы имелся наконечник, или сопло, из которого вода вырывалась сильной струей. Струя попадала в ложкообразные лопатки колеса, острое ребро лопатки резало ее пополам, вода толкала лопатки вперед, и турбинное колесо начинало вращаться. Отработанная вода стекала вниз в отводную трубу. Колесо с лопатками и соплом прикрывалось сверху кожухом из чугуна или железа. При сильном напоре колесо Пельтона вращалось с огромной скоростью, делая до 1000 оборотов в минуту. Оно было удобно там, где имелась возможность создать сильный напор воды. КПД турбины Пельтона был очень высок и приближался к 85%, поэтому она и получил широчайшее распространение.

После того как в 80-е годы XIX века была разработана система передачи электрического тока на большие расстояния и появилась возможность сосредоточить производство электроэнергии на «фабриках электричества» — электростанциях, началась новая эпоха в истории турбостроения. В соедине-



*Рис. 53-8. Колесо Пельтона. В левом углу показана лопатка, принимающая струю*



*Рис. 53-9. Колесо Пельтона (разрез)*

нии с электрогенератором турбина стала тем могущественным инструментом, с помощью которого человек поставил себе на службу огромную силу, скрытую в реках и водопадах.

---

**Источник:** Рыжков К.В. 100 великих изобретений. — М.: Вече, 1999. — 528с. — (100 великих).