

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования

«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Модуль 4 Основные элементы газотурбинных установок: камеры сгорания; компрессоры; турбины

Тема 3 Турбины

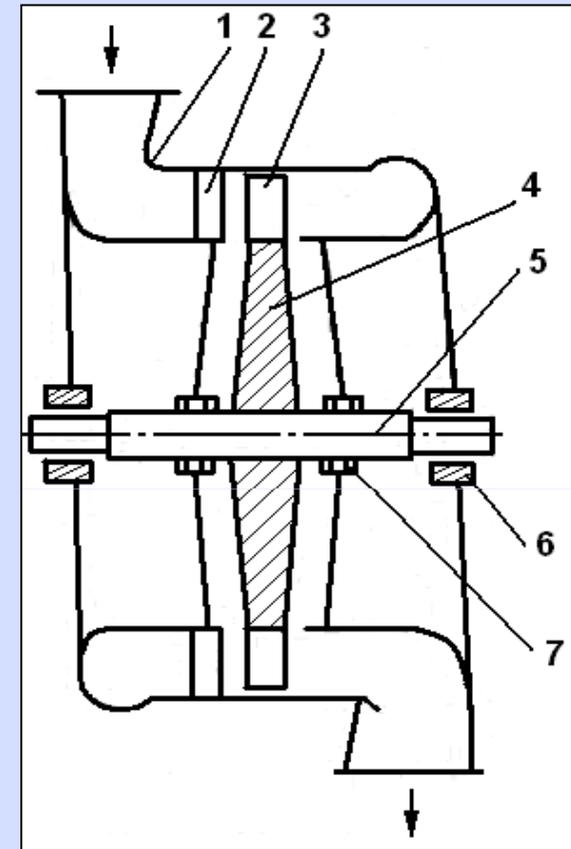


Разработчик: к.х.н., доцент каф. ТХНГ Н.В. Чухарева



Газовая турбина, тепловой двигатель непрерывного действия, в лопаточном аппарате которого энергия сжатого нагретого газа преобразуется в механическую работу на валу

Горячий газ при повышенном давлении поступает в сопла турбины, где происходит его расширение и соответствующее увеличение скорости. При этом давление и температура газа падают. Таким образом, в соплах турбины совершается преобразование потенциальной энергии газа в кинетическую



Корпус (цилиндр) турбины **1**, в котором укреплены направляющие лопатки **2**, рабочие лопатки **3**, установленные по всей окружности на ободу диска **4**, закрепленного на валу **5**. Вал турбины вращается в подшипниках **6**. В местах выход вала из корпуса установлены концевые уплотнения **7**, ограничивающие утечку горячих газов из корпуса турбин

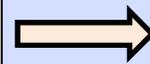
КЛАССИФИКАЦИЯ ГАЗОВЫХ ТУРБИН

По направлению газового потока



Осевые
Радиальные
Диагональные
Тангенсальные

По количеству ступеней



Одноступенчатые
Многоступенчатые

По способу
использования
теплоперепада

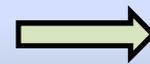
Активного типа
Реактивного типа



Поворот потока в РК

Падение давления
в РК и НА

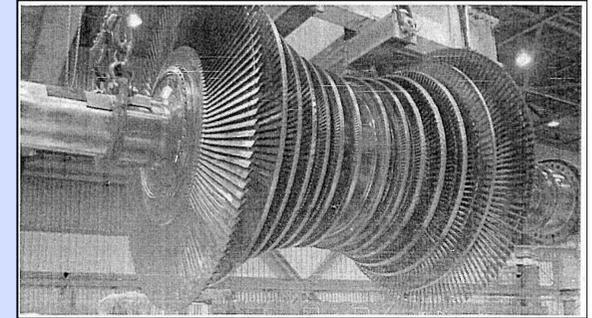
По способу подвода
газа к рабочему колесу



По части окружности соплового
аппарата
(парциальные газовые турбины)

По полной окружности соплового
аппарата

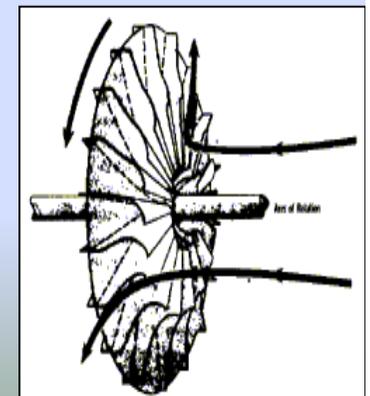
Наиболее распространены **осевые турбины**. В этих турбинах поток в меридиональном сечении движется в основном вдоль оси турбины



В **радиальных турбинах** — перпендикулярно оси. Они могут быть центробежными и центробежными.

Преимущества этих турбин в простоте и прочности и они являются относительно недорогим и простым в производстве по сравнению с осевой турбиной.

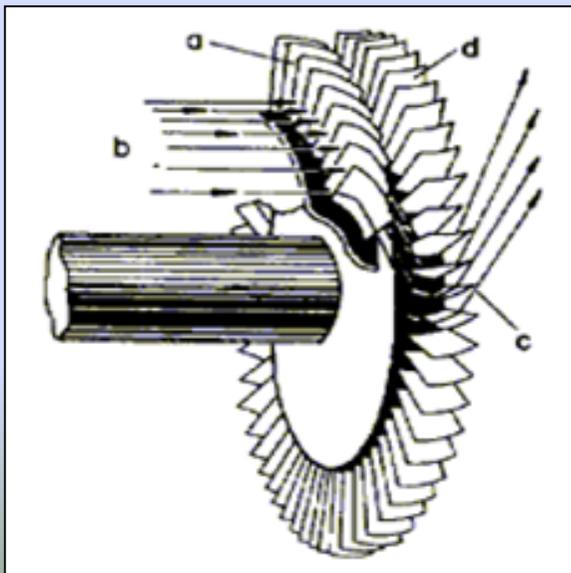
Радиальные колеса турбины используются для небольших двигателей, хорошо подходят для более высоких диапазонов скоростей работы



В **диагональной турбине** газ течёт под некоторым углом к оси вращения турбины

Рабочее колесо **тангенциальной турбины** не имеет лопаток, такие турбины применяются при очень малом расходе газа, например в приборах

Одноступенчатая турбина



Многоступенчатая турбина

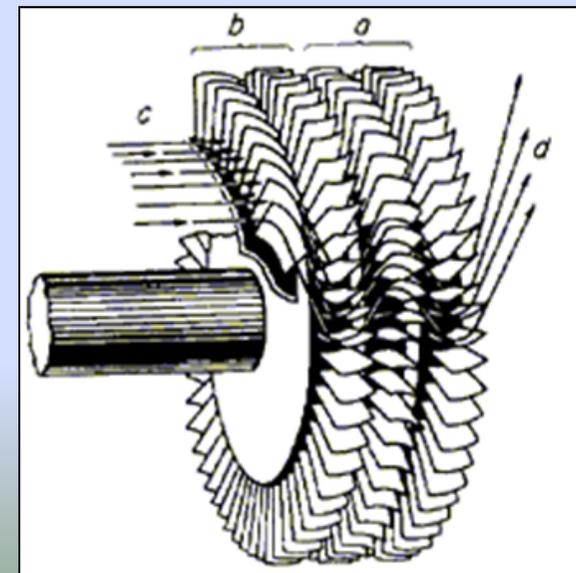
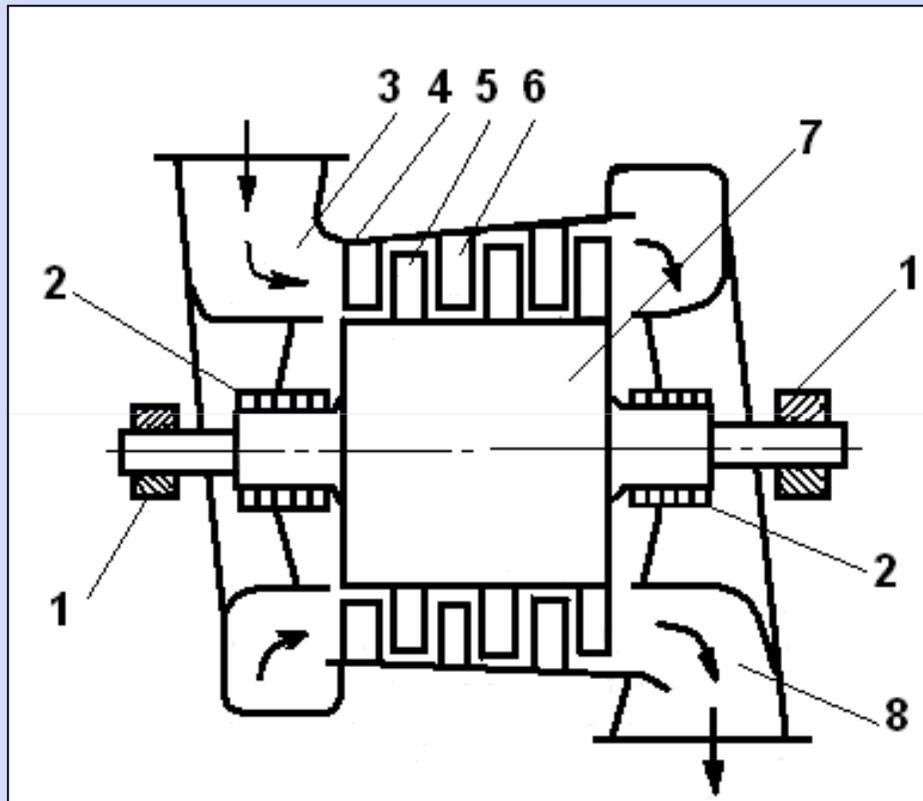


СХЕМА МНОГОСТУПЕНЧАТОЙ ОСЕВОЙ ТУРБИНЫ



Статор, в который входят неподвижные детали (корпус, сопловые лопатки, бандажные кольца)

Ротор, представляющий собой совокупность вращающихся частей (рабочие лопатки, диски, вал)

- 1** – подшипники; **2** – концевые уплотнения; **3** – входной патрубок;
4 – корпус; **5** – рабочие лопатки; **6** – направляющие лопатки;
7 – ротор; **8** – выходной патрубок турбины

Многоступенчатая турбина в сравнении с одноступенчатой имеет следующие преимущества:

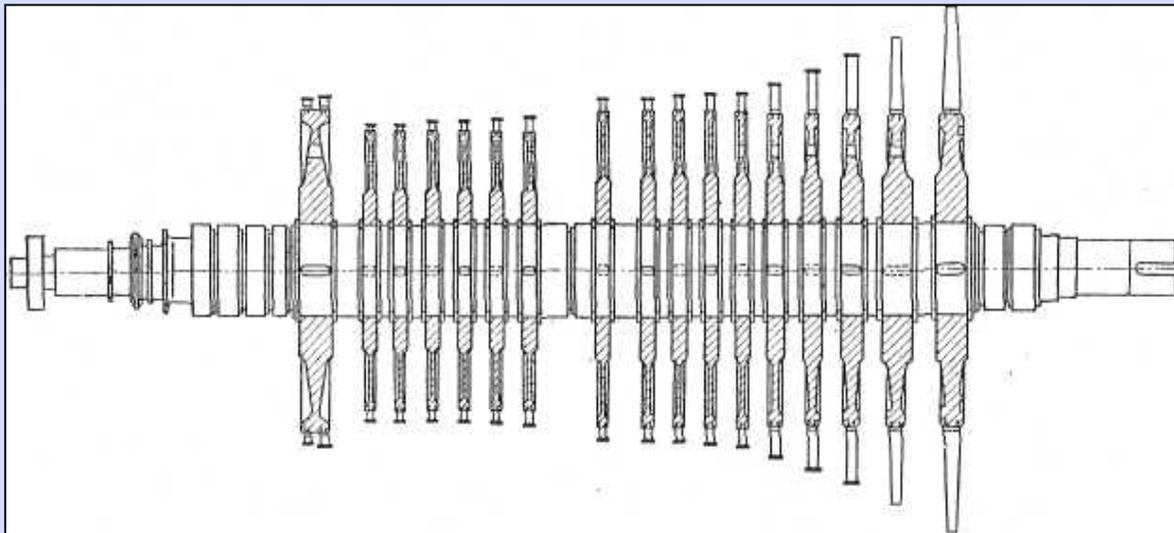
1. Меньшие потери энергии газа в проточной части, что обусловлено меньшими скоростями потока по причине меньших перепадов давлений в каждой ступени
2. Использование эффекта возврата тепла. Вследствие трения газа выделяется тепло, которое в одноступенчатой турбине является потерей, а в многоступенчатой частично используется в последующей ступени
3. Лучшее использование выходной скорости газа из предыдущих в последующих ступенях, что снижает потери с выходной скоростью и повышает КПД турбины

Недостатками многоступенчатых турбин являются:

1. Конструктивная сложность
2. Увеличение длины и веса (правда, в диаметре многоступенчатая турбина меньше одноступенчатой)
3. Высокий температурный режим лопаток первой ступени и хуже условия охлаждения лопаток второй и последующих ступеней

РОТОР ОСЕВОЙ ТУРБИНЫ

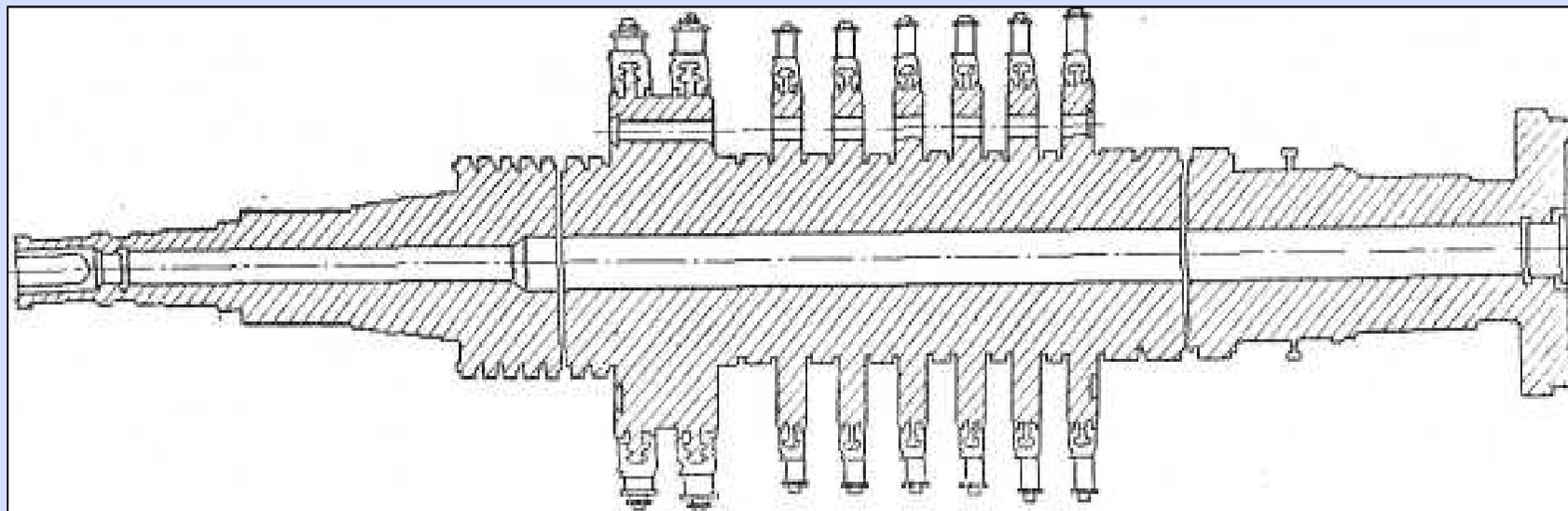
Он несет на себе рабочие лопатки, образующие вместе с направляющими лопатками проточную часть турбины, и передает крутящий момент, возникающий от окружного усилия, развиваемого потоком рабочего тела на лопатках



Ротор турбины 6 МВт с промышленным отбором пара Калужского турбинного завода

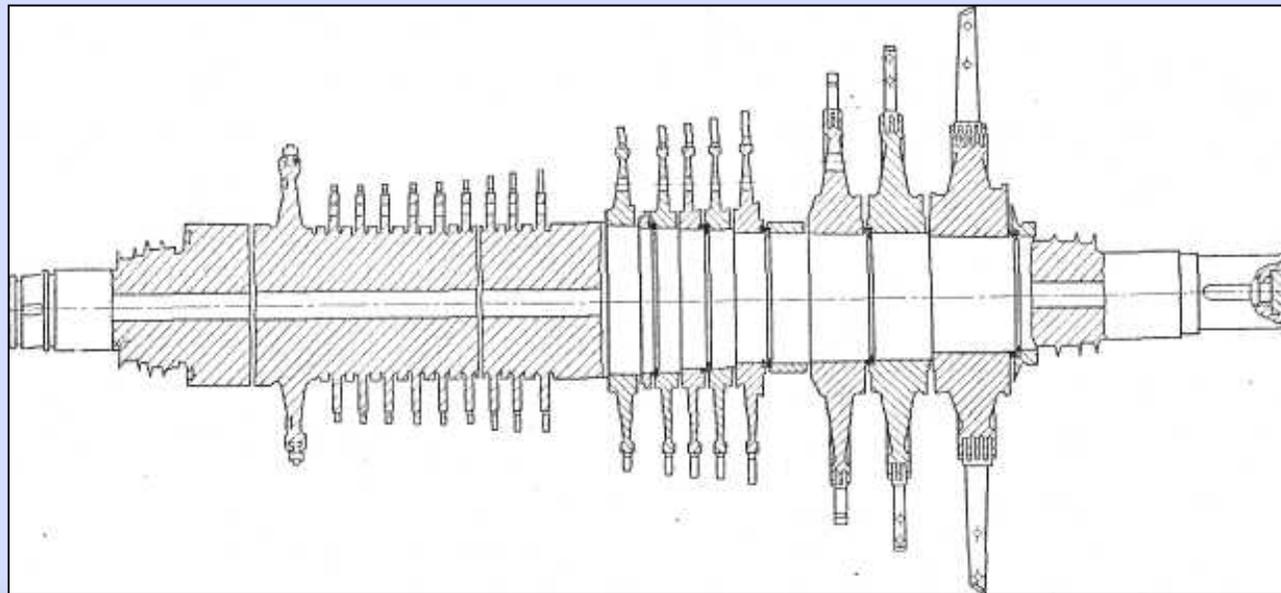
На вал насажены диски, каждый из которых, за исключением первого, несет один ряд рабочих лопаток. Первый диск представляет собой колесо со ступенями скорости. Конструкция применяется преимущественно для **активных турбин**, хотя отдельные ступени, в особенности последние, и при этом типе ротора могут иметь значительную степень реактивности

При небольшом диаметре облопачивания диски иногда вытачиваются заодно с валом из массивной поковки. Такая конструкция часто встречается в турбинах высокого давления для первых активных ступеней



Ротор турбины с противодавлением 25 МВт Харьковского турбинного завода

Конструкция ротора, представляющая собой **комбинацию двух описанных выше роторов**: диски ступеней высокого давления (в том числе для первого регулирующего колеса) выточены заодно с валом, диски последующих ступеней насажены на вал



Ротор турбины 25 МВт Уральского турбомоторного завода

Так как в системе ТРД **компрессор и турбина соединены общим валом**, то **их работа взаимозависима**. Взаимозависимость их работы, кроме механической связи, **обусловлена общим расходом воздуха** через компрессор и газа через турбину, определяющих их **мощности**

Мощность, развиваемая турбиной, является располагаемой мощностью. Она может быть **равна, больше или меньше потребной мощности** для вращения компрессора

Режимы совместной работы турбины и компрессора

Режим торможения (уменьшения оборотов двигателя), когда $N_t < N_K$

Режим разгона (увеличения оборотов двигателя), когда $N_T > N_K$

Равновесный режим, когда $N_t = N_K$

Для изменения режима работы двигателя (управлять двигателем) необходимо изменить мощность турбины

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ МОЩНОСТЬ ТУРБИНЫ



Секундный весовой расход газа

Увеличение давления газа ведет к увеличению расхода газа и мощности турбины

Обороты ротора турбины

При постоянной температуре газа перед турбиной, увеличение оборотов ротора турбины ведет к увеличению мощности турбины

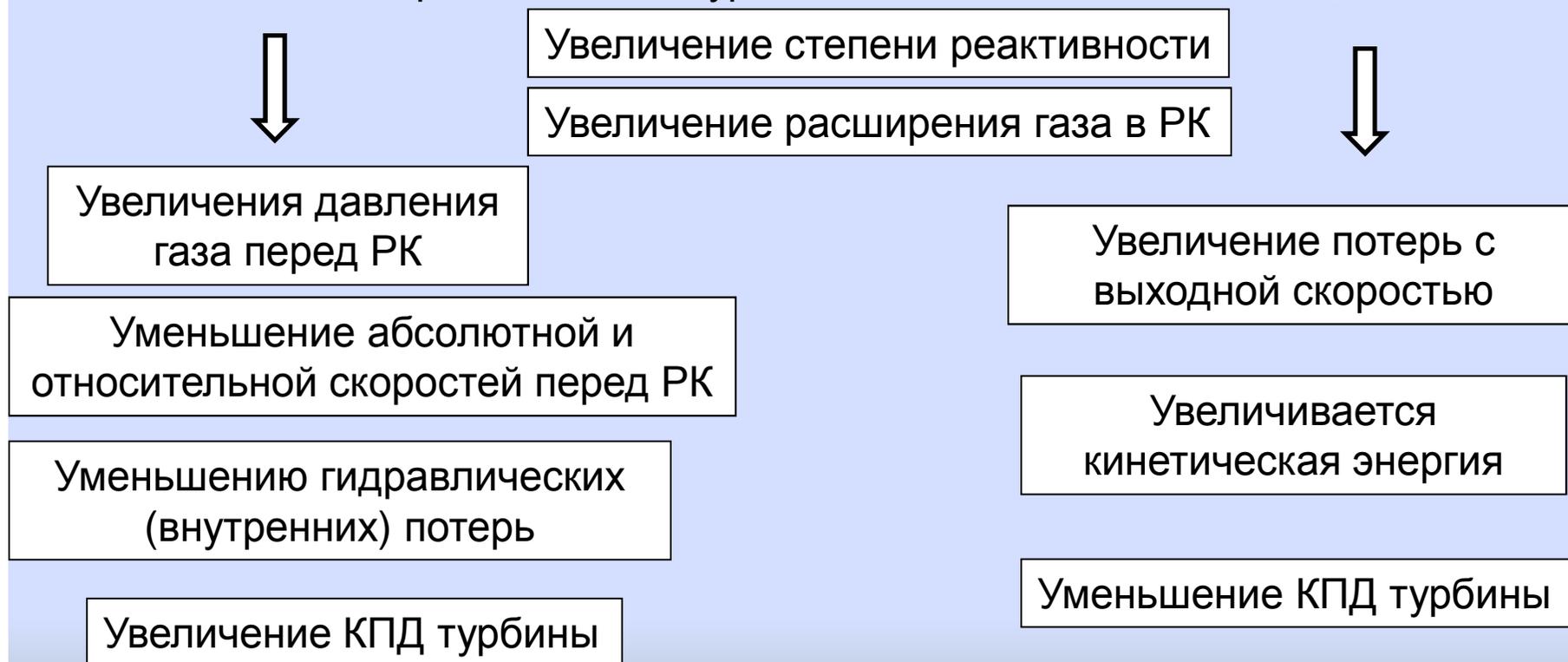
Температура газа перед турбиной

Увеличение температуры газов перед турбиной ведет к увеличению мощности турбины

Степень реактивности турбины

Степень реактивности турбины - отношение адиабатической работы расширения газа в рабочем колесе к адиабатической работе расширения газа в ступени турбины

Величина степени реактивности турбины может изменяться от **0** до **1**



Степень реактивности турбины характеризует распределение работы расширения газа между сопловым аппаратом и рабочим колесом турбины

Модуль 4 Основные элементы газотурбинных установок: камеры сгорания; компрессоры; турбины

Изменение количества движения секундной массы газа в направлении вращения рабочего колеса (окружном направлении) равно секунднему импульсу силы, действующей в этом же направлении

Эффективная работа газа тем больше, чем больше закрутка газа в рабочем колесе и окружная скорость или обороты ротора турбины

На пути преобразования адиабатической работы расширения газа в турбине в механическую работу на ее валу имеются потери. Величина потерь учитывается **эффективным КПД турбины**, который равен отношению эффективной работы к адиабатической работе расширения газа в турбине

Эффективный КПД турбины учитывает как внутренние (гидравлические) потери, так и потери энергии с выходной скоростью.

Потеря с выходной скоростью является относительной, так как кинетическая энергия, недоиспользованная для создания мощности на валу турбины, в последующем используется для создания реактивной тяги двигателя.

У современных одноступенчатых газовых турбин ТРД величина КПД=0,7 —0,86.

Благодарю за внимание!

Перечень рекомендуемой литературы по Модулю 4

Основная:

- Газотурбинные установки: учебное пособие/ А.В. Рудаченко, Н.В. Чухарева, С.С. Байкин.– Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 139с.
- Динамика и прочность турбомашин: учебник для вузов. / А.Г. Костюк –3/е издание перераб. и дополненное.– М.: Издательский дом МЭИ, 2007 – 476с.

Дополнительная:

- Газотурбинные технологии. Специализированно-аналитический журнал. Изд-во «Медиа Гранд»

