

Реактивная и активно-реактивная турбины

Работа пара в реактивной ступени. Чисто реактивные турбины (как было сказано выше) в практике применения не нашли. Используются только многоступенчатые полуреактивные турбины (называемые упрощенно реактивными), в которых пар расширяется в неподвижных направляющих каналах и в подвижных каналах между рабочими лопатками ротора примерно в равных долях по падению энтальпий.

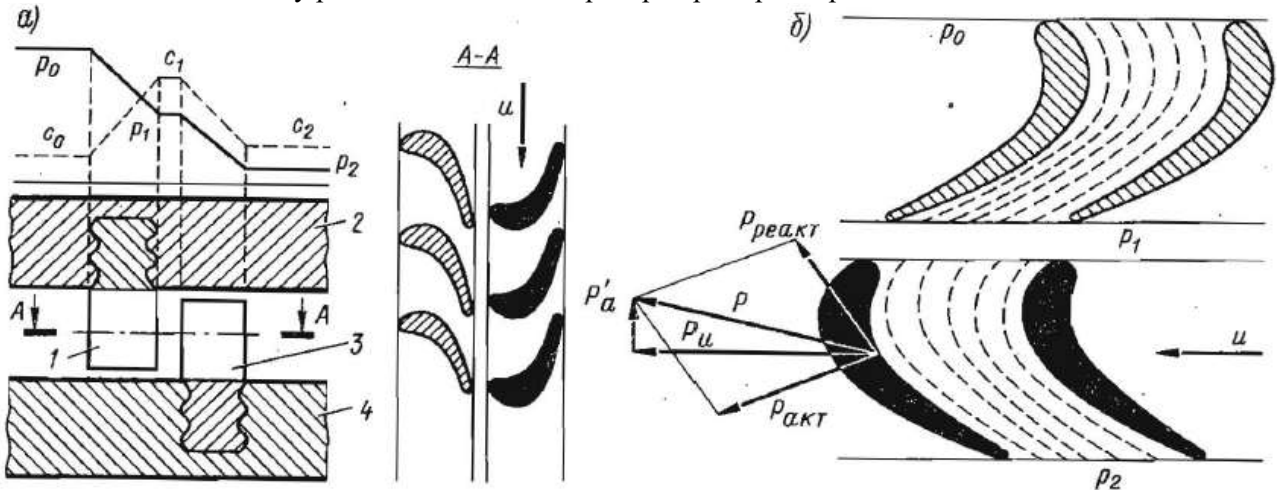


Рис. 5. Схема реактивной ступени (а) и действия сил на рабочую лопатку (б)

В реактивной ступени (рис. 5, а) пар с давлением p_0 и скоростью c_0 поступает в каналы между неподвижными направляющими лопатками 1, закрепленными в корпусе 2 турбины, где он частично расширяется до давления p_1 , как в соплах, и приобретает скорость c_1 . С этой скоростью пар входит в каналы между рабочими лопатками 3, укрепленными на роторе 4 **барабанного типа** и, воздействуя на эти лопатки, отдает им приобретенную кинетическую энергию. Абсолютная скорость пара при этом уменьшается до величины выходной скорости. Таким образом, здесь также осуществляется активный принцип. Кроме того,

вследствие *суживающейся* формы каналов рабочих лопаток пар в них дополнительно *расширяется* до давления p_2 , что вызывает появление реактивной силы, действующей на каждую лопатку. Направление движения рабочих лопаток показано стрелкой. Рассмотрим силы, действующие на рабочую лопатку реактивной ступени. Направление движения струи пара, попадающей в каналы между рабочими лопатками, изменяется, в результате чего развиваются центробежные силы частиц пара, суммарное действие которых создает активное усилие $P_{акт}$ (рис. 5, б). Расширение пара в рабочем канале приводит к появлению реактивной силы $P_{реакт}$, направленной противоположно ускорению струи пара, а следовательно, зависящей от формы канала. Сложив геометрически силы $P_{акт}$ и $P_{реакт}$, получим равнодействующую силу P , окружная составляющая P_u которой вращает ротор, а осевая —

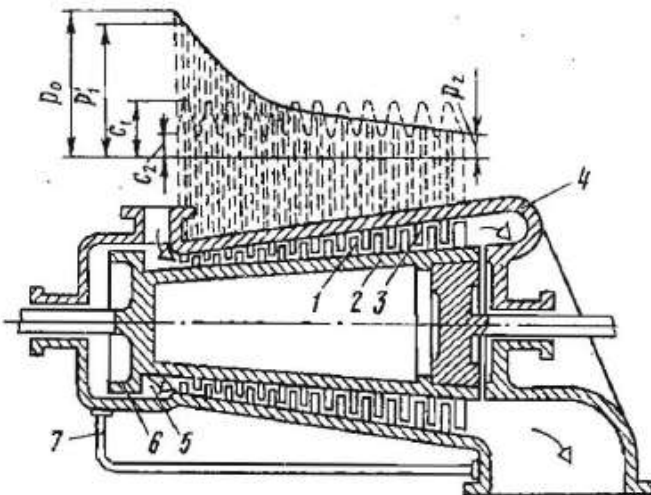


Рис. 6. Многоступенчатая реактивная турбина

P'_a воспринимается упорным подшипником. Кроме того, из-за разности давления $p_1—p_2$ у входа в рабочий канал и у выхода из него возникает дополнительное осевое усилие P_a , направленное в сторону движения потока. Для компенсации осевой силы применяют специальные разгрузочные устройства.

Многоступенчатая реактивная турбина. Схема работы пара в многоступенчатой реактивной турбине показана на рис. 6. Турбина состоит из корпуса 4, в котором укреплены неподвижные направляющие лопатки 3, и ротора 2, на котором размещены подвижные рабочие лопатки 1. Пар давлением p_0 подводится к кольцевому каналу 5 перед первым рядом направляющих лопаток. В этом ряду пар расширяется до давления p_1 и увеличивает свою скорость до значения c_1 . Проходя далее по первому ряду рабочих лопаток, пар продолжает расширяться. Абсолютная скорость пара на рабочих лопатках уменьшается до значения c_2 вследствие преобразования его энергии в механическую работу вращения лопаток. На направляющие

лопатки второй ступени пар входит, имея абсолютную скорость c_2 . Здесь вследствие нового падения давления пар увеличивает свою скорость от c_2 до c_1 , с которой поступает на второй ряд рабочих лопаток, и т. д., пока пар не пройдет всю проточную часть и не будет использован весь располагаемый для работы турбины перепад энтальпий.

Вследствие разности давлений пара при входе на рабочие лопатки и при выходе с них и динамического усилия потока в турбине создается осевое усилие, стремящееся сдвинуть ротор в сторону движения пара. Для разгрузки этого усилия в передней части ротора установлен думмис (разгрузочный поршень) б. Сущность действия думмиса заключается в том, что пространство перед ним сообщается при помощи трубы 7 с полостью отработавшего пара и таким образом создается разность давлений, действующая в сторону, противоположную направлению движения пара.

Реактивные турбины большой мощности для уменьшения длины лопаток их последних ступеней часто делают двухпоточными. В этом случае турбина будет уравновешенной в осевом направлении и необходимость в думмисе отпадает.

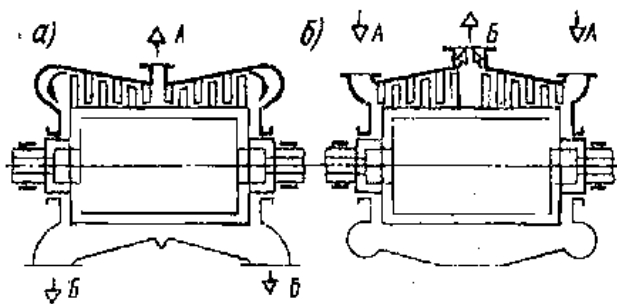


Рис. 7. Двухпоточные реактивные турбины

реактивных турбин зазоры между рабочими лопатками и корпусом, а также между направляющими лопатками и ротором делают как можно меньше.

По сравнению с активными турбинами паровые реактивные турбины менее выгодны в случае применения пара высокого давления. Поскольку такой пар имеет малый удельный объем, то необходимо устанавливать лопатки небольшой высоты, но с относительно большими радиальными зазорами, а это ведет к большим потерям от протечки пара через такие зазоры.

В случае же применения пара низкого давления в реактивной турбине относительные размеры радиальных зазоров получаются небольшими. При этом и потери на протечки будут незначительными и КПД немного выше, чем в активной турбине.

Таким образом, при умеренных параметрах пара активная и реактивная турбины мало отличаются одна от другой по экономичности, а также массе и размерам. Однако реактивную турбину, имеющую массивный барабанный ротор, требуется длительно прогревать перед пуском и ей необходимо продолжительное время на смену режима при маневрировании.

При активной проточной части турбины уменьшается число ступеней и допускаются более высокие окружные скорости. Турбина с дисковым ротором небольшой длины более приспособлена к работе при высоких параметрах, чем реактивная турбина. Ротор активной турбины сравнительно быстро прогревается при соприкосновении с паром, имея в процессе прогрева примерно одинаковую с корпусом турбины температуру; при этом уменьшаются деформации деталей турбины и сохраняются почти постоянными радиальные и осевые зазоры в проточной части. Поэтому в настоящее время отечественные турбостроительные заводы и известные зарубежные фирмы строят в основном активные паровые судовые турбины.

Смешанные активно-реактивные турбины. В связи с выгодой использования активного принципа в области высоких давлений, а реактивного — в области низких применяют смешанные турбины, имеющие активные ступени высокого и реактивные низкого давления.

На рис. 8 показана схема наиболее простой смешанной турбины, состоящей из колеса с двумя ступенями скорости и реактивных ступеней. Двухвенечный диск 1 составляет первую регулировочную ступень давления и многоступенчатая турбина 2 — вторую ступень. Диаграмма изменений давления и скорости пара в проточной части этой турбины представляет собой

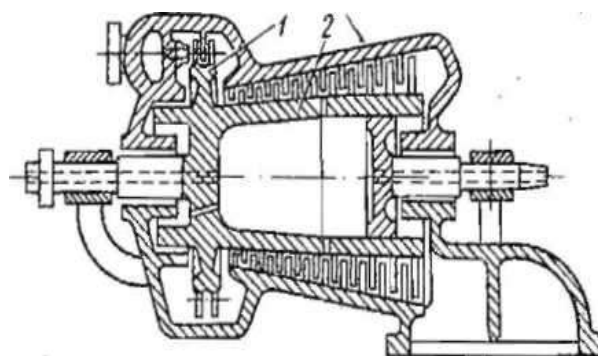


Рис. 8. Смешанная активно-реактивная турбина

На рис. 7, а представлена турбина с расходящимся, а на рис. 7, б — со встречным течением пара. Вход пара А в турбину и выход пара Б из турбины показаны стрелками.

Из-за разности давлений на лопатках в турбинах реактивного типа наблюдается протечка пара через радиальные зазоры у концов направляющих рабочих лопаток. В чисто активных турбинах протечки возможны только через зазоры диафрагмы, так как здесь давление пара по обе стороны рабочих лопаток одинаково. Для уменьшения протечек пара у

соединение кривых, показанных на рис. 3 и 6.

Установка колеса с двумя ступенями скорости в качестве первой активной ступени давления в многоступенчатых реактивных турбинах ступени дает следующие преимущества по сравнению с турбиной, имеющей только реактивные ступени:

возможность количественного (соплового) регулирования расхода пара путем подбора количества работающих сопел без понижения начального давления пара;

уменьшение числа ступеней, а следовательно, длины турбины;

уменьшение осевого давления в реактивных ступенях турбины;

устранение части реактивного облопачивания с наибольшими потерями от утечки пара через зазоры.

На атомных ледоколах отечественной постройки установлены турбины активно-реактивного типа, состоящие из одной активной ступени и пятнадцати реактивных ступеней.

Контрольные вопросы

1. При каких условиях возникает реактивная сила?
2. Как происходит преобразование потенциальной энергии пара в механическую у чисто активных, активных со степенью реактивности и реактивных ступеней турбин?
3. В чем заключаются особенности рабочего процесса в реактивных турбинах?
4. Почему радиальные зазоры у реактивных турбин должны иметь небольшие размеры?
5. Почему лопатки последних ступеней турбины со ступенями давления имеют большую высоту, чем лопатки первых ступеней?
6. В чем заключается назначение и действие думмиса?