

ГИДРОТУРБИНА

Галиахметов Р.Н..

Научный руководитель — доцент Никитин А.А.

Сибирский федеральный университет

Гидротурбина, гидравлическая турбина, водяная турбина, ротационный двигатель, преобразующий механическую энергию воды (её энергию положения, давления и скоростную) в энергию вращающегося вала. По принципу действия Гидротурбины делятся на активные и реактивные. Основным рабочим органом Гидротурбины, в котором происходит преобразование энергии, является рабочее колесо. Вода подводится к рабочему колесу в активных Гидротурбинах через сопла, в реактивных — через направляющий аппарат. В активной Гидротурбине (рис. 1) вода перед рабочим колесом и за ним имеет давление, равное атмосферному. В реактивной Гидротурбине (рис. 2) давление, воды перед рабочим колесом больше атмосферного, а за ним может быть как больше, так и меньше атмосферного давления.

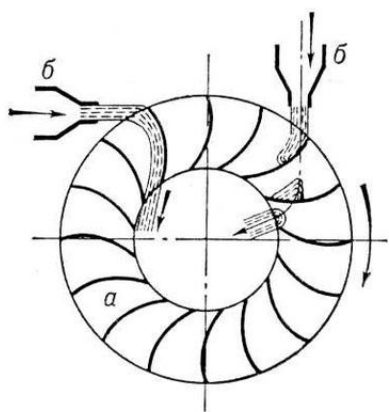


Рис. 1. Схема активной гидротурбины: а — рабочее колесо; б — сопла.

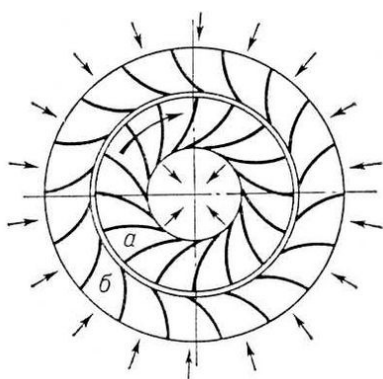


Рис. 2. Схема реактивной гидротурбины: а — рабочее колесо; б — направляющий аппарат.

Первая реактивная Гидротурбина была изобретена в 1827 французским инженером Б. Фурнероном; эта Гидротурбина имела на рабочем колесе мощность 6 л. с., но из-за плохих энергетических свойств подобные гидротурбины уже не применяются. В 1855 американский инженер Дж. Френсис изобрёл радиально-осевое рабочее колесо гидротурбины с неповоротными лопатками, а в 1887 немецкий инженер Финк предложил направляющий аппарат с поворотными лопатками. В 1889 американский инженер А. Пелтон запатентовал активную — ковшовую гидротурбину, в 1920 австрийский инженер В. Каплан получил патент на поворотнолопастную гидротурбину.

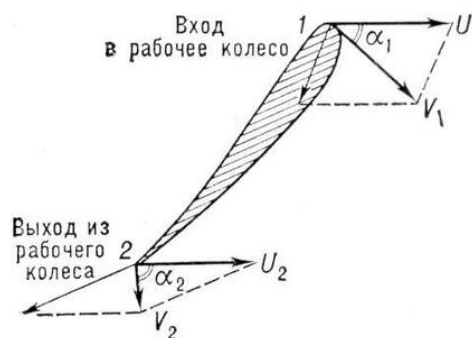


Рис. 3. Треугольники скоростей на входе в рабочее колесо гидротурбины и на выходе из него.

Радиально-осевые, поворотнолопастные и ковшовые гидротурбины широко применяются для выработки электрической энергии

Для расчёта профиля лопасти рабочего колеса гидротурбины, вращающегося с постоянной угловой скоростью, используется

$$H \cdot \eta = \frac{U_1 \cdot V_1 \cdot \cos \alpha_1 - U_2 \cdot V_2 \cdot \cos \alpha_2}{g},$$

уравнение (рис. 3):

где H — рабочий напор Гидротурбины, т. е. запас энергии 1 кг воды (разность отметок горизонтов воды перед входом в сооружения гидравлической силовой установки и по выходе из них за вычетом потерь на сопротивление во всех сооружениях, но без вычета потерь в самой Гидротурбине); U_1 и U_2 — окружные скорости лопастей на входе воды в рабочее колесо и на выходе из него, м/сек; V_1 и V_2 — абсолютные скорости воды на входе и выходе, м/сек; (α_1 и α_2 — углы между направлениями окружных и абсолютных скоростей в точках, соответствующих осереднённой по энергии поверхности тока, град; g — ускорение свободного падения, м/сек²).

В левую часть уравнения вводится множитель h_r , являющийся гидравлическим кпд гидротурбины. Часть мощности, полученная колесом, расходуется на преодоление механических сопротивлений, эти потери учитываются механический кпд гидротурбин h_0 . Утечка воды в обход рабочего колеса учитывается объёмным кпд гидротурбины.

Полный кпд гидротурбины $h = h_r \cdot h_m \cdot h_0$ — отношение полезной мощности, отдаваемой турбинным валом, к мощности пропускаемой через гидротурбину воды. В современной гидротурбине полный кпд равен 0,85—0,92; при благоприятных условиях работы лучших образцов гидротурбина он достигает 0,94—0,95.

Геометрические размеры гидротурбины характеризуются номинальным диаметром D , рабочего колеса. Гидротурбина разных размеров образуют турбинную серию, если обладают однотипными рабочими колёсами и геометрическими подобными элементами проточной части. Определив необходимые параметры одной из гидротурбины данной серии, можно подсчитать, пользуясь формулами подобия, те же параметры для любой гидравлической турбины этой серии. Каждую турбинную серию характеризует коэффициент быстроходности, численно равный частоте вращения вала гидротурбины, развивающей при напоре 1 м мощность 0,7355 кВт (1 л. с.). Чем больше этот коэффициент, тем больше частота вращения вала при заданных напоре и мощности. Гидротурбина и электрический генератор обходятся дешевле при увеличении частоты их вращения, поэтому стремятся строить гидротурбины с возможно большим коэффициентом быстроходности. Однако в реактивных гидротурбинах этому препятствует явление кавитации, вызывающее вибрацию агрегата, снижение кпд и разрушение материала гидротурбины.

Графики, выражающие зависимости величин, характеризующих Гидротурбину, называются турбинными характеристиками. На рис. 4 представлены характеристики Гидротурбины при постоянном напоре и частоте вращения колеса, но при различных нагрузках и расходе воды. В реальных условиях гидротурбины работают при меняющемся напоре; их поведение в этом случае изображается универсальными характеристиками для модели и эксплуатационными характеристиками — для натурной гидротурбины универсальные характеристики строятся на основании лабораторных исследований модели, проточная часть которой геометрически подобна натурной.

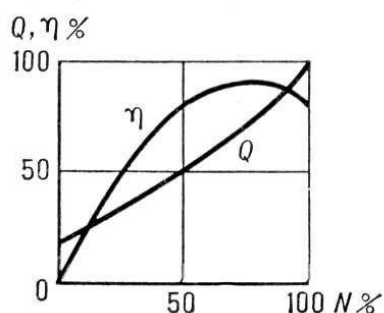


Рис. 4. Характеристики гидротурбины при постоянном напоре и частоте вращения колеса: h — кпд; Q — расход воды; N — нагрузка гидротурбины.

Характеристики поворотнолопастных и радиально-осевых гидротурбин

Марка поворотно-лопастной гидротурбины	Напор, м	Число лопастей	Мощность, Мвт	Марка радиально-осевой гидротурбины	Напор, м	Мощность, Мвт
ПЛ-10	3-10	4	0,6-49	РО-45	30-45	6-265
ПЛ-15	5-15	4	1,3-88	РО-75	40-75	9-515
ПЛ-20	10-20	4	3,3-115	РО-115	70-115	21-810
ПЛ-30	15-30	5	6-180	РО-170	110-170	34-900
ПЛ-40	20-40	6	8,2-245	РО-230	160-230	29-920
ПЛ-50	30-50	7	13-280	РО-310	220-310	31-485
ПЛ-60	40-60	8	15-315	РО-400	290-400	31-280
ПЛ-70	45-70	8	15-350	РО-500	380-500	33-195
ПЛ-80	50-80	8	17-385			

Проточная часть реактивных гидротурбин состоит из следующих основных элементов (рис. 7): спиральной камеры гидротурбины 1; направляющего аппарата 2, регулирующего расход воды; рабочего колеса 3 и отсасывающей трубы 4, отводящей воду от гидротурбины. Реактивные гидротурбины по направлению потока в рабочем колесе делятся на осевые и радиально-осевые. По способу регулирования мощности реактивные гидротурбины бывают одинарного и двойного регулирования. К гидротурбинам одинарного регулирования относятся гидротурбины содержащие направляющий аппарат с поворотными лопатками, через который вода подводится к рабочему колесу (регулирование в этих гидротурбинах производится изменением угла поворота лопаток направляющего аппарата), и лопастрегулируемые гидротурбины, у которых лопасти рабочего колеса могут поворачиваться вокруг своих осей (регулирование в этих гидротурбин производится изменением угла поворота лопастей рабочего колеса). Гидротурбина двойного регулирования содержат направляющий аппарат с поворотными лопатками и рабочее колесо с поворотными лопастями. Поворотнолопастные гидротурбины, применяемые на напоры до 150 м, могут быть осевыми и диагональными гидротурбинами. Разновидностью осевых являются двухперовые, в которых на каждом фланце размещаются по две лопасти вместо одной. Радиально-осевые гидротурбины одиночного регулирования применяют на напоры до 500—600 м. Активные гидротурбины строят преимущественно в виде ковшовых гидротурбин и применяют на напоры выше 500—600 м; их делят на парциальные и непарциальные. В парциальных гидротурбинах вода к рабочему колесу подводится в виде струй через одно или несколько сопел и поэтому одновременно работает одна или несколько лопастей рабочего колеса. В непарциальных гидротурбинах вода подводится одной кольцевой струей и поэтому одновременно работают все лопасти рабочего колеса. В активных гидротурбинах отсасывающие трубы и спиральные камеры отсутствуют, роль регулятора расхода выполняют сопловые устройства с иглами, перемещающимися внутри сопел и изменяющими площадь выходного сечения. Крупные гидротурбины снабжаются автоматическими регуляторами скорости.

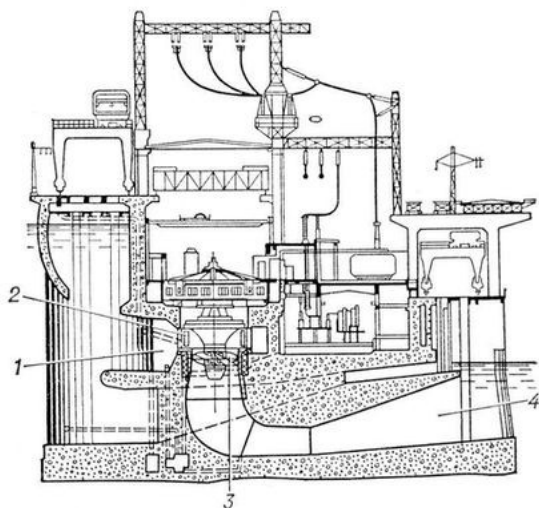


Рис. 7. Проточная часть реактивной гидротурбины.

По расположению вала рабочего колеса гидротурбины делятся на вертикальные, горизонтальные и наклонные. Гидротурбина с гидрогенератором называют гидроагрегатом. Горизонтальные гидроагрегаты с поворотными лопастными или пропеллерными гидротурбинами могут выполняться в виде капсульного гидроагрегата.

Основными тенденциями в развитии гидротурбины являются: увеличение единичной мощности, продвижение каждого типа гидротурбины в область повышенных напоров, совершенствование и создание новых типов гидротурбин, улучшение качества, повышение надёжности и долговечности оборудования. В России созданы и успешно работают гидротурбина радиально-осевого типа мощностью 508 Мвт на расчётный напор 93 м с диаметром рабочего колеса 7,5 м для Красноярской ГЭС, разрабатываются гидротурбины такого же типа для Саянской ГЭС (единичная мощность 650 Мвт, расчётный напор 194 м, диаметр рабочего колеса 6,5 м).

Промышленный переворот явился переходом к машинному производству путем внедрения разнообразных рабочих машин, заменивших работу человеческих рук, и применения универсального двигателя. Число оборотов рабочих машин при этом сильно возросло, так как паровой двигатель мог легко обеспечить более 100 об/мин, в то время как водяное колесо делало 4—8 об/мин. Водяные колеса по этой причине оказались неспособными выполнять функцию двигателя в системах машинного производства без применения сложных передаточных устройств для увеличения числа оборотов, что было связано со значительными "дополнительными потерями и снижением к. п. д. Таким образом, водяное колесо к концу XVIII в. начинает получать второстепенное значение. Оно в меньшей степени, чем паровой двигатель, использовалось нарождавшимся капиталистическим фабрично-заводским производством, но содействовало сохранению на некоторое время экономических позиций мануфактурного производства, которое было обречено на отмирание при развитии машинного производства. во многих предприятиях черной и металлургической промышленности, в мукомольном производстве и на других предприятиях континентальной Европы водяное колесо долго еще оставалось основным двигателем. Паровой универсальный двигатель мог бы быстро исключить применение гидравлических двигателей, если бы его распространение не ограничивалось в некоторых местах серьезными препятствиями, вытекающими из феодального способа производства. Франция, свергнув феодальный режим во время буржуазной революции конца XVIII в. и уничтожив крупное землевладение, в значительной мере ослабила эти препятствия, для широкого внедрения парового двигателя в промышленность. Но непрерывные войны наполеоновского времени и континентальная блокада изолировали Францию, и она не могла быстро переводить свою промышленность на рельсы машинной индустрии. Англия в это время имела безраздельную монополию на производство паровых двигателей, но не продавала их Франции, которая была лишена к тому, же возможности осуществлять обходным образом их завоз на свою территорию. По этой причине именно во Франции неизбежным стало усиление стремления использовать гидравлические ресурсы. Однако водяное колесо как двигатель тихоходный не удовлетворяло потребностям машинного, производства. В области гидравлических двигателей нужно было догнать паровую машину по быстроходности и таким образом, сделать гидравлический двигатель отвечающим новым требованиям, которые стали предъявляться к фабрично-заводскому двигателю после промышленного переворота.

В силу сказанного гидравлическая турбина получила во Франции раньше, чем в других странах, свою техническую разработку и внедрение в машинное производство. В 1789 г. во Франции было организовано «ОП национальной промышленности». Это было началом рождения идей и проектов гидравлической турбины.