

УДК 621.224

ГИДРОТУРБИНЫ HYDRO TURBINES

П.М. Плаксёнок, А.М. Плотникова
Научный руководитель – Н.В. Пантелей, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь
tes@bntu.by
P. Plaksenok, A. Plotnikava
Supervisor – N. Pantelei, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация: в данной работе рассматриваются типы и конструкция турбин, работающие на гидроэлектростанциях. Тема гидротурбин является актуальной, так как гидростанции в Беларуси являются одним из самых распространённых видов альтернативной энергетики. На территории Республики Беларусь находится 29 гидроэнергетических установок суммарной мощностью приблизительно 90 МВт. Рассмотрены преимущества и недостатки основных типов гидротурбин.

Abstract: this paper discusses the types and design of turbines operating in hydroelectric power plants. The topic of hydro turbines is relevant, since hydro stations in Belarus are one of the most common types of alternative energy. On the territory of the Republic of Belarus there are 29 hydropower plants with a total capacity of approximately 90 MW. The advantages and disadvantages of the main types of hydraulic turbines are considered.

Ключевые слова: турбина, вода, сопло, колесо, лопатки.

Keywords: turbine, water, nozzle, wheel, blades.

Введение

Гидротурбина – это устройство, которое основано на преобразовании энергии потока воды в механическую работу на валу, что в свою очередь вращает ротор генератора, где происходит преобразование механической энергии в электрическую. Тип гидротурбин выбирается по расчетному напору, номинальной мощности, энергетическим и кавитационным показателями, режиму течения реки и прочим факторам.

Основная часть

Разделяют достаточно много видов турбин, но в практике строительства гидроэлектростанций широко применяются четыре вида, отличающиеся количеством напора: осевые ($H = 1 \div 70$ м), диагональные ($H = 40 \div 200$ м), радиально-осевые ($H = 50 \div 700$ м) – реактивные турбины, и ковшовые – активные турбины ($H = 400 \div 1600$ м).

Ковшовая турбина – активная гидротурбина, работает при очень больших напорах. Эти турбины имеют другое название «турбина Пелтона».

Главными достоинствами ковшовых турбин являются: значительная результативность при выборочных нагрузках, конструктивная простота, легко

заменяемы отдельные узлы, удобная реализация режима синхронного компенсатора.

Рабочее колесо – важный узел, образующий ковшовую систему, где ковши находятся симметрично относительно оси вращения. На сегодняшний день большинство производителей делают рабочие колеса без механического крепления ковшей к диску. Общее число сопл и соответственно число струй, натекающих с высокой скоростью на лопатки турбины, определяют конструкцию ковшовых турбин. Мощность турбины повышается с увеличением количества струй при учёте диаметра рабочего колеса.

Данный вид турбин имеет высокие требования к качеству металла, так как песок быстро изнашивает материал. Колеса производят либо цельнолитыми из коррозионностойкой стали, либо сварными деталями двух следующих типов: в первом использован отлитый венец из ковшей, свариваемый с опорным диском; в другом – отдельно отлитые ковши, далее сваривают друг с другом вместе с опорным диском.

Для большей точности механической обработки, рабочая и внешняя поверхности ковшей обрабатываются до сварки хвостовиков. После конечного обрабатывания рабочему колесу необходима балансировка. *Направляющее устройство* ковшовых турбин производится в виде системы сопл, где внутри перемещаются профилированные иглы. Величина пропускаемого через сопло расхода регулируется положением игл относительно выходных отверстий сопла. Распространены турбины с шестью соплами, позволяющие результативно использовать срок службы турбины в половинном количестве сопл.

Самыми качественными считаются прямоточные сопла без штока, где создаются более устойчивые передвижения жидкости с минимальными потерями.

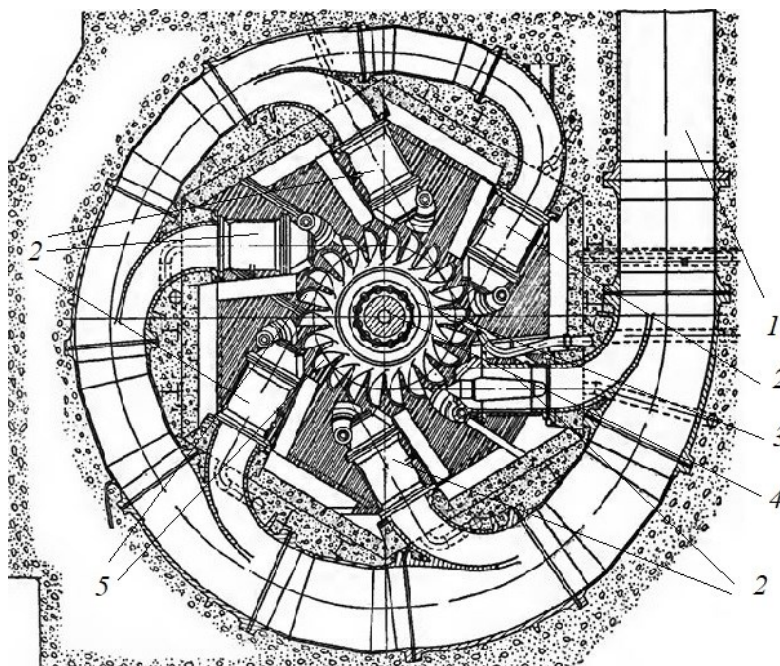


Рисунок 1 – Схема ковшовой гидротурбины: 1 – подводящий трубопровод; 2 – сопло; 3 – рабочее колесо; 4 – вал; 5 – рабочие лопатки.

Осевые турбины бывают следующих типов: горизонтальные капсульные (напор до 25 м); поворотн-лопастные вертикальные (турбины Каплана), напор до 60 м; пропеллерные (напор до 60 м).

В осевых турбинах основу рабочего колеса составляют лопатки, которые соединены с валом и закреплены в корпусе с обтекателем. В обычном случае число лопастей лежит в диапазоне от 4 до 8 штук и возрастает с увеличением напора.

Подводящая часть осевой турбины состоит из турбинной спиральной камеры, которая обеспечивает равномерное распределение воды по всему периметру направляющего аппарата. Спиральная камера турбины чаще всего изготавливается из бетона и имеет трапециевидальное поперечное сечение. В случае работы при высоких напорах (более 50 м) применяются турбинные камеры круглого поперечного сечения из металла.

Нагрузки от верхнего опорного пояса статора к нижнему передают колонны статора турбины. Колонны статора сделаны в удобообтекаемой форме для того, чтобы снизить гидравлические потери.

Кольцевая решетка лопастей закручивает поток перед его входом на лопатки рабочего колеса. Она формируется из 20-32 направляющих лопаток (их число определяется расположением лопаток на диаметре – d_1) решетки из спрофилированных лопаток перед рабочим колесом. Лопатки направляющего аппарата позволяют регулируют мощность, развиваемую турбиной. С этой целью каждую лопатку можно проворачивать на оси и при определенном угле изменяется открытие, если соблюдать условие синхронного поворота всех лопаток. Соответственно меняются пропускаемый расход и мощность гидротурбины.

Повышение КПД турбины можно добиться благодаря снижению кинетической энергии, а это в свою очередь возможно только при медленном снижении скорости воды до выхода потока в нижний бьеф, что позволяет осуществить отсасывающая труба в виде диффузора, которая отводит воду от рабочего колеса. Отсасывающие трубы крупных турбин изготавливают преимущественно из бетона.

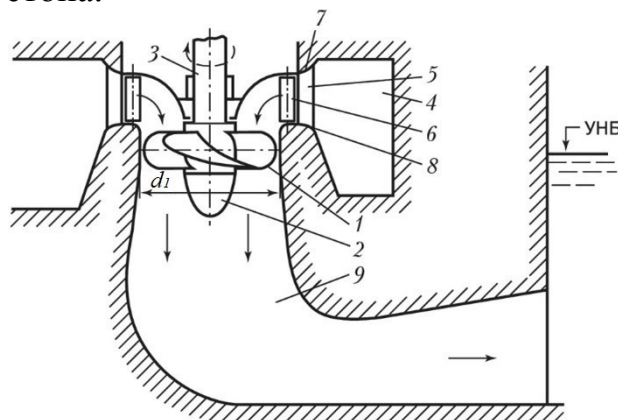


Рисунок 2 – Схема осевой турбины: 1 - лопатки рабочего колеса; 2 – втулка с обтеканием; 3 – вал; 4 – камера турбины; 5 – статор; 6 – сопловой аппарат с лопатками; 7,8 – спорное пояса статора; 9 – отсасывающая труба; УНБ – уровень нижнего барельефа; d_1 – диаметр внешнего колеса.

Радиально-осевая гидротурбина (турбина «Френсиса») пользуется преимуществом в гидроэнергетике. Функционирует она при напорах от 40 до 700 м. Радиально-осевые турбины названы так из-за вхождения потока воды в рабочее колесо турбины радиальным путем и выходом из него в осевом направлении.

Кольцевая решетка образована из 12-17 лопастей, входящих в состав рабочего колеса радиально-осевой турбины. Вследствие жестко заделанных лопастей в ступицу и обод, рабочее колесо, соединенное валом с фланцем, обретает необходимую надежность и жесткость.

В подводящей части радиально-осевой гидротурбины спиральная камера выполнена в металле с круглым поперечным сечением с целью наилучшего восприятия большого внутреннего давления воды.

Направляющие лопатки соплового аппарата в количестве 16-24 лопастей обеспечивают необходимое направление потока перед входом на рабочее колесо.

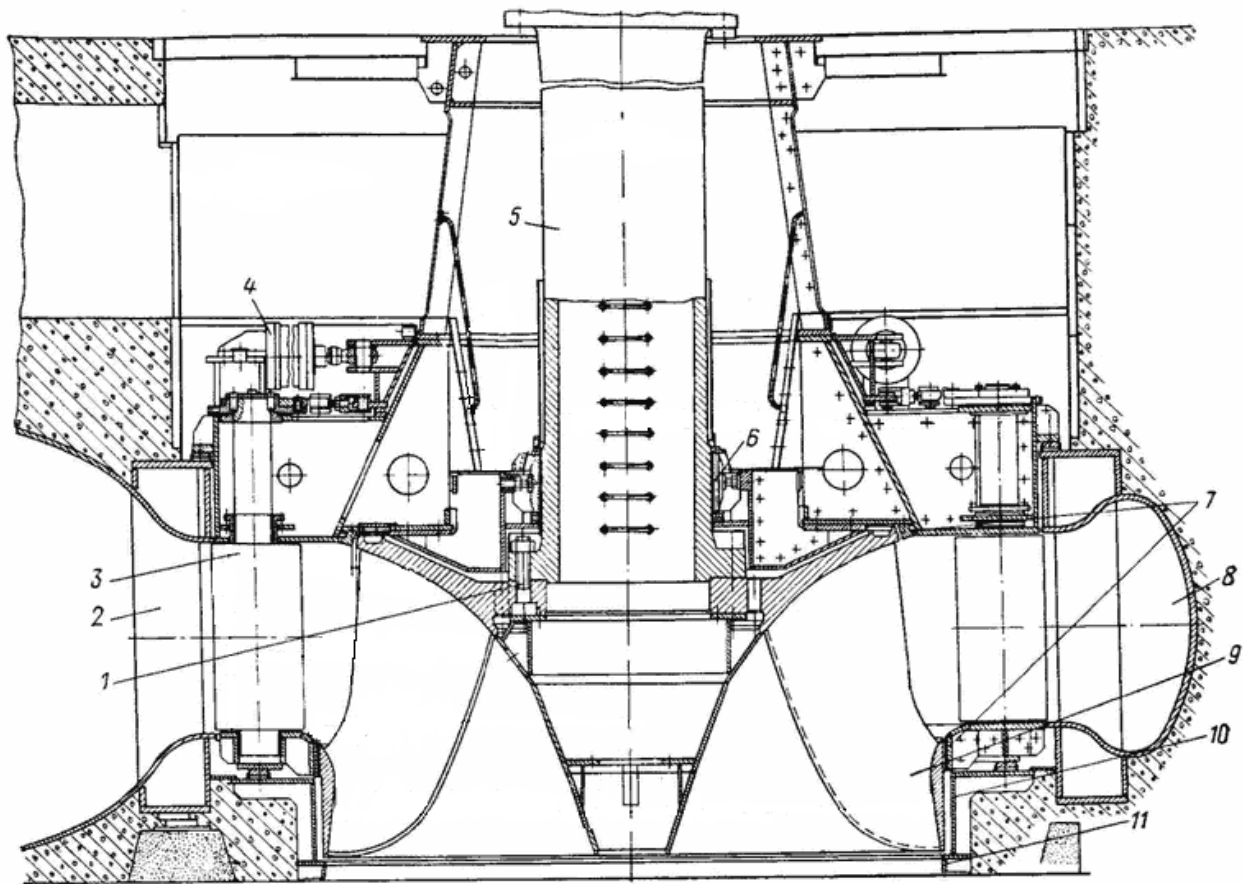


Рисунок 3 – Разрез радиально-осевой гидротурбины: 1 – приспособанный болт; 2 – статор; 3 – сопловой аппарат; 4 – масляной сервомотор; 5 – вал; 6 – направляющий подшипник; 7 – кольца; 8 – металлическая сварная камера; 9 – рабочее колесо.

Диагональные гидротурбины разработаны для использования поворотно-лопастных турбин при высоких напорах. Отличительной особенностью таких турбин являются лопасти рабочего колеса, расположенные под наклоном к оси вращения (угол $45-60^\circ$). Лопасти рабочего колеса – поворотные, благодаря чему можно применить диагональные

турбины в диапазоне высоких напоров и составлять конкуренцию радиально-осевым турбинам, так как регулирование имеет большие возможности, если учитывать напор и расход, повышение среднеэксплуатационного КПД.

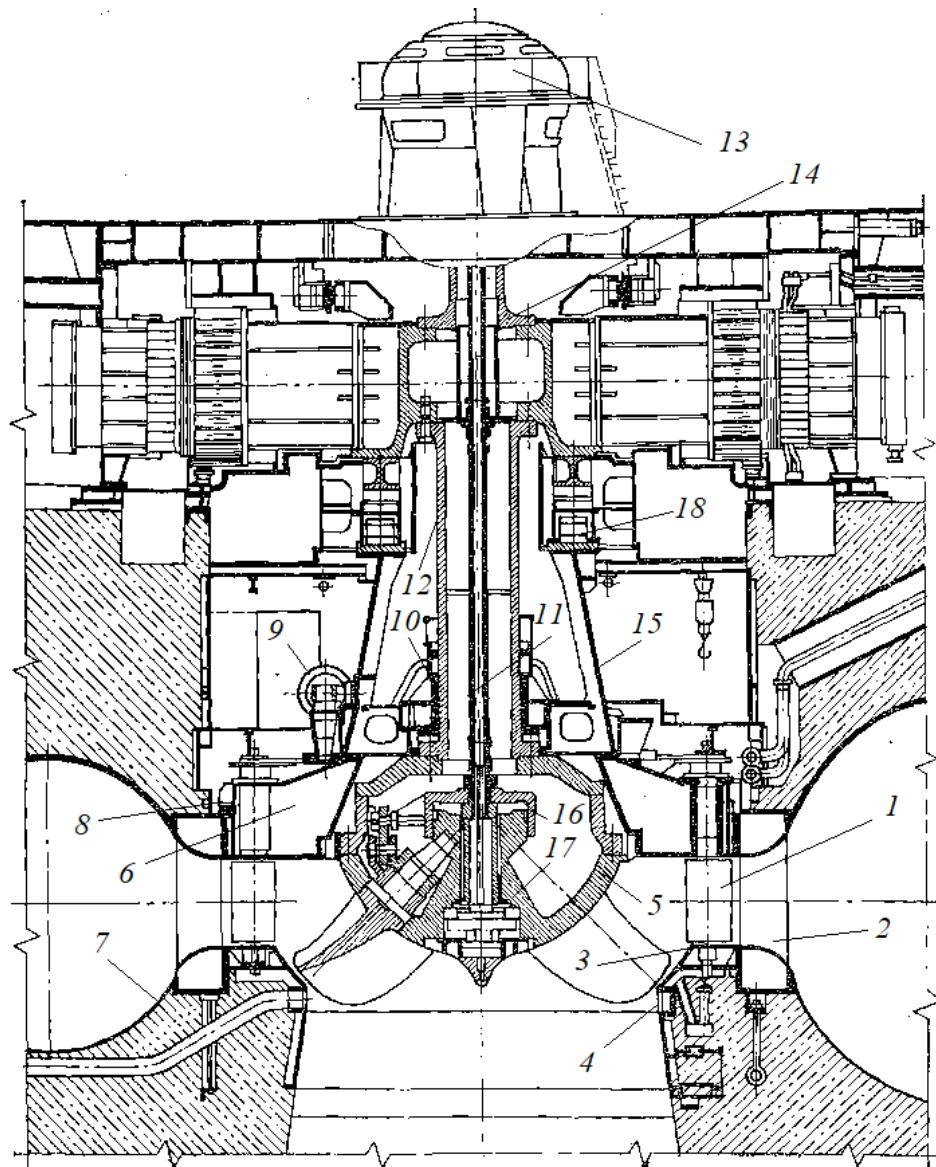


Рисунок 4 – Разрез диагональной гидротурбины: 1 – лопасти соплового аппарата; 2 – колонны статора; 3 – сферическая часть камеры рабочего колеса; 4 – нижний пояс камеры рабочего колеса; 5 – рабочее колесо турбины; 6 – крышка турбины; 7 – спиральная камера; 8 – опорный фланец; 9 – сервомотор направляющего аппарата; 10 – турбинный подшипник; 11 – маслопроводы к сервомотору рабочего колеса; 12 – вал; 13 – маслоприемник; 14 – надставка вала; 15 – опорный конус; 16 – крышка рабочего колеса; 17 – сервомотор рабочего колеса; 18 – подпятник.

Диагональные турбины обладают более высоким КПД и более сложной конструкцией, больше подвергаются износу, чем радиально-осевые. Диагональные турбины на ГЭС выгоднее использовать для режимов работы с большими колебаниями напора и мощности.

Обычно применяют в диагональных турбинах сопловой аппарат с вертикальным расположением осей лопаток конического и обычного радиального вида. Благодаря исследованиям было выявлено, что

энергетические качества при коническом и радиальном аппаратах остаются почти одними и теми же. Несущественное повышение КПД даёт конический направляющий аппарат при небольших мощностях. Быстроходность диагональных турбин и сферы их использования при различных напорах обусловлена конструкцией и формой проточной части турбины.

Заключение

Гидротурбины конструктивно и функционально разнообразны и имеют большие отличия от паровых турбин, так как применяется разная рабочая среда. Гидротурбины не подвержены высоким температурам, но воздействие эрозии выше, а осуществление фильтрации и подготовки речной воды дорогостоящее мероприятие.

Литература

1. Гидротурбины и обратимые гидромашины – Энергетика [Электронный ресурс] / гидротурбины и обратимые гидромашины – энергетика. – Режим доступа: <http://energetika.in.ua/ru/books/book-3/part-2/sectoin-5/5-2>. – Дата доступа: 16.03.2022.
2. Конструкции ковшовых турбин: справочник по гидротурбинам [Электронный ресурс] / конструкция ковшовых турбин: справочник по гидротурбинам. – Режим доступа: <https://leg.co.ua/arhiv/generaciya/spravochnik-ro-gidroturbinam/Page-44.html>. – Дата доступа: 10.04.2022.
3. ГЭС: принцип работы, схема, оборудование, мощность [Электронный ресурс] / ГЭС: принцип работы, схема, оборудование, мощность. – Режим доступа: <https://altenergiya.ru/poleznye-stati/ges-princip-raboty-sхема-oborudovanie-moshhnost.html>. – Дата доступа: 25.03.2022.