

Типы СЭУ

**Паротурбинные
установки (ПТУ)**

Паротурбинная установка (определение)

- **Паротурбинная установка** — это непрерывно действующий тепловой агрегат, рабочим телом которого является вода и водяной пар.

Паротурбинная установка (определение)

- **Паротурбинная установка** — это непрерывно действующий тепловой агрегат, рабочим телом которого является вода и водяной пар.

Паротурбинная установка (назначение)

- Паротурбинная установка является механизмом для преобразования потенциальной энергии сжатого и нагретого до высокой температуры пара в кинетическую энергию вращения выходного вала.

Паротурбинная установка (условия работы)

- Судовые паротурбинные установки, работают при**
- начальном давлении пара 40—50 атм**
- температуре пара 450—480° С,**
- и имеют экономический к. п. д. - 24—27%.**

Простейшая схема работы ПТУ

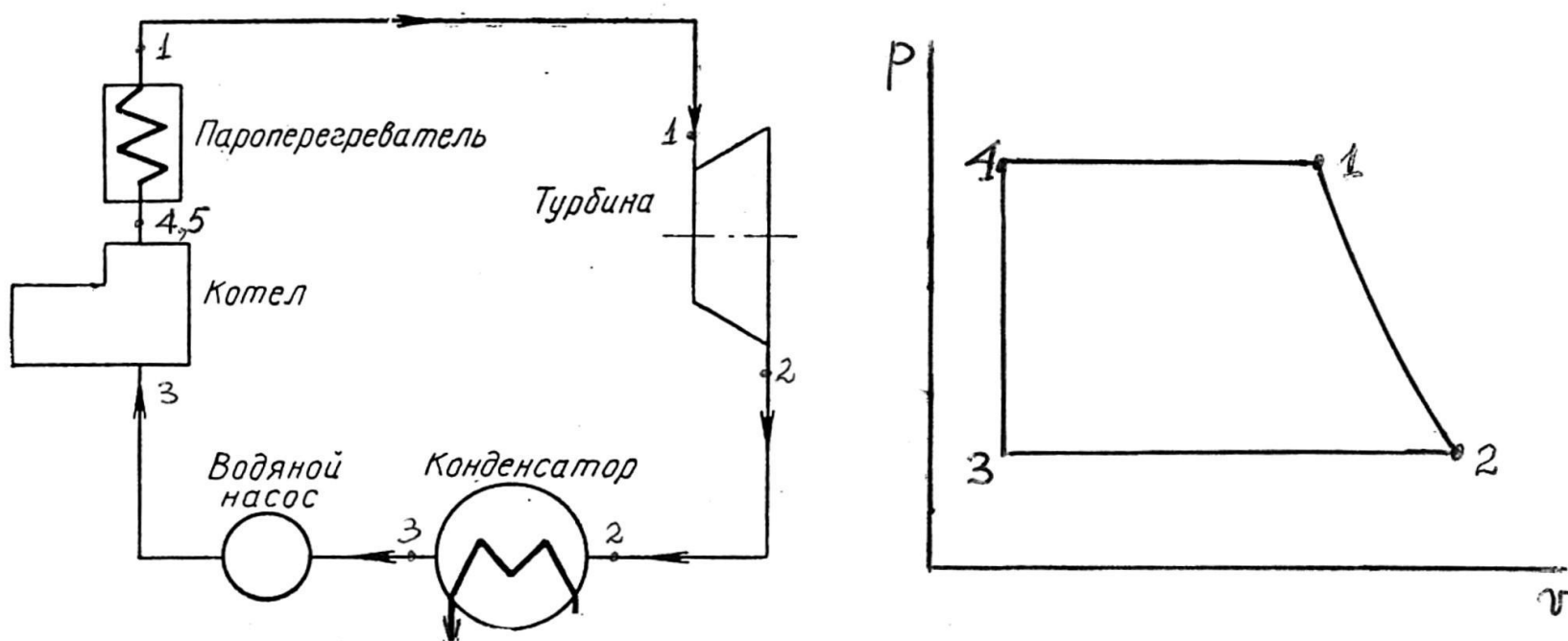


Рис. 9. Схема работы простейшей ПТУ и цикл Ренкина

Принцип работы паротурбинной установки

Принцип работы паротурбинной установки прост.

Выходящий из расширительных устройств (сопел) разогретый пар под высоким давлением попадает в каналы рабочих лопаток, расположенных на ободке турбинного диска, насаженного на вал турбины, отклоняется от них, изменяя свое направление.

За счет этого пар воздействует тангенциальной силой на ротор. В результате создается вращающий момент который вызывает вращение ротора турбины.

Современные судовые ГТЗА обычно имеют два корпуса. В первом находится ротор турбины высокого давления, а во втором – низкого.

Принцип работы паротурбинной установки

Каждая турбина имеет несколько турбинных дисков с набором лопаток, которые в зависимости от вида турбины обозначаются как ступени давления или ступени скорости.

Рабочий пар последовательно проходит через неподвижные венцы расширительных устройств и венцы рабочих лопаток.

При этом объем пара во время процесса расширения постоянно увеличивается, и рабочие лопатки каждого следующего турбинного диска должны быть длиннее.

В корпусе турбины низкого давления находятся особые венцы рабочих лопаток турбины заднего хода.

Суда, гребные винты которых имеют изменяющийся шаг, не нуждаются в турбинах заднего хода.

Наряду с турбинами ГТЗА на судах устанавливают вспомогательные турбины, для привода генераторов, насосов,

Паровые котельные установки (определение)

Судовым парогенератором называется агрегат, в котором за счет тепловой энергии, образующейся при сгорании топлива, происходит **превращение воды в пар** с давлением выше атмосферного.

Парогенератор является сложным теплообменным аппаратом, в котором происходят физические явления, связанные с **процессом теплообмена** и циркуляции воды, пара и пароводяной смеси.

Паровые котельные установки (назначение)

- Судовые паровые котельные установки **производят пар**, необходимый для работы главных машин, а также и для других вспомогательных целей на судах с паровыми поршневыми или паротурбинными силовыми установками.

Паровые котельные установки (классификация)

- В зависимости от потребителей пара судовые котлы разделяют на:
- **главные**, обеспечивающие главные машины паром,
- **и вспомогательные**, питающие вспомогательные механизмы и подающие пар для других нужд.

Что такое теплообмен и теплопередача?

Сущность процесса **теплообмена** заключается в том, что теплота от среды с высокой температурой (горячих газов) передается среде с низкой температурой (воде, пару и воздуху).

Теплообмен в парогенераторах происходит через стены труб и камер, образующих поверхности нагрева.

Он осуществляется тремя способами:
тепловым излучением,
конвекцией
теплопроводностью.

Совокупность действия этих трех способов передачи теплоты называется **теплопередачей**.

Понятие конвекции и циркуляции

Распространение теплоты в воде и паре происходит главным образом **конвекцией**.

Частицы жидкости (пара), находящиеся в непосредственном соприкосновении с поверхностями нагрева, получают от них теплоту, нагреваются, становятся более легкими и поднимаются, уступая место соседним, более холодным, а следовательно, и более тяжелым частицам.

Вследствие этого происходит движение частиц жидкости в виде восходящих и нисходящих потоков и осуществляется теплообмен внутри массы жидкости. Это явление непрерывного перемещения частиц воды и пара и носит название **естественной циркуляции**.

Огневой объем парогенератора (определение)

Пространство, в котором сжигается топливо и движутся горячие газы, называется огневым объемом парогенератора.

Устройство парового коллектора

Внутреннее пространство парового коллектора состоит из двух частей:

водяного пространства, заполненного водой,
и парового, заполненного паром.

Разделяющая их поверхность воды называется зеркалом испарения.

Проекция зеркала испарения на какую-либо вертикальную плоскость определяет уровень воды в паровом коллекторе.

Условие работы парогенератора

Вода, находящаяся в работающем парогенераторе, называется **парогенераторной**, а вода, поступающая в него для пополнения ее убыли,— **питательной**.

Для хорошего отвода теплоты от стенок испарительного пучка необходимо, чтобы **вода и пароводяная смесь** в парогенераторе непрерывно **двигалась** по определенному пути.

Естественная и принудительная циркуляция

Движение воды внутри парогенератора осуществляется по одному и тому же замкнутому контуру.

При **естественной циркуляции** вода и пароводяная смесь движутся в парогенераторе благодаря разности их плотностей,

а при **принудительной циркуляции** движение воды и пароводяной смеси происходит под действием насоса.

Поверхность нагрева (определение)

Часть поверхности парогенератора, с одной стороны омываемая горячими газами или освещаемая тепловыми лучами, а с другой омываемая водой, паром или воздухом, называется **поверхностью нагрева**.

Она подсчитывается со стороны отдачи теплоты и измеряется в квадратных метрах.

Радиационная поверхность нагрева

Часть поверхности нагрева, **принимающая теплоту** от топливного факела и протекающих газов, называется **радиационной поверхностью** нагрева.

Экран тоже поверхность нагрева

Радиационная **поверхность** нагрева, через которую не протекает газовый поток и которая **получает** только **лучистую теплоту**, называется **экраном**.

Конвективная поверхность нагрева

Поверхность нагрева парогенератора, **принимающая теплоту** горячих газов путем соприкосновения с ними, называется **конвективной**.

Основные характеристики парогенератора

**Основные характеристики парогенератора определяются:
параметрами производимого им пара,
паропроизводительностью,
удельным паросъемом,
тепловым напряжением поверхности нагрева,
теплонапряжением топчного объема
коэффициентом полезного действия (КПД).**

Параметры пара

Параметрами пара, или основными показателями, характеризующими качество пара, производимого парогенератором, являются:

для перегретого пара — **давление и температура**,

а для насыщенного пара — **давление и степень сухости**.

Паропроизводительность

(определение)

Паропроизводительностью парогенератора называют количество пара, вырабатываемого им в **единицу времени**.

Удельный паросъем (определение)

Удельный паросъем — это количество пара, снимаемого с 1 м² поверхности нагрева парогенератора в единицу времени.

Тепловое напряжение поверхности нагрева (определение)

Тепловым напряжением поверхности нагрева называется **мощность** теплового потока, воспринимаемая **1 м²** поверхности нагрева.

Теплонапряжение топчного объема (определение)

Теплонапряжением топчного объема называется **мощность** теплового потока, которая выделяется с **1 м³** топчного объема.

Коэффициент полезного действия **(определение)**

Коэффициентом полезного действия (КПД) парогенератора называется отношение полезно используемой теплоты ко всей теплоте, введенной в топку с топливом.

Главные судовые паровые котлы

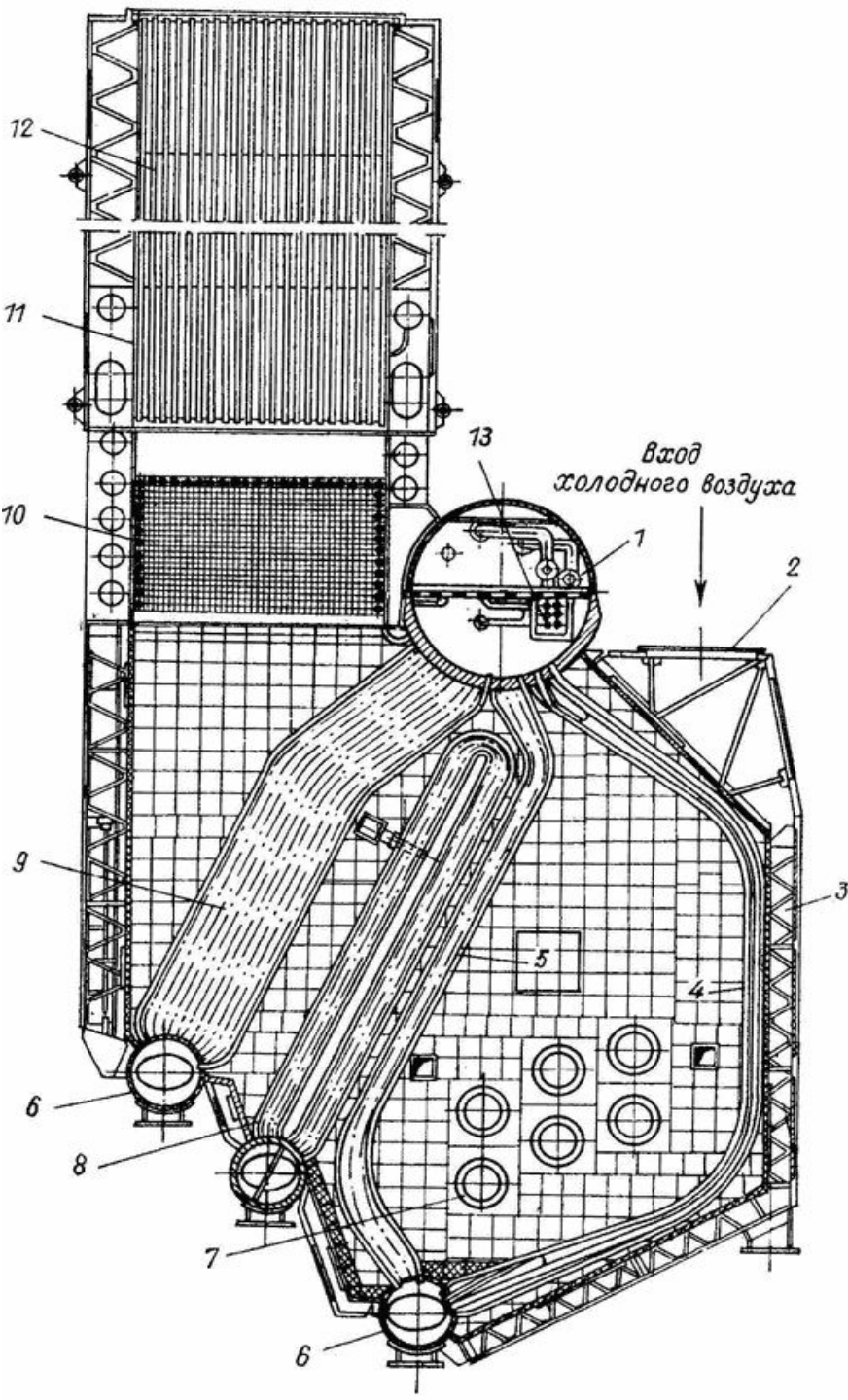
- ***Главные судовые паровые котлы*** должны обладать высокой степенью **надежности** в работе, выдерживая **быстрое изменение** режима работы, а для обеспечения форсированного хода судна временно увеличивать паропроизводительность сверх нормального количества. На судах в качестве главных паровых котлов применяют в большинстве случаев водотрубные котлы.

Водотрубные котлы

(состав и принцип работы)

- Поверхность нагрева водотрубных котлов составляют трубы, заполненные водой и омываемые снаружи горячими газами, получаемыми в результате горения топлива.
- водотрубных котлов

однопроточный вертикальный парогенератор



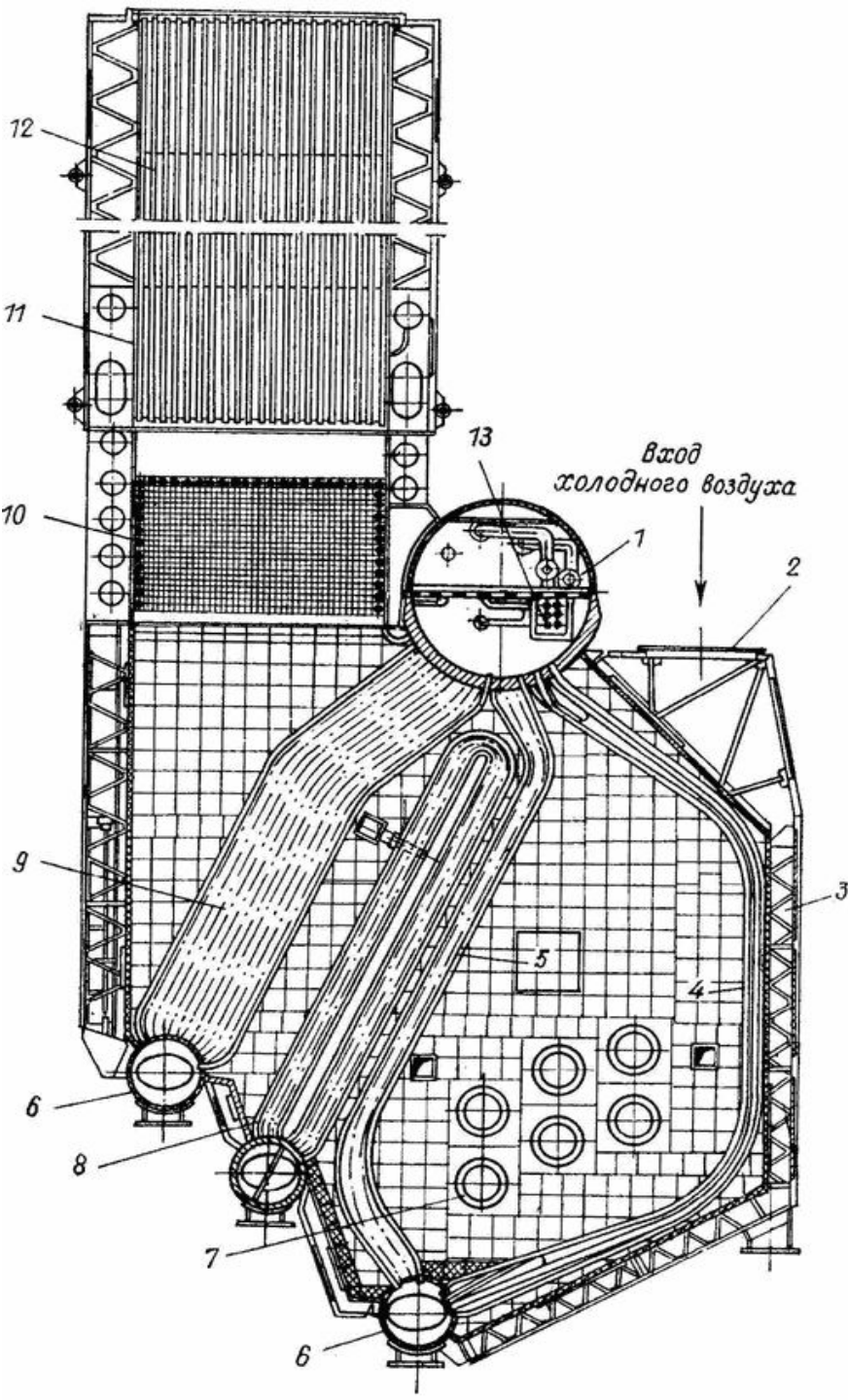
В корпусе парогенератора расположены пароводяной коллектор **1** и два водяных коллектора **6**, соединенные между собой водогрейными трубами. Нижний водяной коллектор соединен с паровым коллектором двумя пучками труб. Левый **притопочный пучок 5** состоит из трех рядов труб, образующих первый конвективный пучок парогенератора; **правый пучок 4** состоит из двух рядов труб, обращенных к топке и образующих сплошную стенку.

однопроточный вертикальный парогенератор

За ними расположены еще два
ряда труб.

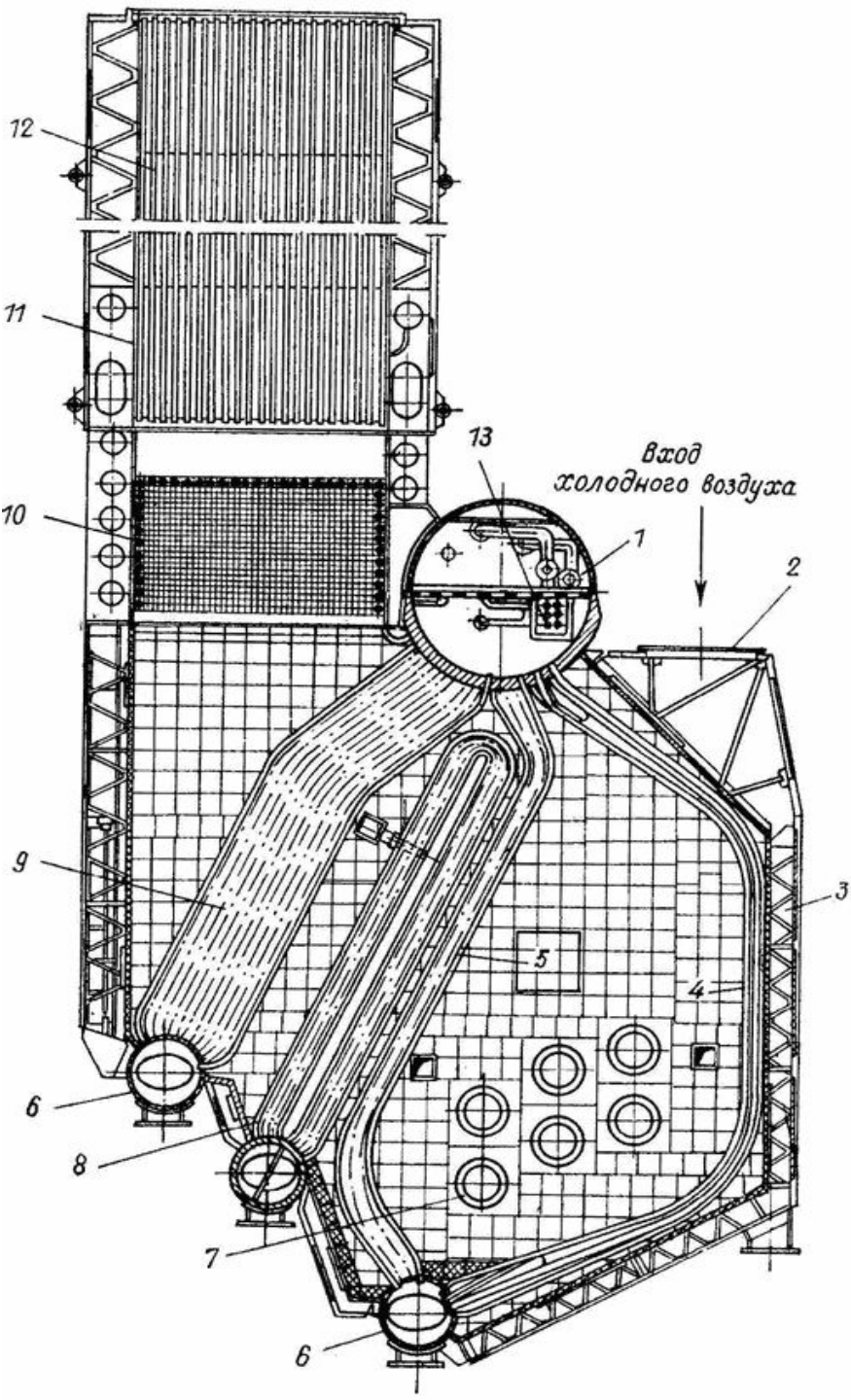
Эти четыре ряда труб образуют
экранированный пучок, получающий
теплоту в основном за счет
лучеиспускания в топке.

Трубы конвективного и экранного
пучков образуют пространство,
являющееся топкой
парогенератора.



однопроточный вертикальный парогенератор

Рассмотренные пучки труб составляют отдельный контур циркуляции воды и пароводяной смеси, в котором все трубы конвективного пучка являются подъемными (по ним снизу вверх перемещаются нагретая вода и пароводяная смесь), а периферийные трубы экрана, получающие сравнительно мало теплоты, являются опускными (по ним более холодная вода перемещается из парового коллектора вниз).

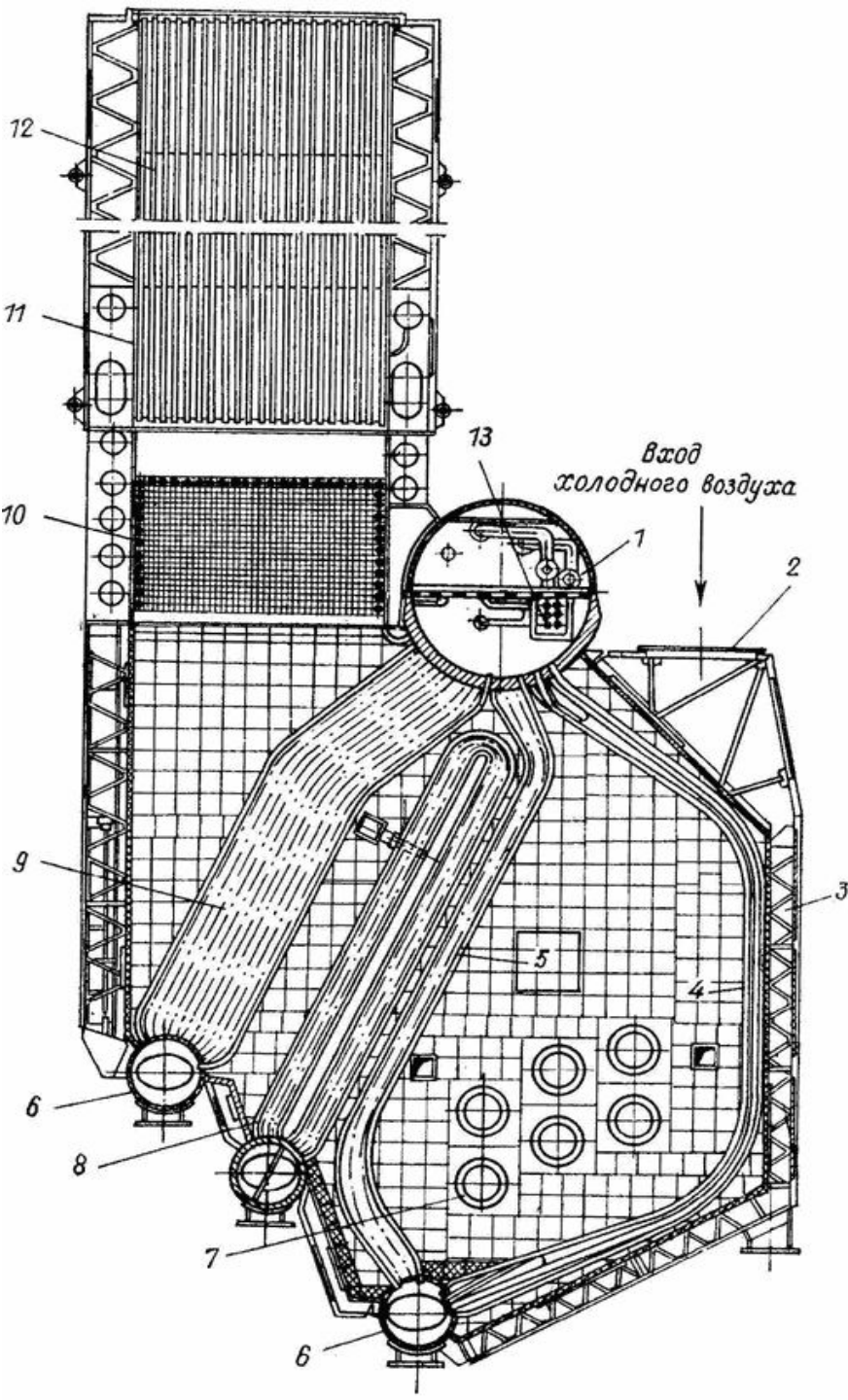


однопроточный вертикальный парогенератор

Верхний водяной коллектор соединен с пароводяным коллектором с помощью нескольких рядов труб, образующих внешний конвективный пучок 9.

Все водогрейные трубы этого пучка — подъемные, а для опускания воды служат трубы большого диаметра (114X7 мм), соединяющие водяной и паровой коллекторы и расположенные с переднего и заднего фронтов парогенератора (вне топки).

Эти трубы называются трубами обратной воды. Внешний конвективный пучок и трубы обратной воды также образуют отдельный контур, в котором осуществляется естественная циркуляция воды и пароводяной смеси.

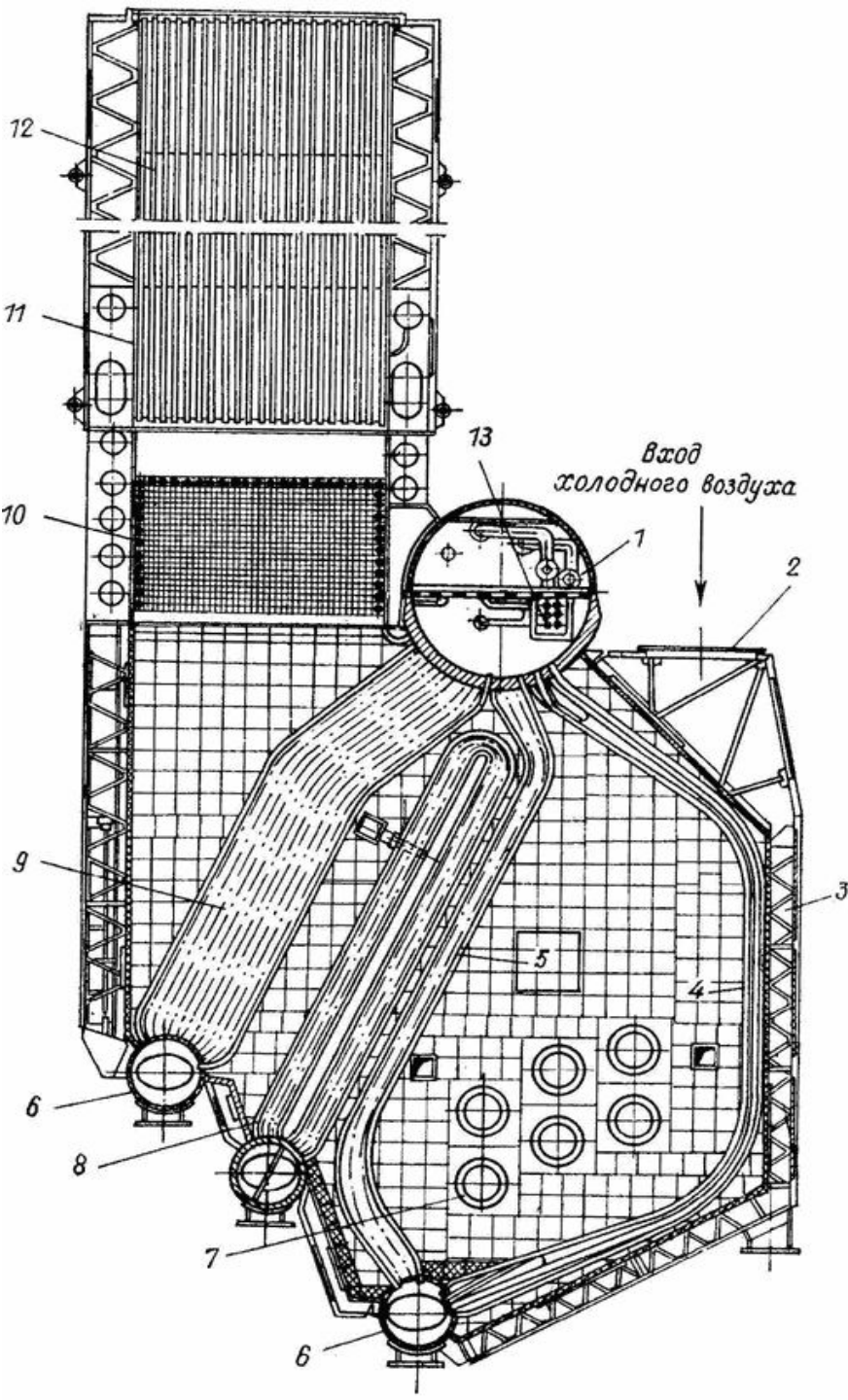


однопроточный вертикальный парогенератор

Между конвективными пучками труб находится петлевой **пароперегреватель 8**, предназначенный для перегрева пара, используемого в паровых турбинах.

В пароводяном коллекторе расположен специальный трубчатый **пароохладитель 13**.

Он предназначен для охлаждения перегретого пара, который используется для работы некоторых вспомогательных механизмов.

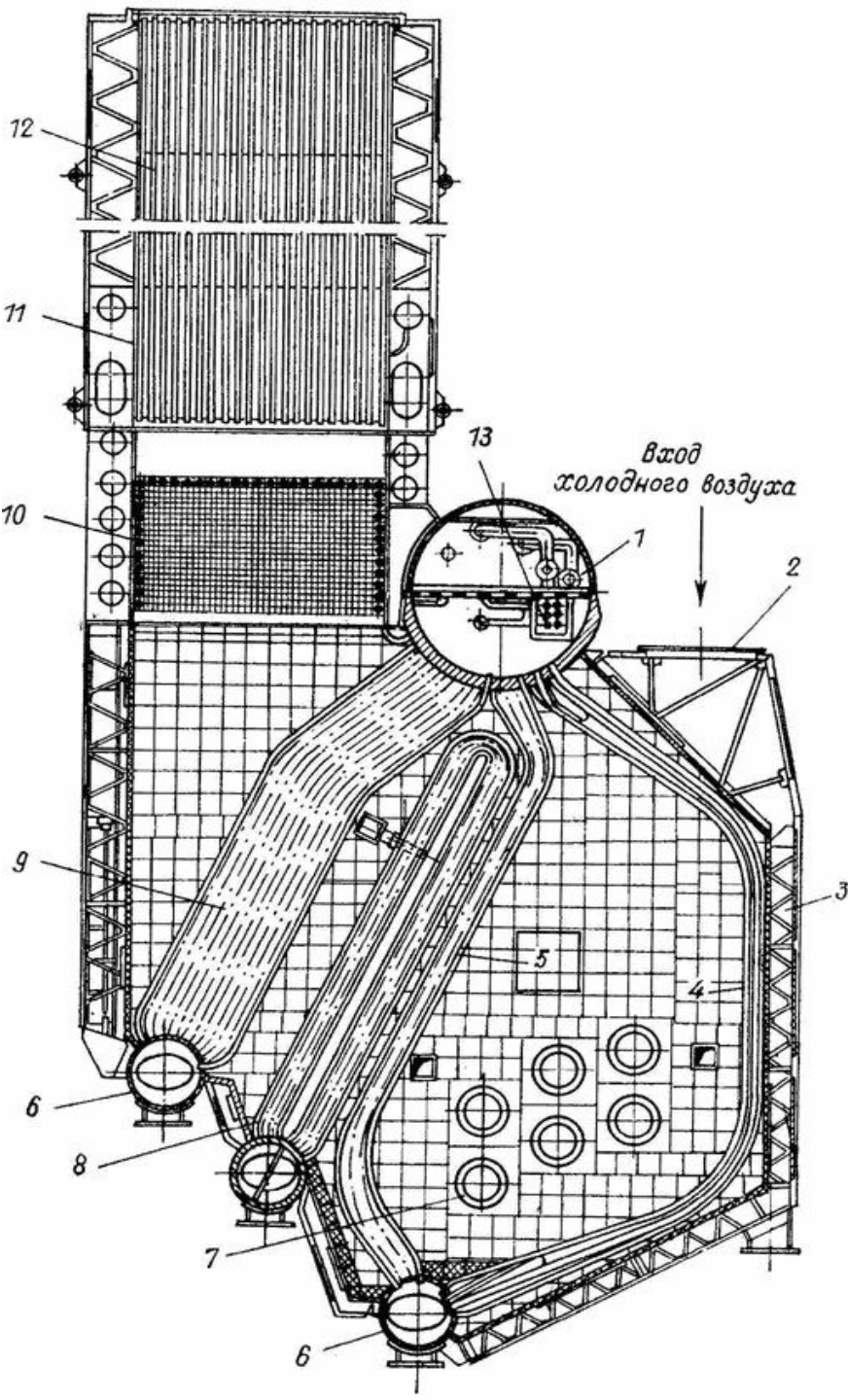


однопроточный вертикальный парогенератор

Особенностью конструкции рассматриваемого парогенератора является наличие так называемых хвостовых поверхностей нагрева, установленных в газоходе за последним конвективным пучком.

Это гладкотрубный змеевиковый экономайзер 10, в котором нагревается питательная вода перед подачей в парогенератор, и вертикальный трубчатый воздухоподогреватель, состоящий из нижней секции 11 и верхней секции 12.

Воздух первоначально подается в нижнюю секцию, где подогревается примерно до 90°C (363 K), а затем поступает в верхнюю секцию, где нагревается примерно до 180°C (453 K) и с этой температурой поступает в топку парогенератора.

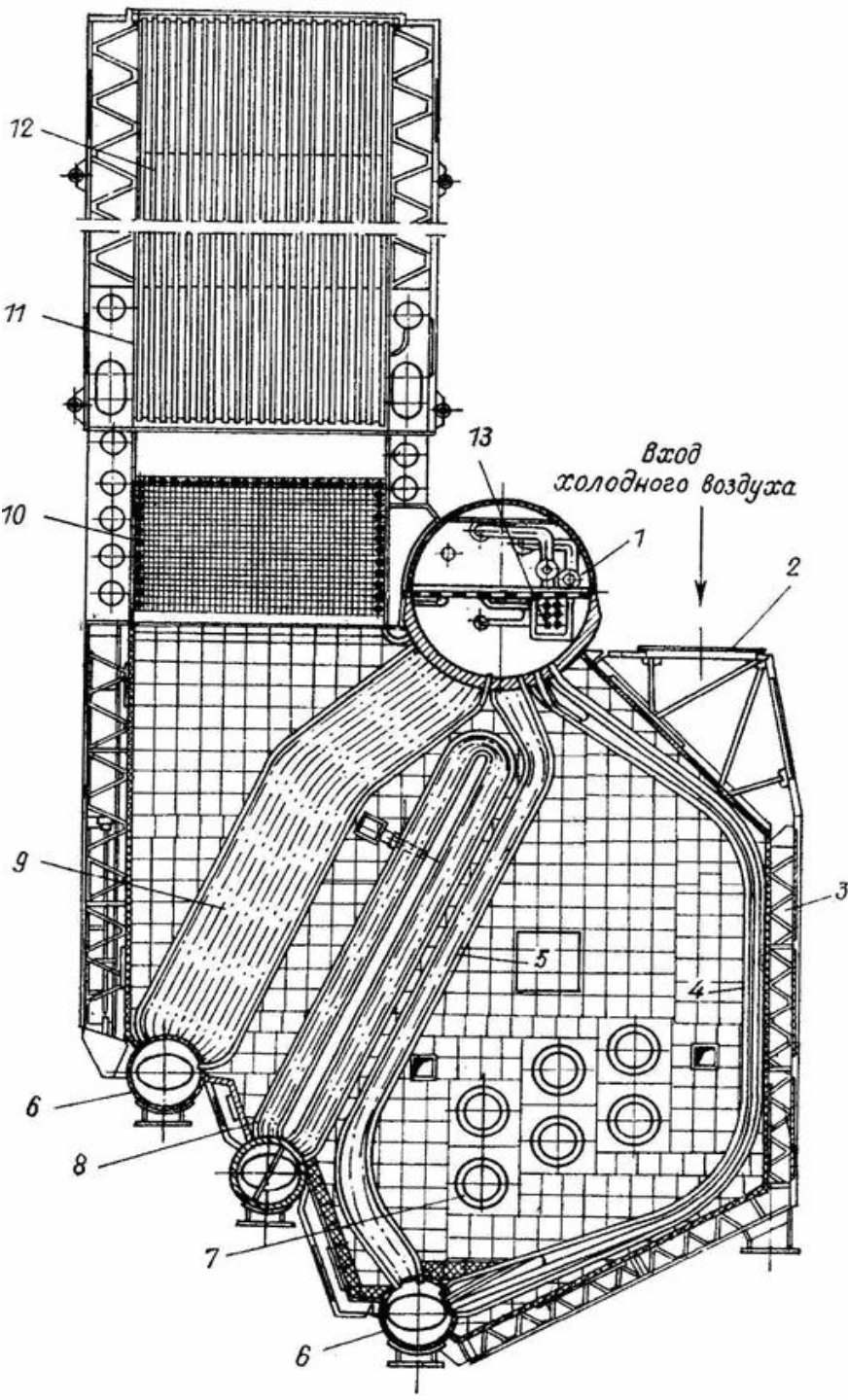


однопроточный вертикальный парогенератор

Парогенератор имеет двойную обшивку, между листами которой образуются **воздушные каналы 3**.

Внутренние листы обшивки, обращенные к топке или газоходам парогенератора, изолированы огнеупорным кирпичом и асбестом.

В обшивке имеются **съемные листы**, что обеспечивает доступ в топку и газоходы парогенератора.

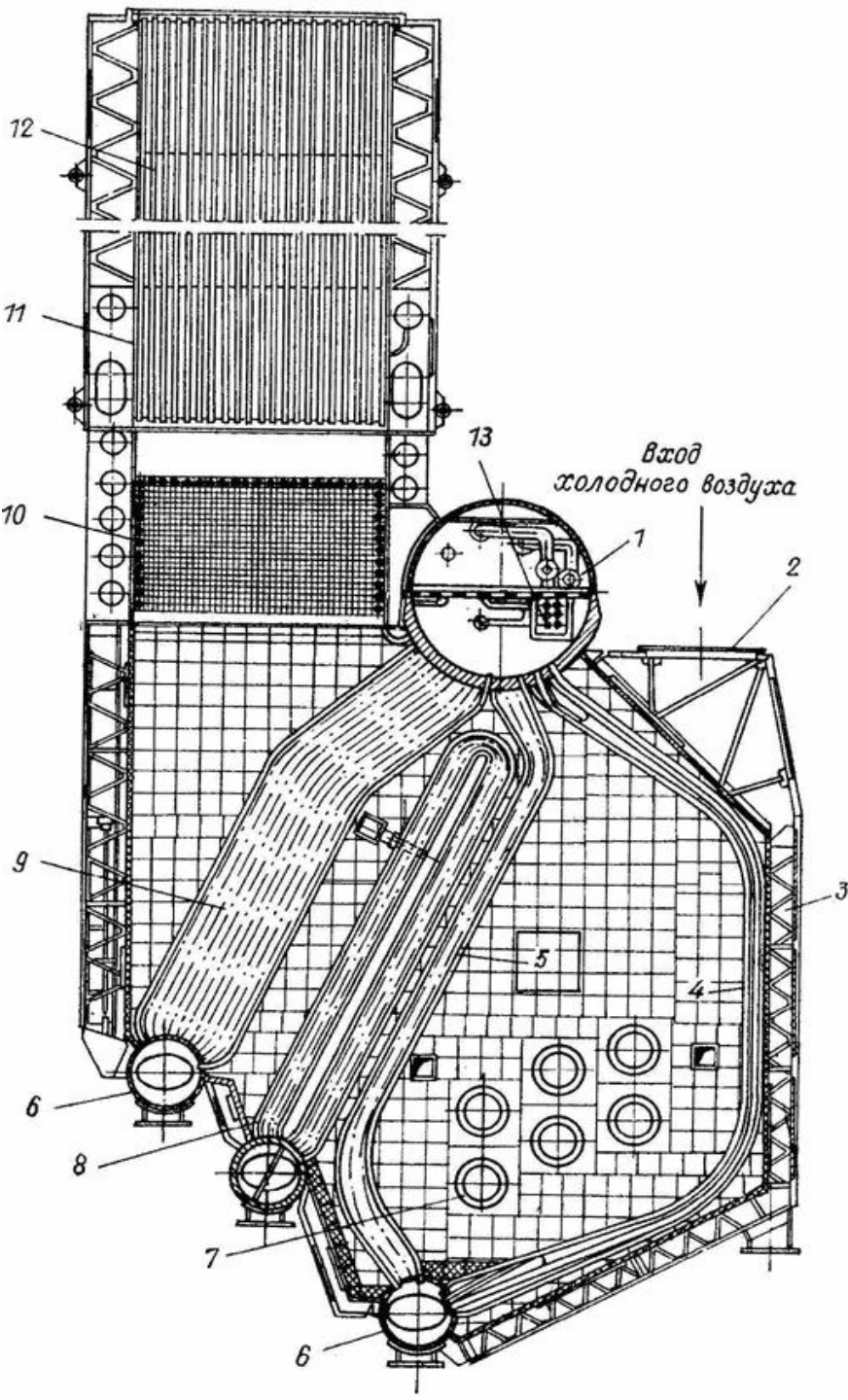


однопроточный вертикальный парогенератор

Пространство между стенками двойной обшивки используют как воздушный канал.

Холодный воздух нагнетают в обшивку парогенератора через **патрубок 2**, откуда по воздушному каналу и пространству в обшивке заднего фронта парогенератора он попадает в воздухоподогреватель.

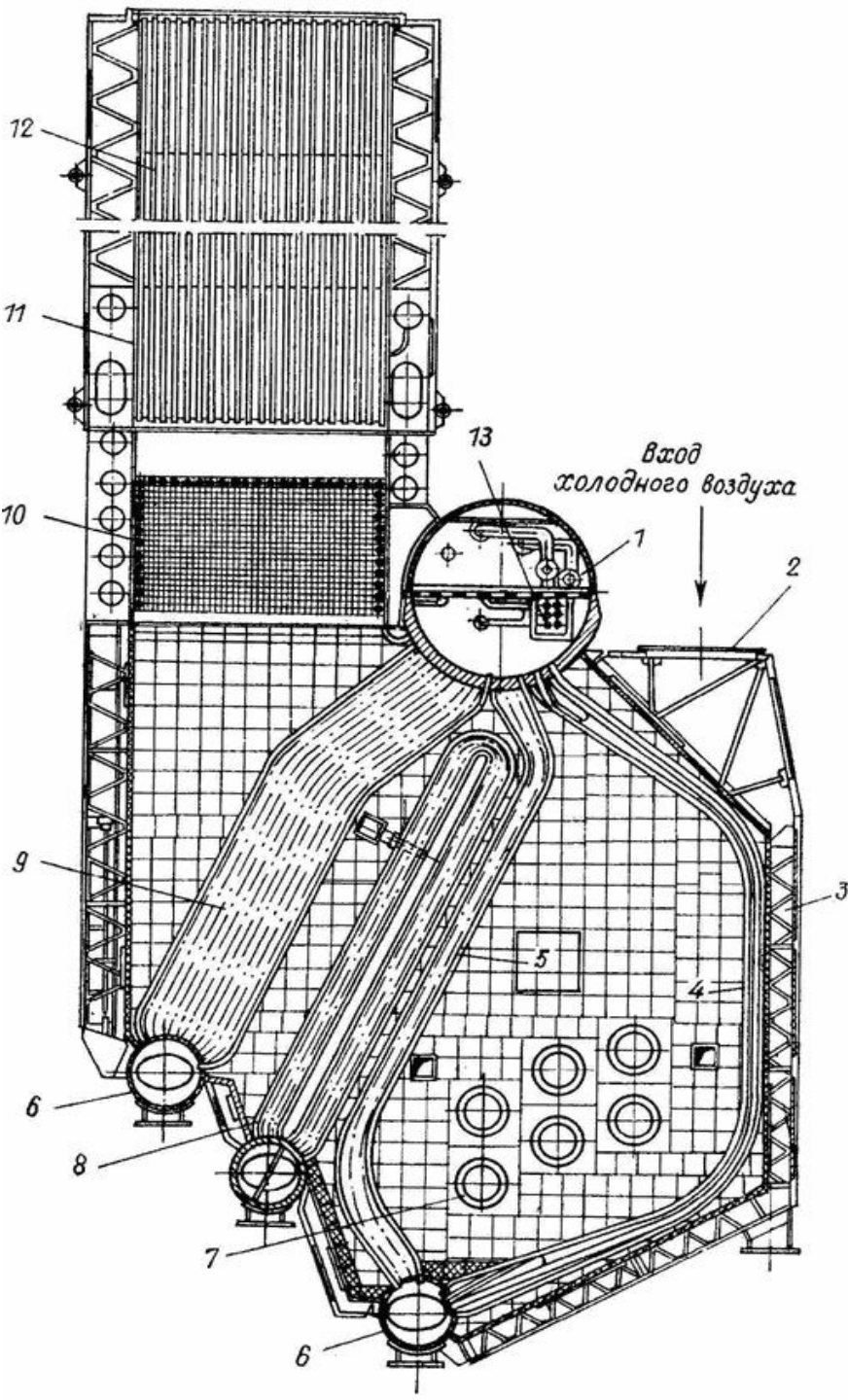
Оттуда горячий воздух поступает к воздухонаправляющим устройствам форсунок, расположенных между обшивкой переднего фронта парогенератора.



однопроточный вертикальный парогенератор

Парогенератор работает на жидком топливе, которое подают в топку с помощью шести форсунок 7, установленных на переднем фронте парогенератора.

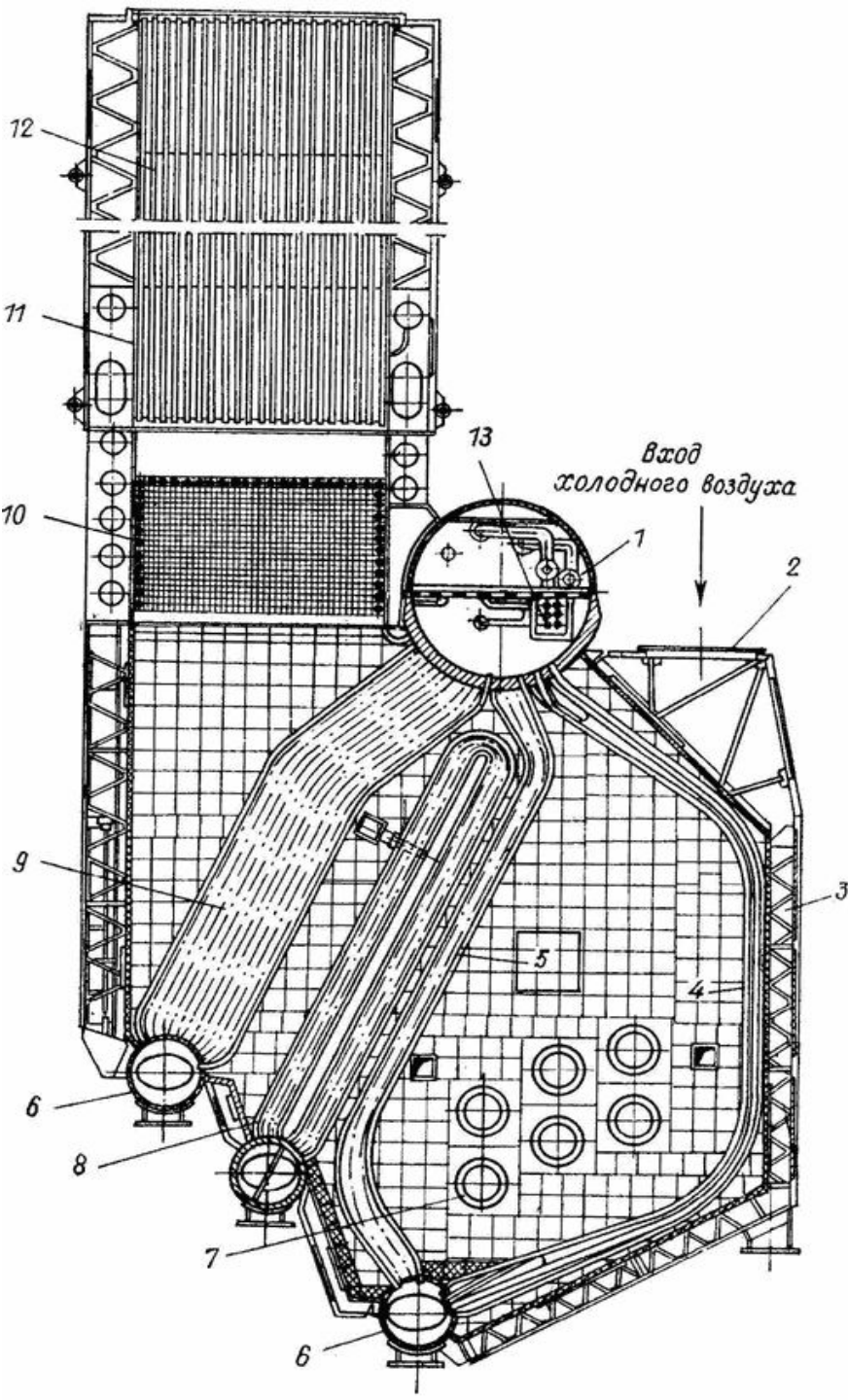
Каждая форсунка имеет свое воздухонаправляющее устройство.



однопроточный вертикальный парогенератор

Для установки на судовой фундамент парогенератор имеет опоры, закрепляемые на водяных коллекторах, коллекторе пароперегревателя и консольной части каркаса.

Свободное расширение парогенератора при нагреве обеспечивают подвижные опоры, расположенные в районе заднего фронта.



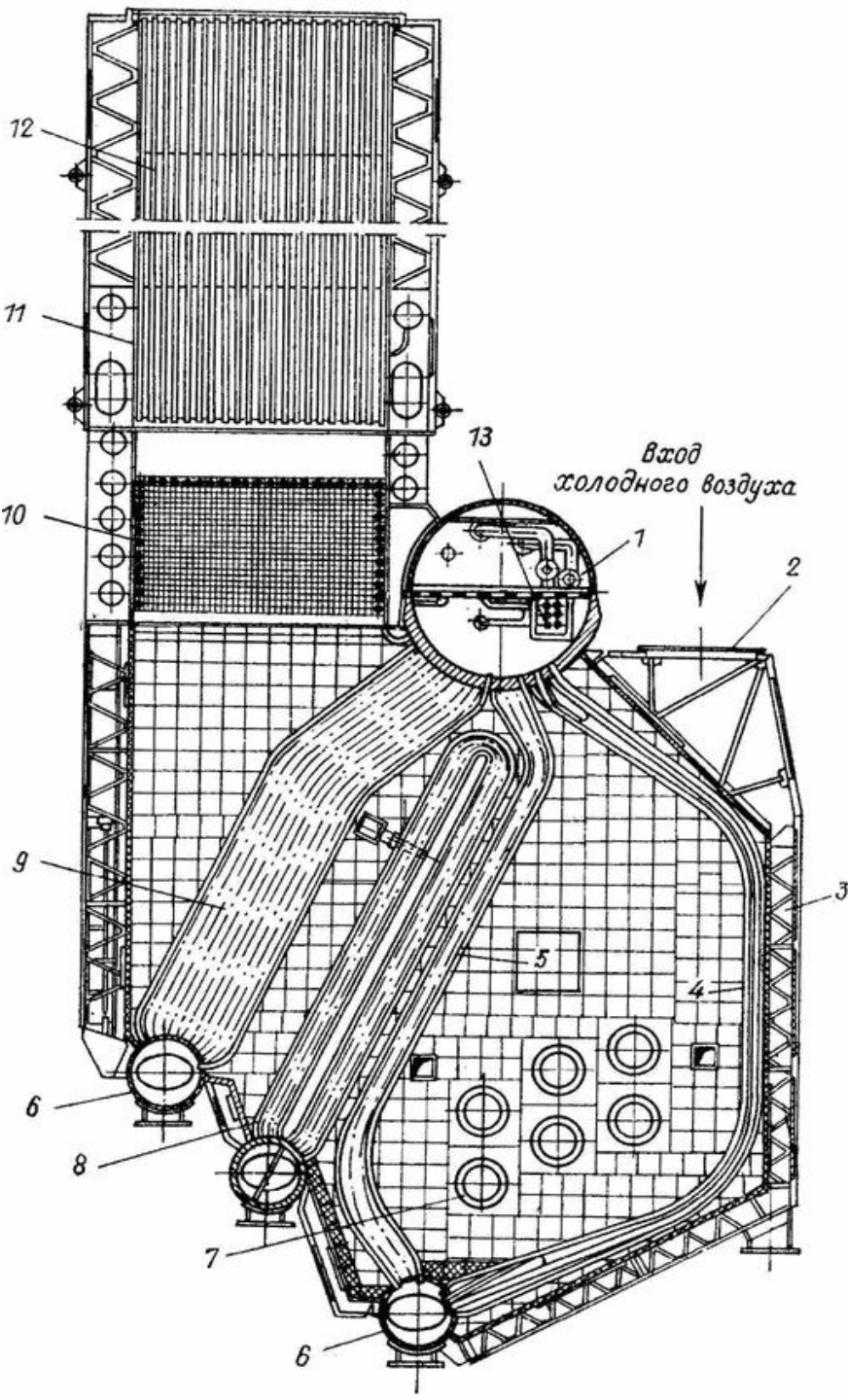
однопроточный вертикальный парогенератор

Топочное устройство парогенератора обеспечивает подачу топлива в топку, распыливание его и смешивание с воздухом для наиболее полного сгорания.

Основными элементами топочных устройств являются форсунки и воздухонаправляющие устройства.

В настоящее время на парогенераторах устанавливают в основном форсунки трех типов: механические, паромеханические и ротационные.

Они различаются способом

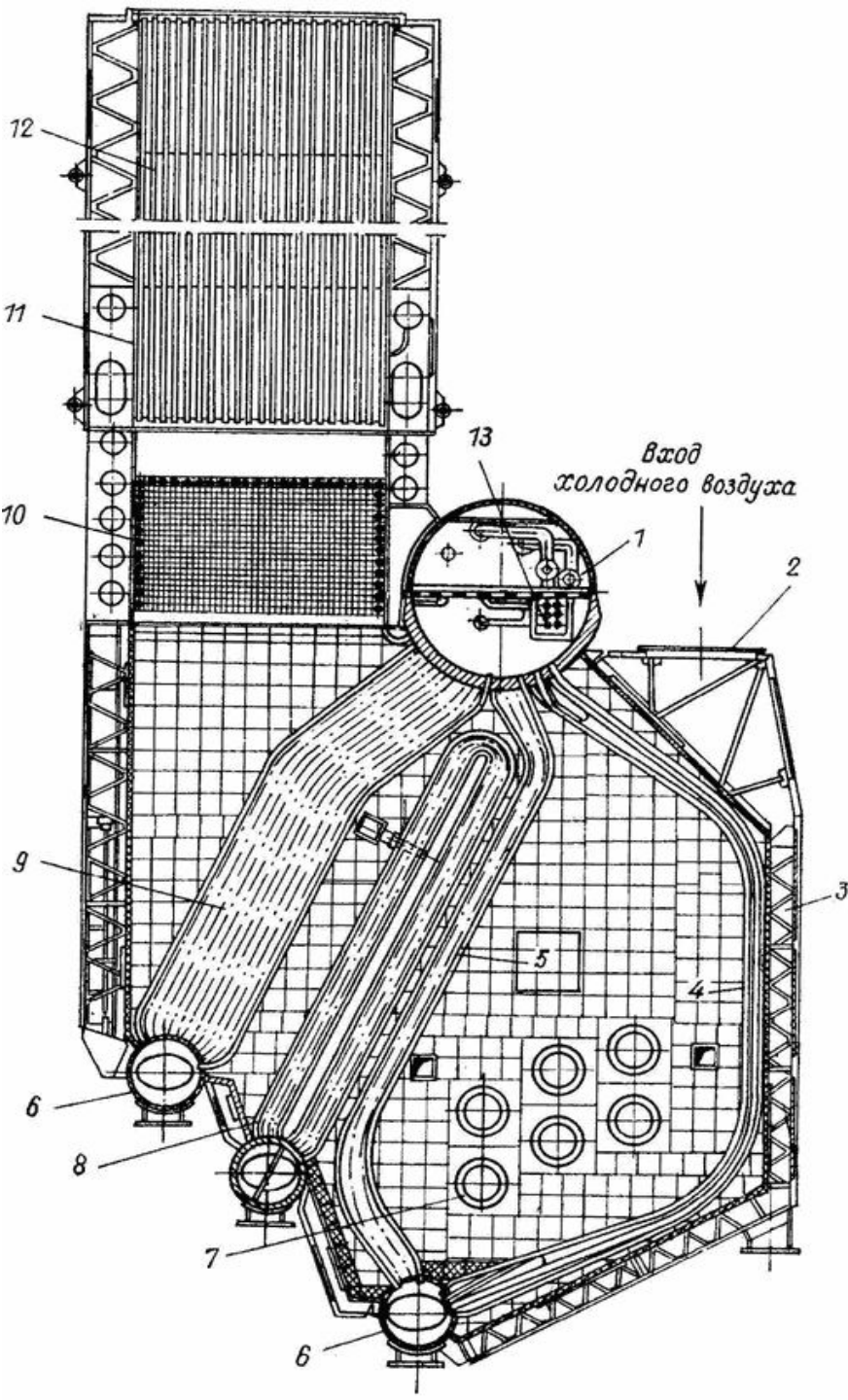


однопроточный вертикальный парогенератор

Для подачи воздуха в топку служат воздухонаправляющие устройства различных конструкций.

Эти устройства закреплены на переднем фронте парогенератора, а в центре его расположены форсунки.

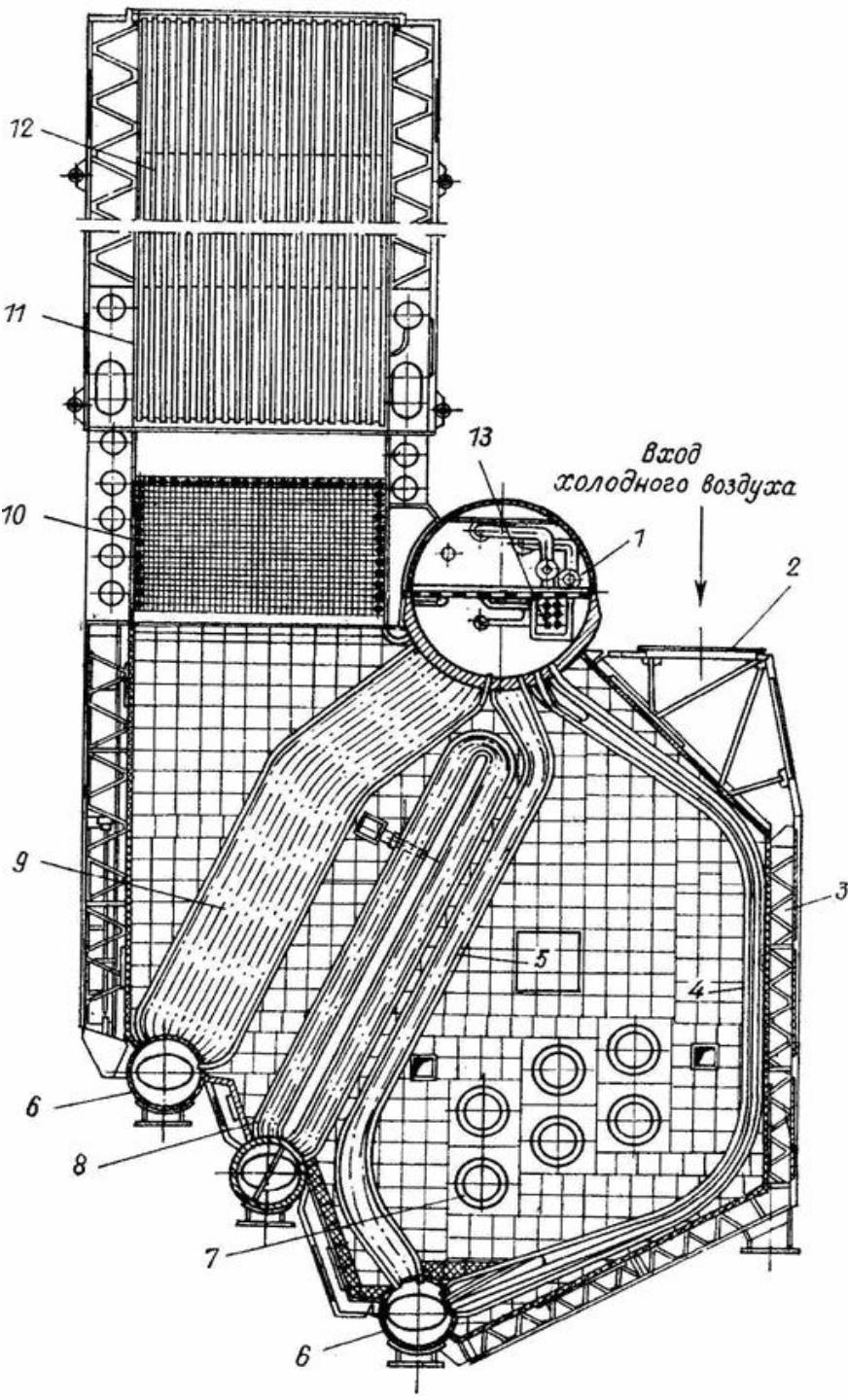
Поток подводимого воздуха в воздухонаправляющем устройстве подвергается закручиванию и выходит в топку, где благодаря вращательному движению воздух хорошо смешивается с распыленным топливом.



однопроточный вертикальный парогенератор

Каждый парогенератор снабжен приборами и устройствами, предназначенными для контроля, управления и регулирования его работы.

Эти устройства называют арматурой.

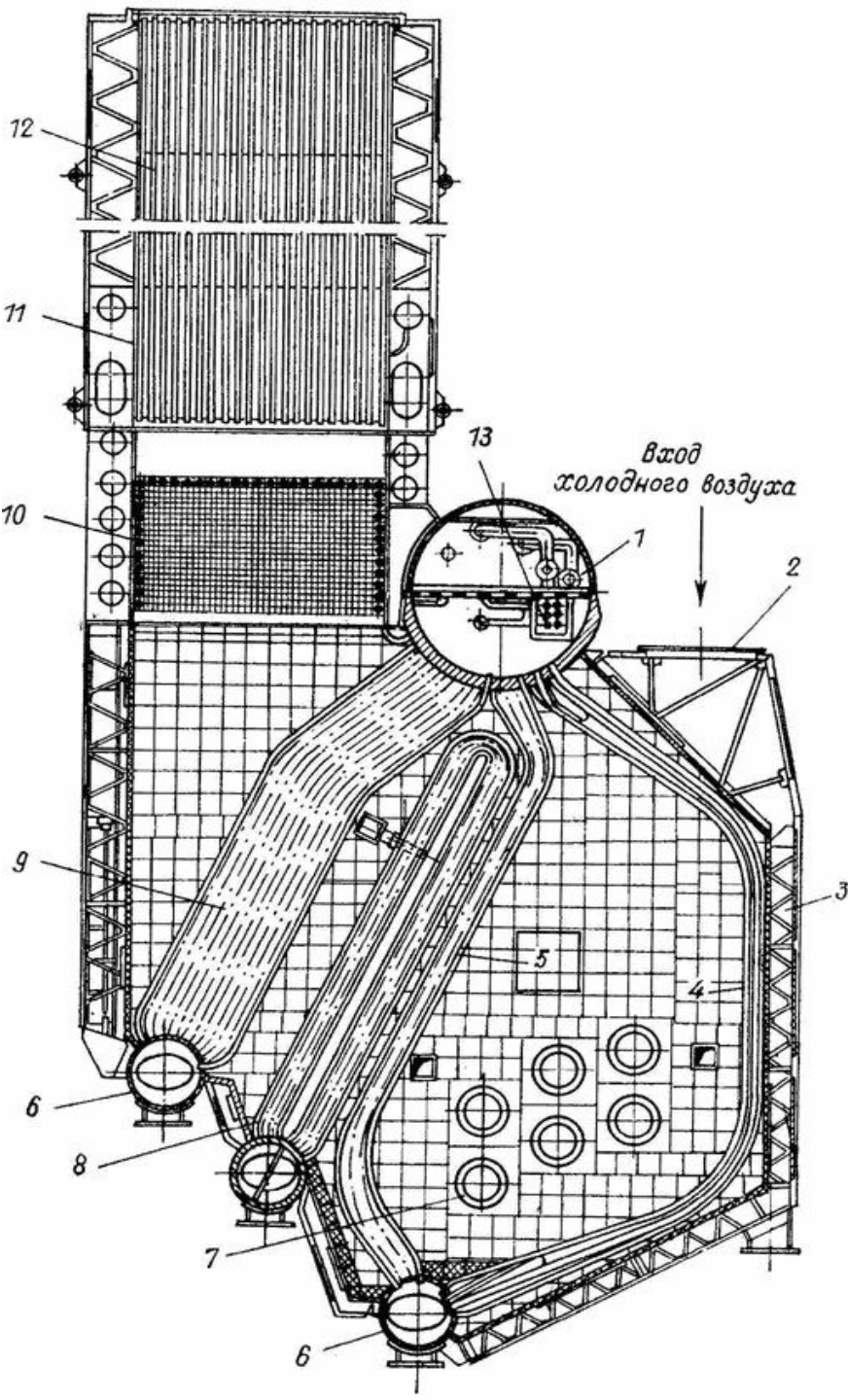


однопроточный вертикальный парогенератор

Для нормальной работы парогенератора необходимо также внутриколлекторное устройство, расположенное в пароводяном коллекторе.

Оно обеспечивает устойчивую циркуляцию воды и очистку пара, поступающего в паронагреватель, от солей и влаги.

В состав внутриколлекторного устройства входят: паротборочная труба, сепаратор, дырчатый щит, питательные трубы и приспособления для верхнего продувания.



Конструктивные различия водотрубных парогенераторов

Водотрубные парогенераторы различаются:

- по **количеству коллекторов** — одно-, двух- и трехколлекторные;
- по **количеству протоков** газа — двухпроточные, в которых газы, образующиеся в топке, расходятся в двух направлениях, а затем поступают в общую дымовую трубу, и однопроточные, в которых газы движутся только в одном направлении;
- по расположению их частей относительно **вертикальной плоскости**, проходящей через ось верхнего коллектора, — симметричные, имеющие одинаковые правую и левую стороны, и асимметричные, у которых части, расположенные по обе стороны вертикальной плоскости, имеют неодинаковые формы и размеры;
- по **расположению пароперегревателей** — с вертикальными внешними и внутренними пароперегревателями, с горизонтальными пароперегревателями, с отдельной топкой для пароперегревателя;
- по **углу наклона испарительных труб** — вертикальные, у которых трубы расположены вертикально или с наклоном $20\text{—}50^\circ$ к горизонтали, и горизонтальные, у которых трубы наклонены к

Огнетрубные котлы

(принцип работы)

- В отличие от труб водотрубных котлов трубы огнетрубных котлов, наоборот, омываются горячими газами изнутри, а снаружи находится вода, подлежащая испарению.

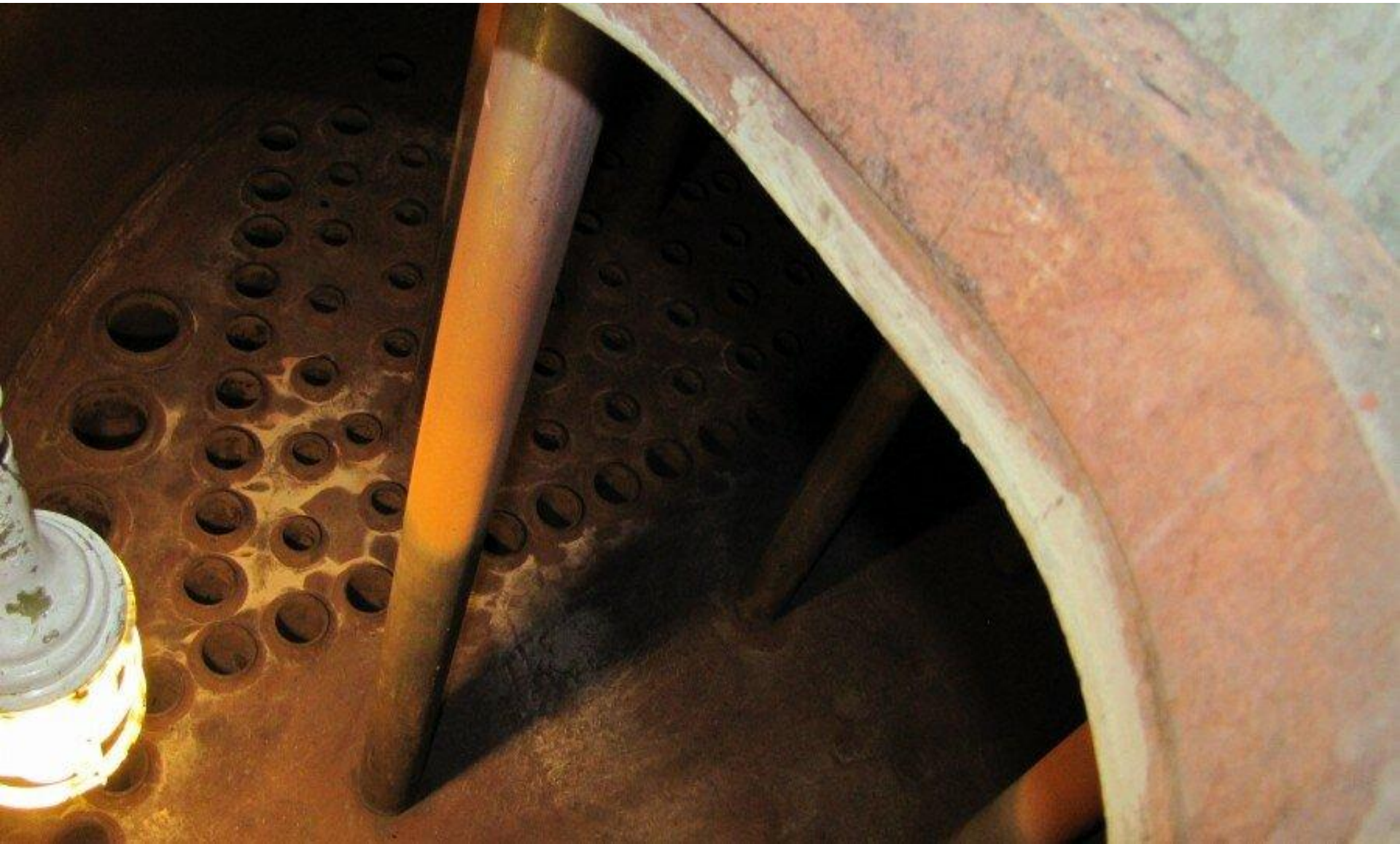
комбинированные котлы (состав и принцип работы)

- На судах находят применение также и комбинированные котлы, по своей конструкции близкие к огнетрубным, но имеющие элементы и водотрубных котлов.

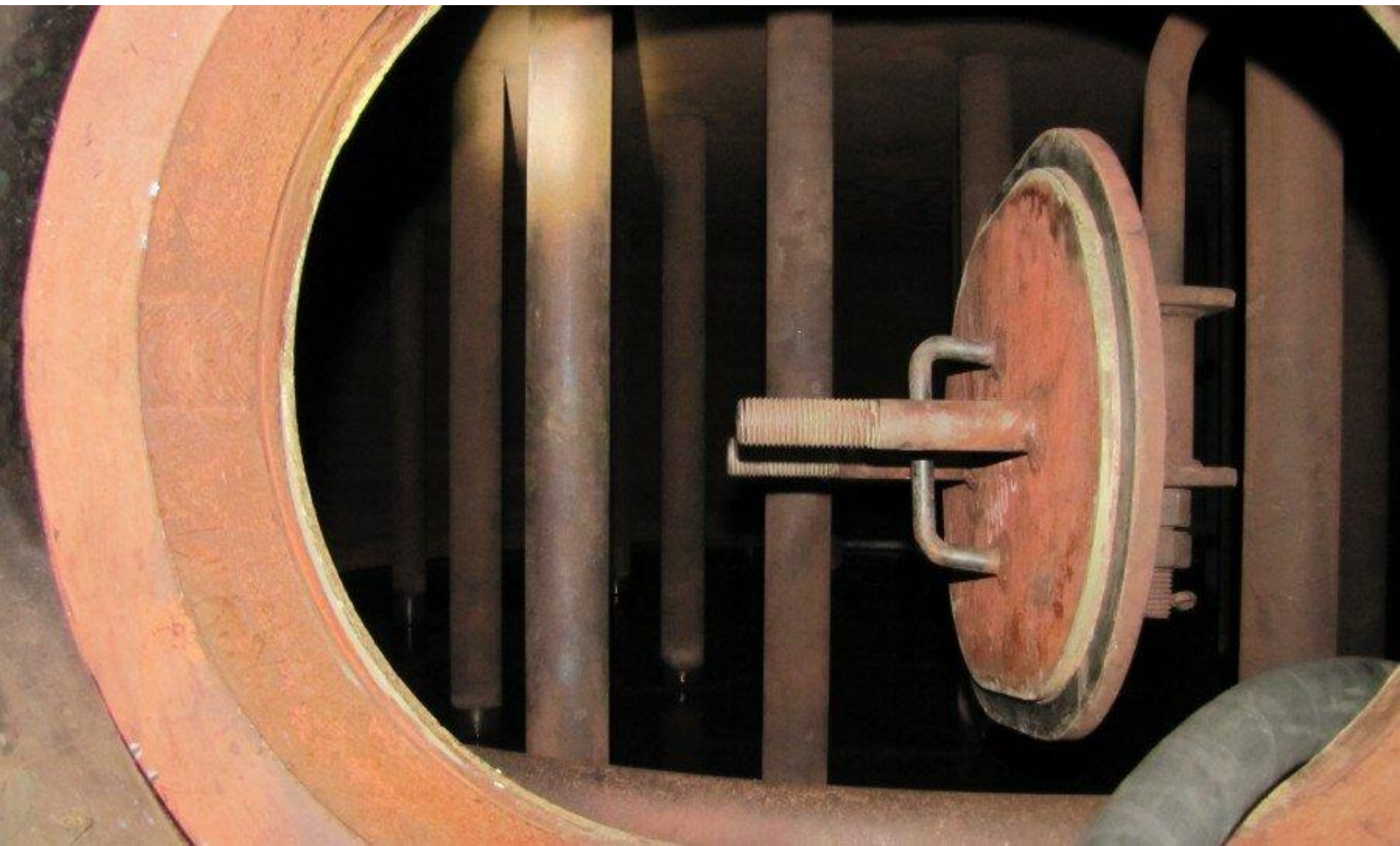
КОТЛЫ естественной циркуляции

Применяемые на морских судах в качестве главных паровых котлов водотрубные котлы с естественной циркуляцией барабанного типа имеют высокую удельную паропроизводительность, достигающую 80 кг/м² в час и при давлении 100—120 атм. К. п. д. этих котлов достигает 93%. Такие котлы обладают большой надежностью в эксплуатации. Малое количество находящейся в них воды позволяет быстро вводить их в действие, а поддержание постоянного давления пара во время эксплуатации требует обязательного автоматического регулирования.

Верхний барабан котла



Нижняя водяная полость котла



Парогенераторы с принудительной циркуляцией (классификация)

Парогенераторы с **принудительной** циркуляцией разделяются на парогенераторы с **многократной** принудительной циркуляцией и **прямоточные**.

котлы прямоточной циркуляции (принцип работы)

Прямоточными котлами называются такие, у которых при принудительной циркуляции воды она за **один раз** прохождения по трубкам полностью превращается **в пар**.

Классификация парогенераторов по давлению

По давлению пара различают парогенераторы:

низкого давления (до 2,2 МН/м²),

среднего давления (до 4 МН/м²),

повышенного давления (до 6 МН/м²)

и **высокого** давления (выше 6 МН/м²).

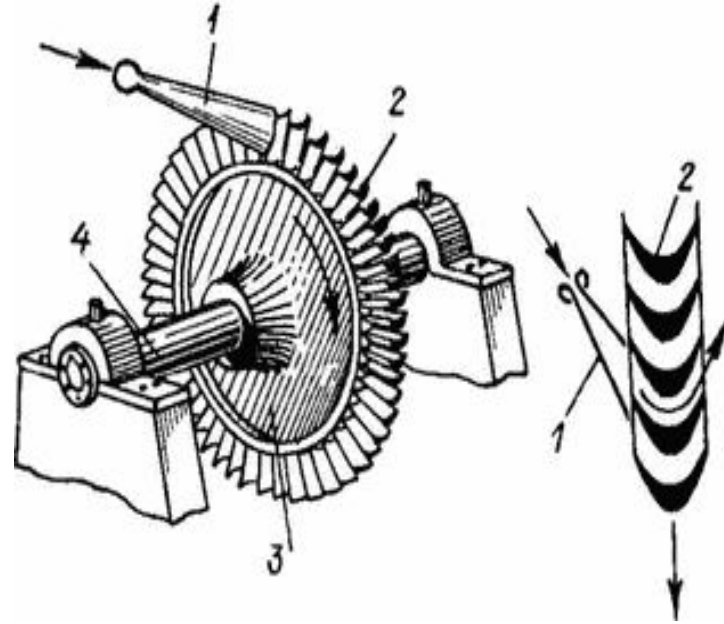
Вспомогательные судовые паровые котлы (назначение)

- *Вспомогательные судовые паровые котлы* служат для обеспечения паром вспомогательных механизмов, для обогрева помещений, для других нужд на судах, где в качестве главных двигателей установлены двигатели внутреннего сгорания (дизели или газовые турбины). Часто на теплоходах устанавливают вспомогательные котлы, использующие тепло отработанных газов двигателей внутреннего сгорания. Такие котлы называются утилизационными.

Вспомогательные судовые паровые котлы (назначение)

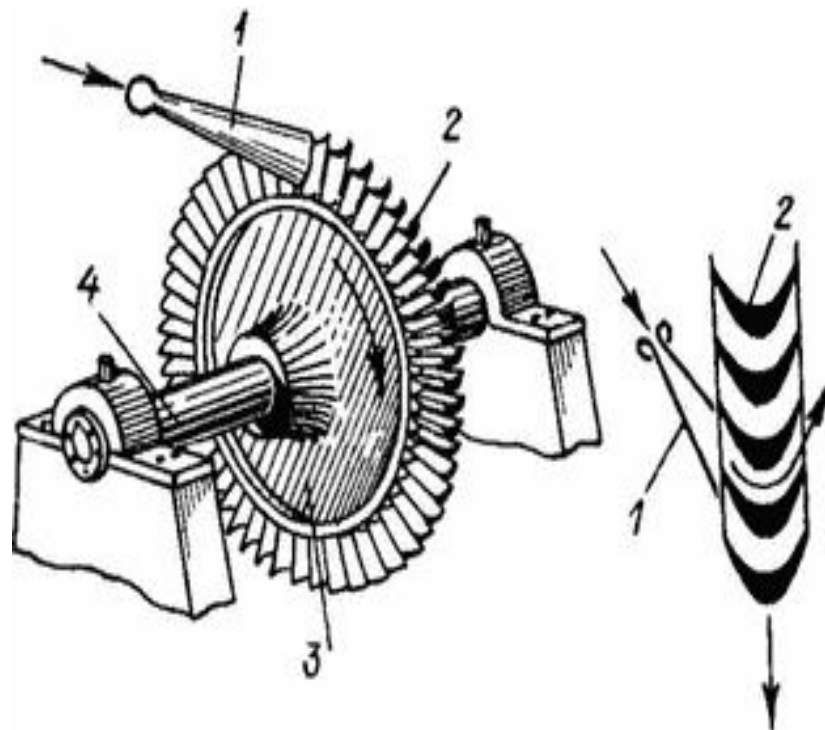
- На всех теплоходах, наряду с утилизационными котлами, работающими только на ходу судна, устанавливают вспомогательные паровые котлы, обеспечивающие паром потребителя на стоянке, или водотрубные комбинированные котлы, работающие на ходу судна как утилизационные, а на стоянке — как обычные вспомогательные котлы, отапливаемые жидким топливом

Схема действия паровой турбины.



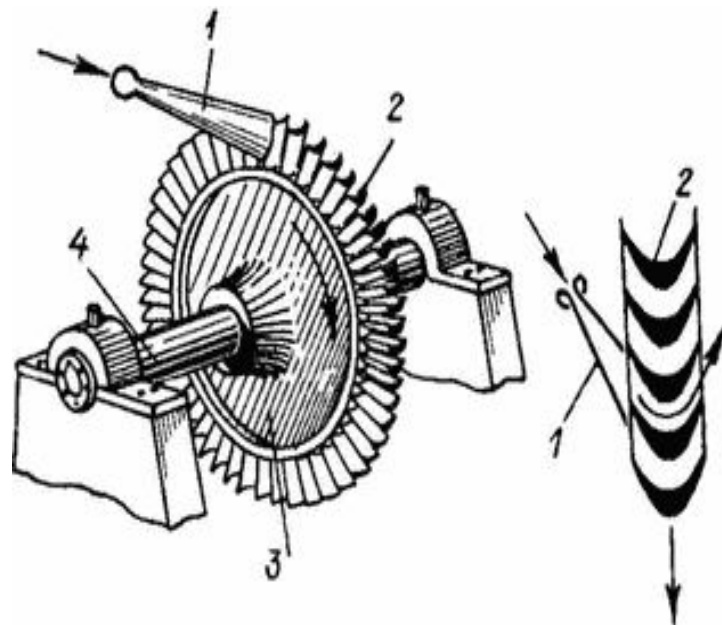
Свежий пар, поступающий из парогенератора по трубопроводу, направляется на неподвижные направляющие **сопла 1**, имея определенный запас потенциальной энергии. Вытекая из сопла, пар расширяется и, так как давление его уменьшается, приобретает большую скорость. С этой скоростью пар поступает на рабочие **лопатки 2**, расположенные на цилиндрической части колеса или **диска 3**, закрепленного на валу **4** турбины.

Описание принципа работы турбины ПТУ



- **Изогнутые поверхности** рабочих лопаток изменяют направление движения пара, в результате чего он оказывает **давление** на их поверхности.
- **Усилие**, вызванное поворотом струи в каналах рабочих лопаток, вращает диск и связанный с ним вал и **совершает** механическую **работу**. **Вал и диск** с закрепленными на нем рабочими лопатками называется **ротором**.

Описание принципа работы турбины ПТУ

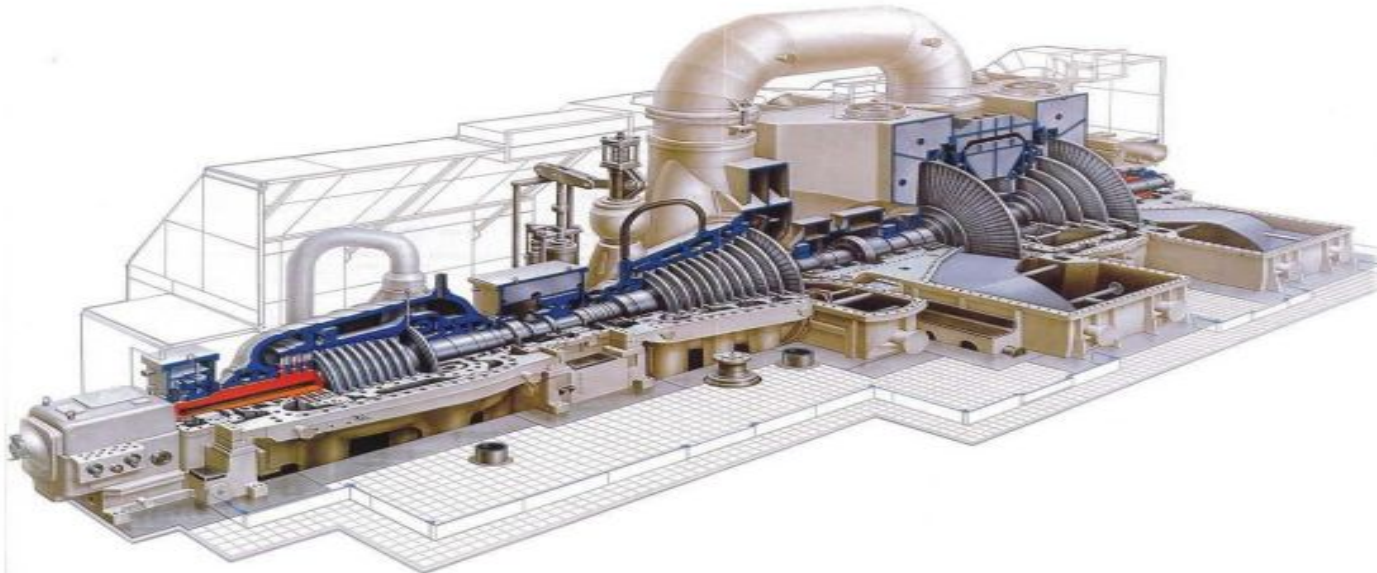


Один ряд сопел и один диск с рабочими лопатками составляют **турбинную ступень**. На лопатках рабочего колеса кинетическая энергия потока преобразуется в **работу** ступени.

Простейшие турбины, имеющие лишь одну ступень, называются **одноступенчатыми** в отличие от более сложных

Судовая турбинная установка

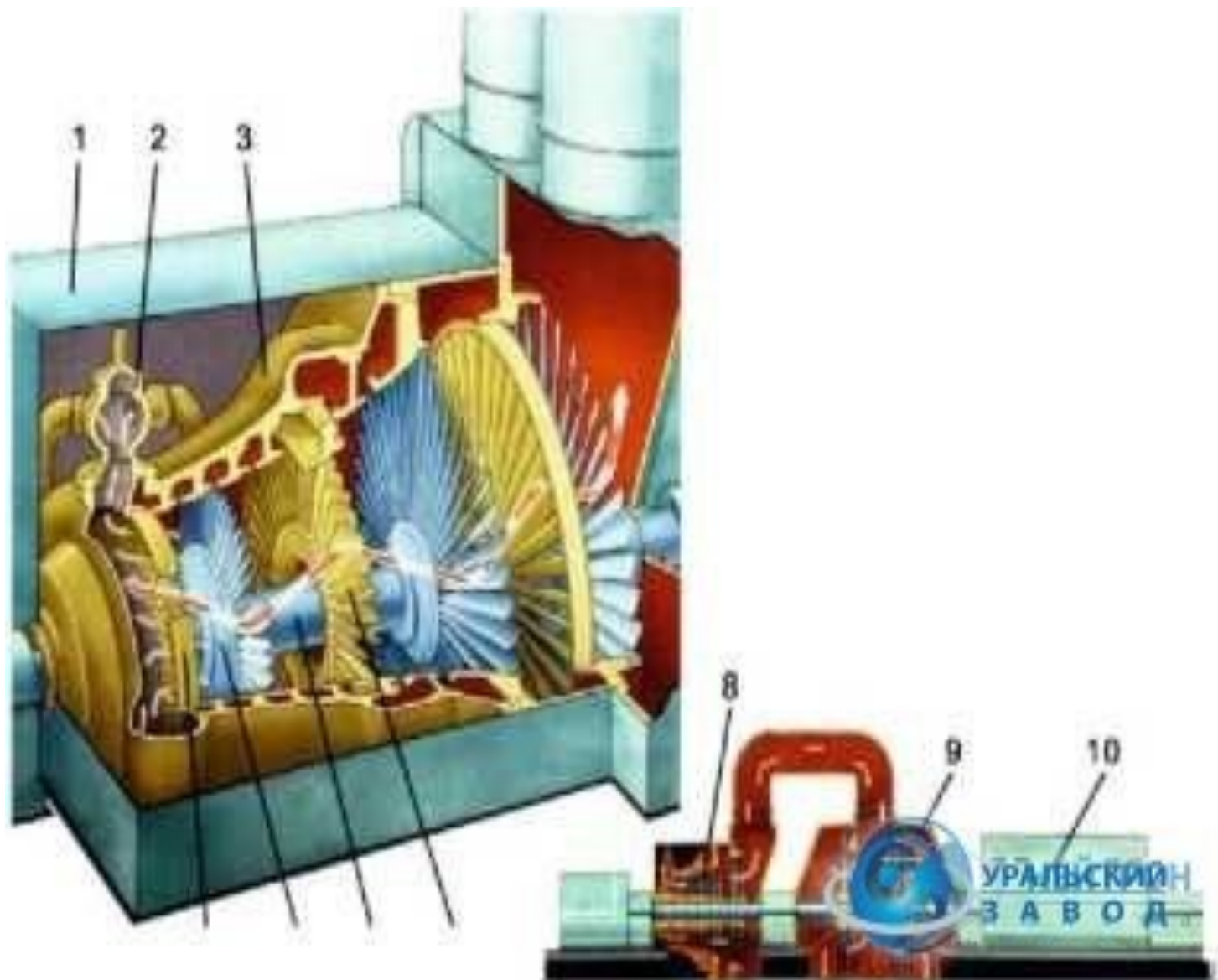
- Судовая паровая турбина представляет собой ротативный тепловой двигатель с непрерывным рабочим процессом, с двойным превращением энергии. Потенциальная энергия (теплота) водяного пара последовательно преобразуется в соплах (направляющих неподвижных каналах) в кинетическую энергию струи, а затем в энергию вращения вала турбины
- Метод превращения энергии в турбине не зависит от рабочего тела, которое используется в турбине. Поэтому рабочие процессы, протекающие в паровых турбинах, не имеют существенного отличия от рабочих процессов, протекающих в газовых турбинах, а основные



ОДНОСТУПЕНЧАТАЯ ПАРОВАЯ ТУРБИНА

(преимущества)

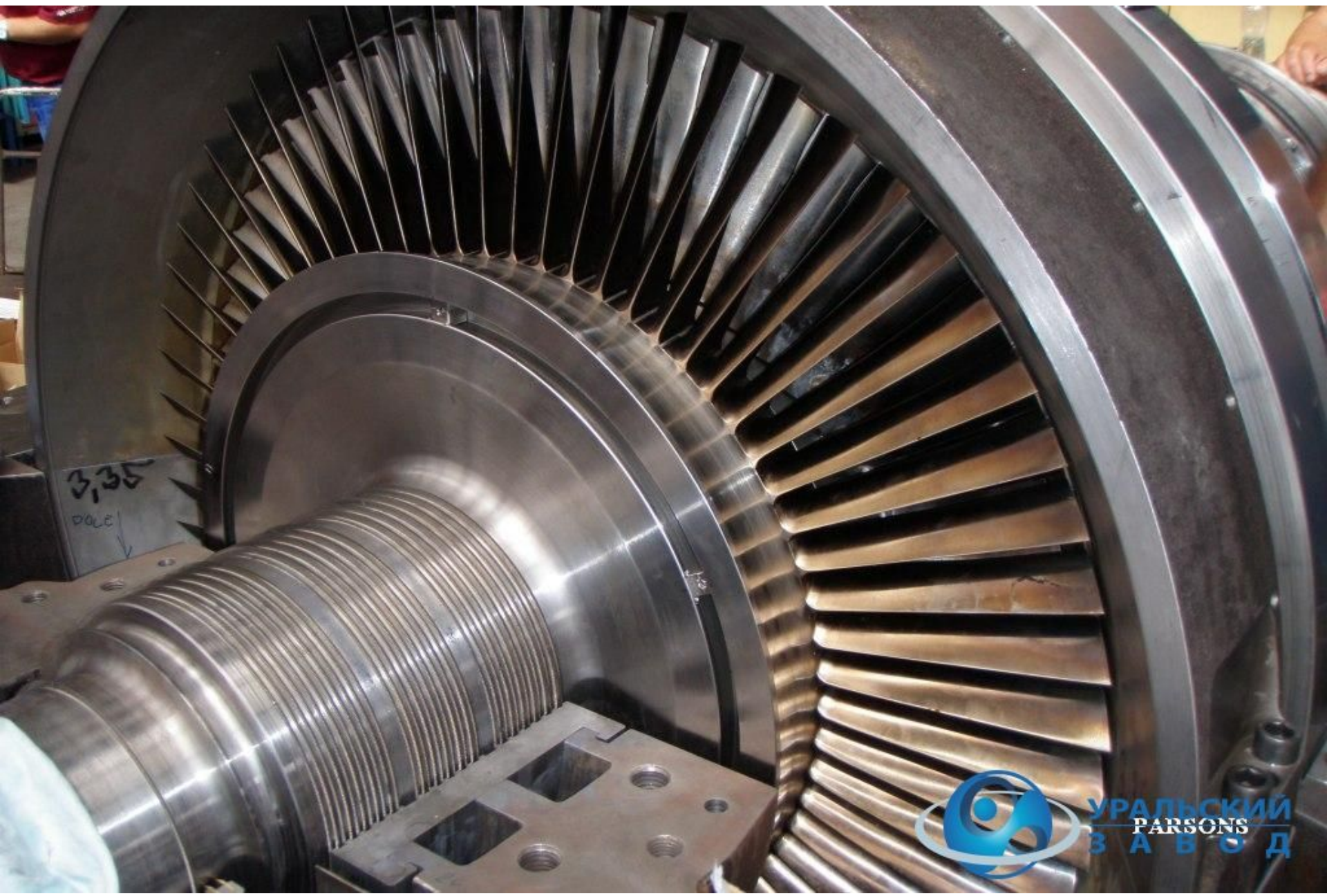
- простота конструкции,
- небольшие размеры и масса ;
- мобильность (быстрый пуск и останов турбин, неограниченного количества пусков турбин из холодного состояния);
- высокая заводская готовность (турбина, редуктор, генератор, электронно-гидравлическая система управления, вспомогательное оборудование поставляются одним/максимум двумя крупными узлами;
- проектируются и изготавливаются под индивидуальные требования каждого Заказчика;
- возможность работать на насыщенном паре;
- невысокая, конкурентная цена паровых турбин за счет простоты конструкции;
- сервисный центр в России (монтаж, оперативный сервис, обслуживание и доступность любых запасных частей).



1-Кожух, 2-Парораспределительное устройство, 3-Корпус турбины, 4-Сопловый аппарат, 5-Диск ротора, 6-Вал турбины, 7-Диск статора (направляющего аппарата), 8-Цилиндр высокого давления, 9-Цилиндр низкого давления, 10-Генератор.

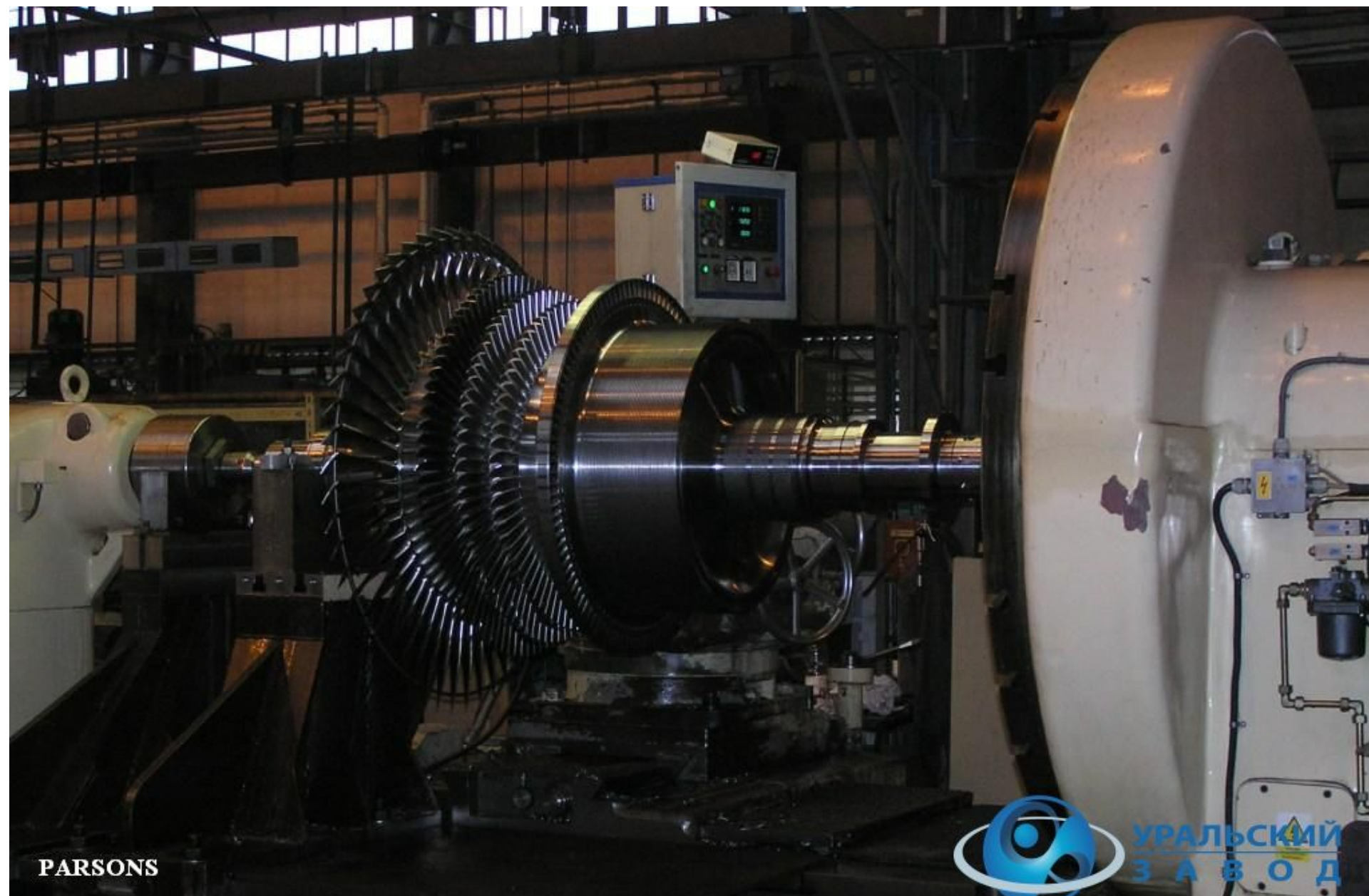
PARSONS





3,35
0001

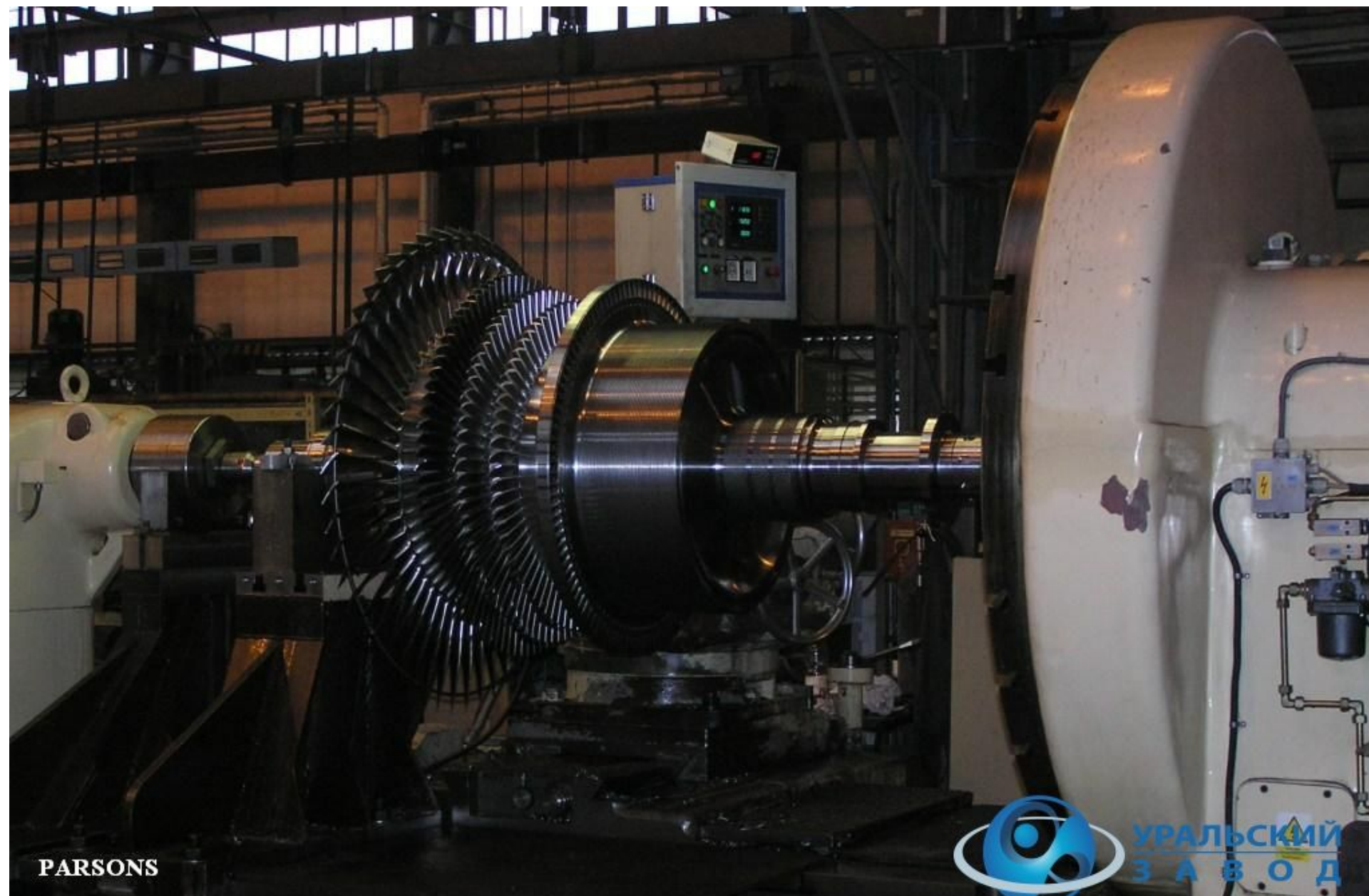




PARSONS



УРАЛЬСКИЙ
ЗАВОД



PARSONS



УРАЛЬСКИЙ
ЗАВОД



УРАЛЬСКИЙ
ЗАВОД
PARSONS

Процесс сборки многоступенчатой турбинной установки



Разделение турбин по принципу работы рабочего тела

- Турбины по принципу работы рабочего тела (пара или газа) разделяют на две основные группы.
- Турбины, в которых расширение пара или газа происходит только в неподвижных направляющих аппаратах, а на рабочих лопатках используется лишь их кинетическая энергия, называются *активными*.
- Турбины, в которых расширение пара или газа происходит также и при движении *рабочего тела в каналах рабочих лопаток*, называются реактивными.

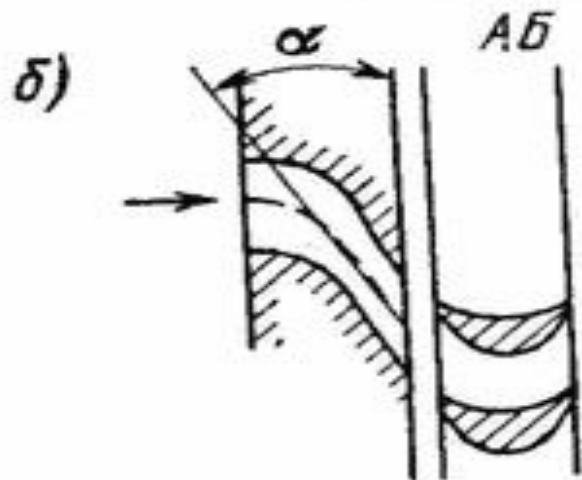
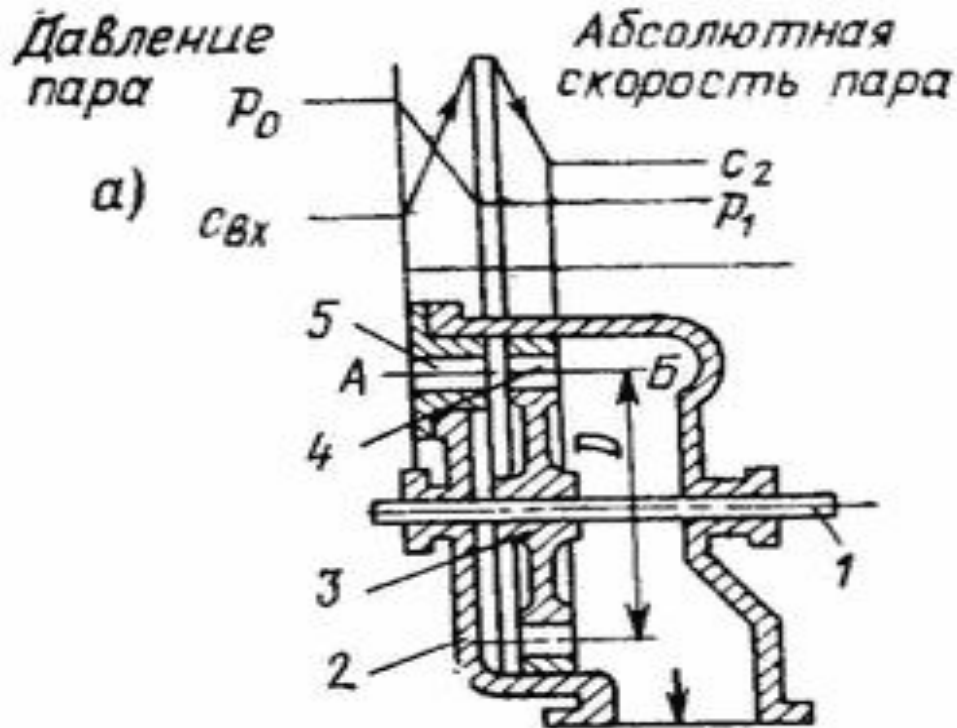
активные турбины (турбина Кертиса)

В этих турбинах расширение пара от начального до конечного давления происходит в одном сопле (группе сопл), закрепленном в корпусе перед рабочими лопатками турбинного диска.

При воздействии струи пара на рабочие лопатки часть его кинетической энергии преобразуется в механическую работу на валу ротора турбины.

Таким образом в активной турбине весь процесс расширения и ускорения пара идет только в неподвижных каналах (соплах), а на рабочих лопатках происходит только превращение кинетической энергии пара в механическую работу без дополнительного расширения паровой струи.

Активная паровая одноступенчатая турбина



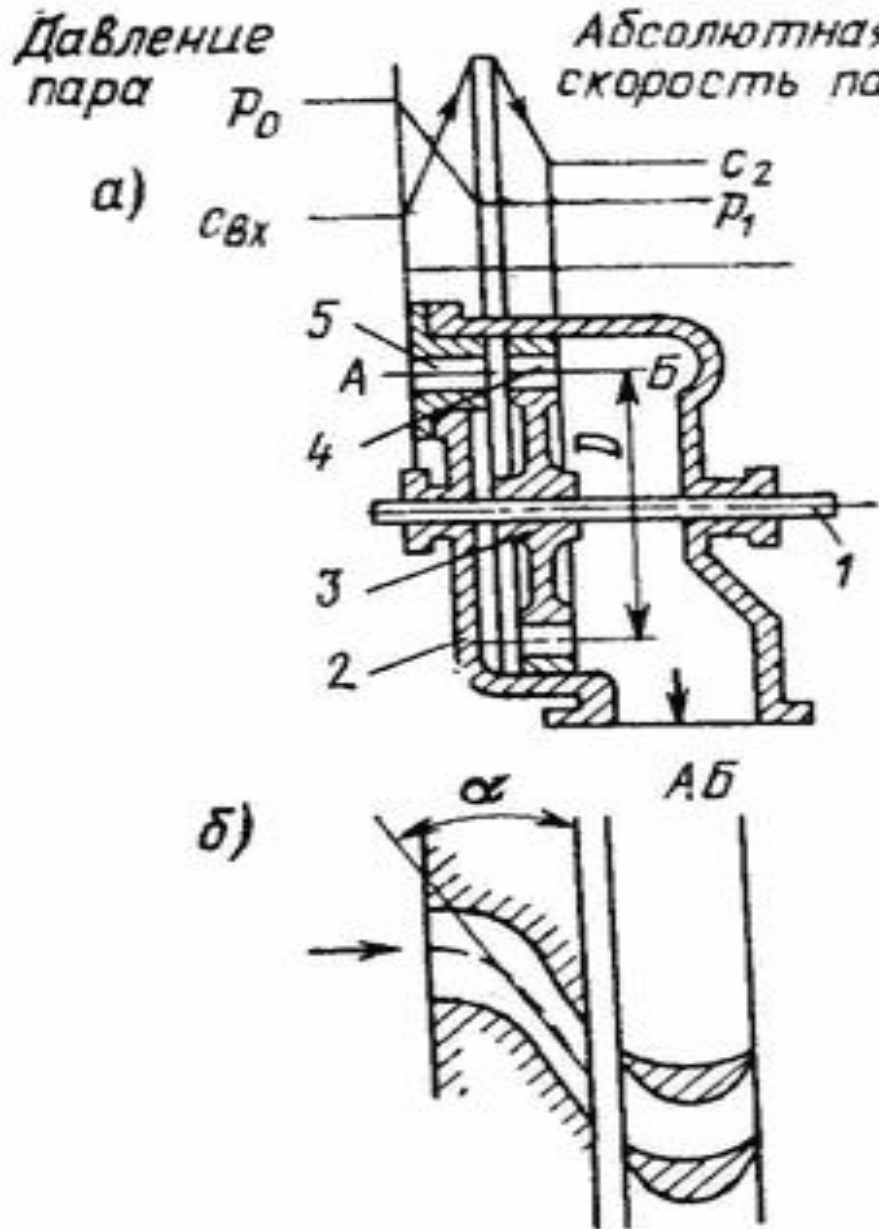
ротор состоит из вала 1 и диска 3 с рабочими лопатками 4.

В переднее днище корпуса 2 турбины вставлены одно или несколько сопел 5, к которым подводится пар.

Сопла и лопатки, по которым протекает пар, называются проточной частью турбины.

Оси сопел расположены под небольшим углом α (рис.б) к направлению вращения лопаток, представляющих собой изогнутые в виде жёлоба пластины с

Активная паровая одноступенчатая турбина

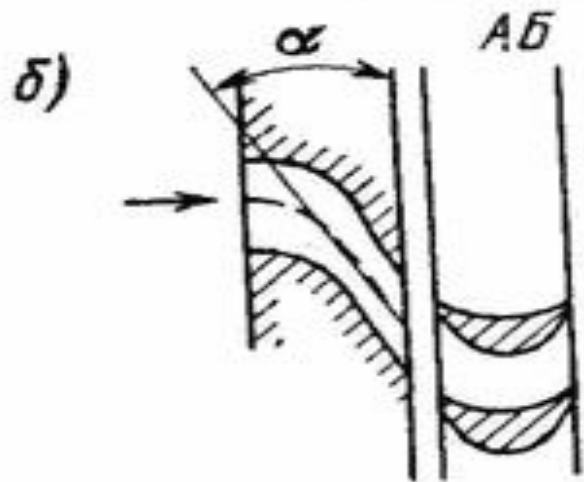
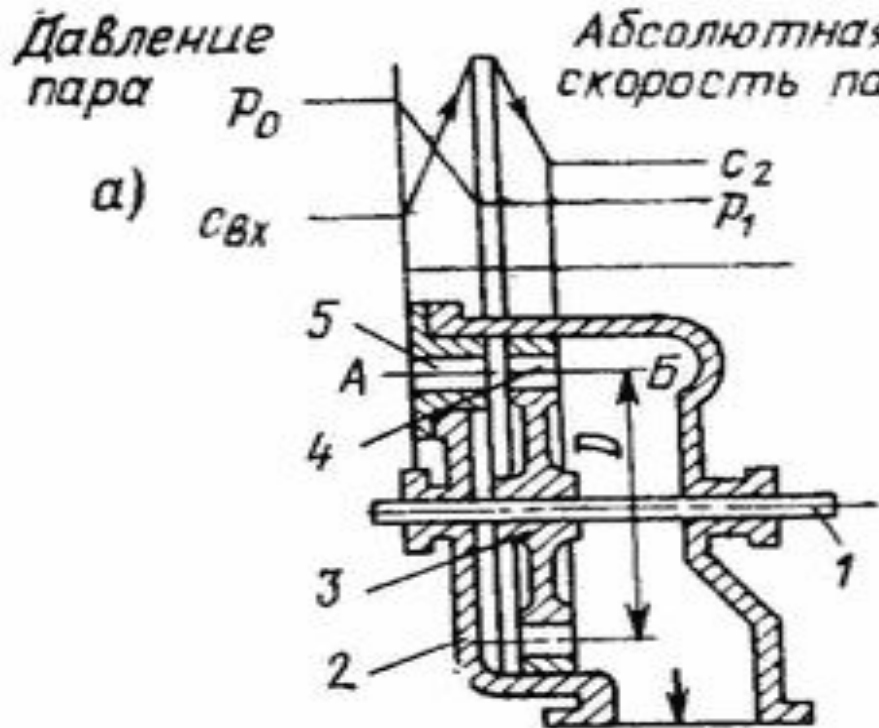


На диаграмме показаны изменения давления P и скорости C пара в различных местах проточной части турбины.

Из диаграммы видно, что пар подходит к соплам с начальным давлением p_0 ; при расширении пара в соплах давление его уменьшается до p_1 и остается постоянным на лопатках и в корпусе до выхода из турбины.

Скорость пара до сопел $c_{вх}$ вследствие расширения пара при протекании его по соплам увеличивается до c_1 . С этой скоростью пар поступает в образованные рабочими лопатками криволинейные

Активная паровая одноступенчатая турбина

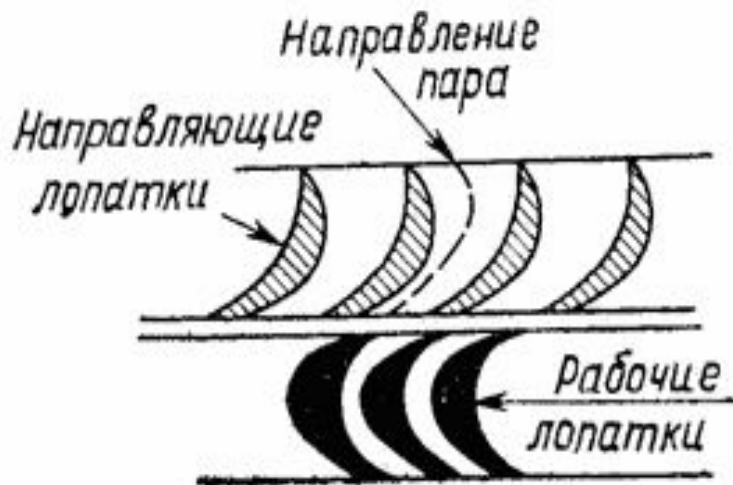


Изменение направления течения пара вызывает возникновение на рабочих лопатках силы, вращающей ротор. Вследствие преобразования части кинетической энергии пара в механическую работу, а также затраты части энергии на преодоление вредных сопротивлений скорость пара c_1 по мере протекания его по рабочим лопаткам постепенно уменьшается до c_2 . С этой скоростью пар и оставляет рабочие лопатки.

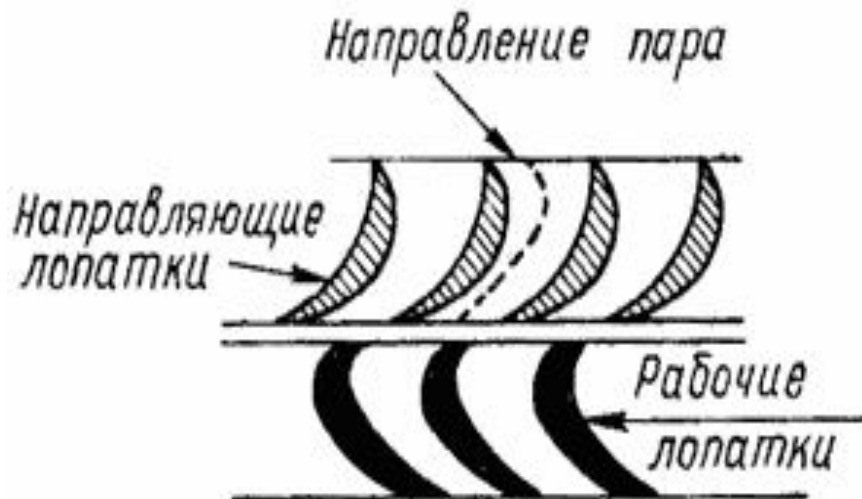
Выводы

- **увеличение** скорости пара происходит только **в сопле** или в направляющем аппарате благодаря их особой форме;
 - при выходе из сопла пар с большой скоростью протекает по криволинейным каналам между рабочими лопатками колеса;
скорость его при этом **уменьшается**,
а **давление** остается **неизменным** вследствие того, что каналы имеют **постоянное сечение** и пар в них не расширяется.
- Следовательно, в **активной турбине** **давление** пара при входе на рабочие лопатки и выходе с них **одинаково**.

Различия профиля рабочих лопаток активных и реактивных турбин

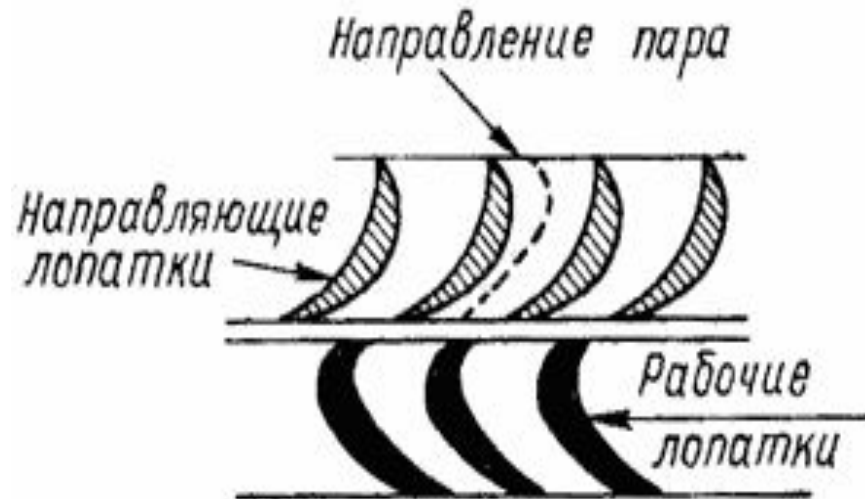


Профиль рабочих и направляющих лопаток активной турбины.



Профиль рабочих и направляющих лопаток реактивной турбины.

Реактивная турбина



В реактивных турбинах форма каналов между рабочими лопатками дает возможность пару расширяться не только в направляющих аппаратах (соплах), но и при проходе через каналы между лопатками.

Сечение каналов между рабочими лопатками в реактивных турбинах различное: на выходе пара оно меньше, чем на входе.

Поэтому скорость пара на выходе из рабочих лопаток получается большей, чем на входе, вследствие чего возникает реактивная сила, действующая на лопатки в сторону, противоположную движению струи пара, выходящей с лопаток.

Выводы

- **расширение пара** происходит не только в соплах, но и на рабочих лопатках;
- **входные сечения** каналов между рабочими лопатками **больше**, чем на **выходе**.

реактивные турбины (турбина Парсонса)

В этом типе в неподвижном корпусе и на внешней стороне ротора закреплены и направляющие, и рабочие лопатки, образующие камеры для прохода пара.

Расширение пара происходит во всех межлопаточных каналах – подвижных и неподвижных.

На первом этапе пар поступает в каналы первого ряда направляющих лопаток, размещенных в корпусе.

Из каналов неподвижных направляющих лопаток первого ряда пар поступает в каналы первого ряда рабочих лопаток.

Из каналов рабочих лопаток первого ряда пар направляется в каналы неподвижных лопаток второго ряда и т. д.

Многоступенчатая турбина

Для наиболее выгодного и удобного использования энергии пара при относительно небольшой частоте вращения делают турбины с **многодисковыми роторами**, у которых каждый отдельный диск ротора работает на определенном давлении или скорости пара.

Такие **многоступенчатые турбины** делятся на турбины со **ступенями давления** и со **ступенями скорости**.

Турбины со **ступенями скорости** бывают только **активные**, а турбины со **ступенями давления** — и **активные** и **реактивные**.

турбина со ступенями скорости

Название «турбина со ступенями скорости» объясняется ступенчатым понижением скорости пара на рабочих лопатках.

Число ступеней скорости определяется по числу венцов рабочих лопаток, в которых происходит превращение кинетической энергии в механическую работу.

Турбины со ступенями скорости применяют в качестве двигателей для вспомогательных механизмов, а также в качестве регулировочной ступени главной турбины.

Назначение регулировочной ступени заключается в том, чтобы количественно регулировать впуск пара в турбину и наиболее полно использовать его тепловую энергию в начале проточной части турбины с целью получения более высокого КПД.

Регулирование впуска пара производится при помощи нескольких групп сопел, каждая из которых имеет сопловые клапаны.

турбина со ступенями давления

В турбинах со ступенями давления пар не имеет возможности расширяться в одном направляющем аппарате от начального до конечного давления; этот перепад давления разделен на несколько частей по числу ступеней давления.

При этом преобразование давления пара в скорость происходит последовательно в нескольких направляющих аппаратах, разделенных рабочими колесами.

Таким образом, турбина со ступенями давления как бы состоит из нескольких элементарных (простых) турбин, каждая из которых в свою очередь состоит из неподвижных направляющих аппаратов и подвижных рабочих колес.

Организация реверса судна оснащенного паротурбинной или газотурбиной установкой

- Турбины вращаются только в одну сторону и являются неререверсивными, т. е. они не могут изменять направление вращения. Поэтому на одном валу с главными турбинами переднего хода обычно предусматривают турбины заднего хода.
- Мощность судовых турбин заднего хода не превышает 40—50% мощности турбин переднего хода. Поскольку эти турбины не должны обеспечивать высокую экономичность в работе, число ступеней в

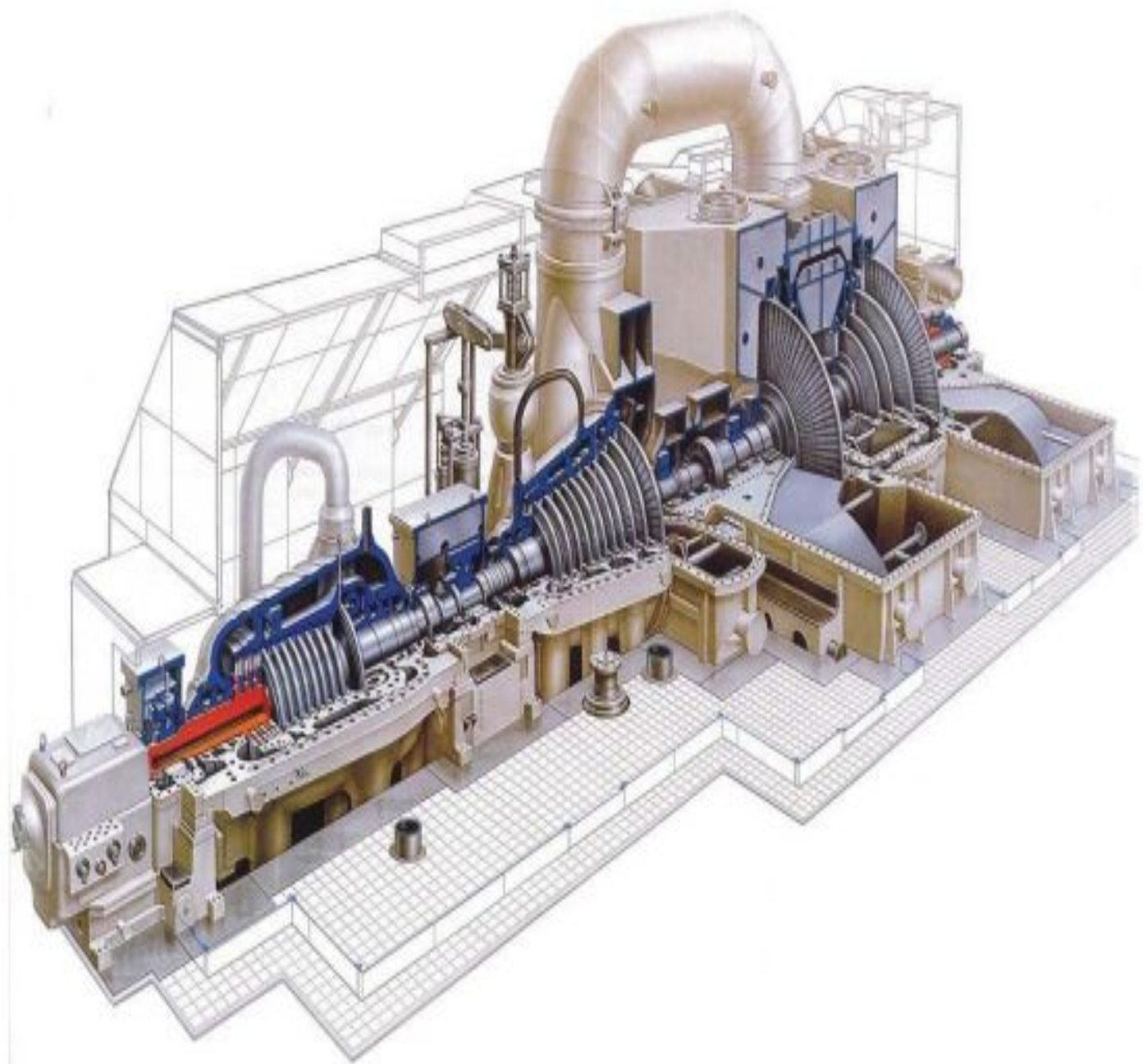
Устройство судовых паровых турбин

Паровые турбины, устанавливаемые на судах, делятся на **главные**, работающие на гребные валы, и **вспомогательные**, приводящие в действие какие-либо вспомогательные механизмы.

Главные паротурбинные установки представляют собой сложные агрегаты, состоящие из одного, двух или трех корпусов турбин:

- высокого давления (ТВД),
- среднего давления (ТСД),
- низкого давления (ТНД).

Кроме того, необходимо иметь турбину заднего хода, которую располагают в отдельном корпусе или в одном корпусе со ступенями переднего хода (обычно в ТСД или ТНД).

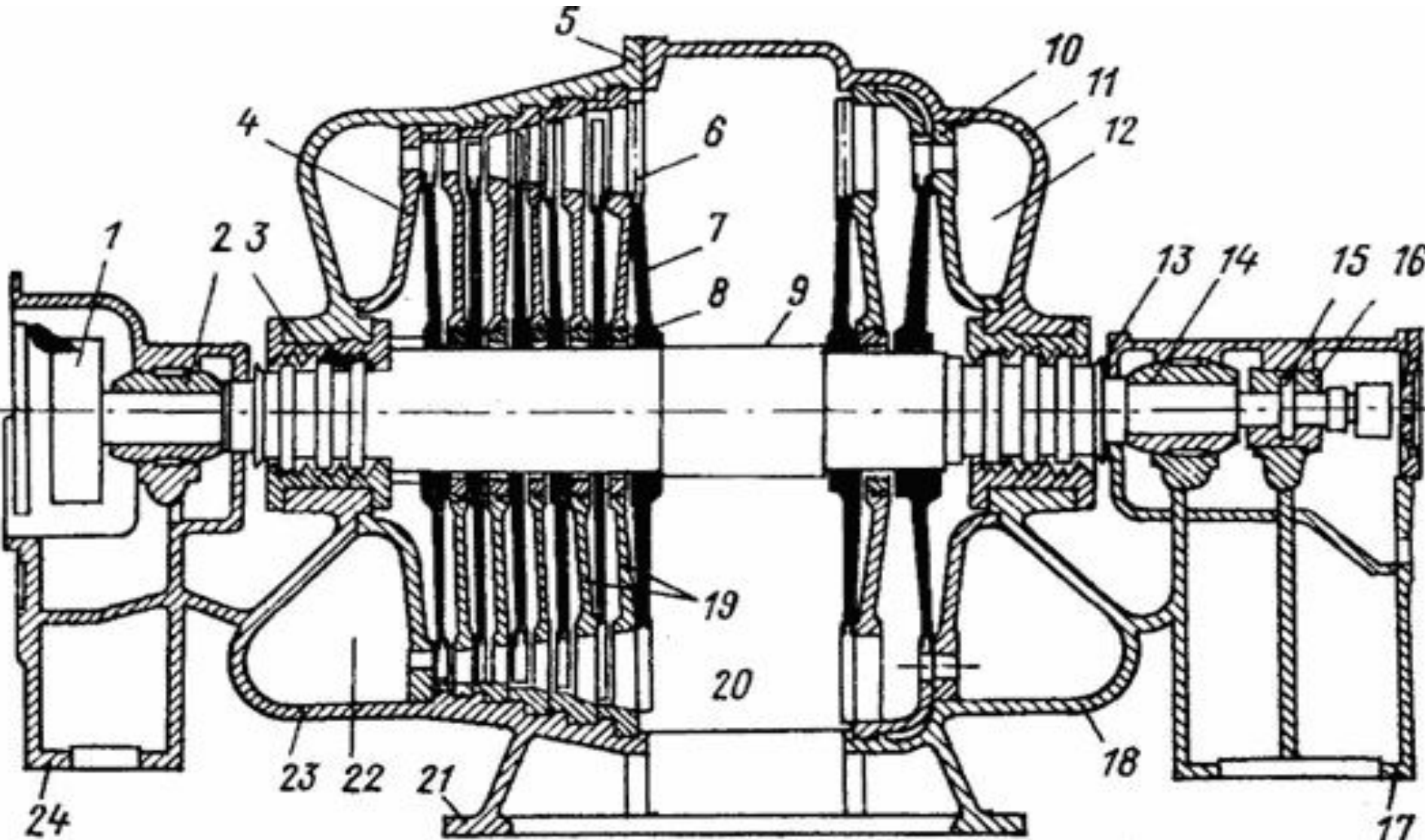


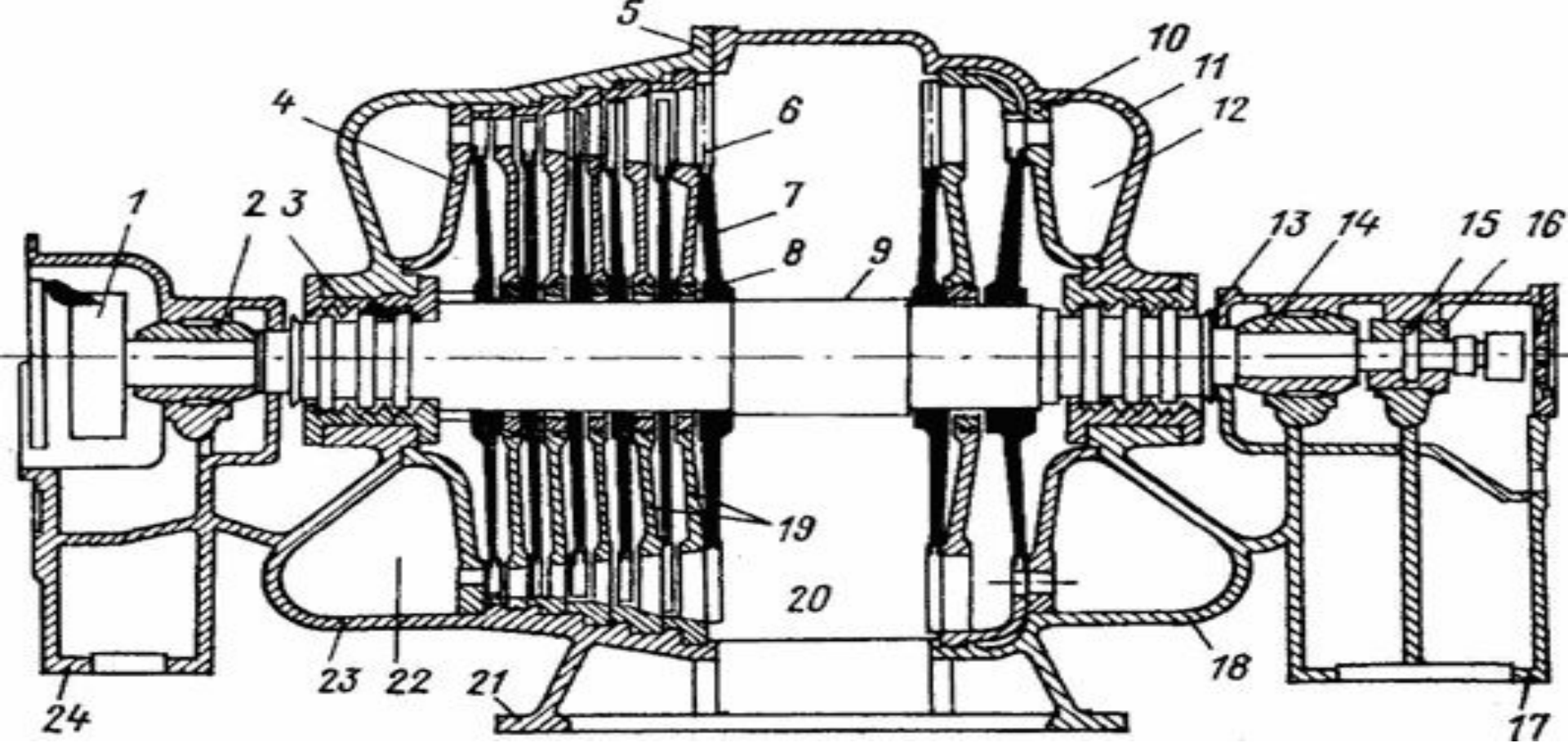
Турбина состоит из статора и ротора. К статору относятся такие крупные и ответственные узлы турбины, как корпус (обычно разъемный), опорные и упорные подшипники, ступля подшипников, диафрагма, лабиринтовые уплотнения, арматура, а также теплоизоляция, каркас, обшивка и др. Корпус турбины, обычно стальной, реже чугунный, имеет сложную конструкцию и предназначен для установки в нем ротора и для крепления к нему других неподвижных узлов и деталей.

Каждый корпус главной судовой турбины имеет горизонтальный разъем, необходимый для вскрытия корпуса турбины, укладки и подъема ротора при сборке и ремонте.

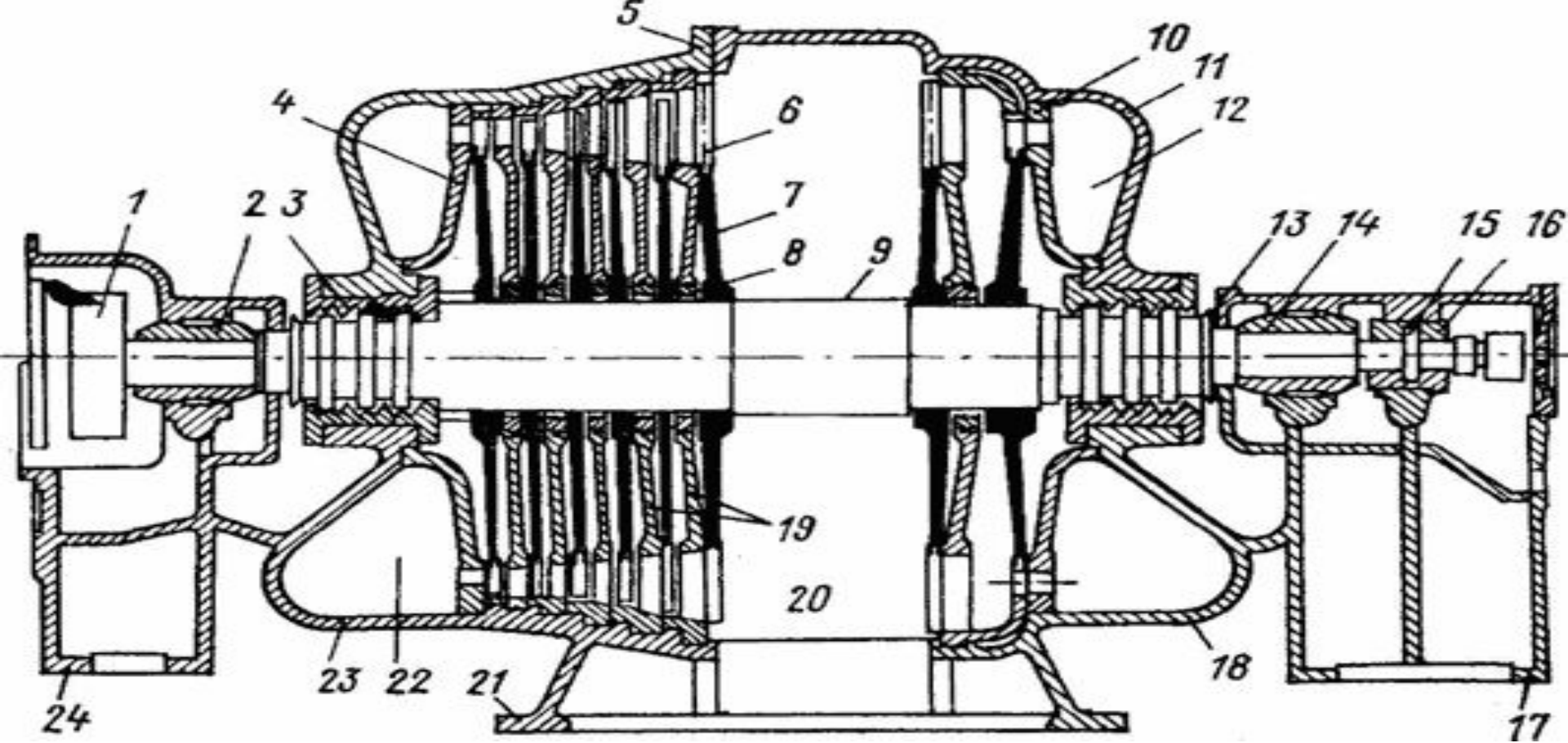
Кроме горизонтального разъема корпус турбины иногда имеет вертикальные разъемы для удобства отливки.

продольный разрез турбины среднего давления активного типа

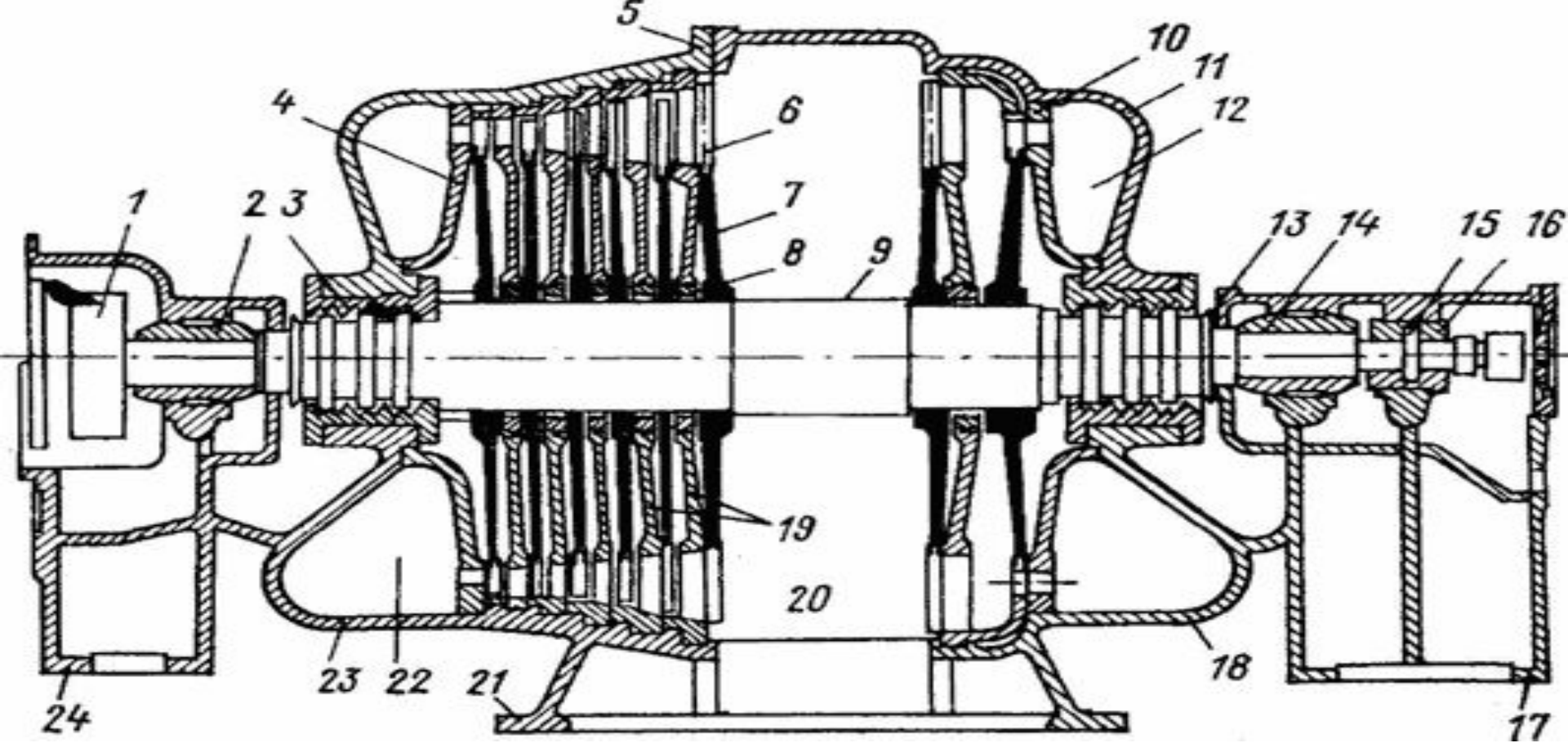




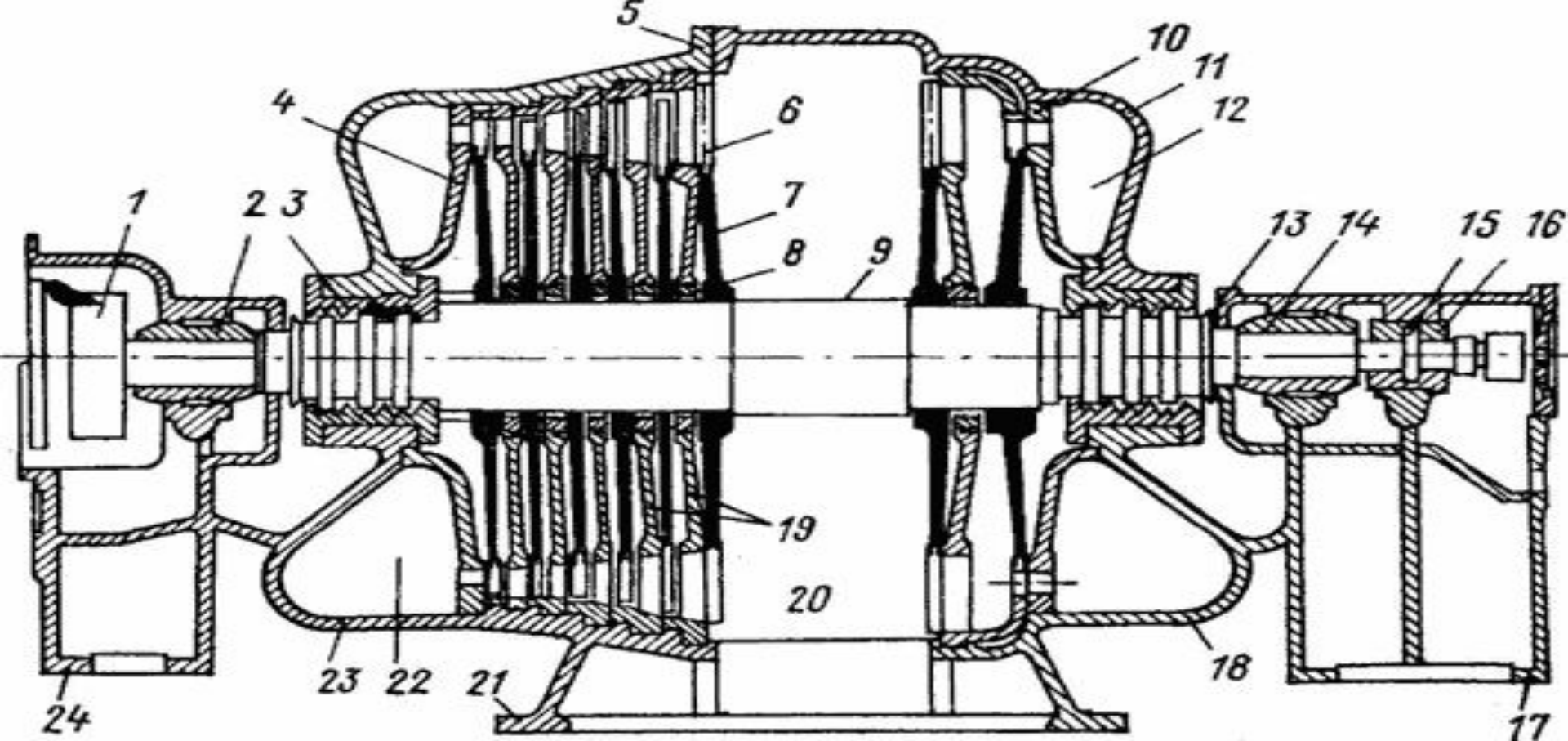
корпус с одним горизонтальным и двумя вертикальными разъемами состоит из верхних 11, 5 и нижних 18 и 23 частей, носового 17 и кормового 24 ступей подшипников, отлитых заодно с нижними частями корпуса и предназначенных для крепления турбины к судовому фундаменту.



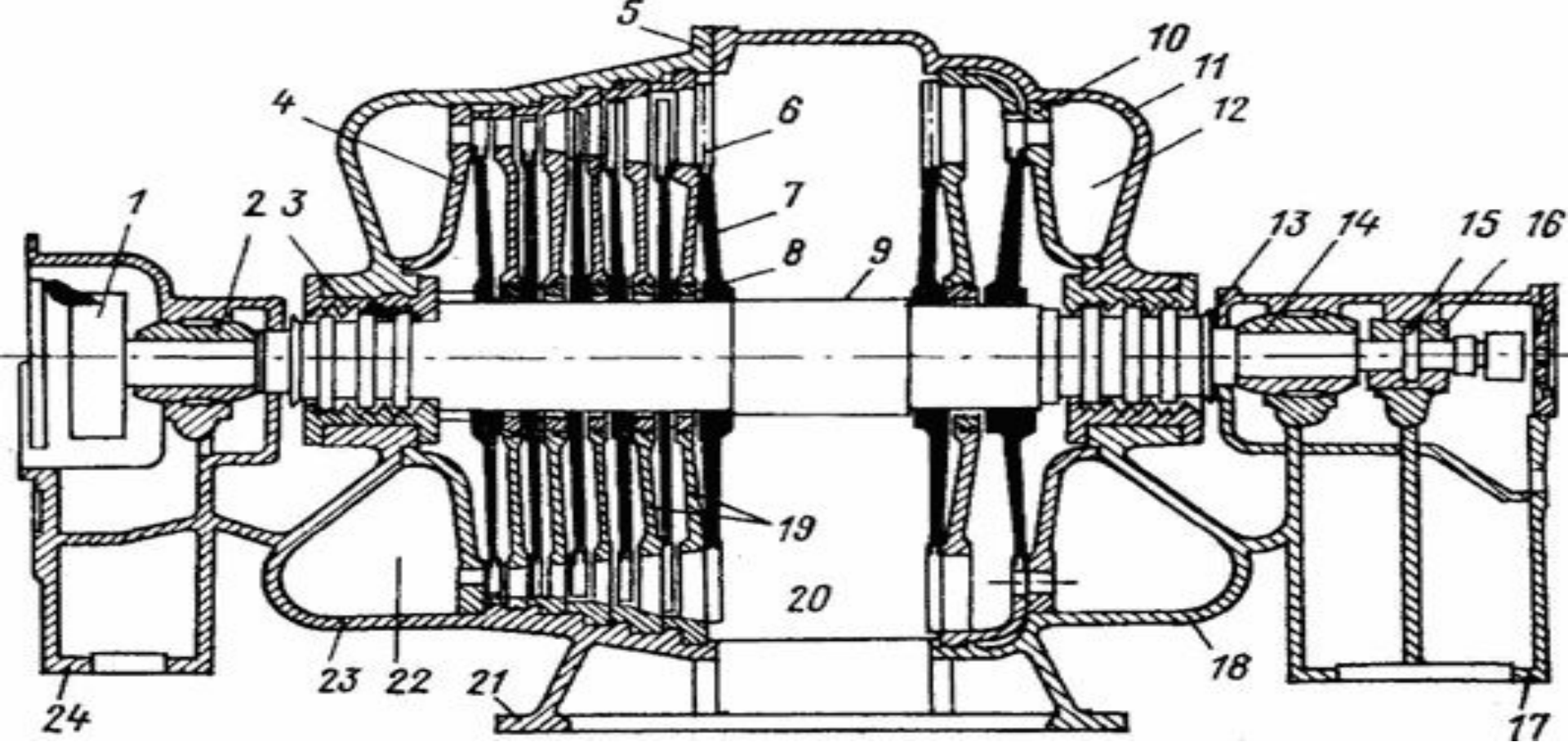
В носовых частях корпуса расположена двухступенчатая активная турбина заднего хода. Пар для нее подается в кольцевую полость 12, затем поступает в сопла диафрагмы 10, а из сопел — на рабочие лопатки дисков турбины. Шесть ступеней активной турбины переднего хода расположены в кормовых частях корпуса; к ним пар подается в кольцевое пространство 22, откуда поступает в сопла 4 первой ступени, а затем через сопла диафрагм 19 на рабочие лопатки 6 дисков 7 ротора турбины.



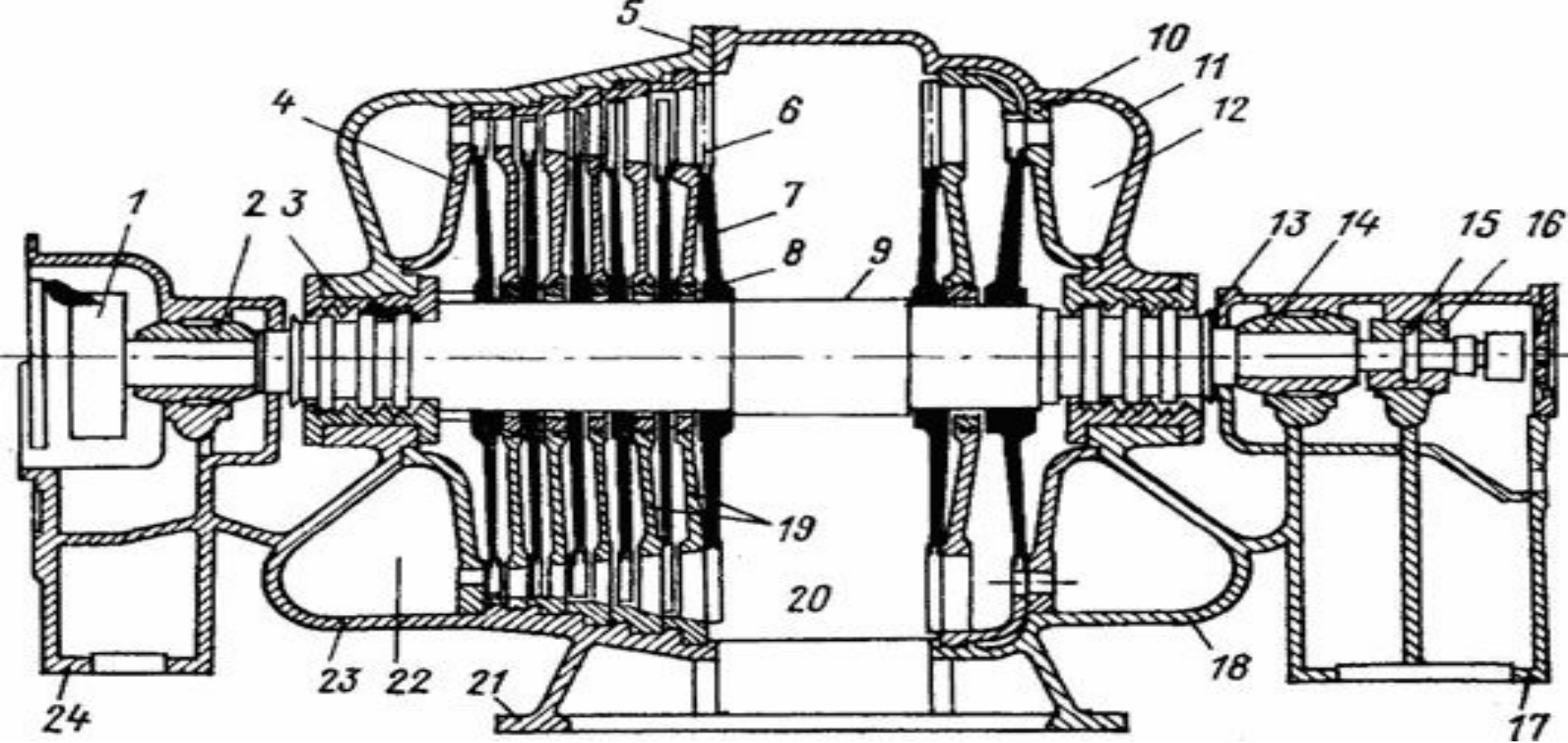
При работе турбины переднего хода свежий пар на ступени турбины заднего хода не подается, а пар, отработавший в ступенях ТПХ (или ТЗХ), выходит в среднюю полость 20 турбины и через патрубок 21 поступает в конденсатор.



Диафрагмы 10, 19 — это диски из двух частей, которые крепятся в кольцевых выточках корпуса турбины. Диафрагмы по назначению и расположению в турбине делятся на промежуточные и разделяющие. Промежуточные диафрагмы служат для разделения внутренней полости корпуса турбины на отдельные камеры (ступени) с различным давлением пара. Каждая такая диафрагма имеет в центре отверстия для прохода вала ротора, а на периферии — сопла, расположенные либо по всей окружности диафрагмы, либо только на части ее. Разделяющие диафрагмы предназначены для разделения ступеней переднего и заднего хода, если они расположены в одном корпусе. Такие диафрагмы не имеют сопел



В местах выхода вала из корпуса турбины, а также в местах его прохода через промежуточные и разделяющие диафрагмы устанавливают специальные уплотнения, препятствующие утечке пара из турбины наружу и из одной полости в другую. В первом случае уплотнение называется наружным (3), а во втором случае — внутренним (8). В главных судовых турбинах применяют различные металлические лабиринтовые уплотнения (радиальные, осевые, радиально-осевые, елочные и др.), а в турбинах вспомогательных механизмов в основном угольные.



В реактивных турбинах имеются обычно наружные уплотнения, а внутренние выполняют только в том месте корпуса, где расположен разгрузочный поршень (думмис), или в том случае, когда в корпусе реактивной турбины имеются регулировочные ступени активного типа.

Экономический (эффективный) КПД паровой или газовой турбины

Экономическим (эффективным) к. п. д. называется отношение тепла, превращенного в полезную работу, к теплу, развивающемуся при полном сгорании затраченного топлива. Эффективный к. п. д. характеризует экономичность двигателя. При повышении давления до 70—80 атм и температуры пара до 500—550° С экономический к. п. д. возрастает до 29—31%. Дальнейшее повышение начального давления пара и совершенствование установок позволит увеличить к. п. д. судовой паротурбинной установки примерно до 35%.

Зависимость КПД ПТУ от температуры и давления

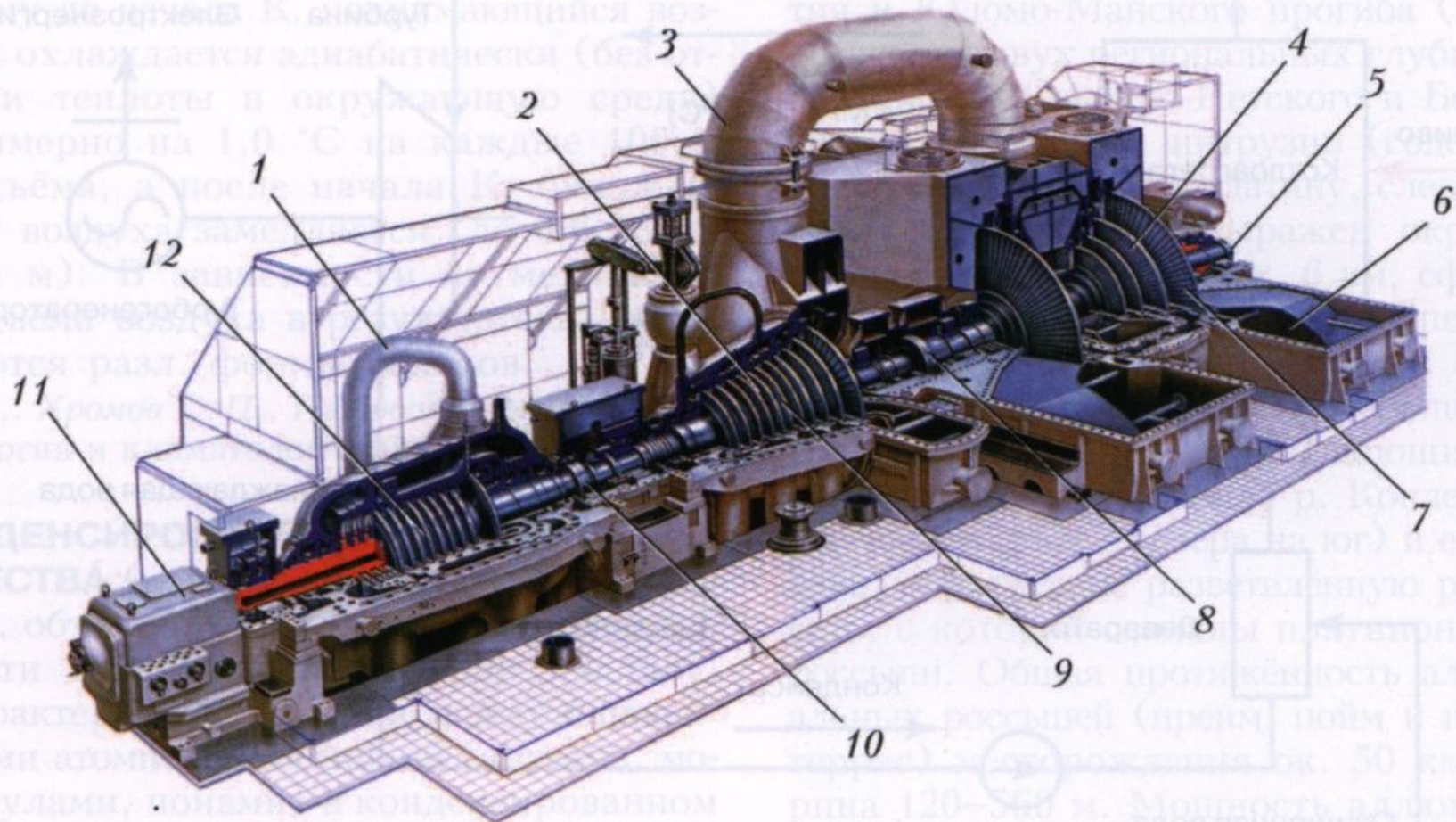
Перегрев пара увеличивает среднюю температуру подвода теплоты в цикле, не меняя температуру отвода теплоты, поэтому КПД ПТУ с увеличением температуры пара перед турбиной возрастает. С увеличением давления пара КПД ПТУ также возрастает, но при этом необходимо повышать и температуру его перегрева, чтобы поддерживать влажность выходящего из турбины пара в заданных пределах, так как с увеличением p_1 повышается влажность выходящего из турбины пара. При уменьшении давления пара за турбиной p_2 снижается средняя температура отвода теплоты в цикле, в связи с этим КПД ПТУ повышается. Температура пара в конденсаторе должна быть выше температуры охлаждающей забортной воды хотя бы на $5 - 10^\circ\text{C}$, поэтому температура насыщенного пара в конденсаторе составляет $28 - 35^\circ\text{C}$, а абсолютное давление соответственно $4 - 5$ кПа. В связи с этим повышение КПД цикла за счет дальнейшего

Пути повышения КПД ПТУ

- Для повышения КПД цикла ПТУ применяют промежуточный перегрев пара, заключающийся во вторичном перегреве пара после его предварительного расширения в турбине. Промежуточный перегрев не только увеличивает среднюю температуру подвода теплоты, но и уменьшает конечную влажность пара в турбине в последних ее ступенях, что повышает их надежность. Количество промежуточных перегревов бывает обычно не более двух, так как каждая дополнительная ступень увеличивает стоимость и усложняет установку. При одной ступени обеспечивается увеличение КПД на 2 - 4%, при двух ступенях - на 4 - 8%.
- Другим способом повышения КПД теоретических циклов ПТУ является применение подогрева питательной воды, что увеличивает среднюю температуру при подводе теплоты в цикле. Многоступенчатый нагрев воды осуществляется паром, отбираемым из промежуточных ступеней турбины, после того как он произвел работу в предшествующих ступенях. Такое использование теплоты в цикле носит название регенерации, а цикл называется регенеративным. В пятиступенчатом регенеративном цикле можно увеличить КПД на 8%.

Конденсационные установки

- Конденсация отработавшего пара при низком давлении осуществляется в специальном теплообменном аппарате - конденсаторе.
- В ГТЗА применяются конденсаторы поверхностного типа. В них теплота конденсации отработавшего пара (теплота парообразования) передается охлаждающей забортной воде через мельхиоровые или из алюминиевой латуни трубки. Корпус конденсатора имеет патрубок для входа отработавшего пара и патрубок, через который эжектором отсасывается паровоздушная смесь для поддержания вакуума (0,005 - 0,006 МПа).
- Вакуум в конденсаторе создается вследствие того, что удельный объем сухого насыщенного пара при температуре 30°C в 27 тыс. раз больше удельного объема образующегося конденсата (воды).
- Работу конденсатора обеспечивают циркуляционный насос, прокачивающий забортную воду, и конденсатный, удаляющий конденсат.
- В качестве воздушных насосов в конденсаторах используются, как уже было сказано, пароструйные эжекторы



Конструкция конденсационной турбины: 1 – труба подвода пара к ЦВД; 2 – ротор ЦСД; 3 – ресиверная труба, перепускающая пар из ЦСД в ЦНД; 4 – ротор ЦНД; 5 – полумуфта для присоединения ротора турбогенератора; 6 – выходной патрубок ЦНД, из которого пар поступает в конденсатор, расположенный под турбиной; 7 – рабочие лопатки последней ступени ЦНД; 8 – муфта, соединяющая роторы ЦСД и ЦНД; 9 – рабочие лопатки ротора ЦСД; 10 – муфта, соединяющая роторы ЦВД и ЦСД; 11 – блок регулирования и управления турбиной; 12 – ротор ЦВД.

Схема конденсационной установки с раздельным удалением конденсата и воздуха

- поверхностный конденсатор 4,
циркуляционный 8,
- конденсатный насос 7
- воздушный (вакуумный) насос 5.
- К фланцам корпуса конденсатора присоединены трубные доски 2, в которых плотно закреплены трубы, образующие поверхность охлаждения конденсатора. К трубным доскам присоединены водяные камеры .
Внутреннее пространство водяных камер и труб составляет водяное пространство конденсатора, внутри которого циркулирует забортная охлаждающая вода, подаваемая



• Внутреннее пространство между трубными досками конденсатора за вычетом объема, занимаемого трубами, представляет собой паровое пространство. По охлаждающей воде рассматриваемый конденсатор является двухходовым. Пар поступает в конденсатор, через приемный патрубок 3. Образующийся на наружной поверхности труб конденсат стекает вниз и удаляется конденсатным насосом 7. Воздух с небольшим содержанием пара может удаляться из конденсатора электроприводным воздушным (вакуумным) насосом 5. Для охлаждения этого воздуха в конденсаторе перегородкой выделен пучок труб 6, называемый



Основные направления развития

ДТУ

- - повышением начальных параметров пара;
- - улучшением конструкции паровых котлов и турбин и повышением их КПД;
- - осуществлением промежуточного перегрева пара до начальной температуры;
- - развитием регенеративного подогрева питательной воды (увеличение числа ступеней подогрева до пяти);
- - применением рациональных тепловых схем;
- - автоматическим регулированием работы агрегатов;

Главный турбозубчатый агрегат (ГТЗА) (определене)

- **Комплекс**, состоящий из корпусов турбин, конденсатора и редуктора, называется **турбозубчатым агрегатом**.
- Количество главных турбозубчатых агрегатов **(ГТЗА)** на судне соответствует числу гребных валов.

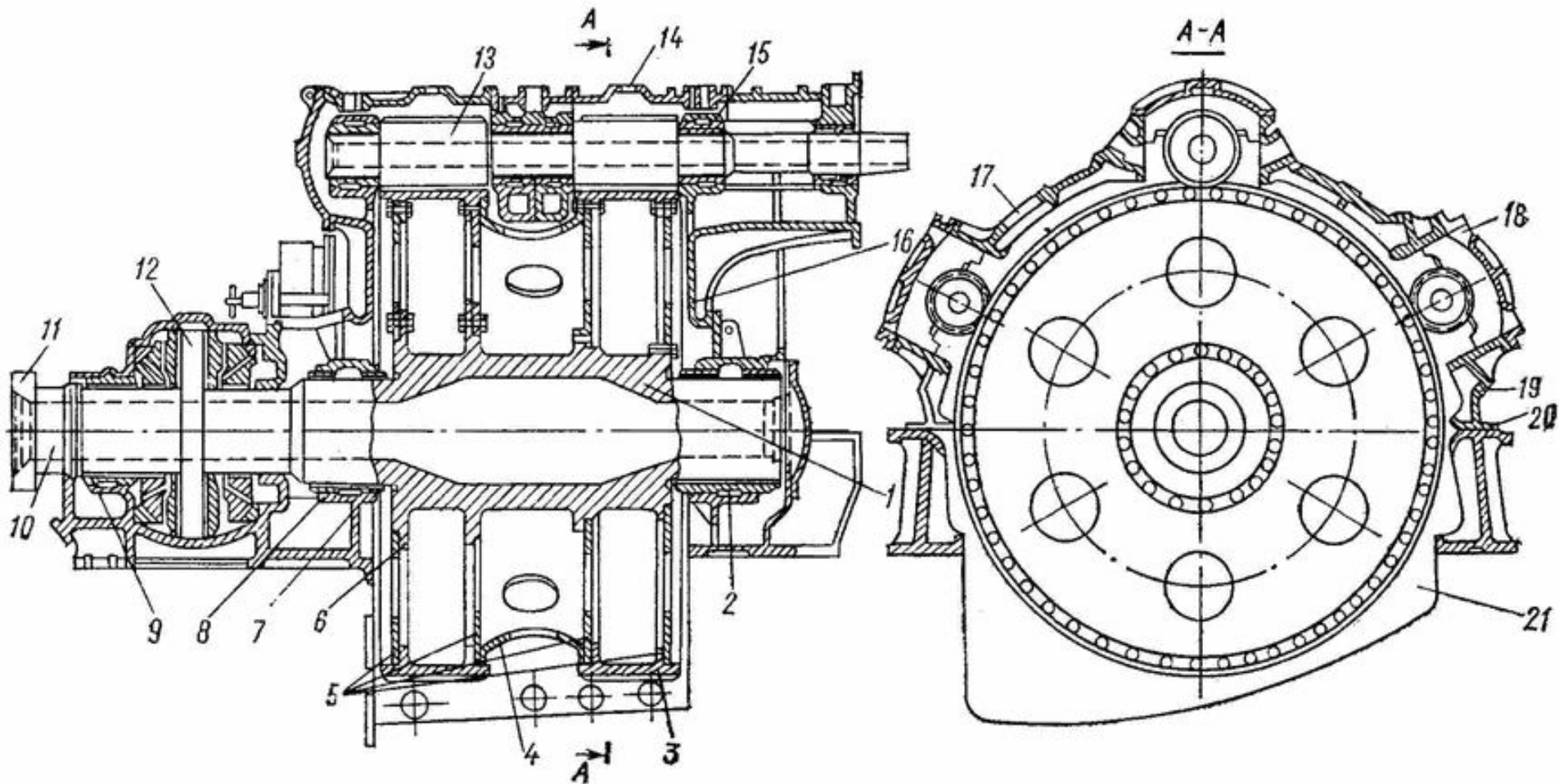
Зубчатые передачи в паротурбинных установках (назначение)

Зубчатые передачи в паротурбинных установках предназначены для **понижения частоты вращения** гребного вала и обеспечения работы гребного винта при максимальном КПД.

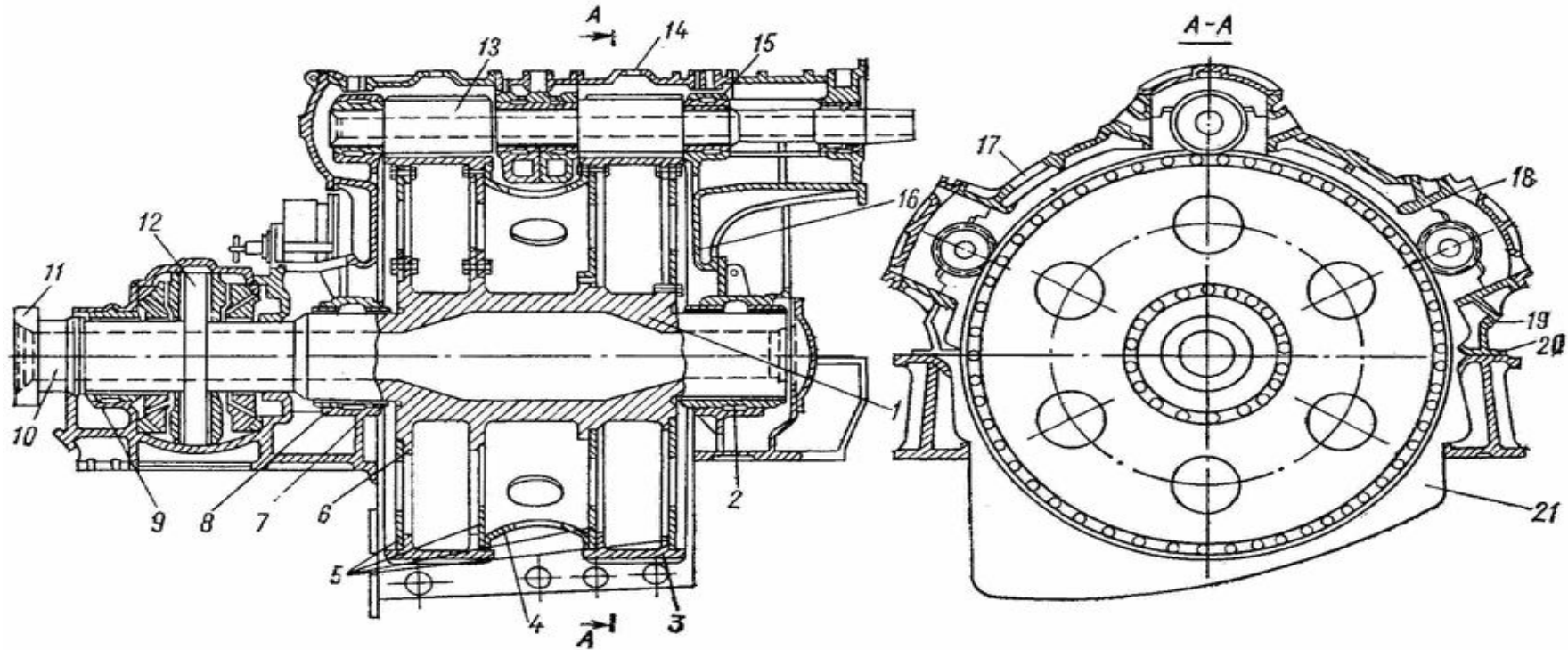
Зубчатые передачи, понижающие частоту вращения, называют **редукторами** (в отличие от повышающих частоту вращения зубчатых передач, называемых **мультипликаторами**).

Одноступенчатые передачи позволяют **снизить** частоту вращения в **20—25** раз, а двухступенчатые в **100—140** раз.

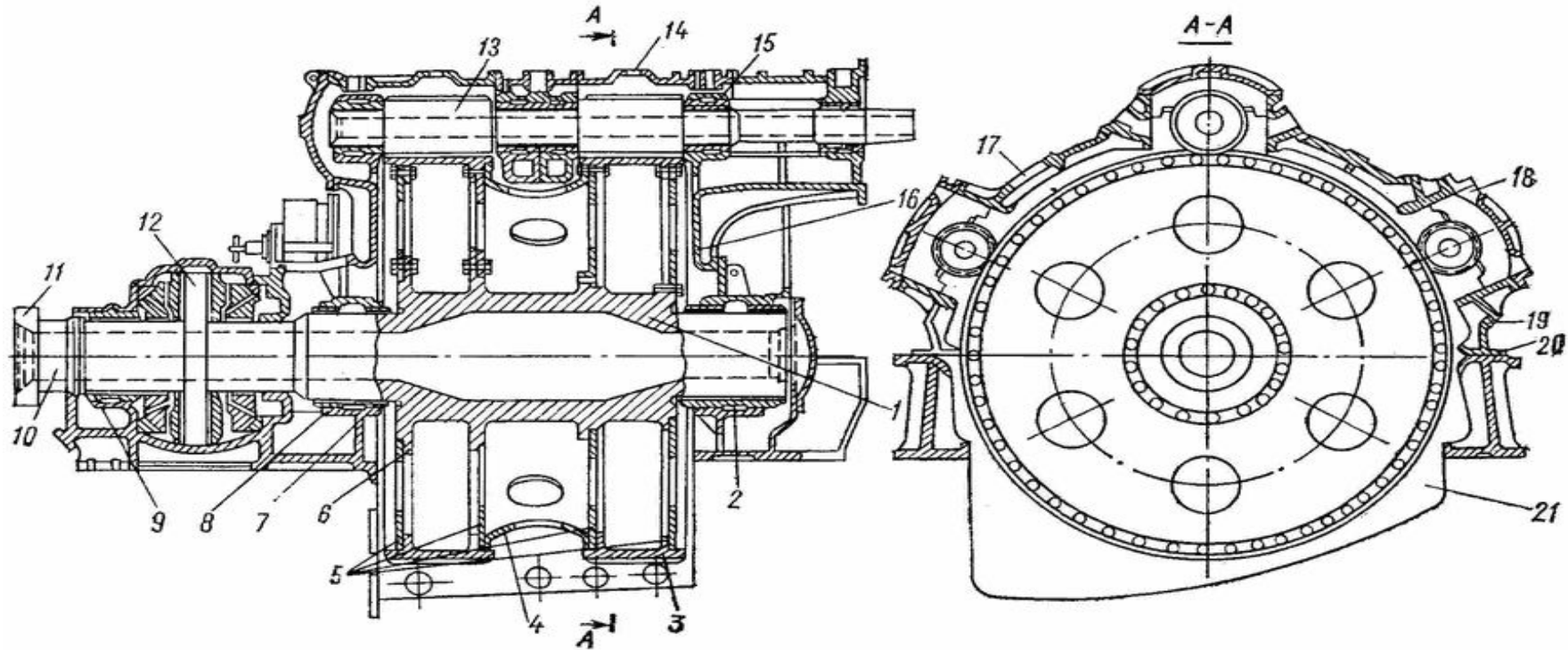
Устройство одноступенчатой зубчатой передачи



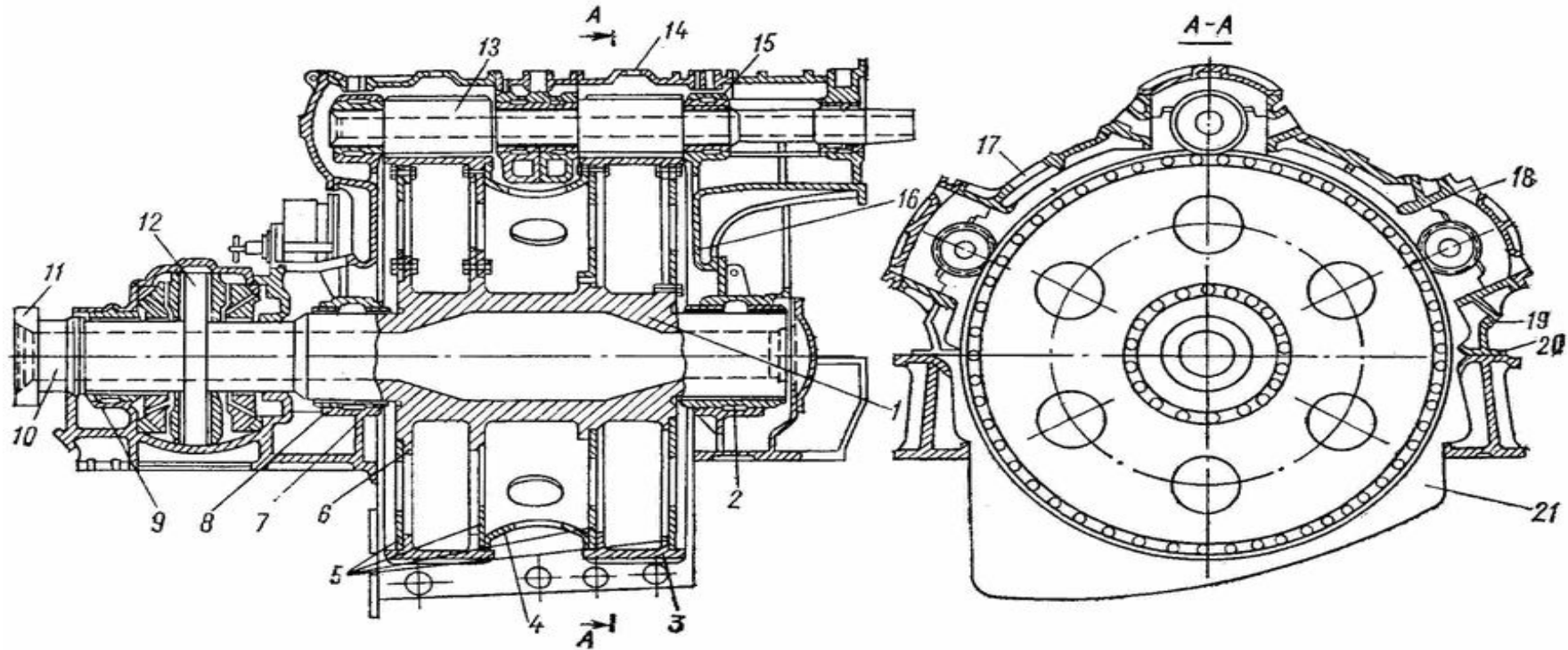
одноступенчатая зубчатая передача со встроенным в нее
однодисковым упорным подшипником.



Корпус 16 передачи и крышка — стальные. Крышка соединена с корпусом передачи в горизонтальной плоскости при помощи **фланцев 20**. Имеется также вертикальное фланцевое соединение, разделяющее крышку на две части. В крышке расположены корпуса **подшипников 15** шестерен. Каждая **шестерня 13** имеет свою крышку, а носовой конец вала колеса и кормовые концы валов шестерен закрыты также торцевыми крышками.

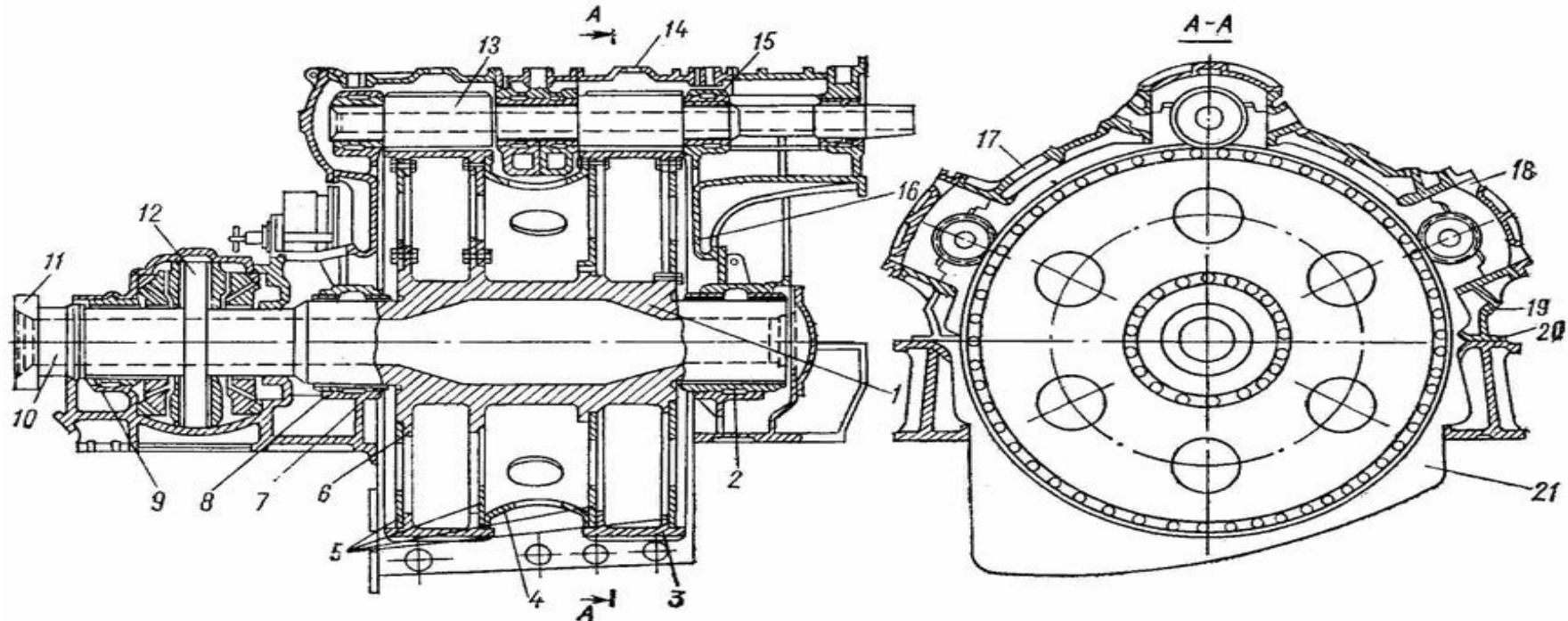


Нижняя часть колеса закрыта **поддоном 21**, прикрепленным к корпусу. Большое зубчатое колесо передачи — сборное. **Вал 1** с **полостью 10** лежит в опорных **подшипниках 8**. Он имеет **кольцевые выступы 6**, к которым при помощи болтов крепят **диски 5**, имеющие отверстие для облегчения дисков и удобства сборки. К дискам крепят **ободы 3**, на наружных поверхностях которых нарезаны зубья. Для обеспечения прочности и жесткости зубчатого колеса ободы скреплены **вставным литым барабаном 4**.

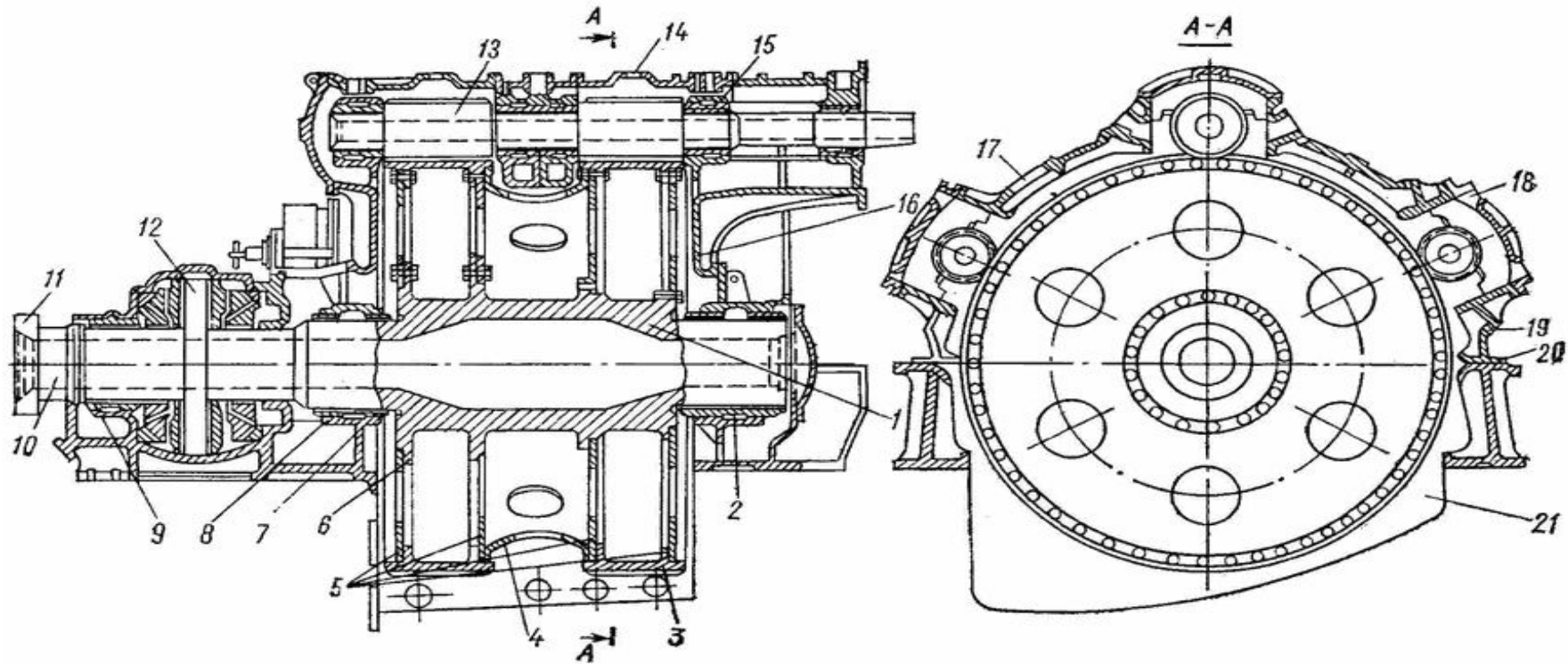


На кормовом конце вала колеса откован заодно с ним **фланец 11**, служащий для соединения вала колеса с валопроводом, и **упорный гребень 12**, расположенный в главном упорном подшипнике.

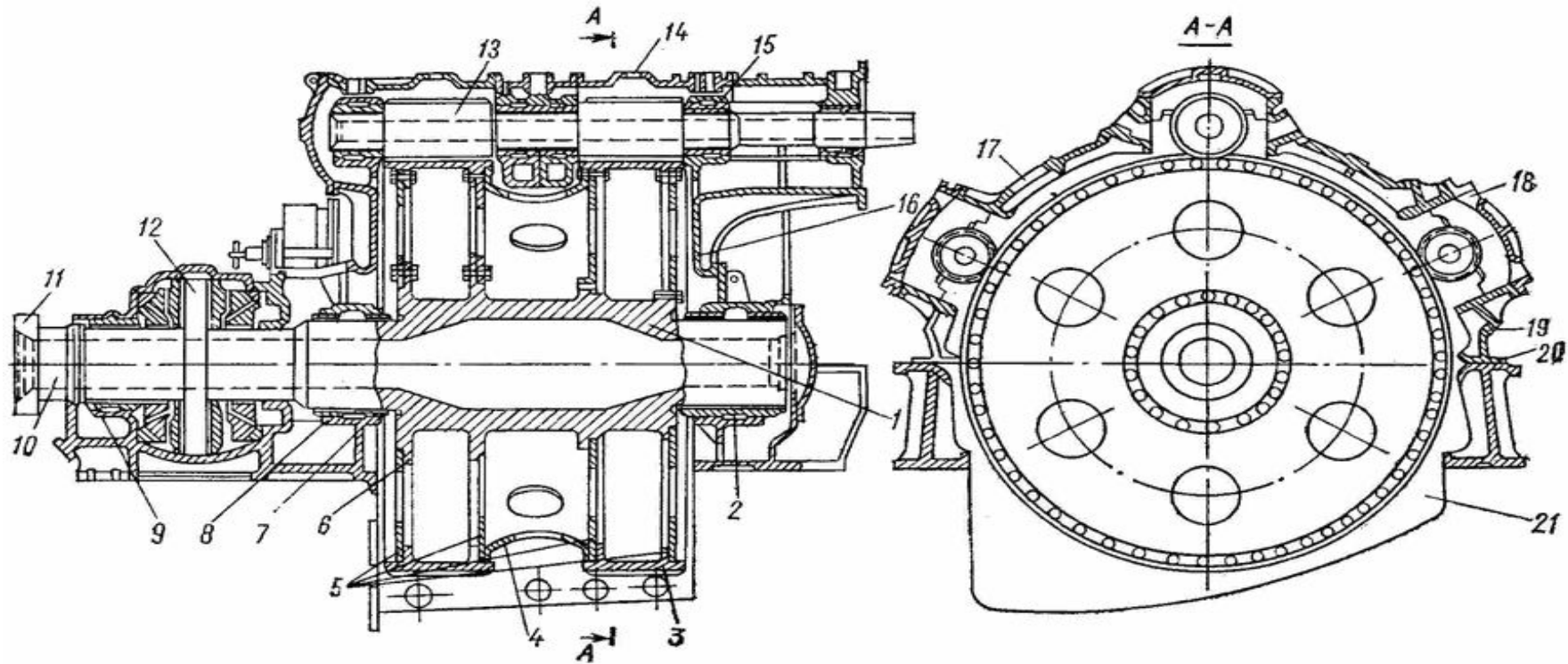
Осевое упорное давление, возникающее при вращении гребного вала, через **главный упорный подшипник** передается судовому **фундаменту** и **корпусу судна**.



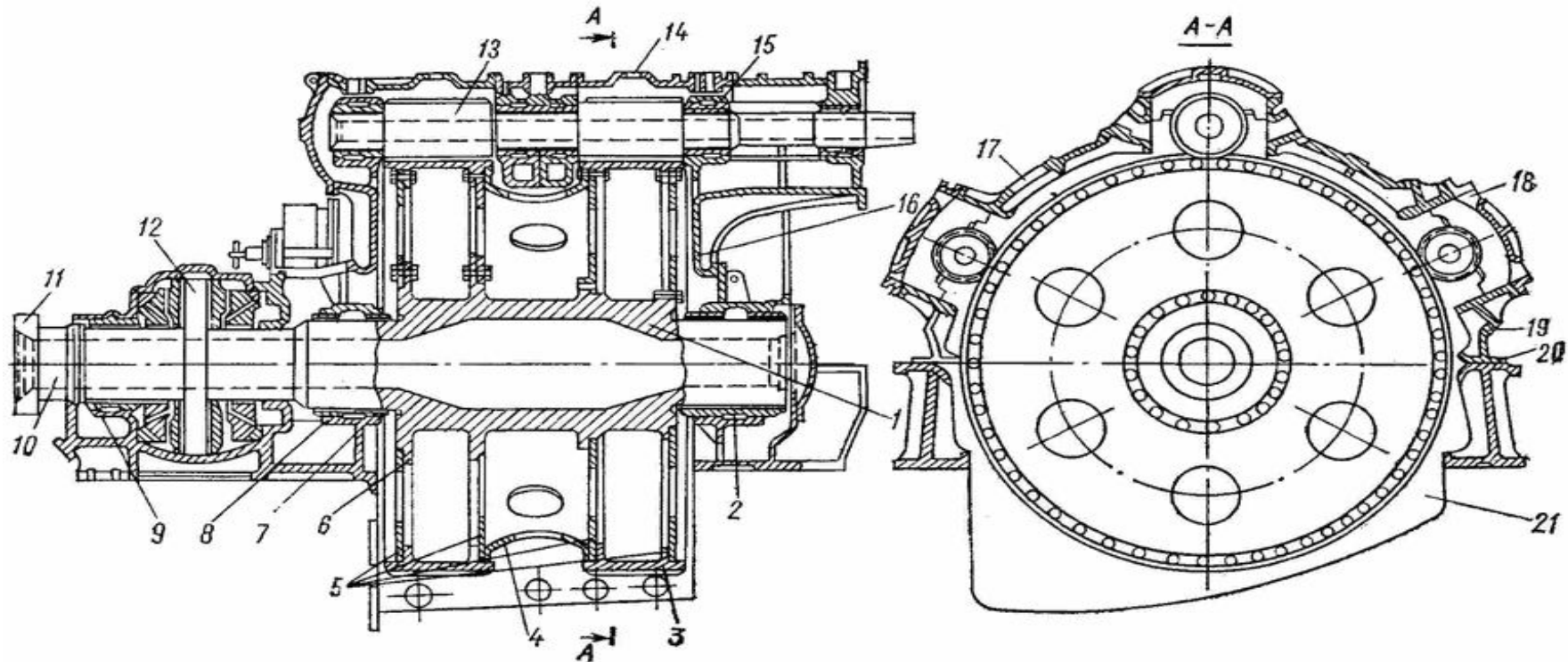
Для компенсации этого усилия по обе стороны упорного гребня устанавливают упорные подушки-сегменты, рабочая поверхность которых залита баббитом; с обратной стороны в каждую подушку запрессована сферическая чечевица, опирающаяся на плоские чечевицы, расположенные в полукольцах, установленных в корпусе главного упорного подшипника. При вращении вала проводя центр давления, воспринимаемого каждой подушкой, не совпадает с центром упора ее сферической поверхности (чечевицы) в корпус



В результате создается пара сил, которая поворачивает подушку таким образом, что ее рабочая (упорная) поверхность располагается под некоторым углом к рабочей поверхности упорного гребня. Это способствует образованию клинового масляного зазора. Следовательно, упорный гребень, не соприкасаясь с упорными подушками, передает через масляный клин корпусу подшипника осевое давление, т. е. давление, создаваемое упором гребного винта при вращении валопровода.



Два основных опорных подшипника 8 и третий, вспомогательный опорный подшипник 9, расположенный за упорным подшипником, воспринимают массу зубчатого колеса и радиальные усилия, возникающие при работе ГТЗА. Опорные подшипники имеют вкладыши 7, изготовленные из двух половин, рабочие поверхности которых залиты баббитом.



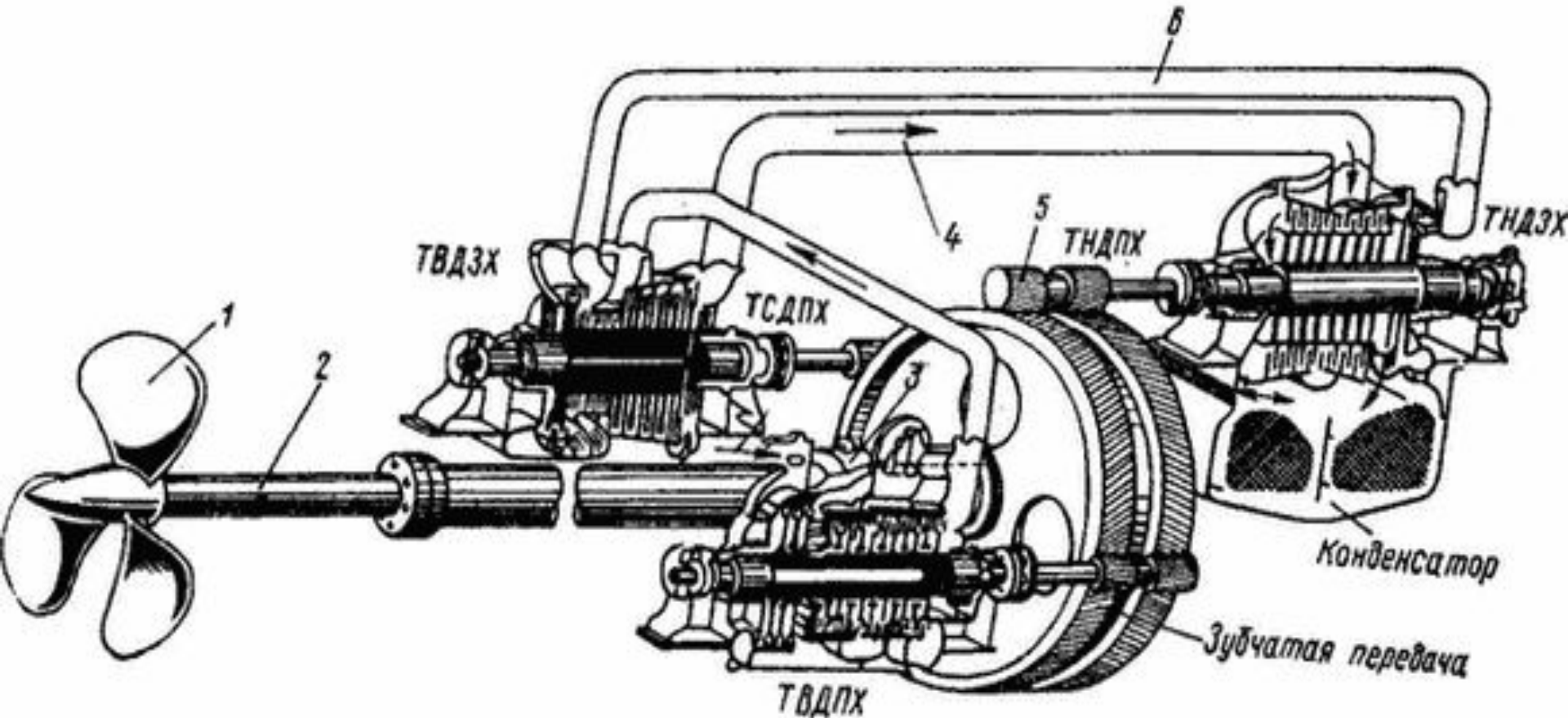
Масло к подшипникам вала колеса подводится через **кольцевые каналы 2**, а затем по трубкам, вставленным в **отверстия 19**, подается к **подшипникам 15** валов шестерни.

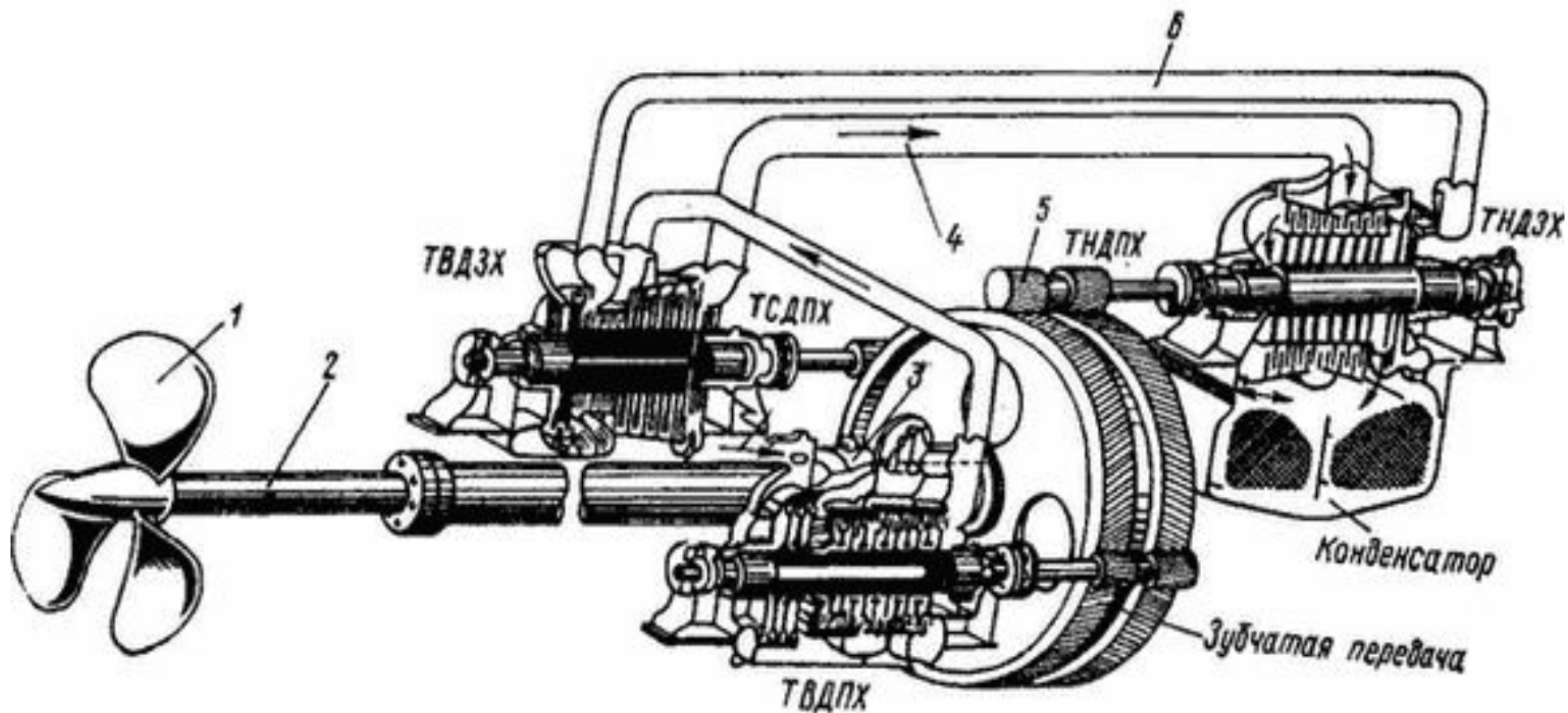
Зубья главного колеса и зубья шестерен смазываются разбрызгиванием при помощи специальных форсунок, к которым масло подается из масляного трубопровода под давлением. Зубья колеса осматривают через **люк 17**, а зубья шестерен — через **люк 14**.

Отверстия 18 позволяют наблюдать за подачей масла.

Главный турбозубчатый агрегат (ГТЗА)

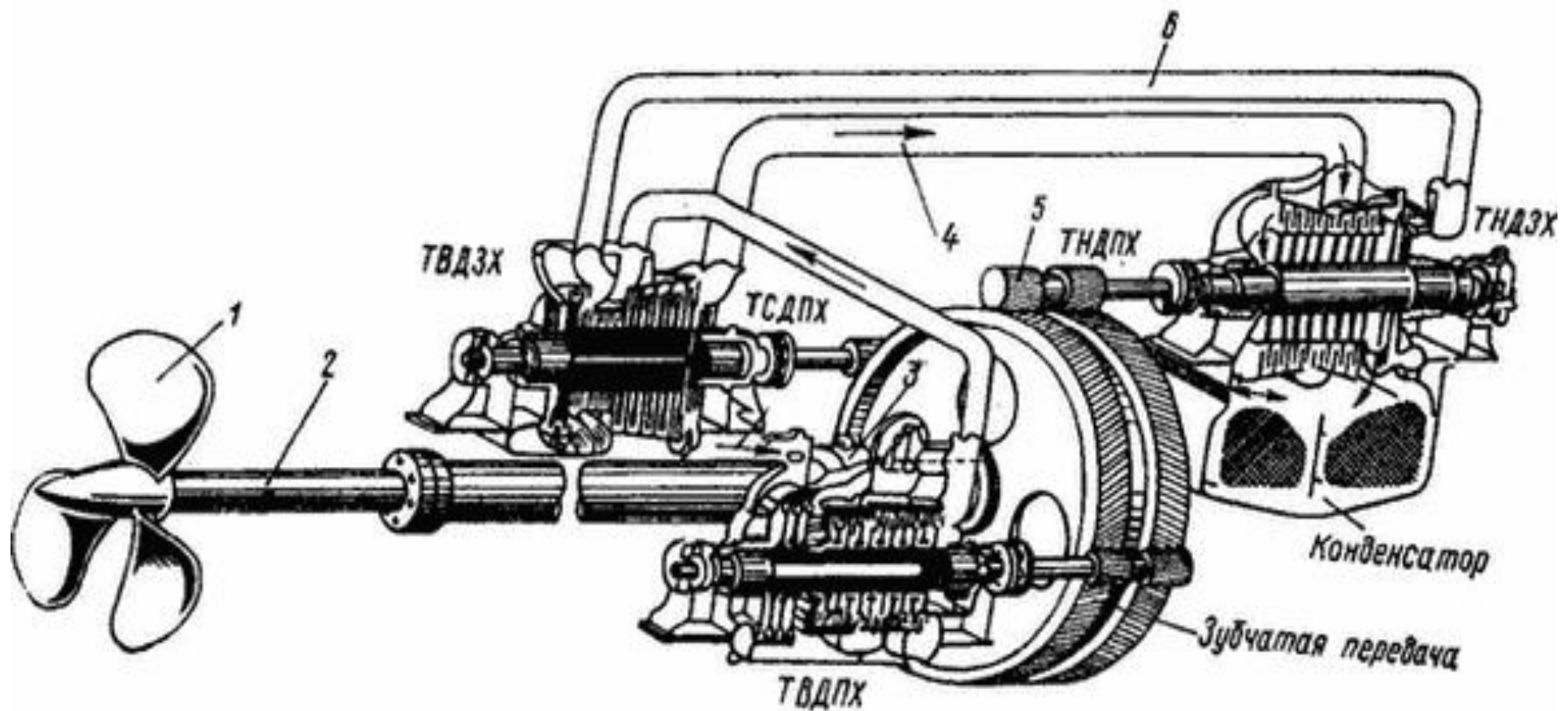
Главный турбозубчатый агрегат (ГТЗА) представляет собой единый комплекс, работающий на валопровод и состоящий из нескольких турбин, зубчатой передачи (редуктора), главного конденсатора (для паровых турбин) и главного упорного подшипника. Последний обычно выполняют встроенным в корпус зубчатой передачи.





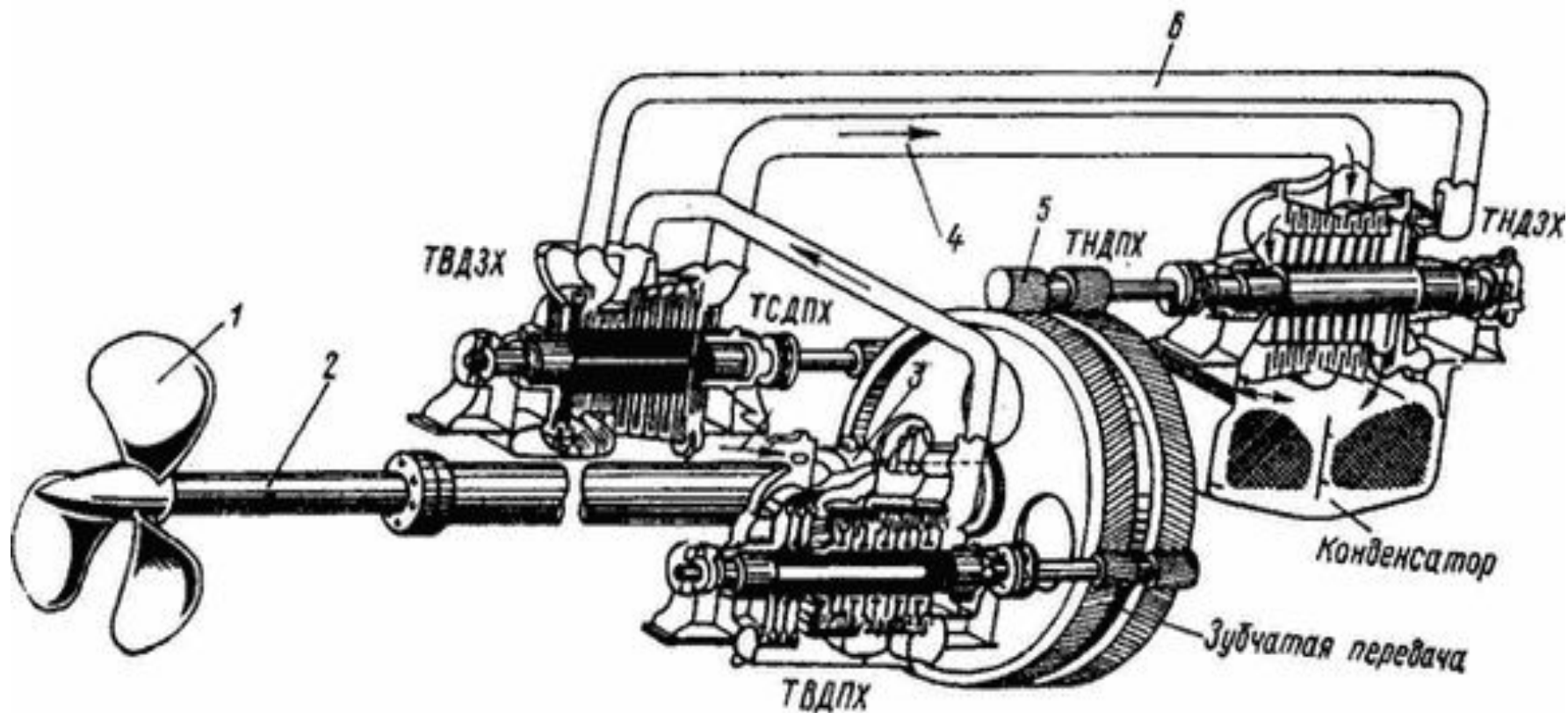
Трехкорпусный ГТЗА с паровыми турбинами переднего хода (ТВД, ТСД и ТНД), соединенными между собой пароперепускными трубами — ресиверами 4.

Свежий пар из главного паропровода вначале поступает в ТВД, отдавая ей часть кинетической энергии, затем переходит в ТСД и уже с меньшей, но еще с достаточной кинетической энергией поступает в ТНД.



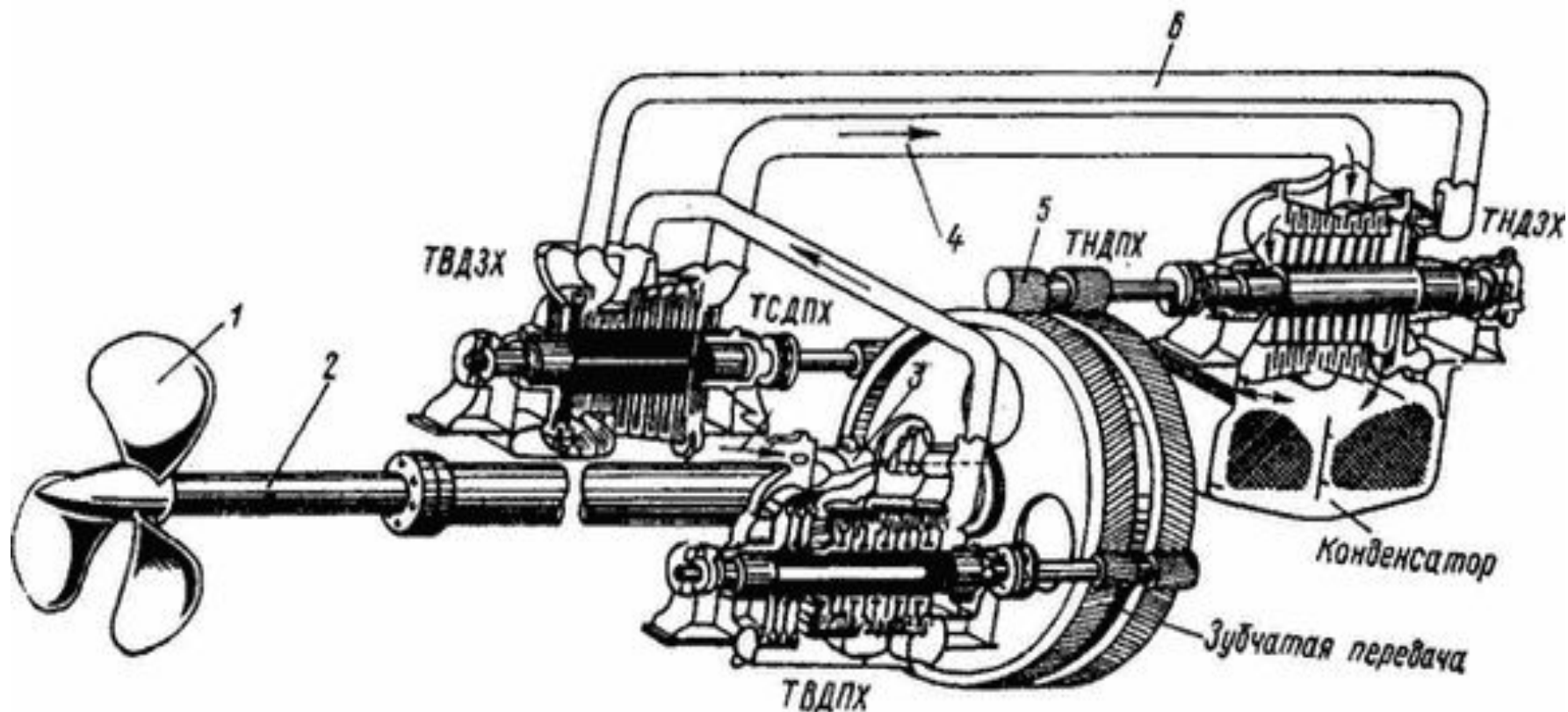
Отработавший пар выходит в главный конденсатор, расположенный непосредственно под ТНД, где, конденсируясь, превращается в воду, используемую для питания парогенераторов.

Турбины высокого и среднего давления переднего хода (ТВДПХ и ТВДЗХ) — активного типа; их проточная часть показана в виде колес со ступенями скорости у ТВД и одновенечных колес у ТВД. Кроме того, на входе свежего пара в ТВД установлены два диска регулировочной ступени.



Турбина низкого давления переднего хода (ТНДПХ) — двух-проточная, реактивного типа, со ступенями давления.

В корпусе ТНД установлена также турбина низкого давления заднего хода (ТНДЗХ). Вторая турбина высокого давления заднего хода (ТВДЗХ) расположена в корпусе ТВДПХ.



Турбины заднего хода соединены между собой **ресивером 6**. Вал ротора каждой из трех турбин при помощи муфты соединен с **шестернями 5**, передающими вращение колесу зубчатой передачи. Вращение вала колеса передается через валопровод гребному **валу 2** и **гребному винту 1**, упорное усилие которого воспринимает упорный **подшипник 3**, встроенный в корпус зубчатой передачи.

Особенности компоновки основных элементов современных ГТЗА

Корпус турбины крепится на двух опорах, одна из которых подвижная для компенсации температурных деформаций, имеет горизонтальные и вертикальные плоскости разъема для упрощения изготовления и ремонта турбин большой мощности. Ротор турбины лежит на двух опорных подшипниках. Передний подшипник со стороны подвода пара к турбине имеет упорную часть, воспринимающую осевое усилие парового потока вдоль вала. Вдоль оси ротора имеется отверстие, служащее не только для снижения массы, но и для проверки оптическим путем качества поковки. Ротор турбины изготавливается цельнокованным вместе с диском. В дисках активных ступеней предусматриваются отверстия для выравнивания давлений по обе стороны диска. Рабочие лопатки могут быть либо цилиндрическими (имеющими в любых сечениях по высоте одинаковые профили и один и тот же угол установки), либо переменного профиля (имеющими в сечениях по высоте профили разной формы), обеспечивающими более высокий КПД. Для придания лопаткам необходимой

Особенности конструкции диафрагм современных ГТЗА

- Чугунные или стальные диафрагмы состоят из двух половин для удобства сборки и разборки. В чугунных диафрагмах сопла образуются путем запресовки в диафрагму штампованных лопаток из листовой стали, в стальных диафрагмах применяются наборные сопла с фрезерованными поверхностями.
-

Особенности конструкции уплотнений между корпусом и вращающимися узлами и деталями ГТЗА

- В местах выхода вала ротора из корпуса турбины имеются лабиринтовые уплотнения, работающие без механического трения и препятствующие пропуску пара из полости турбины или воздуха внутрь турбины.
- Такие уплотнения работают по принципу многоступенчатого дросселирования пара, протекающего через них. В усложненном лабиринте утечка пара уменьшается.
- Кроме того, для предотвращения попадания атмосферного воздуха в выпускной патрубков турбины (в конденсатор) часть пара из лабиринта высокого давления (при давлении около 1120 кПа) направляется по трубе в лабиринт низкого давления и попадает в выпускной патрубков.

Конструктив опорных подшипников между корпусом и вращающимися узлами и деталями ГТЗА

- Применяемые в турбинах опорные подшипники имеют поверхность скольжения с баббитовой заливкой. Насос циркуляционной масляной системы приводится в действие при работе турбины от ее вала. В систему регулирования масло подается под давлением от 4 до 8 МПа, а к подшипникам - с давлением 0,15 - 0,25 МПа из маслоохладителя. Для подачи масла при пуске и остановке турбины применяется вспомогательный насос с паровым приводом

Требования Правил Регистра к паровым турбинам и котлам

Требования к размещению механизмов и оборудования

В машинном отделении

Общее правило размещения механизмов и оборудования сводится к тому, что устанавливать их следует в местах, где они будут наиболее эффективно выполнять свои функции.

Вспомогательное оборудование должно устанавливаться вблизи обслуживаемого главного механизма.

Взаимосвязанные механизмы могут располагаться как по горизонтали, так и по вертикали.

Трассировка коммуникаций, как правило, должна проходить в трех взаимно перпендикулярных направлениях: параллельно диаметральной плоскости судна, перпендикулярно ей и перпендикулярно основной плоскости, причем необходимо предусматривать достаточные пространства для монтажа, обслуживания и ремонта.

Механизмы, за которыми необходимо постоянное наблюдение во время работы, должны устанавливаться вблизи поста управления.

При размещении механизмов и оборудования в МО следует учитывать следующие основные рекомендации:

- компактность с минимальной протяженностью трубопроводов и кабельных трасс;
- обеспечение удобного доступа для обслуживания и ремонта;
- обеспечение надежного всасывания насосов СЭУ и систем судового назначения при различных эксплуатационных осадках, кренах, дифферентах и качке на волнении;
- расположение механизмов с горизонтальными валами (генераторы) параллельно диаметральной плоскости, что исключает влияние гироскопического эффекта на работу подшипников при бортовой качке;
- установка механизмов с высоким уровнем шума в наибольшем удалении от постов управления, переборок и палуб для снижения структурного шума в жилых и общественных помещениях;
- размещение электродвигателей вспомогательных механизмов без соприкосновения с судовыми конструкциями

Цистерны расходные (топливные и масляные) располагают у бортов, на платформах и в шахтах машинных помещений,

цистерны циркуляционные масляные – под настилом машинного отделения или в выгородках двойного дна;

цистерны расширительные замкнутой системы охлаждения – над обслуживаемыми ими двигателями.

Автономные и утилизационные котлоагрегаты и обслуживающие их механизмы и устройства располагают обычно на платформе в выгороженном помещении или в трюме.

Глушители и искрогасители целесообразно размещать в кожухах дымовых труб.

Главный распределительный щит (ГРЩ) обычно располагают на платформе или в трюме машинного помещения на площадке, которая находится выше уровня плит.

При наличии в машинном отделении специально выгороженного отделения центрального поста управления

Компоновку современных судовых дизельных установок выполняют, используя агрегатирование.

Агрегатирование заключается в объединении нескольких механизмов, теплообменных аппаратов и устройств, выполняющих определенные функции, в один блок, смонтированный на общей раме.

Главные и вспомогательные механизмы должны размещаться в МП таким образом, чтобы из их постов управления и мест обслуживания были обеспечены свободные проходы к выходам из помещений шириной не менее 600 мм и высотой не менее 1900 мм.

Ширина прохода со стороны поста управления главными механизмами, а также между главными механизмами должна быть не менее 1000 мм.

При дистанционном управлении главными механизмами ширина прохода может быть снижена до 800 мм.

Каждое машинное помещение должно иметь не менее двух выходов. Выходы должны быть расположены на противоположных бортах и как можно дальше удалены друг от друга. Размеры в свету шахт, в которых установлены трапы, должны быть не менее 600 × 600 мм.

Грузовые насосные помещения на танкерах могут иметь один выход, ведущий непосредственно на открытую палубу.

Ступени сходных трапов должны быть шириной не менее 560 мм и иметь глубину не менее 100 мм. Наклон трапов должен быть не более 60° к горизонтали. Ступени трапов, должны быть рифлеными. Вертикальные трапы должны иметь ширину не менее 300 мм. Расстояние от ступеней трапов до жестких корпусных конструкций, находящихся за трапами должны быть не менее 150 мм. Расстояние между отдельными ступенями должно составлять не более 300 мм.

Площадки, предназначенные для обслуживания и ремонта механизмов, вспомогательных котлов приборов и различных устройств механических установок должны быть шириной не менее 450 мм и иметь прочные поручни высотой не менее 900 мм.

Все движущиеся части механизмов и приводы, представляющие опасность для обслуживающего персонала, должны быть ограждены поручнями или кожухами.

Узлы механизмов, приборы и трубопроводы, нагрев которых может достигать температуры выше 60°C должны быть оборудованы устройствами для предупреждения или ограничения теплового излучения. Нагретые выше 220°C поверхности механизмов, оборудования и трубопроводов должны иметь изоляцию, выполненную из негорючих материалов.

Расстояние от наружной поверхности изоляции котлов и деталей механизмов, нагретых выше 60°C , до стенок цистерн жидкого топлива должно составлять не менее 600 мм.

Вспомогательные котлы, устанавливаемые в одном помещении с двигателями внутреннего сгорания (ДВС), должны быть ограждены металлической выгородкой в районе топочного устройства.

Автономные котлоагрегаты, расположенные на платформах или промежуточных палубах и не выгороженные непроницаемыми перегородками, должны ограждаться непроницаемыми комингсами высотой не менее 200 мм.

Автономные котлоагрегаты на нефтеналивных судах должны устанавливаться за коффердамами вне зоны грузовых нефтяных цистерн.

Топливные и масляные цистерны не должны размещаться над трапами, ДВС, котлами, газовыпускными трубами, дымоходами, электрическим оборудованием и постами управления главными механизмами.

Двигатели для привода грузовых насосов и вентиляторов насосных помещений на нефтеналивных судах, за исключением паровых, гидравлических и электрических двигателей во взрывозащищенном исполнении, не допускается устанавливать в грузовых помещениях.