

СУДОВЫЕ ПАРОТУРБИННЫЕ УСТАНОВКИ



1. Назначение и классификация судовых ПТУ.
2. Назначение и классификация судовых паровых турбин.
3. Устройство и принцип действия ступени паровой турбины.
4. Многоступенчатые паровые турбины.
5. Схема и термодинамический цикл судовой ПТУ
6. Конструкции судовых паровых турбин

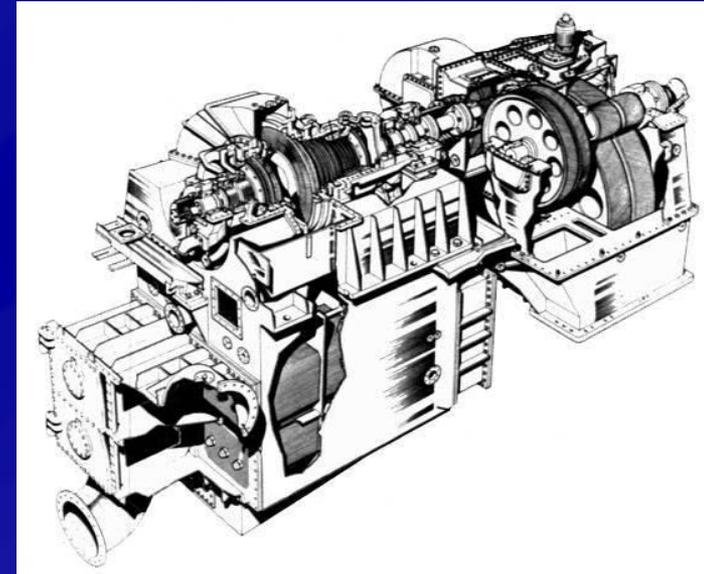
ЛИТЕРАТУРА:

- 1. Болдырев О.Н. Судовые энергетические установки. Часть II. Котлотурбинные энергетические установки. Учебное пособие. – Северодвинск: Севмашвтуз, 2004. – 188 с.**
- 2. Слободянюк Л.И., Поляков В.И. Судовые паровые и газовые турбины и их эксплуатация. – Л.: Судостроение, 1983. – 360 с.**

НАЗНАЧЕНИЕ СУДОВОЙ ПАРОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ

Судовая паротурбинная установка (ПТУ) - комплекс механизмов, аппаратов, устройств и систем, предназначенных для преобразования тепловой и кинетической энергии пара в механическую энергию вращения ротора турбины.

Паровая турбина - тепловой двигатель с вращательным движением рабочего органа и непрерывным рабочим процессом двойного преобразования энергии пара: потенциальной энергии пара в кинетическую энергию движущейся струи, с последующим преобразованием ее в механическую энергию вращения ротора.



КЛАССИФИКАЦИЯ СУДОВЫХ ПАРОВЫХ ТУРБИН

По назначению:

- **главные**, передающие крутящий момент на вращение гребного вала судна (главные турбины в свою очередь делятся на турбины переднего и заднего хода);
- **вспомогательные**, приводящие в действие вспомогательные механизмы турбинной, парогенерирующей установок, и механизмы общесудового назначения.

По числу корпусов:

- **однокорпусные**, у которых вся проточная часть находится в одном корпусе;
- **многокорпусные**, у которых проточная часть размещена в нескольких корпусах (как правило, не более трех), соединенных между собой пароперепускными трубами – ресиверами. В этом случае отдельные корпуса турбин называют турбинами высокого (ТВД), среднего (ТСД) и низкого (ТНД) давления.

По характеру рабочего процесса в проточной части:

- **активные турбины**, в которых расширение пара происходит полностью в сопловом (направляющем) аппарате, а в каналах, образованных рабочими лопатками происходит только изменение направления движения потока пара;
- **реактивные турбины**, в которых расширение пара происходит как в направляющем аппарате, так и в каналах рабочих лопаток;
- **комбинированные турбины**, в проточной части которых используются активные и реактивные ступени.

КЛАССИФИКАЦИЯ СУДОВЫХ ПАРОВЫХ ТУРБИН

По начальным параметрам пара:

- турбины перегретого пара;
- турбины влажного пара.

По противодействию:

- турбины, работающие на противодействие (давление пара на выходе из турбины больше атмосферного). Как правило, к таким турбинам относятся турбины приводов вспомогательных механизмов;
- конденсационные турбины, в которых пар расширяется до давления много меньшего атмосферного; к таким турбинам относятся все главные турбины и турбины приводов вспомогательных механизмов большой мощности.

По способу передачи мощности:

- прямодействующие турбины, передающие вращающий момент на потребители мощности без использования передачи (как правило, турбины высокооборотных вспомогательных механизмов);
- турбины с зубчатой или электрической передачами, передающие вращающий момент на потребитель через механическую или электрическую передачу.

По возможности осуществления реверса:

- реверсивные турбины, у которых в состав проточной части входят ступени переднего и заднего хода, и имеющие возможность изменения направления вращения ротора на противоположное (как правило, все главные турбины);
- неревверсивные турбины, не имеющие в составе проточной части ступеней заднего хода.

КЛАССИФИКАЦИЯ СУДОВЫХ ПАРОВЫХ ТУРБИН

По расположению оси корпусов:

- **горизонтальные;**
- **вертикальные.**

По направлению потока пара:

- **аксиальные** (осевые) турбины, в проточной части которых поток пара движется вдоль оси ротора;
- **радиальные центробежные турбины**, в проточной части которых поток пара движется от центра к периферии;
- **радиальные центростремительные турбины**, в проточной части которых поток пара движется от периферии к центру (оси ротора);
- **радиально-осевые турбины**, в которых поток пара входит в ступень турбины вдоль оси ротора, а выходит в направлении перпендикулярном оси ротора; или наоборот, входит в ступень в направлении перпендикулярном оси ротора, а выходит из ступени вдоль оси.

По числу потоков пара:

- **однопроточные турбины**, в которых весь поток пара движется через единственную проточную часть;
- **двухпроточные**, в которых поток пара делится на две части, каждая из которых проходит через свою проточную часть (двухпроточные турбины в свою очередь могут быть со **сходящимися** и с **расходящимися** потоками пара).

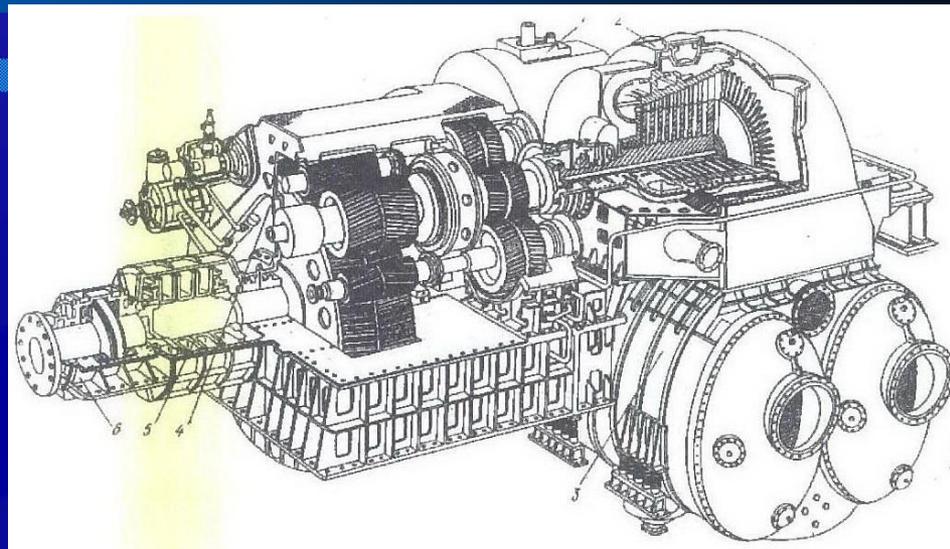
ГЛАВНЫЙ ТУРБОЗУБЧАТЫЙ АГРЕГАТ

Совокупность паровой турбины, редуктора и главного конденсатора называют **главным турбозубчатым агрегатом - ГТЗА**. Иногда к ГТЗА относят также главный упорный подшипник и звукоизолирующую муфту.

ГТЗА является единым блоком для выработки механической энергии и передачи ее движителю на судне с ПТУ.

Особенностями паровых турбин, по сравнению с другими типами тепловых двигателей, являются:

- непрерывный процесс, позволяющий при постоянной мощности обеспечить постоянные давления и температуры на отдельных участках проточной части турбины, и соответственно, постоянные термические и механические напряжения;
- отсутствие возвратно-поступательного движения, что создает благоприятные условия для работы и снижает вибрацию установки;
- практически неограниченная мощность, заключенная в одном корпусе;
- низкая стоимость постройки и ремонта;
- относительно низкие массогабаритные показатели;
- простота устройства, регулирования мощности и эксплуатации.



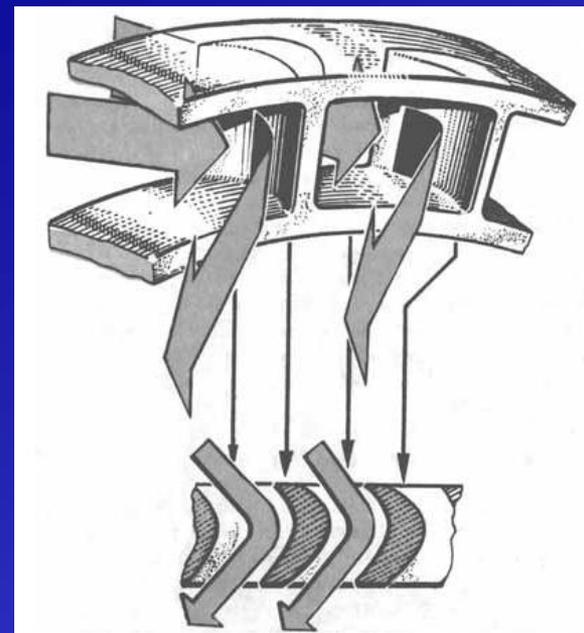
УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ СТУПЕНИ ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ

Турбинная ступень - совокупность неподвижного ряда сопловых (направляющих) лопаток, в каналах которых происходит расширение и ускорение потока пара (преобразование потенциальной энергии пара в кинетическую энергию движущейся струи пара), и следующего за ним подвижного вращающегося ряда рабочих лопаток, в которых кинетическая энергия движущегося потока пара преобразуется в механическую энергию вращения ротора.

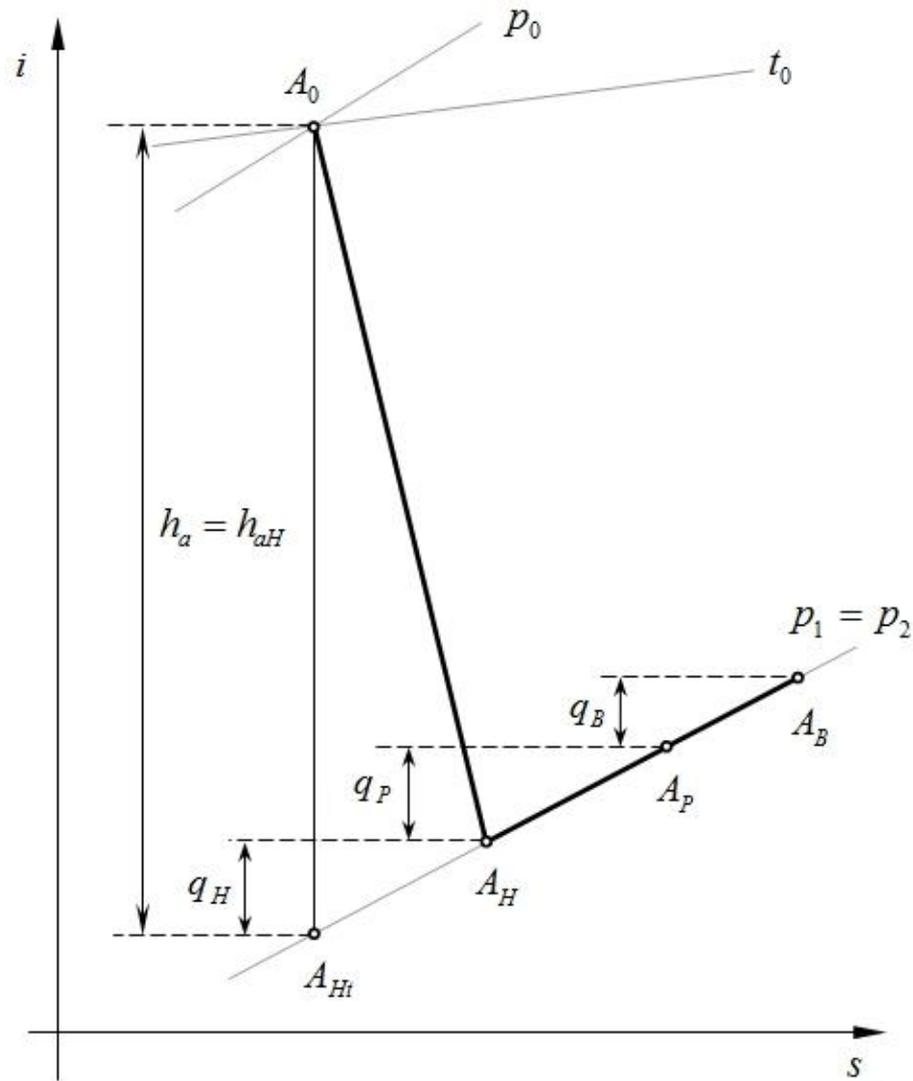
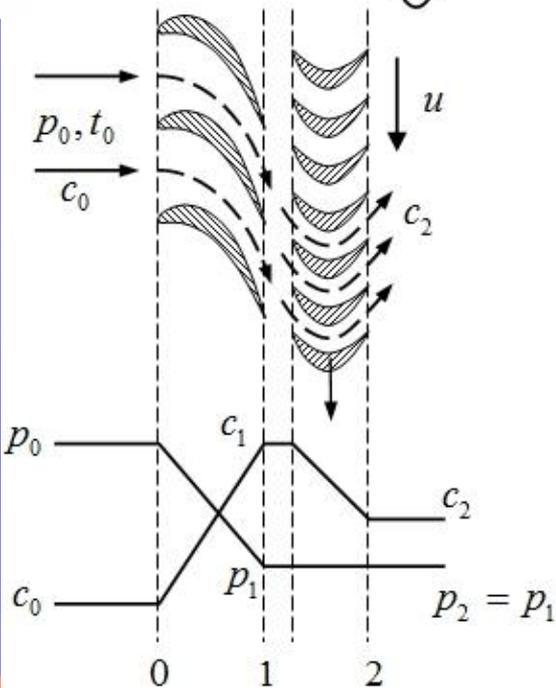
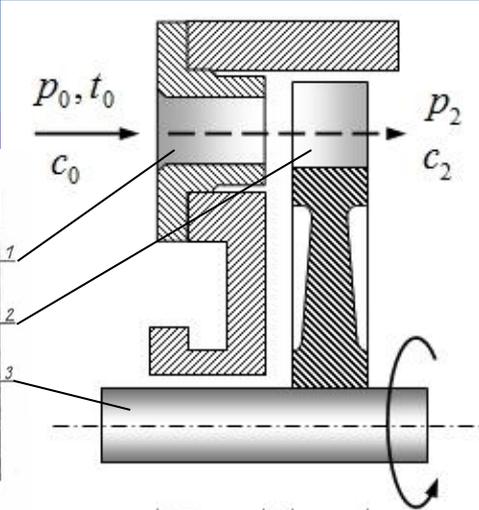
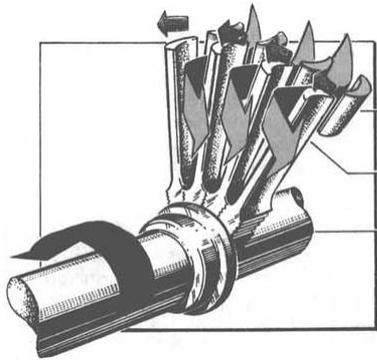
Турбинная ступень включает:

- неподвижные направляющие лопатки или сопла, в которых тепловая энергия пара за счет перепада давления и температуры преобразуется в кинетическую энергию потока;
- направляющие лопатки как части ротора, при сквозном проходе, через которые кинетическая энергия пара производит работу.

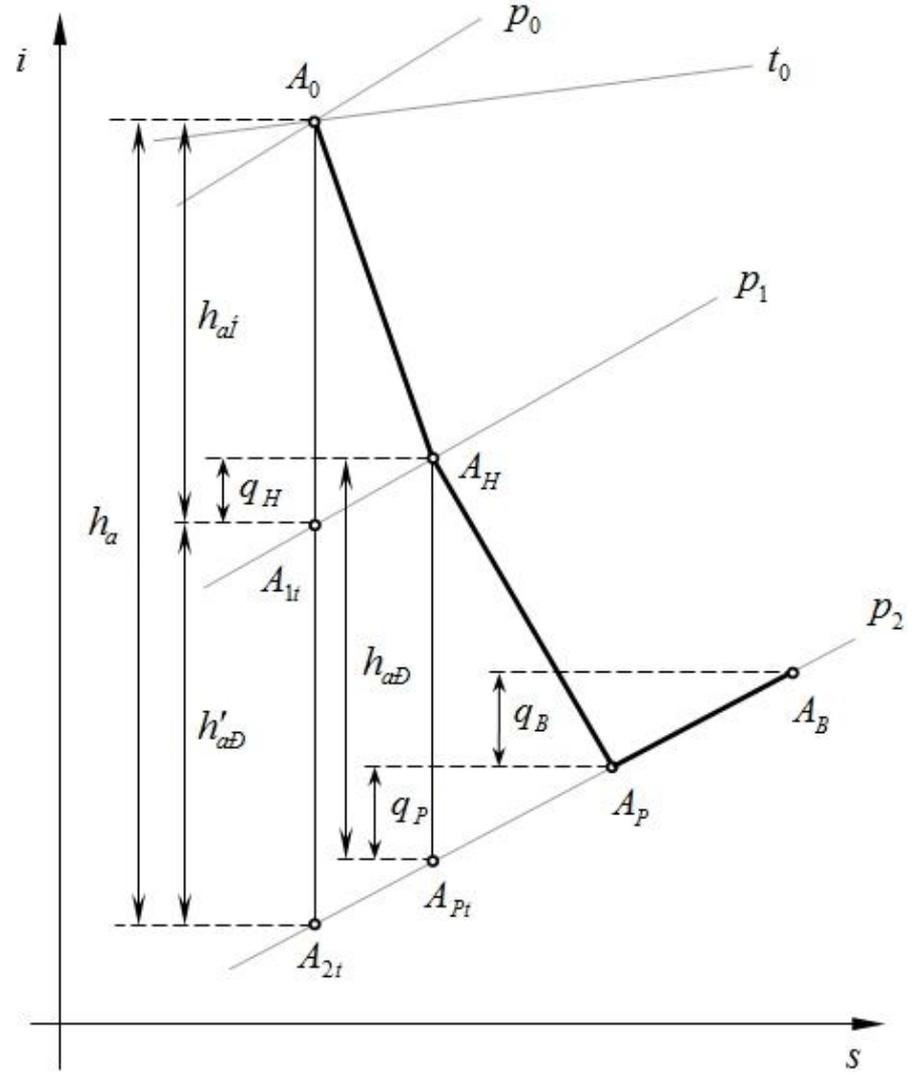
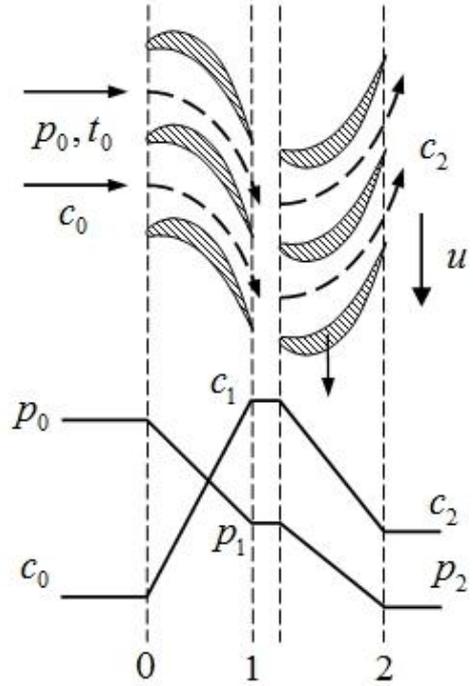
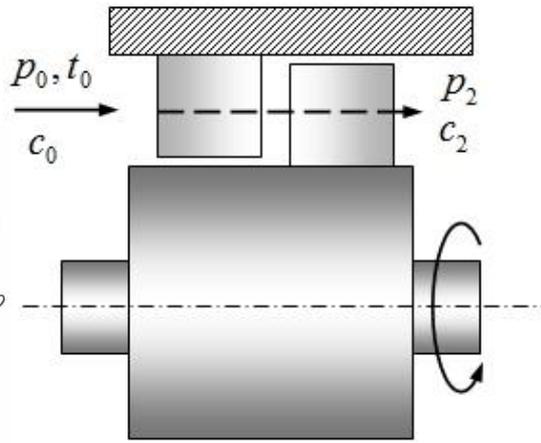
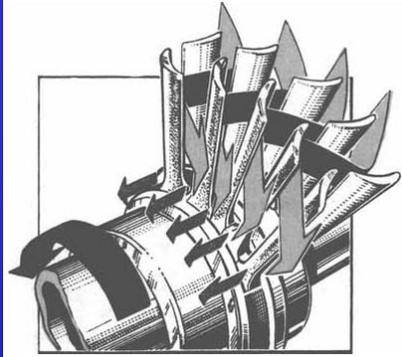
Направляющие лопатки применяют в том случае, когда конечное давление расширения составляет более 55 % давления пара на входе, в других случаях используют сопла. Скорость выхода пара из турбины достигает 500-600 м/с.



ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ И ПРОЦЕСС РАСШИРЕНИЯ ПАРА В АКТИВНОЙ ТУРБИННОЙ СТУПЕНИ



ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ И ПРОЦЕСС РАСШИРЕНИЯ ПАРА В РЕАКТИВНОЙ ТУРБИННОЙ СТУПЕНИ



СТЕПЕНЬ РЕАКТИВНОСТИ ТУРБИННОЙ СТУПЕНИ

Степень реактивности турбинной ступени – отношение величины изоэнтروпийного теплоперепада на рабочих лопатках к сумме располагаемых изоэнтропийных теплоперепадов на направляющих и рабочих лопатках, которая примерно равна располагаемому теплоперепаду всей турбинной ступени

$$\rho = \frac{h_{aP}}{h_{aH} + h_{aP}} \approx \frac{h_{aP}}{h_a}$$

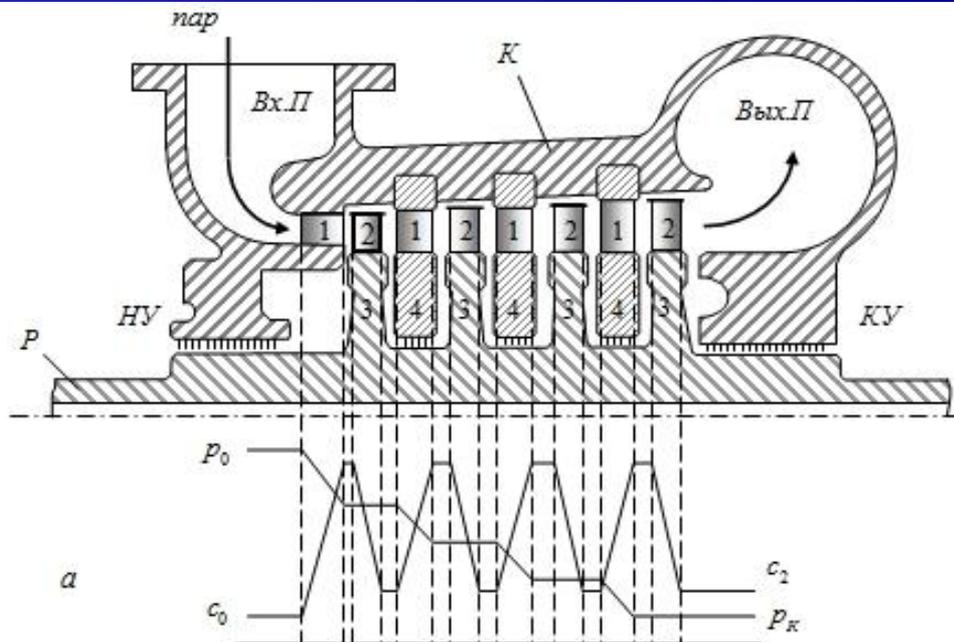
Таким образом, чем больше степень расширения пара в каналах рабочих лопаток, тем больше степень реактивности турбинной ступени:

$\rho = 0$ – для чисто активных турбин (расширение пара происходит только в сопловом (направляющем) аппарате;

$\rho = 0,5$ – для чисто реактивных ступеней (расширение пара происходит в равной степени в направляющем аппарате и рабочих лопатках

МНОГОСТУПЕНЧАТЫЕ ПАРОВЫЕ ТУРБИНЫ

Активная турбина



Реактивная турбина

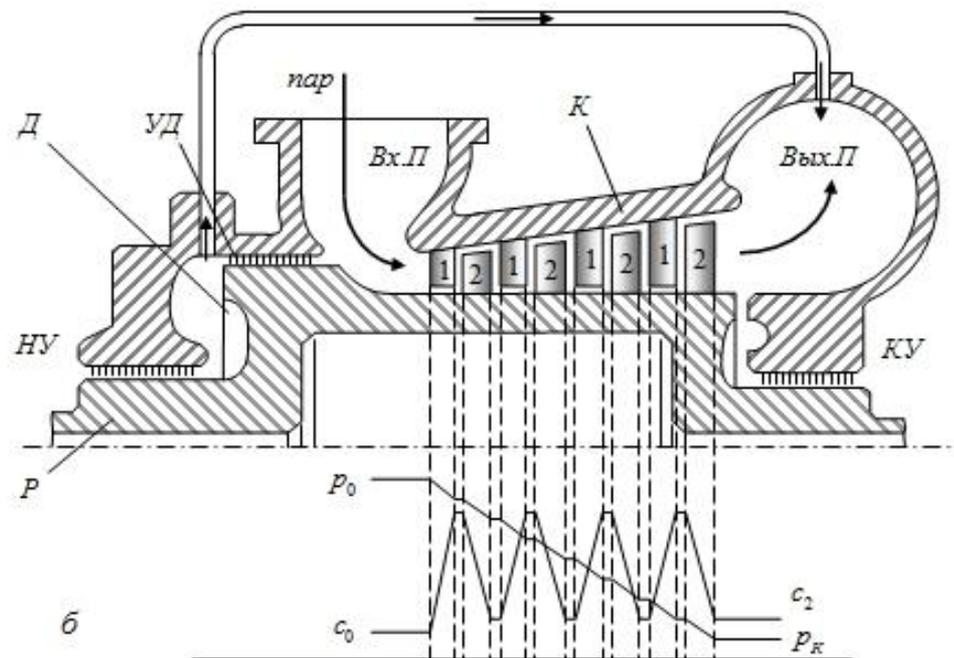
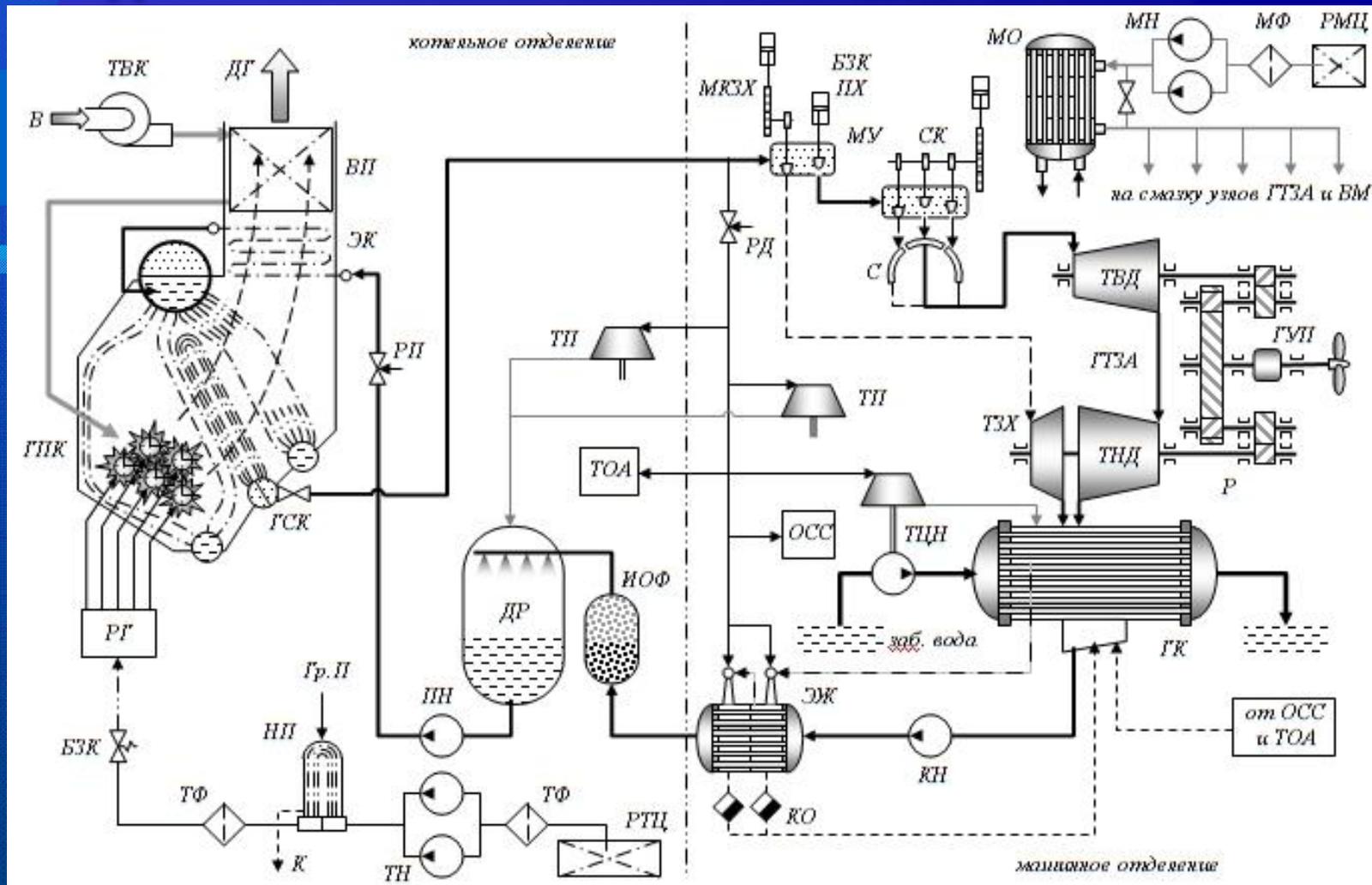
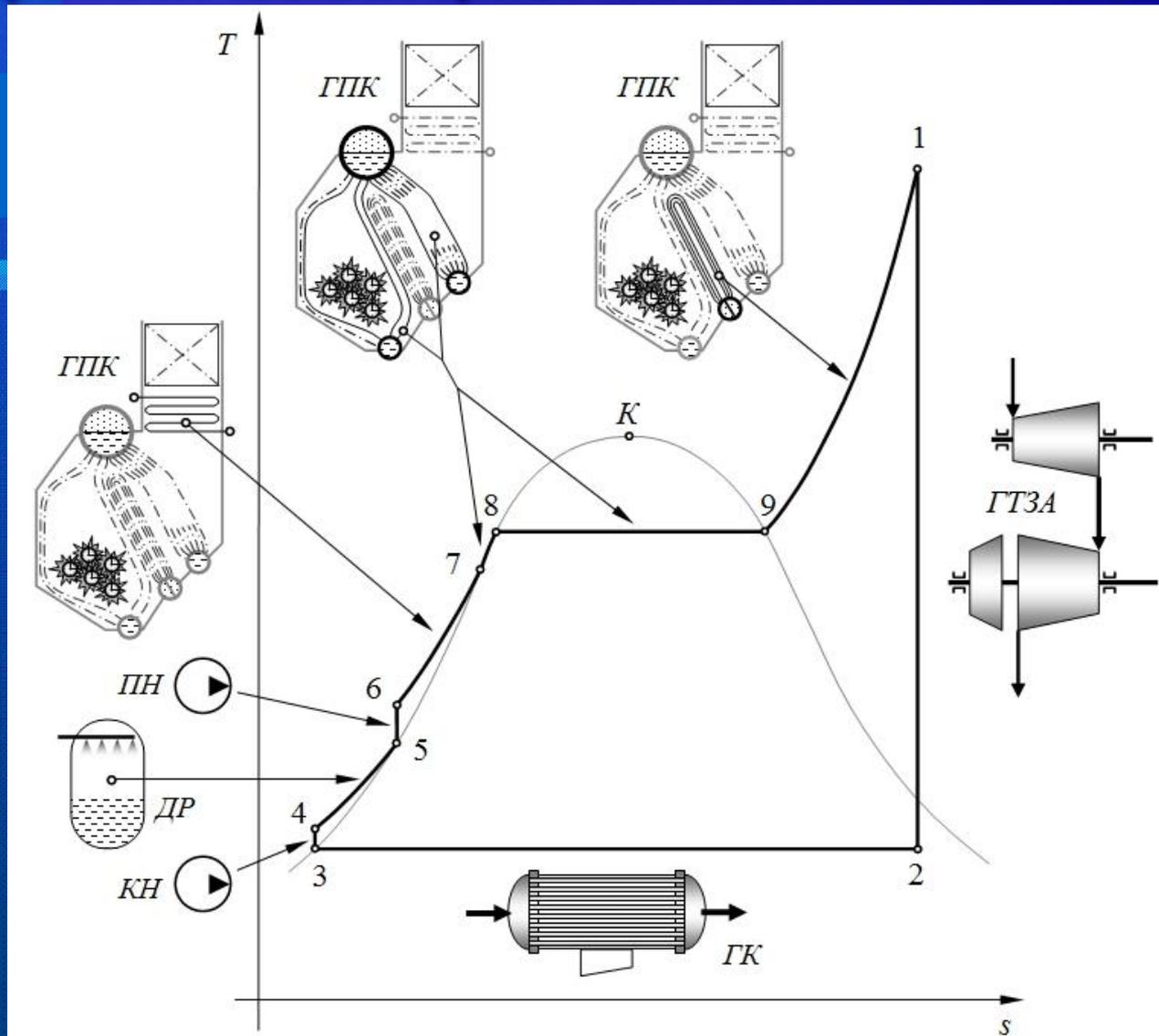


СХЕМА СУДОВОЙ ПАРОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ



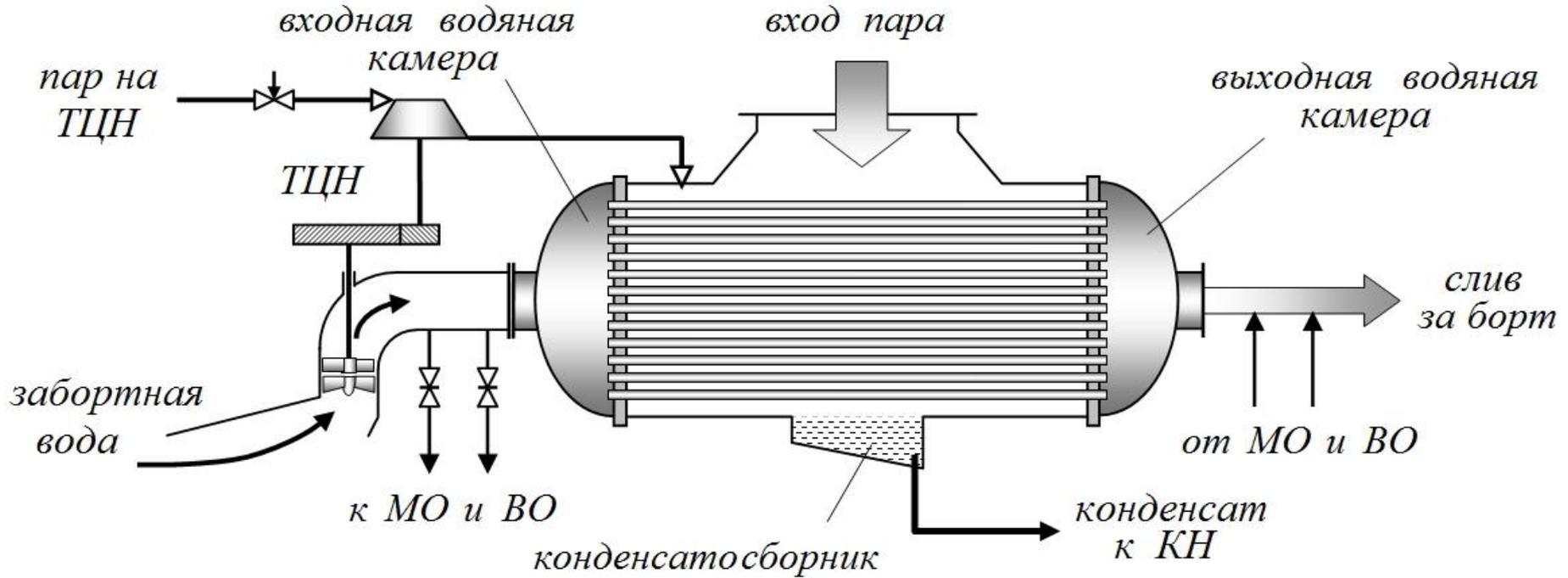
ГПК – главный паровой котел; ТВК – турбовентилятор котельный; ЭК – экономайзер; В– воздух; ДГ – дымовые газы; ВП – воздухоподогреватель; РП – регулятор питания котла; ГСК – главный стопорный клапан; РГ – регулятор горения; ТФ – топливный фильтр; БЗК – быстрозапорный топливный клапан; НП – нефтеподогреватель; Гр.П – греющий пар; К – конденсат греющего пара; ТН – топливные насосы; РТЦ – расходная топливная цистерна; РД – регулятор давления; МУ – маневровое устройство; МКЗХ – маневровый клапан заднего хода; ПЗКПХ – быстрозапорный клапан передн. хода; СК–сопловые клапаны переднего хода; С–сопловый аппарат; ГТЗА–главный турбозубчатый агрегат; ТВД– турбина высок. давления; ТНД–турбина низк. давления; ТЗХ–турбина заднего хода; Р–редуктор; ГУП– главный упорный подшипник; ГК–гл. конденсатор; ТЦН–турбоциркуляционный насос; КН–конденсатный насос; ЭЖ–пароструйный эжектор; ИОФ– ионообменный фильтр; ДР–деаэратор; ПН–питательн. насос; К–конденсатоотводчики; РМЦ–расходная масл. цистерна; МФ–масл. фильтр; МН–масл. насосы; МО–маслоохладитель; ТП–турбоприводы ВМ машинного и котельного отделений; ТОА–теплообменные аппараты; ОС–общесудовые системы

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ ЦИКЛ ПАРТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ



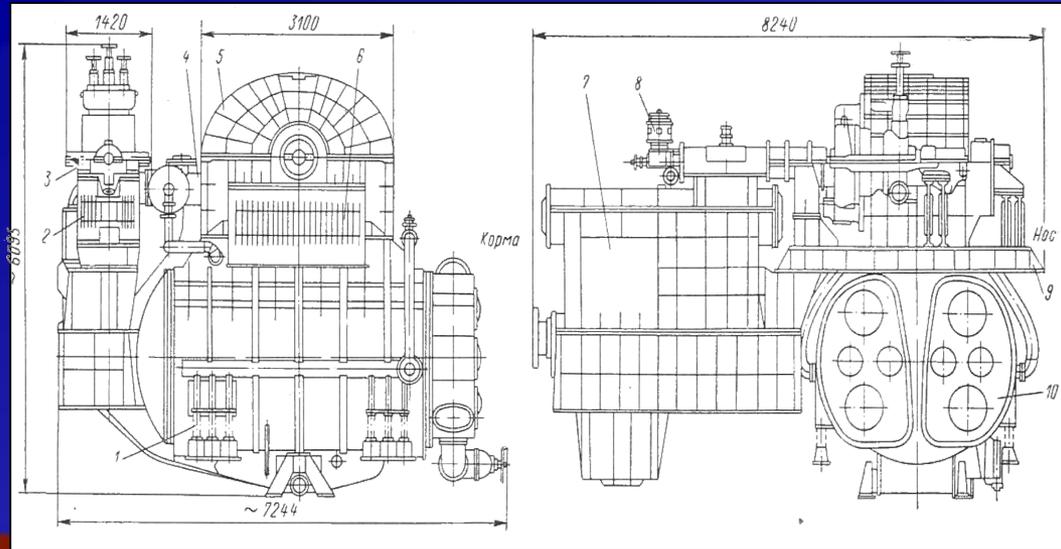
- 1-2 – адиабатное расширение пара в ПТ; 2-3 – изотермич. проц. конденсации пара в ГК;
3-4 – сжатие конденсата в КН; 4-5 – изобарный подогрев конденсата в ВП (ДР);
5-6 – сжатие подогретой пит. воды в ПН; 6-7 – изобарный подогрев питательной воды в ЭК;
7-8 – изобарный подогрев пит. воды до температуры насыщения в И; 8-9 – испарение котловой воды в И;
9-1 – изобарный перегрев пара в ППЕ;

КОНДЕНСАЦИОННАЯ УСТАНОВКА

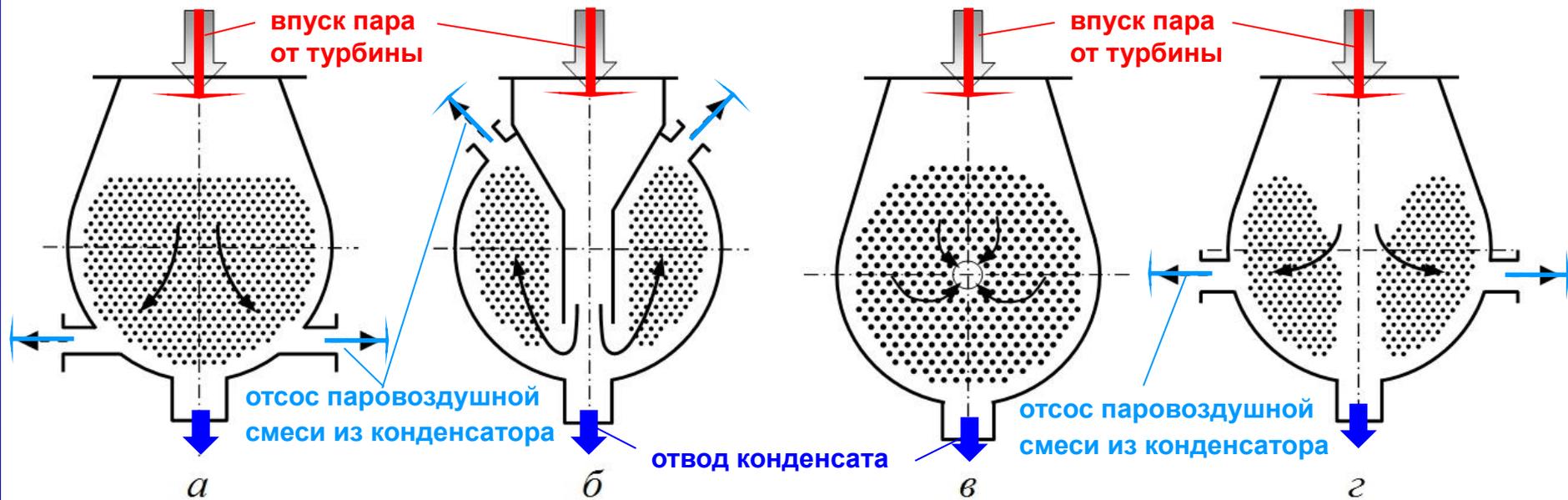


ТЦН – турбоциркуляционный насос;
 КН – конденсатный насос;
 МО – маслоохладитель;
 ВО – воздухоохладители машинно-котельного отделения

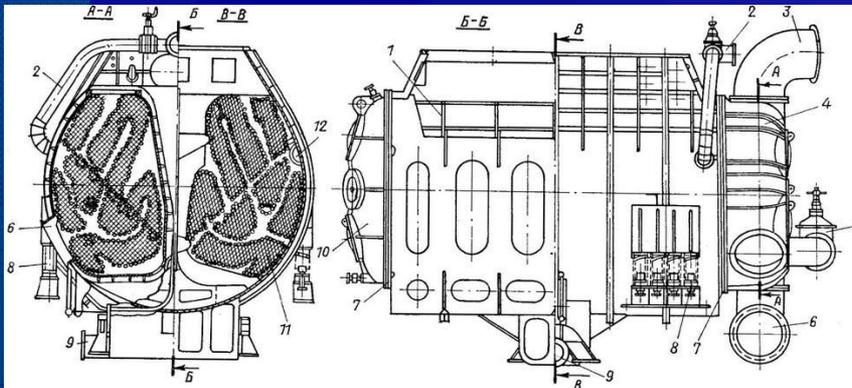
Главный турбозубчатый агрегат



ТИПЫ ПОВЕРХНОСТНЫХ КОНДЕНСАТОРОВ

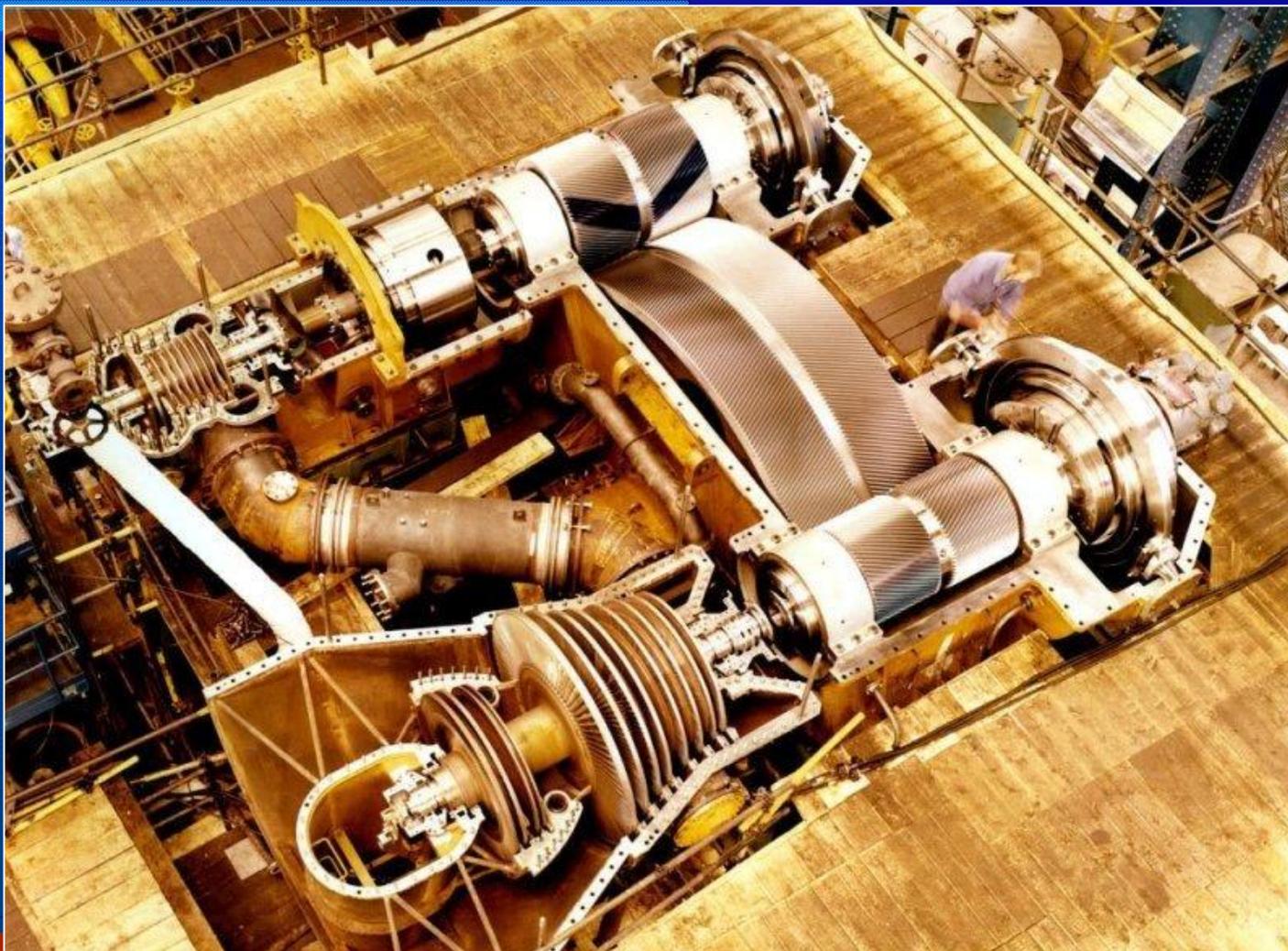


- а – с нисходящим потоком пара;
- б – с восходящим потоком пара;
- в – с центральным потоком пара;
- г – с боковыми потоками пара



КОНСТРУКЦИИ ПАРОВЫХ ТУРБИН

Судовая двухкорпусная
паровая турбина (ТВД и ТНД)

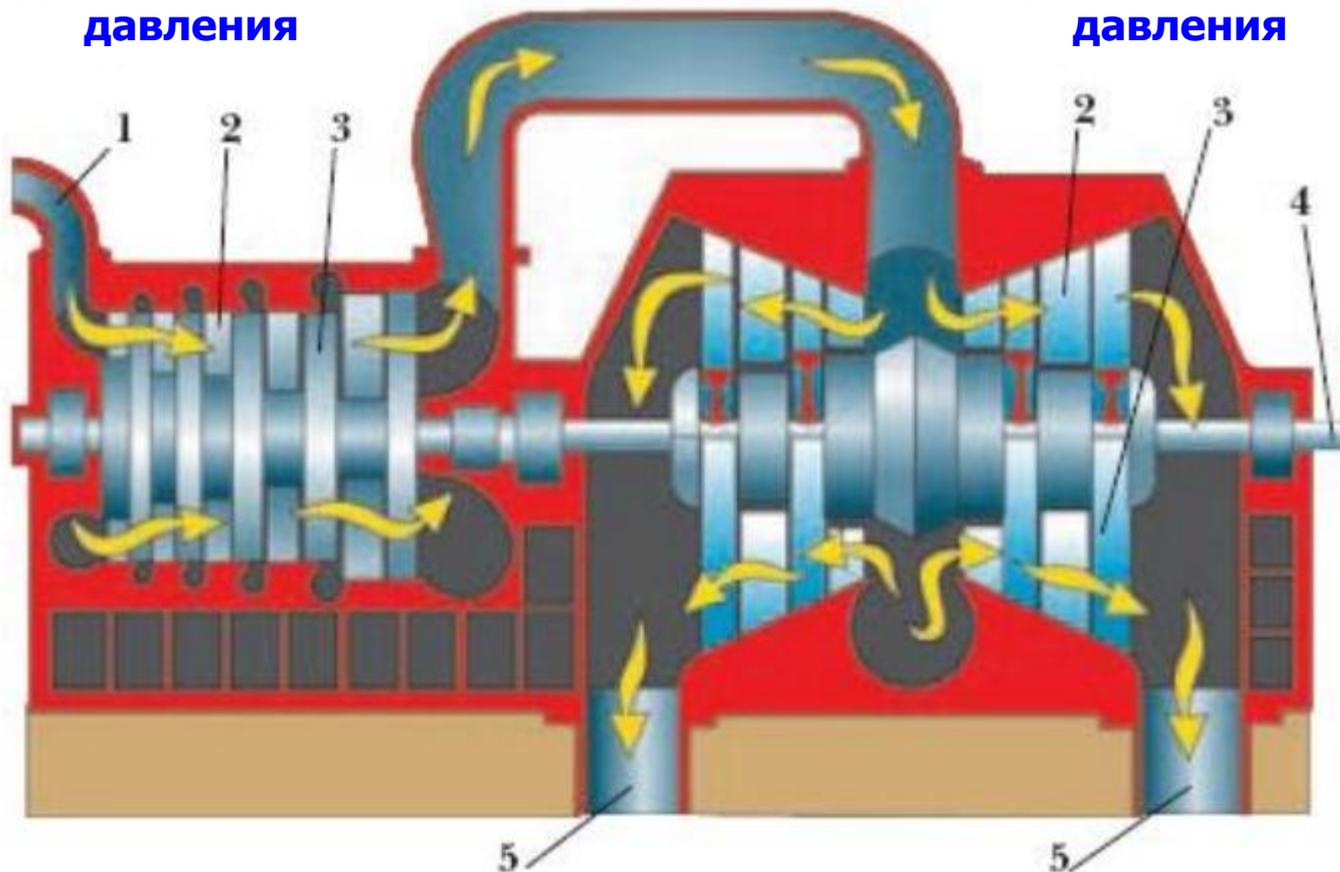


КОНСТРУКЦИИ ПАРОВЫХ ТУРБИН

Двухкорпусная турбина
(однопроточная ТВД и двухпроточная ТНД)

Турбина высокого
давления

Турбина низкого
давления

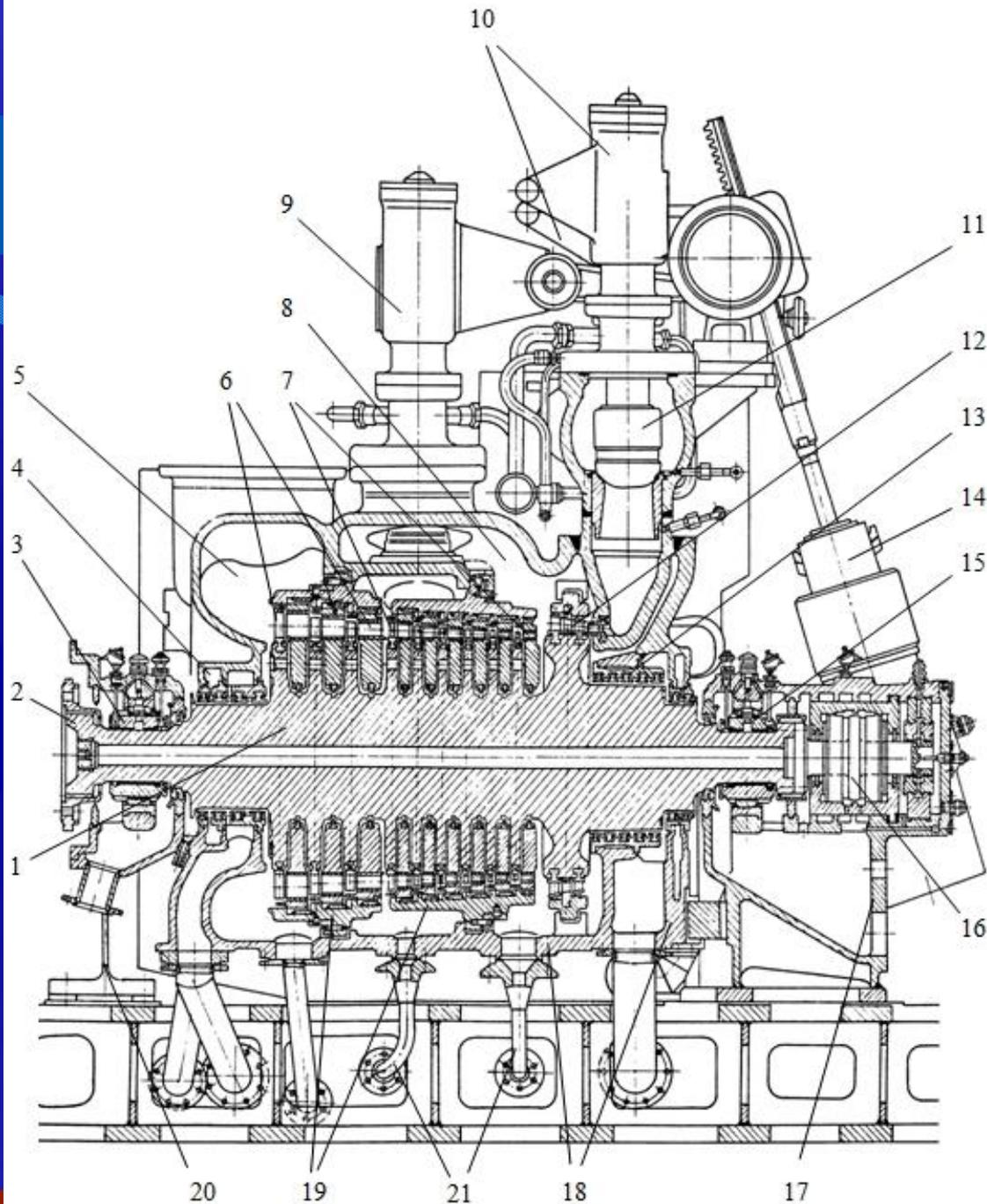


- 1 — подача перегретого пара;
- 2 — ТВД;
- 3 — ротор с рабочими лопатками;
- 4 — вал;
- 5 — выход отработавшего пара

КОНСТРУКЦИИ ПАРОВЫХ ТУРБИН

Корабельная паровая турбина (ТВД ТВ-12)

- 1 – ротор турбины;
- 2 – фланец отбора мощности;
- 3 – кормовой опорный подшипник;
- 4 – кормовое уплотнение;
- 5 – выхлопной патрубок;
- 6 – ступени полного хода;
- 7 – ступени малого хода;
- 8 – внутренний обвод пара;
- 9 – привод байпасного клапана;
- 10 – приводы сопловых клапанов;
- 11 – сопловый клапан;
- 12 – двухвенечная регулировочная ступень;
- 13 – носовое уплотнение;
- 14 – сервопривод управления сопловыми и байпасными клапанами;
- 15 – носовой опорный подшипник;
- 16 – упорный подшипник;
- 17 – носовая опора;
- 18 – корпус турбины;
- 19 – обоймы диафрагм;
- 20 – кормовая опора;
- 21 – трубопроводы продувания корпуса турбины

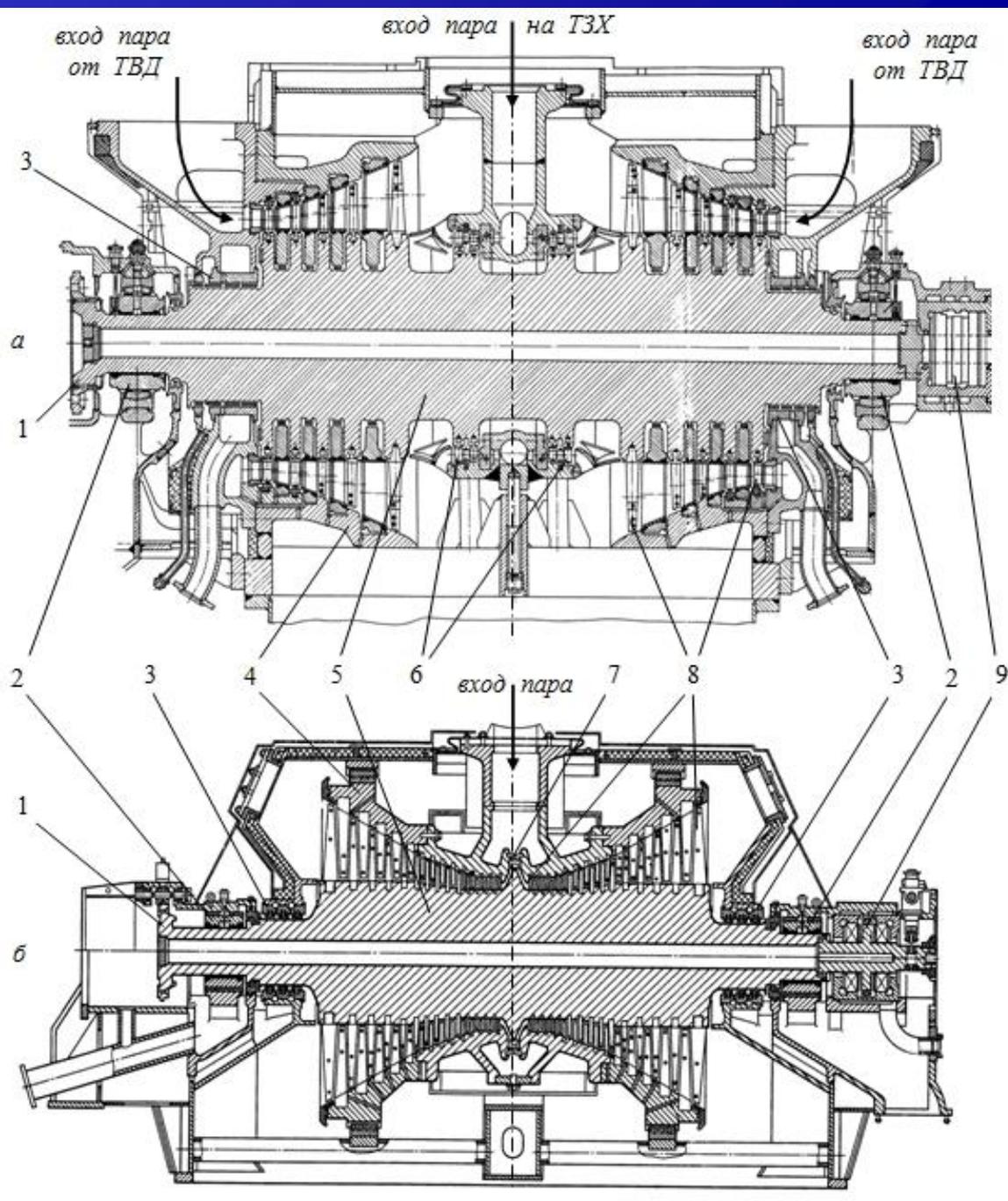


КОНСТРУКЦИИ ПАРОВЫХ ТУРБИН

(а) - активная паровая турбина (ТНД ТВ-12) со сходящимися потоками пара

- 1 – фланец отбора мощности;
- 2 – опорный подшипник;
- 3 – концевые уплотнения;
- 4 – корпус;
- 5 – ротор;
- 6 – двухпроточная ТЗХ;
- 7 – центростремительная регулировочная ступень;
- 8 – ступени переднего хода;
- 9 – упорный подшипник

(б) - реактивная однокорпусная турбина ГТА-642 атомного ледокола «Арктика» с расходящимися потоками пара и центростремительной регулировочной ступенью



КОНСТРУКЦИИ ПАРОВЫХ ТУРБИН

Турбина ГТА-642 атомного ледокола «Арктика»

