

## Принцип действия турбины. Активные турбины

### Особенности турбины как теплового двигателя.

Турбина (от латинского слова «turbo», т. е. вихрь) является тепловым ротационным двигателем, в котором **потенциальная** тепловая энергия пара (или газа) превращается в **кинетическую**, а последняя в свою очередь преобразуется в **механическую** работу вращения вала. (В дальнейшем слово «газ» опущено, однако все излагаемое относится как к пару, так и к газу.)

Такое **преобразование** может осуществляться одновременно на одних и тех же **подвижных** частях турбины или же преобразование **потенциальной** энергии в **кинетическую** может происходить **на неподвижных** частях турбины, а превращение кинетической энергии в механическую работу — на **подвижных**. В первом случае турбина будет чисто **реактивной**, а во втором — чисто **активной**.

Если преобразование потенциальной энергии происходит в кинетическую происходит только в соплах, то такая турбина называется активной.

Турбина у которой преобразование потенциальной энергии происходит в кинетическую происходит только в соплах называется активной.

Турбина у которой преобразование потенциальной энергии происходит в кинетическую происходит как в неподвижных лопатках так и на подвижных называется реактивной.

По чисто реактивному принципу работают только радиальные турбины типа Юнгстрем, которые из-за ряда существенных недостатков на судах не применяются.

Наконец, превращение потенциальной энергии пара в кинетическую может происходить **частично** на неподвижных частях турбины и **частично** — на подвижных; в этом случае турбина работает с некоторой степенью реактивности. Все современные турбины действуют по последнему принципу.

Турбины, действие которых основано преимущественно на активном принципе, называют *активными*, а турбины, действие которых основано наполовину на реактивном принципе,— *реактивными*.

Принцип действия и устройства турбины легко уяснить на примере простейшей активной турбины, схема которой показана на рис. 1, а. Пар с давлением более высоким, чем за турбиной, поступает в одно или несколько неподвижных каналов (сопл) 5. В сопловых каналах

пар расширяется, давление его падает, а скорость возрастает. Следовательно, в соплах происходит первое преобразование тепловой потенциальной энергии в кинетическую.

Из сопел пар поступает в рабочие каналы, образованные рабочими лопатками 3, закрепленными на диске 2. Двигаясь в рабочих каналах между рабочими лопатками и изменяя свое направление, поток пара оказывает силовое воздействие на рабочие лопатки, заставляя их вращаться вместе с диском и валом 1, установленным в опорных подшипниках 4. Следовательно, на рабочих лопатках происходит второе преобразование энергии: кинетическая энергия пара преобразуется в механическую работу.

Комплект, состоящий из сопел и рабочих лопаток, в которых совершается процесс расширения пара, называется *ступенью давления турбины*. Простейшие турбины, имеющие лишь одну ступень, называются *одноступенчатыми* в отличие от более сложных *многоступенчатых* турбин.

**Одноступенчатая турбина.**

На рис. .1, б показан продольный

разрез

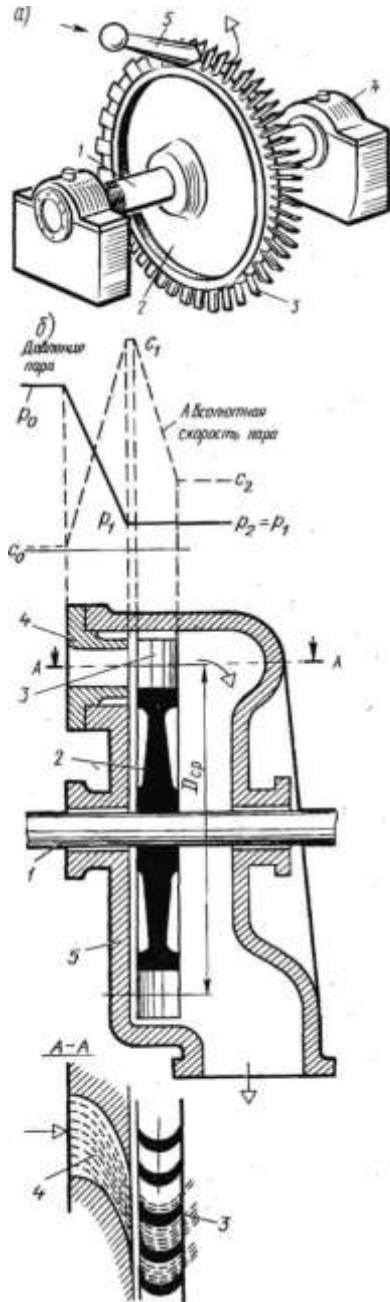


Рис. 1. Одноступенчатая активная турбина

одноступенчатой активной турбины. Ее вращающаяся часть состоит из вала 1, на который насажен диск 2 с рабочими лопатками 3. В корпусе 5 турбины вставлены одно или несколько сопел 4.

Сечение  $A - A$  представляет собой развернутое на горизонтальную плоскость сечение сопел и лопаток. Видно, что оси сопел расположены под некоторым углом к плоскости диска.

На рис. 1, б показаны кривые изменения давления и абсолютной скорости пара при его прохождении по проточной части турбины. Свежий пар давлением  $p_0$  подводится к соплам. Пар в сопле расширяется, и давление падает от  $p_0$  до  $p_1$ , а скорость возрастает от  $c_0$  до  $c_1$ . С этой скоростью пар поступает на рабочие лопатки, которым он отдает часть своей кинетической энергии, приводя во вращение диск с укрепленными на нем лопатками и вал. Абсолютная скорость пара при этом уменьшается до выходной скорости  $c_2$ . Расширение пара на рабочих лопатках не происходит, поэтому давление  $p_1$  пара до диска равно давлению  $p_2$  за диском.

Несмотря на простоту устройства, одноступенчатые паровые турбины не получили распространения из-за низкой экономичности, большой частоты вращения и невозможности получения значительных мощностей. Одноступенчатые газовые турбины широко применяются в качестве приводов турбокомпрессоров дизелей.

Чтобы избежать высокой частоты вращения и чрезмерной окружной скорости, сохранив при большом перепаде энтальпий высокий КПД, современные паровые турбины строят многоступенчатыми, со ступенями давления, ступенями скорости и различными комбинациями ступеней давления и скорости.

**Многоступенчатые турбины со ступенями давления.** Идея

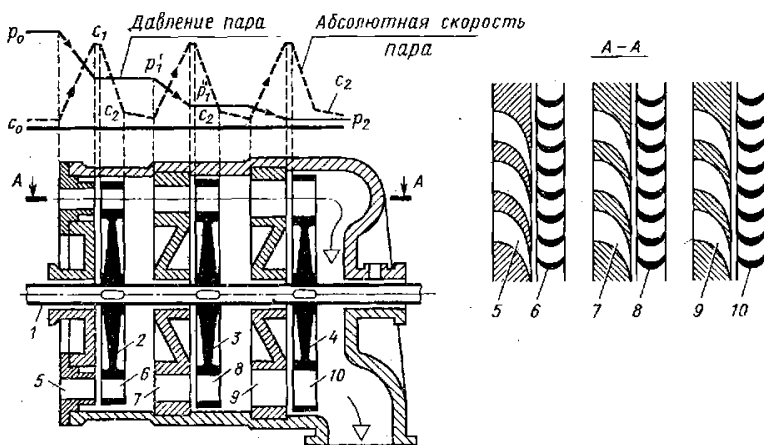


Рис. 2. Активная турбина со ступенями давления.

ступеней давления пара заключается в следующем: вместо того, чтобы расширить пар от начального до конечного давления в одной ступени, его заставляют расширяться в нескольких последовательно расположенных ступенях, используя в каждой ступени небольшие перепады теплоты и давления. Ступени давления применяют в активных и реактивных турбинах.

Рассмотрим активную турбину с тремя ступенями давления (рис. 2). На валу 1 насажены три диска 2, 3, 4, на которых укреплены рабочие лопатки 6, 8, 10. Корпус турбины разделен диафрагмами на три отдельные камеры. Сопла 5 первой ступени расположены в передней стенке турбины, а сопла 7 второй и 9 третьей ступеней — в диафрагмах по их окружности. Свежий пар давлением  $p_0$  со скоростью  $c_0$  подводят к соплам первой ступени, где он расширяется до давления  $p_1'$ , а скорость увеличивается до значения  $c_1$ . После этого пар попадает на рабочие лопатки 6 и отдает им свою кинетическую энергию. Скорость пара уменьшается до  $c_2$ , давление же пара по обе стороны диска остается постоянным. Затем пар поступает в сопла второй ступени 7, где расширяется от давления  $p_1'$  до давления  $p_1''$ , и, приобретая снова кинетическую энергию, поступает на рабочие лопатки 8, где отдает эту энергию. При прохождении по рабочим лопаткам 8 пар сохраняет давление  $p_1''$  неизменным.

Расширение пара в соплах третьей ступени 9 и преобразование кинетической энергии в механическую работу на рабочих лопатках 10 происходят так же, как в первой и второй ступенях, после чего пар давлением  $p_2$  со скоростью  $c_2$  поступает по паровыпускному патрубку в конденсатор.

Таким образом, расширение пара от давления  $p_0$  до давления  $p_2$  происходит не сразу, а в три приема, т. е. тремя ступенями. Ввиду того что по мере расширения пара его объем возрастает, высоту сопел и лопаток турбины приходится постепенно увеличивать. Благодаря равномерному распределению перепада энтальпий в этих турбинах удается достичь высокой экономичности. Они могут быть изготовлены практически на любую мощность и являются наиболее распространенным типом современных главных и вспомогательных судовых турбин.

Такая турбина в зависимости от рабочего тела может быть паровой или газовой. В современных паровых турбинах чисто активные ступени давления не применяются, ибо в них пар при прохождении каналов рабочих лопаток дополнительно расширяется, т. е. активные

турбины при этом изготавливают с некоторой степенью реактивности на рабочих лопатках.

**Многоступенчатая турбина со ступенями скорости.** Идея ступеней скорости пара заключается в том, что сначала его потенциальная энергия в расширяющихся соплах полностью преобразуется в кинетическую энергию, а уже затем она превращается в механическую работу на двух или на трех рядах лопаток. Между рабочими лопатками располагаются неподвижные направляющие лопатки, служащие для изменения направления движения пара. Пар, отдав часть своей кинетической энергии первому ряду лопаток, направляется в последующие ряды, укрепленные в этом же диске, где используется еще часть кинетической энергии пара.

Схема турбины с двумя ступенями скорости показана на рис. 3. Она

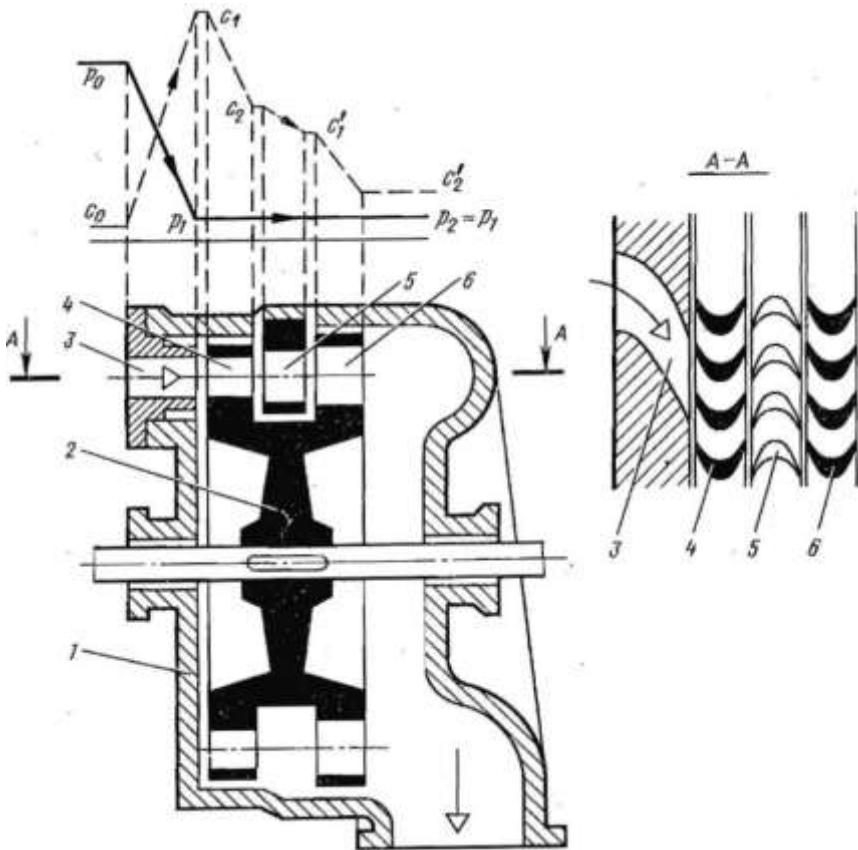


Рис. 3. Активная турбина со ступенями скорости.

отличается от схемы одноступенчатой турбины (см. рис. 1) тем, что на ободе диска 2 установлены два ряда рабочих лопаток 4 и 6, а в промежутке между ними помещен ряд направляющих лопаток 5, закрепленных в корпусе турбины 1. В верхней части рис. 11.3 построена диаграмма изменения давления и абсолютной скорости пара. Свежий пар, подводимый к соплам 3, расширяется в них от давления  $p_0$  до давления  $p_1$ . Далее при прохождении пара между лопатками его давление уже не меняется, т. е. по обе стороны диска оно остается неизменным ( $p_1=p_2$ )

Скорость пара при расширении его в соплах увеличивается до значения  $c_1$ . С этой скоростью пар поступает на первый ряд рабочих лопаток, где вследствие преобразования части кинетической энергии в механическую работу и затраты на преодоление вредных сопротивлений скорость уменьшается до значения  $c_2$ , с которой пар и поступает на направляющие лопатки.

Направляющие лопатки аналогичны рабочим, но выгнуты в противоположную сторону. Так как они неподвижны, никакой работы на них пар не совершает, а потому скорость пара уменьшается немного (до  $c_1'$ ), что происходит вследствие затраты некоторой части кинетической энергии на преодоление вредных сопротивлений на этих лопатках.

На рабочих лопатках второго ряда опять кинетическая энергия пара преобразуется в механическую работу. Поэтому скорость пара  $c_1'$ , с которой он входит на этот ряд лопаток, снижается до  $c_2'$ .

В рассматриваемой турбине (как и в одноступенчатой) все расширение пара происходит сразу в соплах одной ступени, но кинетическая энергия используется на двух рядах рабочих лопаток, поэтому турбина называется активной с одной ступенью давления и двумя ступенями скорости. Диск этой турбины в отличие от одноступенчатого диска, имеющего один ряд рабочих лопаток (одну ступень скорости), называется **двухвенечным**, или диском с двумя ступенями скорости.

Встречаются колеса с двумя, тремя и четырьмя ступенями скорости, но в настоящее время их строят обычно с двумя ступенями. Это объясняется тем, что КПД турбины резко уменьшается с увеличением числа ступеней скорости.

Пар на лопатках турбины со ступенями скорости не расширяется, высота же лопаток от ряда к ряду постепенно возрастает в связи с тем, что скорость течения пара постепенно (от ряда к ряду) убывает и, чтобы пропустить в единицу времени ту же массу (и тот же объем)

пара, но с меньшей скоростью, требуются каналы с большим проходным сечением.

**Преимуществом турбин со ступенями скорости** являются простота и небольшие размеры, невысокая стоимость. Существенный недостаток — низкая экономичность, эффективный КПД турбины с двумя ступенями скорости составляет 0,55—0,65.

Применяют турбины со ступенями скорости в агрегатах, работающих непродолжительное время; в этом случае простота устройства, малые масса и габаритные размеры более существенны, чем невысокая экономичность. Эти турбины применяются в качестве **турбины заднего хода главных турбин**, так как продолжительность работы заднего хода невелика, в приводах **грузовых насосов** танкеров (эти насосы работают в основном в период выкачки груза в порту), а иногда в приводах к **питательным насосам** с использованием отработавшего пара для подогрева питательной воды.

Достаточно широко используются турбины с двумя ступенями скоростей в качестве первой (регулирующей ступени) в комбинированных и смешанных турбинах (см. дальше), так как двухвенечное колесо заменяет четыре одновенечных диска или восемь реактивных ступеней.

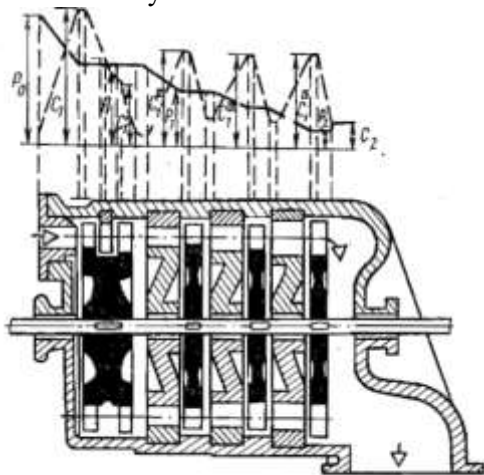


Рис. 4. Комбинированная активная турбина

давления в виде двухвенечного колеса. В верхней части рис. 4 показаны кривые изменения давления и абсолютной скорости пара при течении его по проточной части.

**Комбинированная турбина.** Активные турбины со ступенями давления, у которых одна или несколько ступеней давления имеют ступени скорости, называются активными комбинированными турбинами.

На рис. 4 показана схема комбинированной активной турбины с первой ступенью

Турбины такого типа устанавливаются в качестве приводов мощных вспомогательных электрогенераторов и насосов.

### **Контрольные вопросы**

1. Каковы первая и вторая стадии превращения потенциальной энергии в механическую в паровой турбине?

2. При каких условиях возникает реактивная сила?

3. Как происходит преобразование потенциальной энергии пара в механическую у чисто активных, активных со степенью реактивности и реактивных ступеней турбин?

4. В чем заключаются особенности рабочего процесса в реактивных турбинах?

5. Почему радиальные зазоры у реактивных турбин должны иметь небольшие размеры?

6. С какой целью применяют ступени давления?

7. Почему лопатки последних ступеней турбины со ступенями давления имеют большую высоту, чем лопатки первых ступеней?

8. Почему колесо с двумя ступенями скорости ставится в качестве первой ступени давления?

9. Перечислите, где нашли применение турбины со ступенями скорости и какими преимуществами и недостатками обладают двух-венечные турбины?

10. В чем заключается назначение и действие думмиса?