



ПАО «ГАЗПРОМ»

ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ «ГАЗПРОМ ТРАНСГАЗ САНКТ-ПЕТЕРБУРГ»
ФИЛИАЛ ООО «Газпром трансгаз Санкт-Петербург»

УТВЕРЖДАЮ

Главный инженер Торжокского ЛПУМГ

_____ Д.Г. Егоров

«__» _____ 2019 г.

**ТОРЖОКСКОЕ ЛИНЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ УПРАВЛЕНИЕ
МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ**

Конспект

Проведения занятия технической учебы в ГКС-20 на тему:

«Принцип работы центробежного нагнетателя. Силы, действующие на ротор нагнетателя при различных режимах работы. Режимы работы ЦБН (зона помпажа, зона динамических нагрузок). Принцип работы ГТУ. Схема профиля проточной части. Треугольники скоростей ЦБН, компрессора и турбины».

Торжок

2019 г.

Принцип работы центробежного нагнетателя.

Силы, действующие на ротор нагнетателя
при различных режимах работы.

Режимы работы ЦБН (зона помпажа, зона
динамических нагрузок).

Принцип работы ГТУ. Схема профиля
проточной части. Треугольники скоростей
ЦБН, компрессора и турбины.

Рабочее колесо ЦБН



Рабочее колесо центробежного нагнетателя представляет собой сложное тело вращения (диск), на котором установлены лопатки, расходящиеся от центра к краям диска. Межлопаточный канал в центробежном рабочем колесе - расширяющийся (диффузорный). В центробежном нагнетателе поток газа входит в рабочее колесо вдоль оси вращения ротора, а в рабочем колесе происходит поворот потока в радиальном направлении.

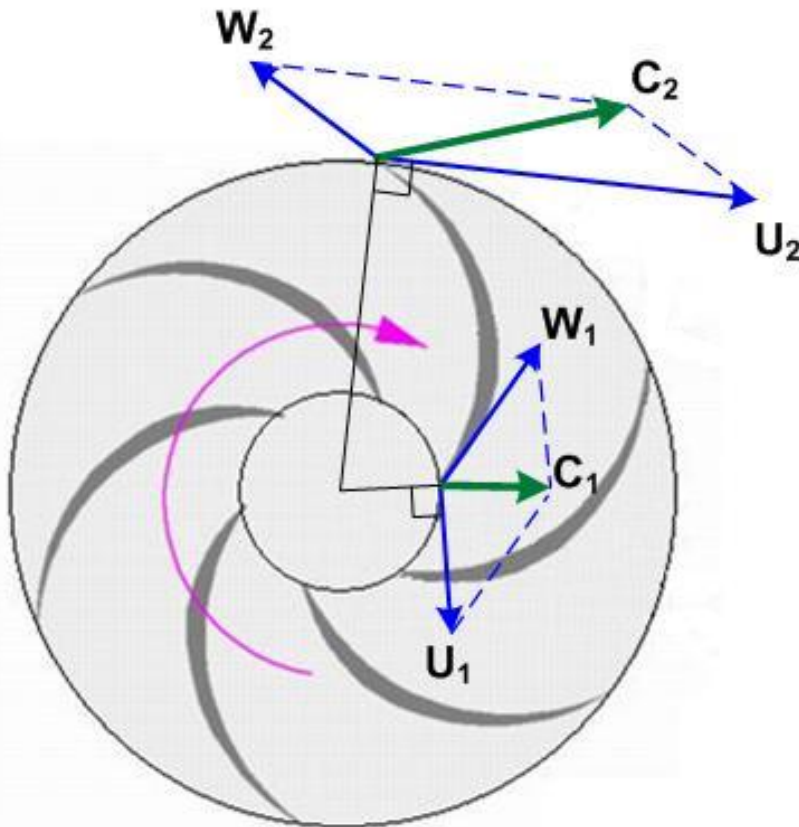
Принцип работы центробежного нагнетателя

При прохождении через рабочее колесо центробежного нагнетателя поток газа участвует в сложном движении.

Абсолютное движение **C** - движение частиц газа от оси вращения до выхода с рабочего колеса складывается из относительного

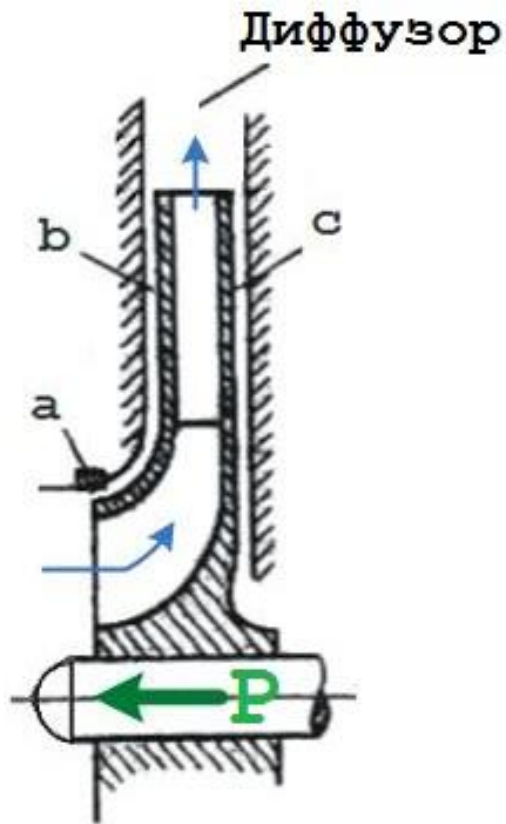
переносного. Относительное движение **W** - движение частиц газа относительно лопатки рабочего колеса.

Переносное движение **U** - вращение рабочего колеса относительно своей оси. При перемещении по лопатке рабочего колеса центробежная сила вращающегося рабочего колеса придаёт дополнительную кинетическую энергию частицам газа и направляет их в радиальном направлении, диффузорный межлопаточный канал производит торможение движения частиц газа относительно вращающегося колеса.



Силы, действующие на ротор центробежного нагнетателя

После выхода из рабочего колеса частицы газа попадают в диффузор, где происходит их последующее торможение, с преобразованием их кинетической энергии во внутреннюю (повышение давления).



В процессе работы нагнетателя на рабочем колесе формируются области с различными по величине давлениями, а также на него действуют аэродинамические силы. При наличии уплотнения «а» на входном диаметре колеса давление на выходе с рабочего колеса распространится в полости зазоров «в» и «с» перед колесом и за ним. Из-за относительной малости зазоров, а также действия на частицы газа центробежных сил, давление, действующее на наружные поверхности рабочего колеса, по мере приближения к оси вращения уменьшается.

Силы, действующие на ротор центробежного нагнетателя

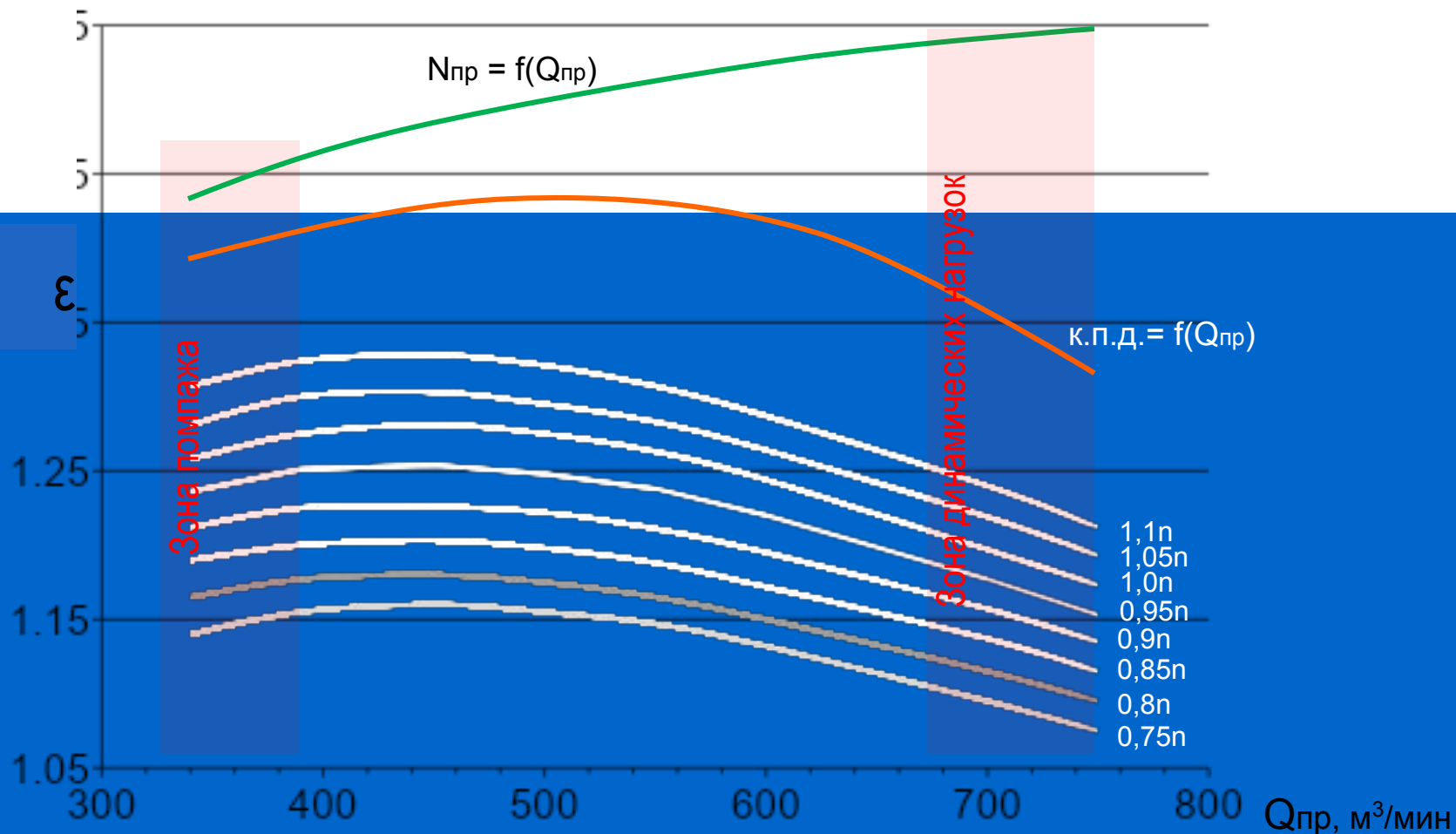
Силы давления, действующие по обе стороны колеса, по величине не равны между собой. Это приводит к появлению результирующей силы **P** приложенной к колесу и направленной в сторону входа.

Итак, как результирующая всех сил, на ротор центробежного нагнетателя действует осевая сила, направленная навстречу входного потока газа. Действие этой силы в полной мере воспринимают упорные рабочие колодки, которые не позволяют ротору смещаться в осевом направлении. В многоступенчатых центробежных машинах осевая сила, как правило, уравнивается за счет постановки разгрузочного диска – **думмиса**, который жестко крепится на валу машины за последним рабочим колесом.

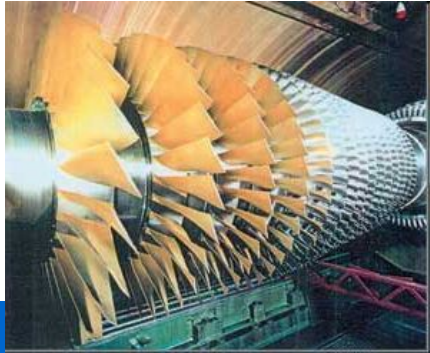
Так же на ротор действуют радиальные усилия, к которым относится сила веса ротора (действует вертикально) и сила возникающая в результате статической и динамической неуравновешенности ротора (действует в вертикальной и горизонтальной плоскости). Радиальные усилия воспринимаются опорными подшипниками.

Мощность от привода в виде крутящего, момента передается на вал нагнетателя и при взаимодействии с газовым потоком на вал ротора действуют скручивающие усилия.

Режимы работы ЦБН зона помпажа, зона динамических нагрузок



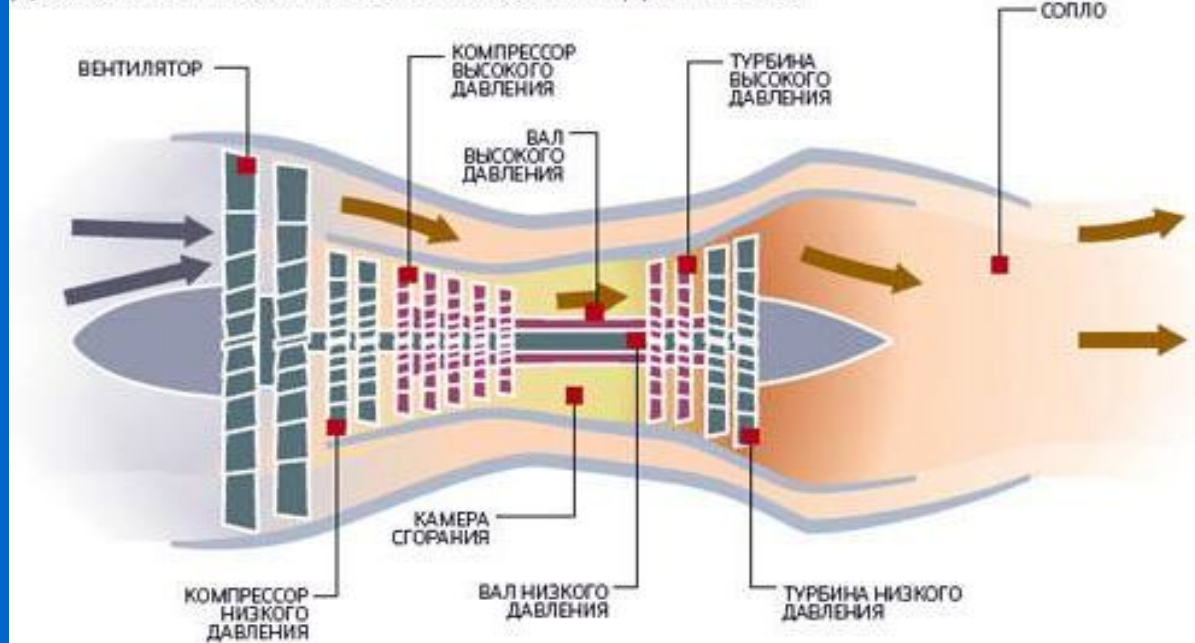
Работа осевого компрессора



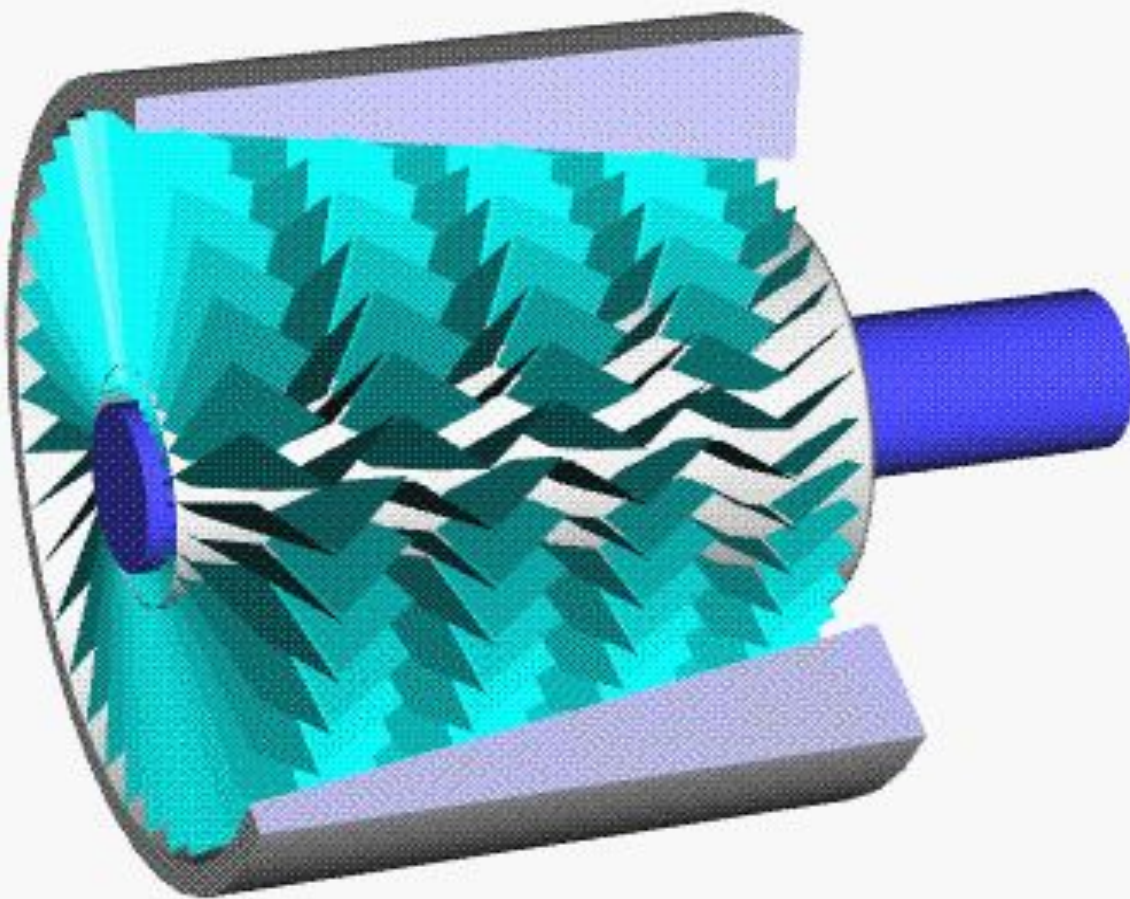
Компрессор (от лат. compressio — сжатие) — устройство для сжатия и подачи газов под давлением.

Осевой компрессор — это разновидность компрессоров, предназначенная для повышения давления рабочего тела за счёт взаимодействия последнего с подвижными неподвижными лопаточными решётками компрессора.

ДВУХКОНТУРНЫЙ ТУРБОРЕАКТИВНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ



Принцип действия осевых компрессоров — увеличение полного давления рабочего тела за счёт преобразования механической работы компрессора в кинетическую энергию рабочего тела с последующим преобразованием её во внутреннюю энергию.

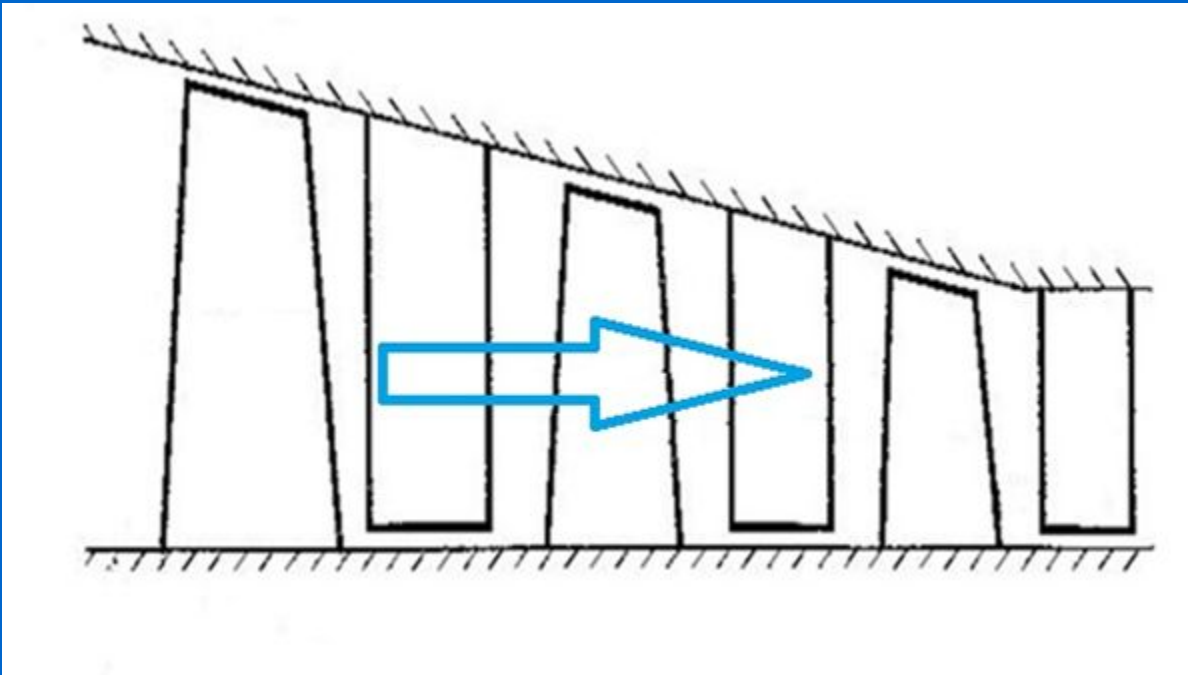


В осевом компрессоре поток воздуха движется условно вдоль оси вращения компрессора.

Осевой компрессор состоит из чередующихся подвижных (вращающихся) лопаток, закреплённых на валу ротора и именуемых *рабочими колёсами (РК)*, и неподвижных лопаточных решёток статора и именуемых *направляющими аппаратами (НА)*.

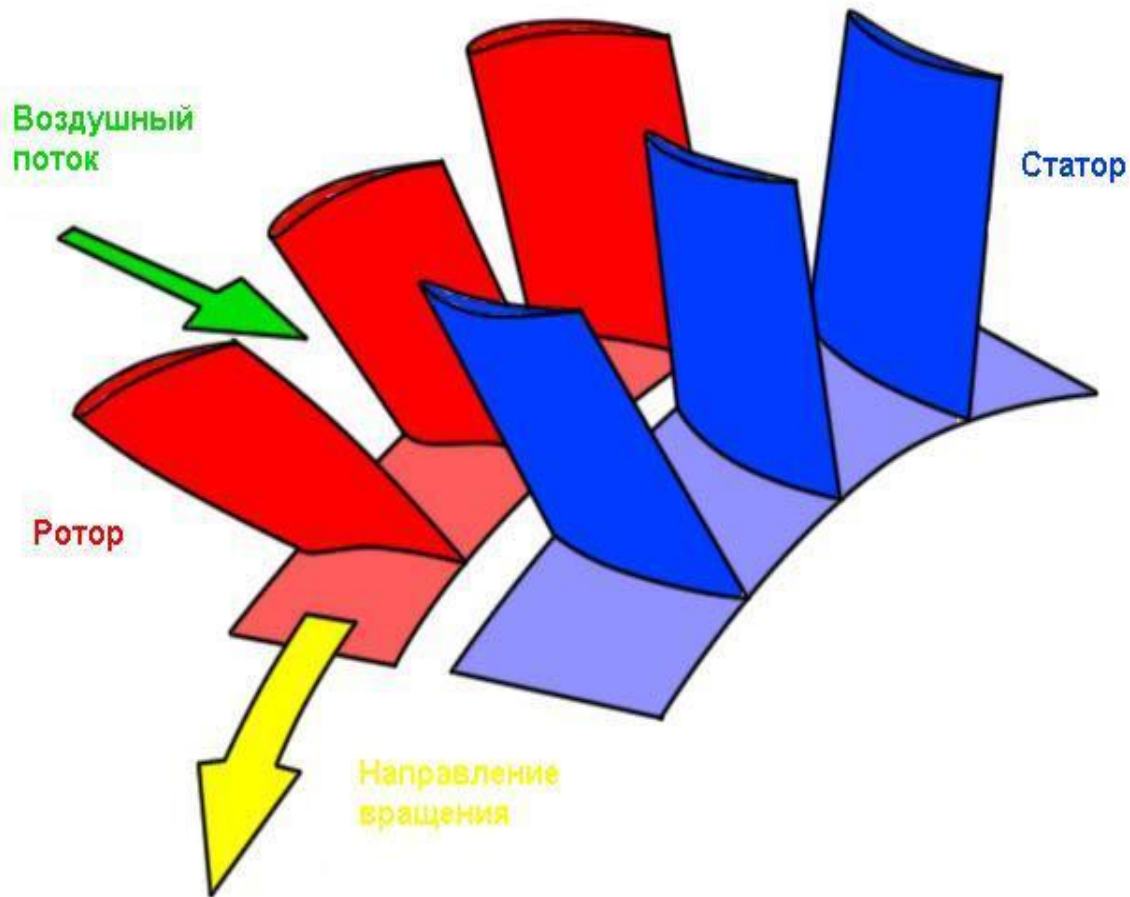
Проточная часть осевого компрессора

Статор компрессора совместно с ротором образуют проточную часть осевого компрессора. Пространство между соседними лопатками как в рабочем колесе, так и в направляющем аппарате именуется межлопаточным каналом. Межлопаточный канал в как в рабочем колесе, так и в направляющем аппарате диффузорный, то есть расширяющийся.



Решётка из неподвижных направляющих лопаток обеспечивает изменение направления скорости частиц газа, необходимое для эффективного действия следующей ступени. Степень повышения давления для одной ступени ОК обычно ниже, чем у ЦБН, но КПД самый высокий из всех разновидностей компрессоров.

Ступень осевого компрессора

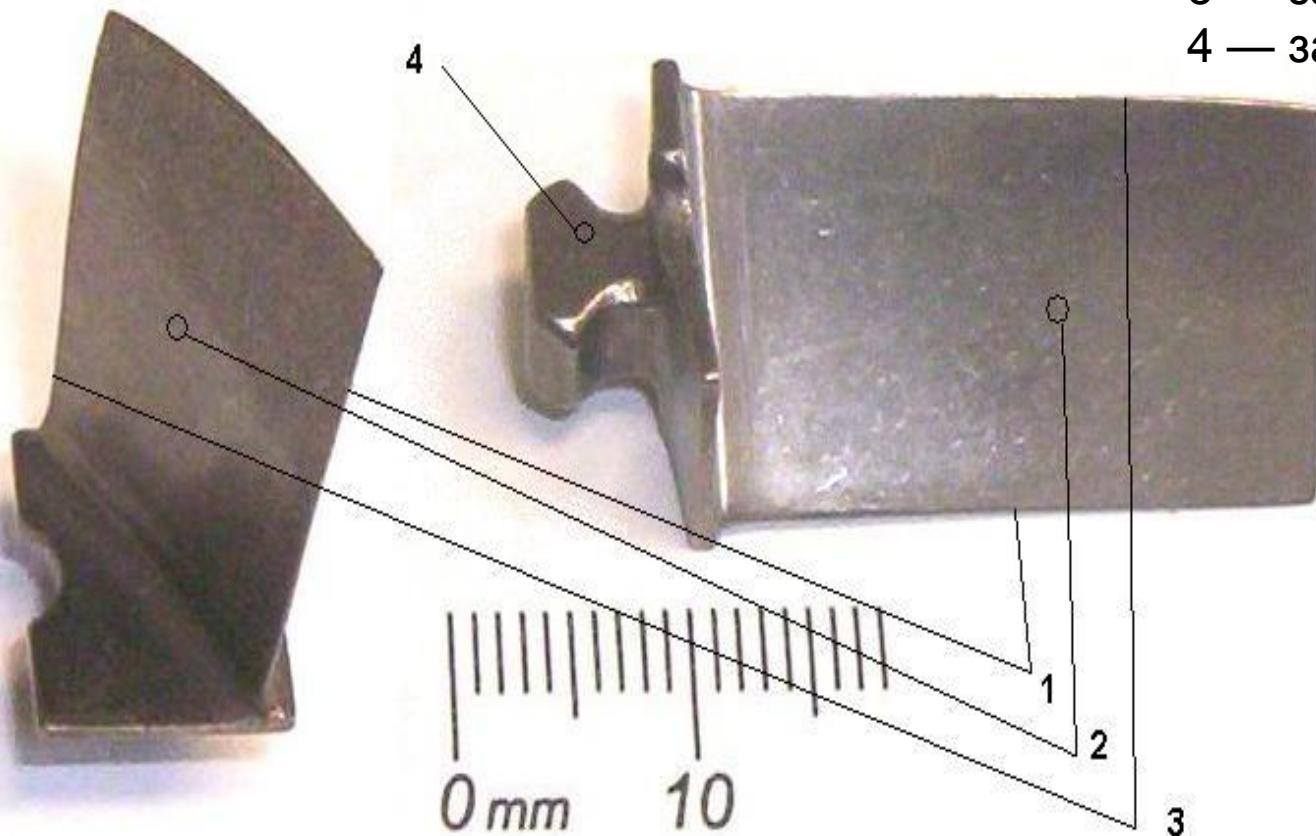


Совокупность, состоящая из одного рабочего колеса и одного направляющего аппарата именуется **ступенью**.

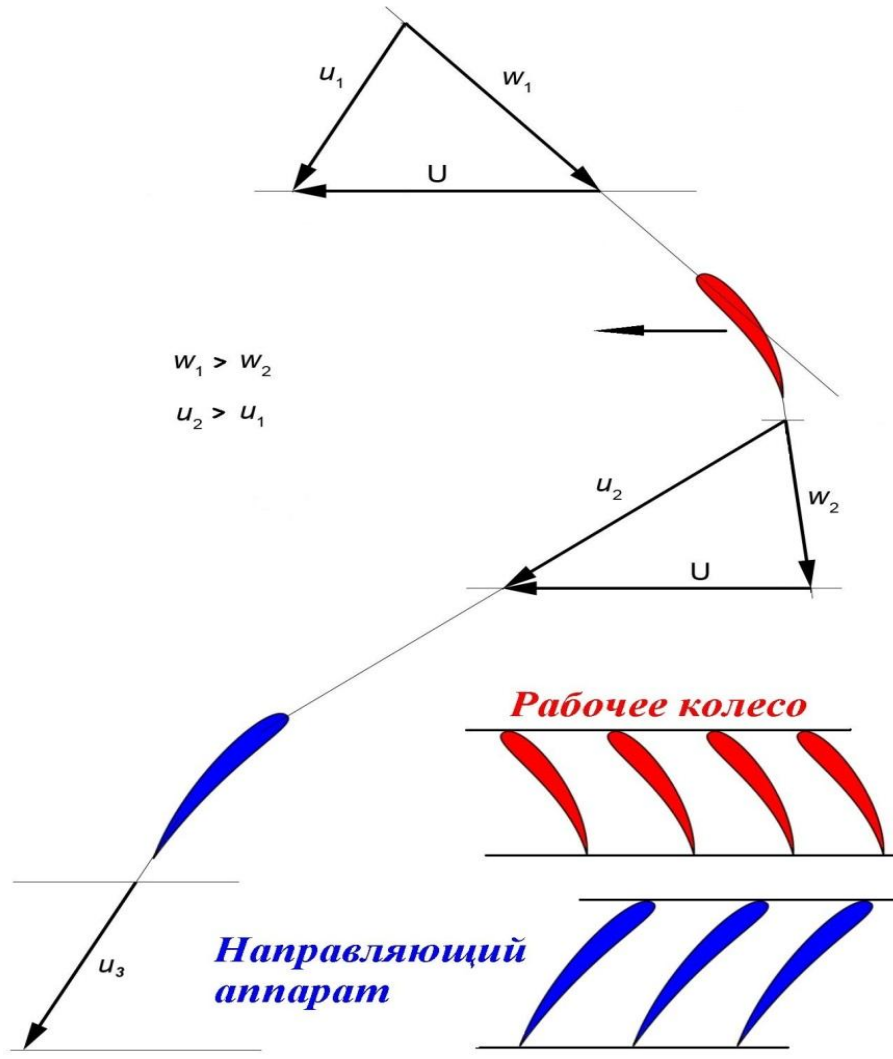
Пространство между соседними лопатками как в рабочем колесе, так и в направляющем аппарате именуется **межлопаточным каналом**. Межлопаточный канал как в рабочем колесе, так и в направляющем аппарате расширяющийся.

Лопатка осевого компрессора

- 1 — передняя кромка
- 2 — перо лопатки
- 3 — задняя кромка
- 4 — замок лопатки



Векторная схема осевого компрессора



При прохождении через рабочее колесо, воздух участвует в сложном движении.

Абсолютное u - движение частиц воздуха относительно оси двигателя.

Относительное движение w - движение частиц воздуха относительно лопаток рабочего колеса.

Переносное движение U - вращение рабочего колеса относительно оси двигателя.

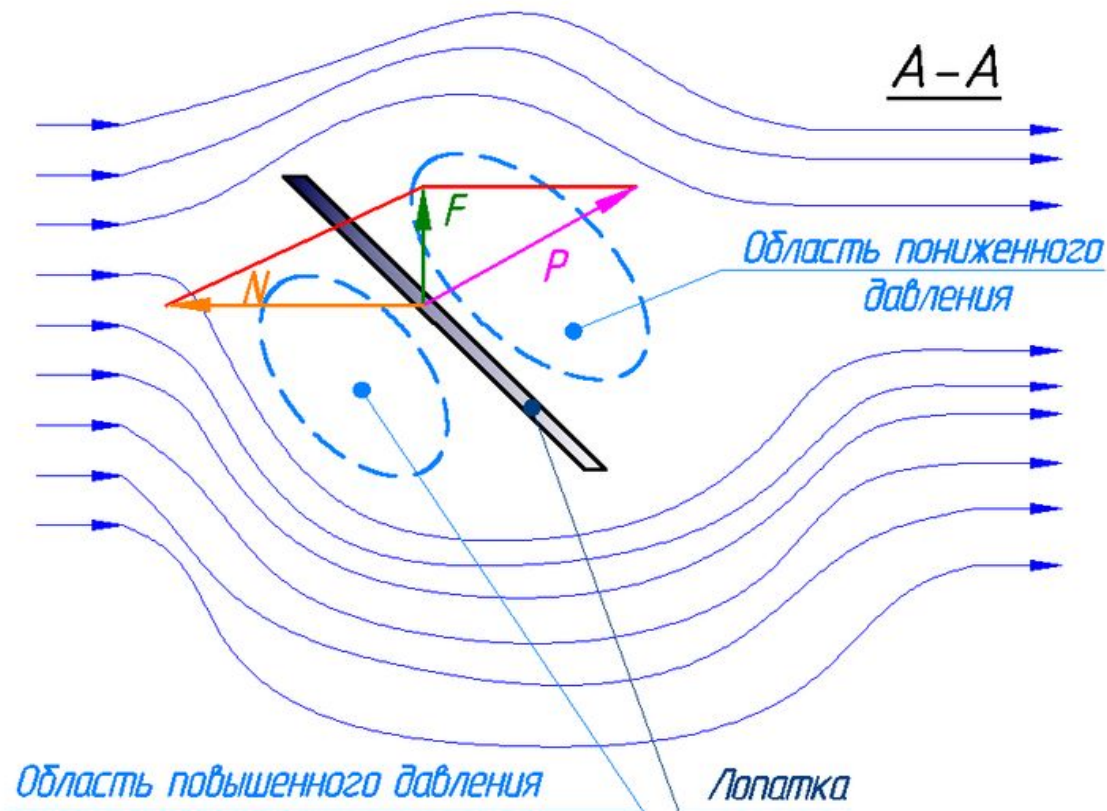
Таким образом, когда частицы воздуха попадают в рабочее колесо со скоростью, обозначенной вектором w_1 , лопатки воздействуют на частицы воздуха придавая им переносную скорость обозначенную на рисунке вектором U .

Абсолютная скорость частиц воздуха в этот момент обозначена вектором u_1 . При прохождении через рабочее колесо, за счёт расширения межлопаточного канала, происходит уменьшение относительной скорости на выходе из рабочего колеса w_2 , что приводит к увеличению давления на рабочем колесе компрессора. За счёт кривизны межлопаточного канала происходит направления вектора w_2 . На выходе из рабочего колеса на частицы воздуха продолжают действовать лопатки, придавая им переносную скорость, обозначенную на рисунке вектором U . По правилу сложения векторов абсолютная скорость частиц воздуха в этот момент обозначена вектором u_2 , который изменяет направление и увеличивается. Затем воздух попадает в направляющий аппарат. За счёт расширения межлопаточного канала происходит торможение потока, что приводит к росту статического давления. Кривизна межлопаточного канала приводит к повороту потока для получения более эффективного угла входа потока воздуха в следующее рабочее колесо. Таким образом, ступень за ступенью, происходит повышение давления воздуха. Скорость потока в рабочем колесе растёт, в направляющем аппарате — падает. Но, ступени компрессора и весь компрессор проектируют таким образом, что бы скорость потока уменьшалась.

При прохождении воздуха через компрессор растёт и его температура, что является отрицательным побочным эффектом. Перед входом в первое рабочее колесо может быть установлен входной направляющий аппарат (ВНА) который производит предварительный поворот потока воздуха на входе в компрессор. Высокая степень газодинамической инертности лопастных компрессоров является причиной того, что компрессор достаточно медленно набирает обороты, обладает низкой приёмистостью. Лопастные компрессоры приводятся в движение турбинами, которые, в свою очередь долго снижают свои обороты, таким образом, смена режимов работы таких турбо-компрессоров занимает достаточно длительный промежуток времени. Решением данной проблемы стало разделение компрессоров на каскады. Часть ступеней компрессора стали крепить на одном валу, часть — на другом, каждую из частей приводит в движение своя турбина. Данное решение как улучшило работу компрессоров на переходных режимах, так и повысило их газодинамическую устойчивость. Другим средством повышения газодинамической устойчивости осевых компрессоров стало применение поворачивающихся направляющих аппаратов для изменения угла входа потока в рабочее колесо в зависимости от режима работы двигателя.

Векторная схема осевого компрессора

Промышленность выпускает осевые компрессоры с жестким креплением лопаток к ротору и с поворотным креплением (поворот - перестановка лопаток производится при остановленном компрессоре). Имеются конструкции крупных осевых компрессоров с лопатками, поворачивающимися на ходу через полый вал аналогично поворотной-лопастным гидротурбинам. Это дает большие удобства при регулировании подачи при сохранении высокого КПД. Однако этот способ усложняет и удорожает конструкцию и оправдан только для крупных машин.



P – сила от действия пониженного и повышенного давления; N – сила реакции лопатки; F – результирующая сила, действующая на лопатку.

Результирующая от действия всех сил, действующих на лопатку, передаёт крутящий момент на вал турбины. Совокупность, состоящая из одного соплового аппарата и одного рабочего колеса турбины, называется *ступенью*.

При прохождении через турбину, рабочее тело (продукты горения газа в смеси с воздухом) участвует в сложном движении. Составляющие сложного движения:

Абсолютное движение u - движение частиц воздуха относительно оси двигателя.

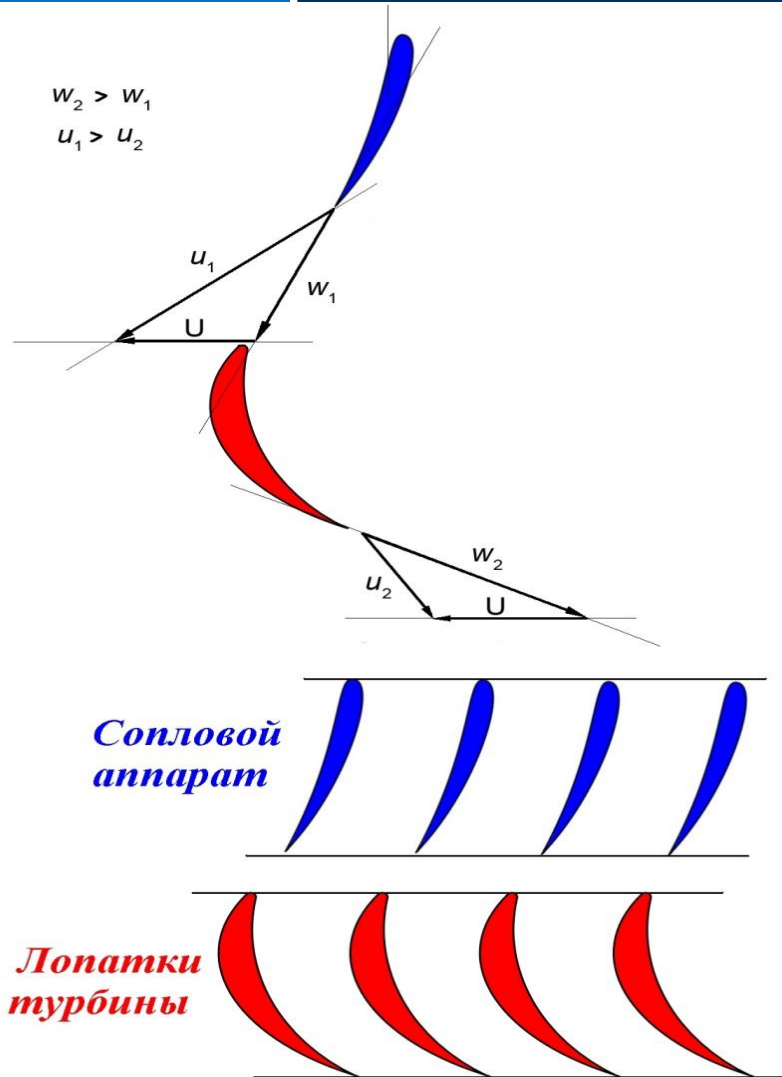
Относительное движение w - движение частиц рабочего тела относительно лопаток турбины.

Переносное движение U - вращение рабочего колеса относительно оси двигателя.

Частицы рабочего тела, попадая в межлопаточный канал соплового аппарата изменяют направление для наиболее эффективного угла входа газового потока на лопатки турбины.

При попадании газового потока на лопатку турбины под углом, показанным на рисунке вектором w_1 , на частицу рабочего тела начинает действовать переносная скорость U , которая совпадает с направлением вращения колеса турбины. При сложении векторов получен результирующий вектор u_1 .

Векторная схема турбины



При прохождении через сужающийся межлопаточный канал турбины, происходит увеличение относительной скорости на выходе w_2 . Давление при этом падает.

Также за счёт кривизны лопатки происходит изменение направления данного вектора. На выходе из межлопаточного канала на частицы потока продолжают действовать лопатки, придавая им переносную скорость обозначенную на рисунке вектором U . Абсолютная скорость частиц воздуха, в этот момент обозначена вектором u_2 , который изменяет направление и уменьшается по модулю.

Таким образом на лопатке турбины

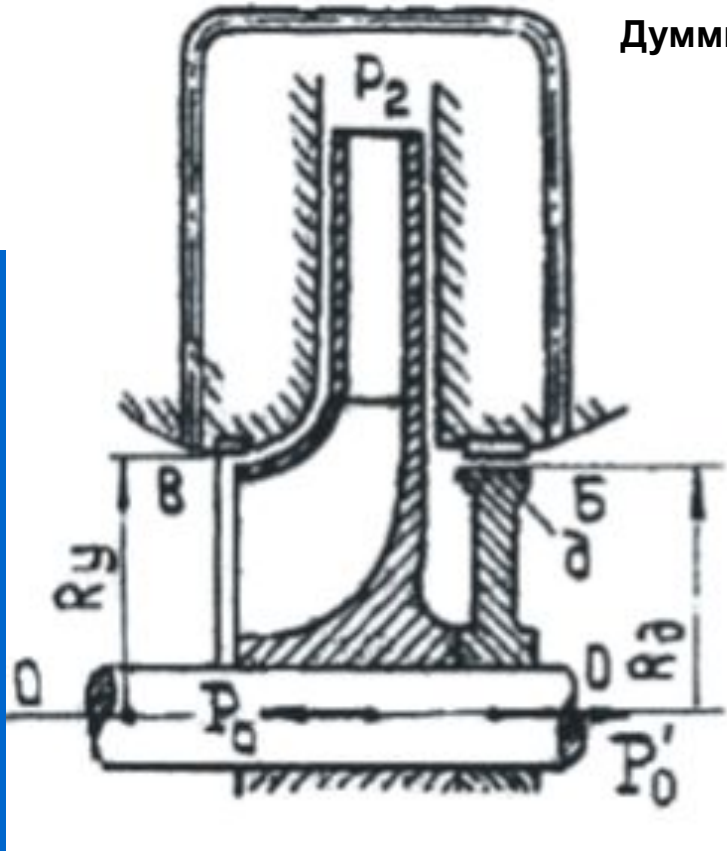
происходит превращение (срабатывание) кинетической энергии газового потока в механическую работу вращения ротора турбины.

План-конспект разработал: зам.начальника ГКС-20 _____ В.Б.Емельянов

Спасибо за внимание!

ДУММИС?

Думмис - разгрузочный диск для уравнивания осевой силы



Поверхность «д» между диском и корпусом уплотнена. Если полости В и Б соединить трубопроводом, то в результате разницы давлений, действующих на разгрузочный диск, появляется уравнивающая сила P'_0 , приложенная к диску. Величина ее зависит от площади разгрузочного диска.