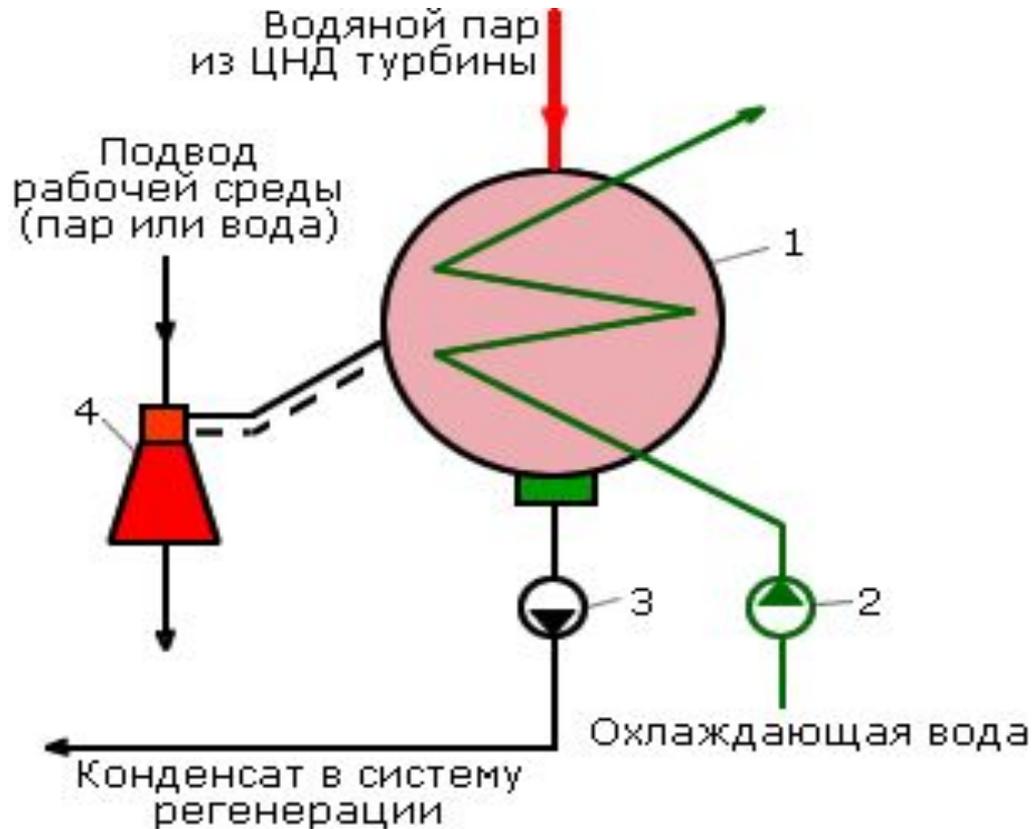


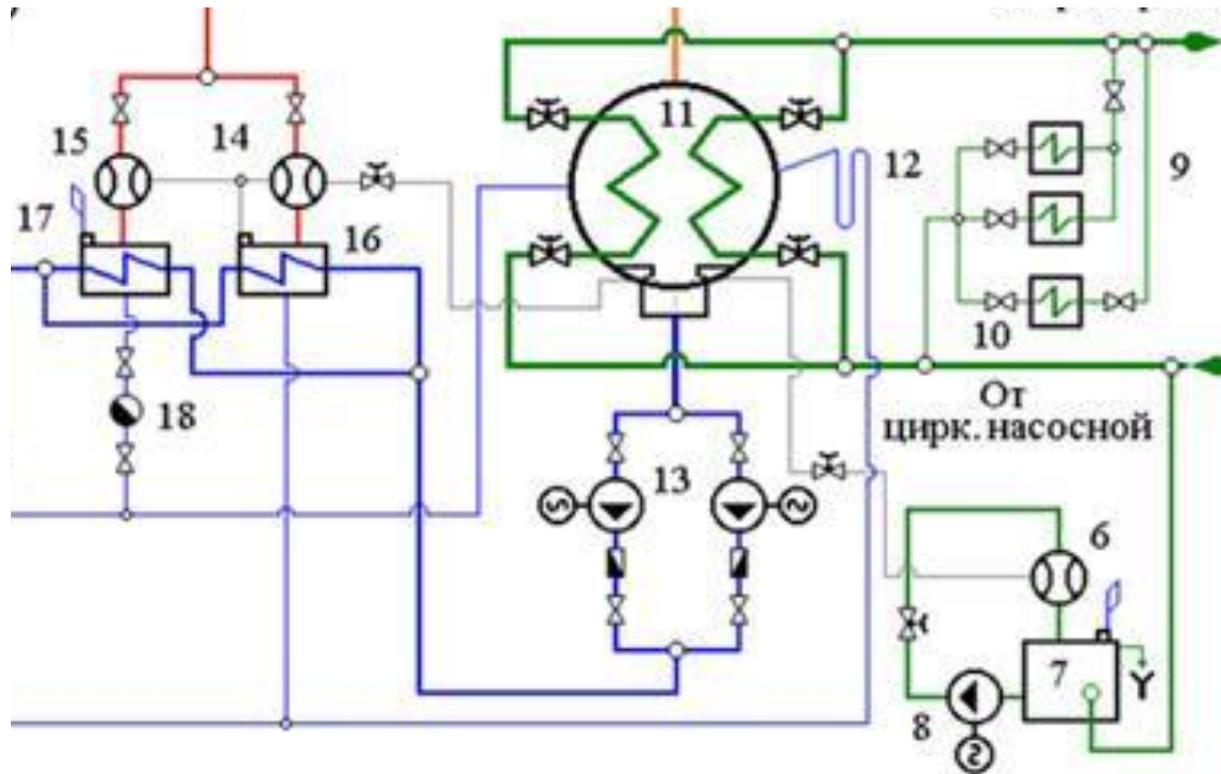
## Конденсационная установка

В задачу конденсационной установки турбины входит конденсация отработавшего в турбине пара, поддержание в конденсаторе заданного вакуума и подача образовавшегося конденсата в деаэратор.



В состав конденсационной установки турбины № 1 входит:

1. Конденсатор; 2. Эжектора; 3. Конденсатные насосы; 4. Подогреватель низкого давления; 5. Атмосферный клапан; 6. Регулятор уровня в конденсатосборнике.



Принципиальная тепловая схема конденсационной установки

6 - водоструйный эжектор; 7 - водяной бак; 8 - насос водоструйного эжектора; 9 - воздухоохладители генератора; 10 - маслоохладители; 11 - конденсатор; 12 - гидрозатвор; 13 - конденсатные насосы; 14 - пароструйный эжектор первой ступени; 15 - пароструйный эжектор второй ступени; 16 - охладитель эжектора первой ступени; 17 - охладитель эжектора второй ступени; 18 - конденсатоотводчик;

Тепловая схема паротурбинной установки (ПТУ), сформированная на основе цикла Ренкина, предполагает отвод тепла к холодному источнику. Этим обеспечивается замкнутость термодинамического цикла. Практическая реализация отвода тепла осуществляется в конденсаторе ПТУ.

**Конденсатор – это теплообменник, предназначенный для превращения отработавшего в проточной части паровой турбины водяного пара в жидкое состояние – конденсат.**

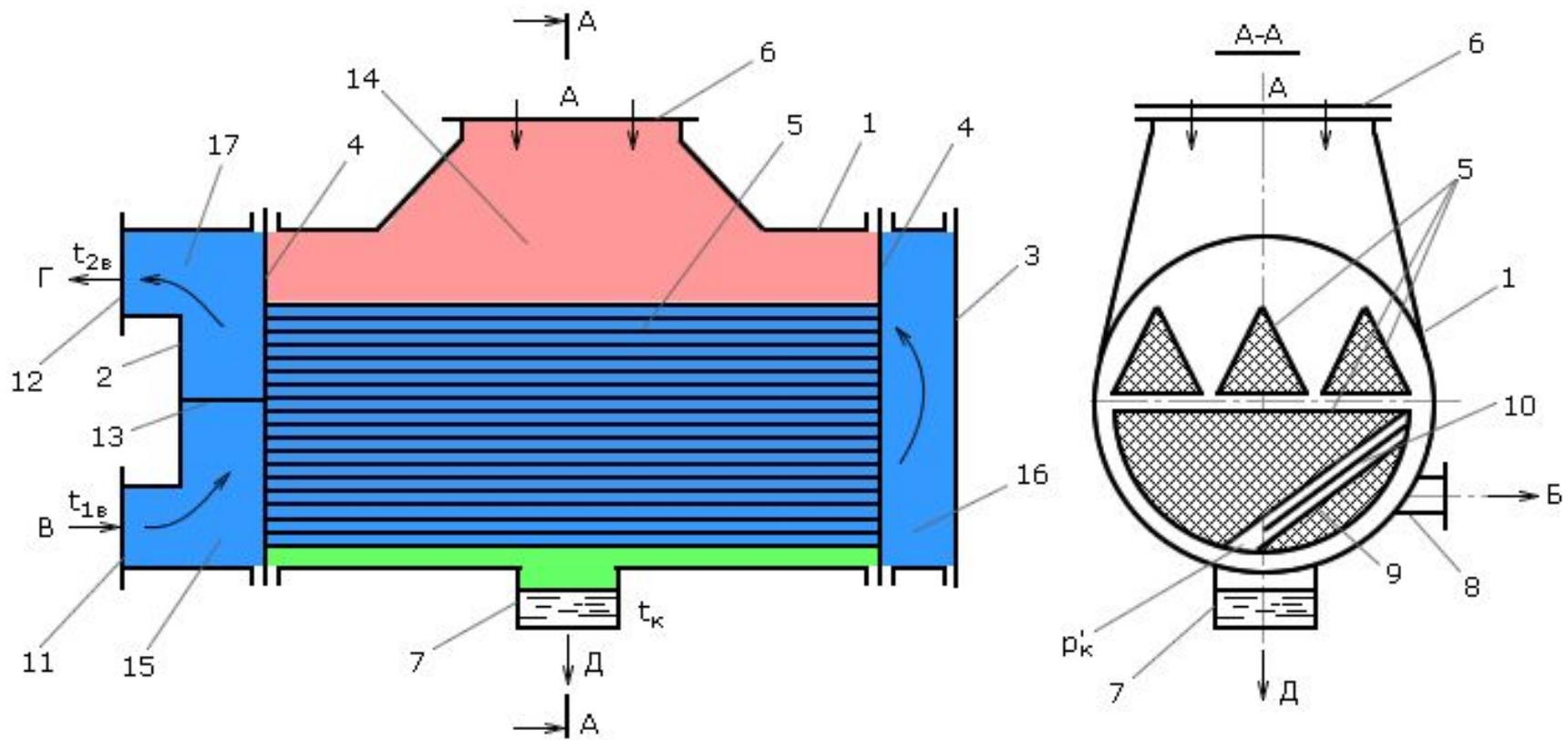
1. Следует отметить, что **технически возможно реализовать цикл Карно**, осуществив **сжатие** компрессором влажного пара, поступающего из турбины, до его конденсации. Однако работа сжатия влажного пара **во много раз превышает** работу сжатия воды. Так, например, при адиабатном сжатии влажного водяного пара от давления **0,1 МПа до давления 3 МПа**, при котором он полностью конденсируется, требуется затратить работу, эквивалентную **455 кДж/кг**. При адиабатном же сжатии воды от состояния насыщения при **0,1 МПа до давления 3 МПа** необходимо затратить работу, эквивалентную всего лишь **2,75 кДж/кг**, т.е. **меньшую в 165 раз**. Поэтому цикл Карно в чистом виде в паросиловых установках не применяется.

2. Для обеспечения высокой экономичности цикла Ренкина необходимо выполнять конденсацию пара **при низком давлении** (разрежении  $p_k$  относительно атмосферного давления  $p_a$ ), что дает **рост термодинамического КПД** турбоустановки. Повышение экономичности при снижении давления за турбиной имеет место, прежде всего, **за счет роста теплоперепада турбины.**

3. Следует помнить, что при изменении давления в конденсаторе на 1 кПа экономичность паротурбинной установки ТЭС изменяется примерно на 1%, а для ПТУ АЭС до (1,5-2)%.

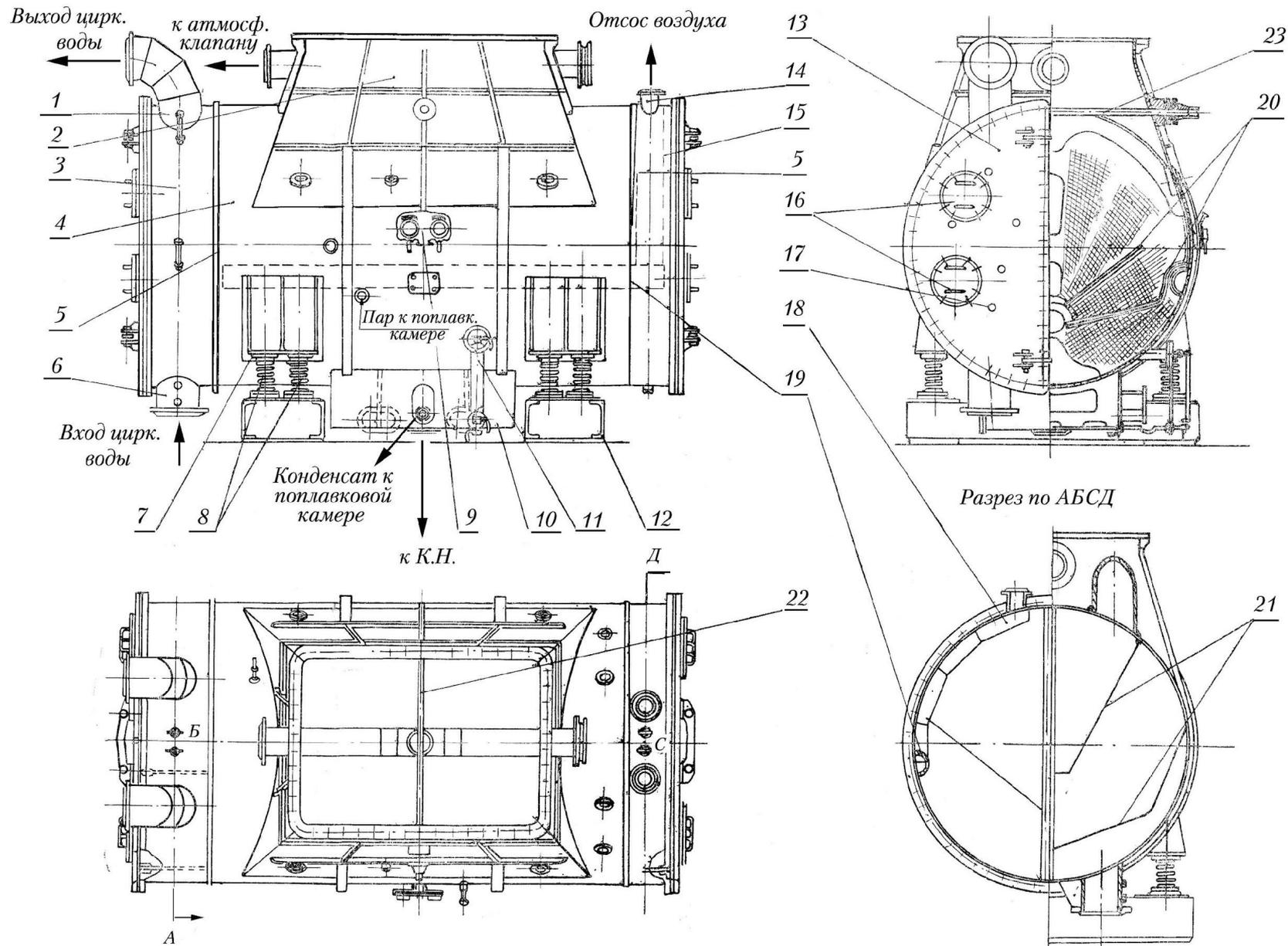
4. В конденсационных установках холодному источнику (охлаждающей воде) отдается **до 50% количества тепла** в цикле, что в итоге определяет абсолютный КПД ПТУ на уровне **40...45%**. При этом водяной пар за турбиной из-за низкого давления практически не имеет термодинамической ценности.

За счет резкого уменьшения удельного объема пара в конденсаторе создается низкое давление. Чем ниже температура охлаждающей воды и больше ее расход, тем больше разрежение в конденсаторе.



### Устройство двухходового конденсатора ПТУ

- 1 - корпус; 2, 3 - крышки водяных камер; 4 - трубная доска; 5 - конденсаторные трубки; 6 - приемная горловина конденсатора; 7 - конденсатосборник; 8 - отсос паровоздушной смеси из воздухоохладителя 9; 10 - направляющие листы; 11, 12 - входной и выходной патрубки для воды; 13 - разделительная перегородка; 15-17 - входная, поворотная и выходная камеры для охлаждающей воды



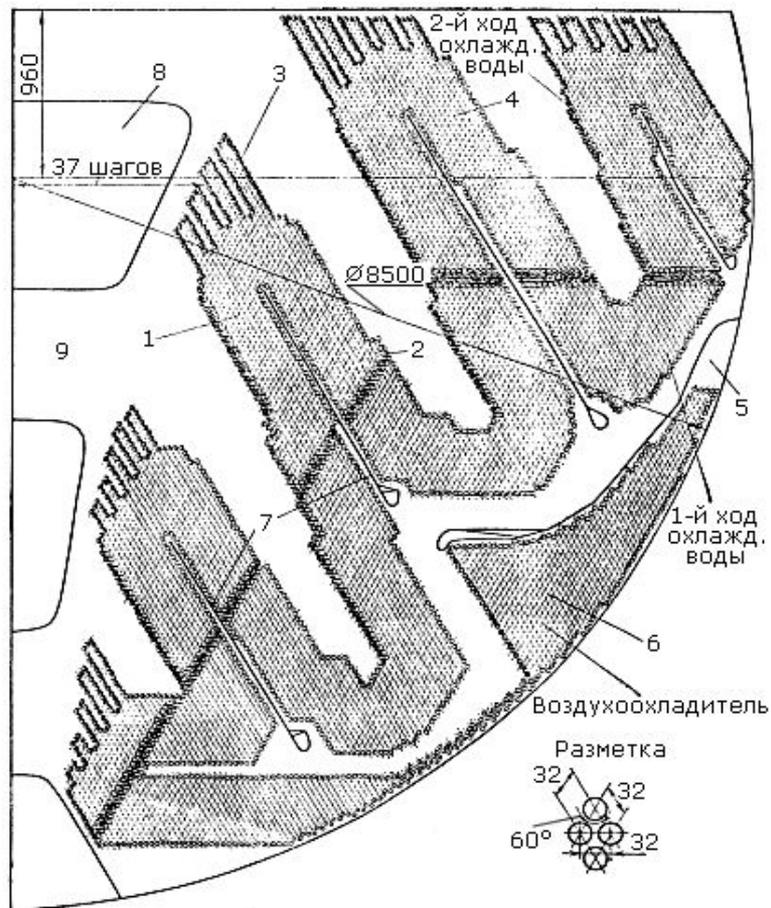
Конденсатор турбины № 2

Конденсатор турбины № 1 Калужского турбинного завода  
типа КП – 540/2

**Основные характеристики:**

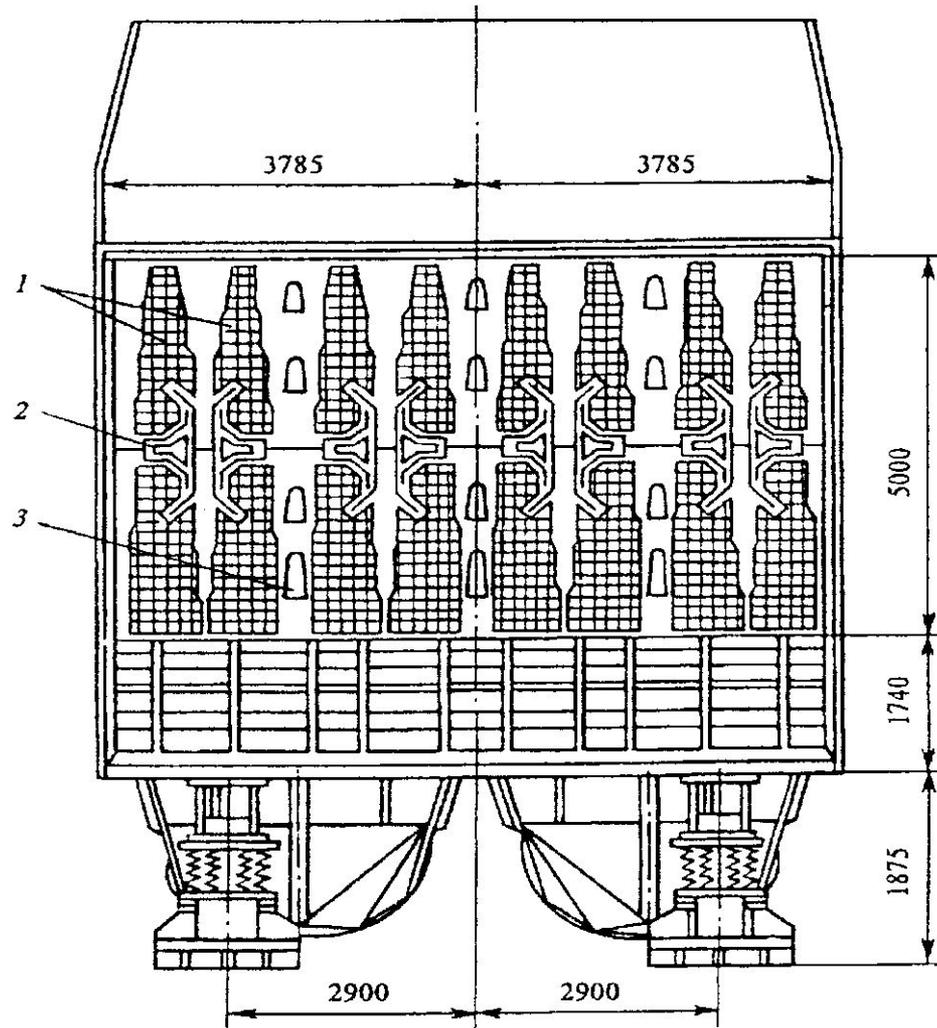
- Расчетное количество пара, поступающего в конденсатор – 22,7 т/ч;
- Расход охлаждающей воды – 1850 т/ч;
- Номинальная температура охлаждающей воды – 20 °С;
- Номинальное давление в конденсаторе ~ 5 кПа;
- Гидравлическое сопротивление – 40 кПа;
- Количество трубок – 2266 шт.;
- Диаметр трубок – 19/17 мм;
- Рабочая длина трубок – 4000 мм;
- Число ходов по воде – 2;
- Габаритные размеры, L \* В \* Н, мм – 5160 \* 2255 \* 2875;
- Вес конденсатора, сухого – 14,14 т;
- Вес конденсатора с водой – 19 т.

## Компоновка трубной системы конденсатора

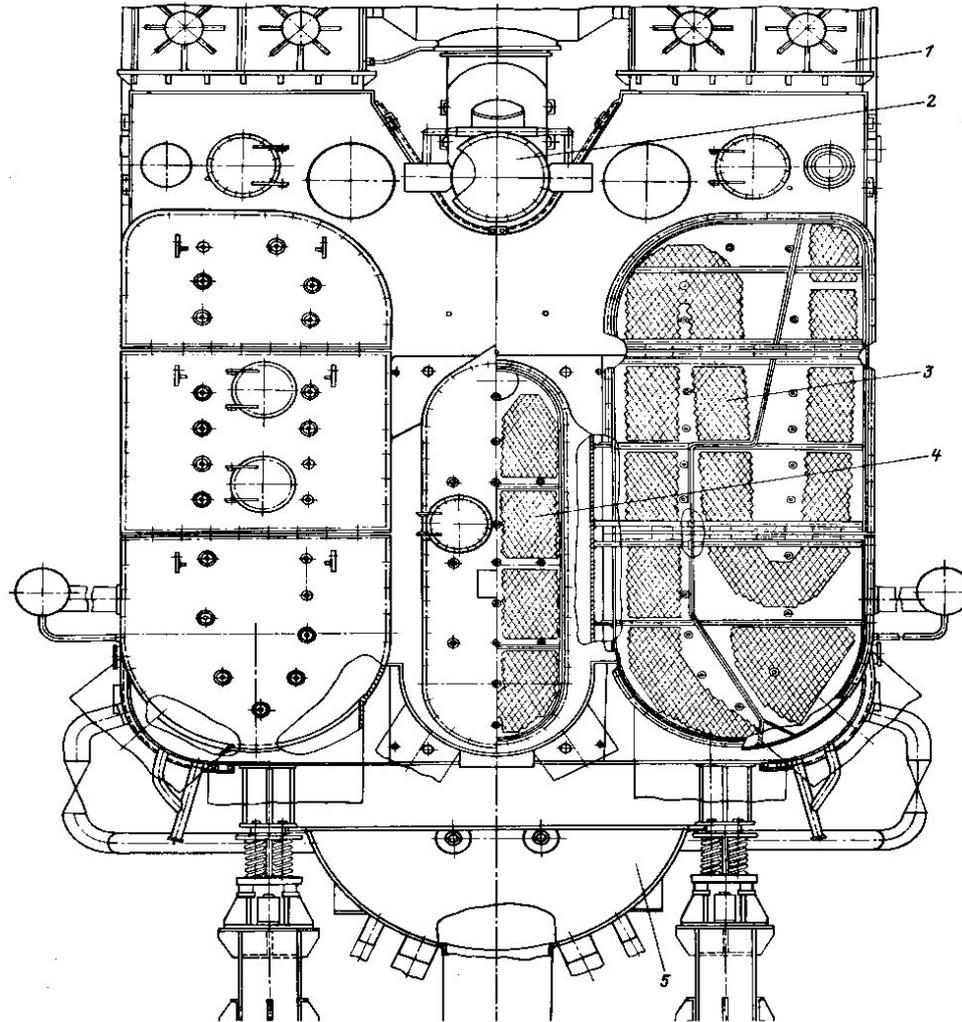


### Компоновка трубного пучка конденсатора:

1 - основной пучок; 2 - сливные трубки; 3 - первый ряд трубок; 4 - трубки основного пучка; 5 - отсос паровоздушной среды; 6 - пучок воздухоохладителя; 7 - паронаправляющие и конденсатоулавливающие щиты; 8 - окно в промежуточных межтрубных досках; 9 - промежуточная трубная доска



**Трубный пучок конденсатора модульной конструкции**



**Конденсатор турбины Т-250/300-23,5 ТМЗ:**

1 - корпус ЦНД; 2 - встроенные ПНД; 3 - основной пучок; 4 - теплофикационный пучок; 5 – конденсатосборник

## Воздухоудаляющие устройства конденсаторов

Для поддержания номинального значения давления  $p_k$  в конденсаторе паротурбинной установки посредством отсоса воздуха из его объема используются **пароструйные, водоструйные** и центробежные типы эжекторов.

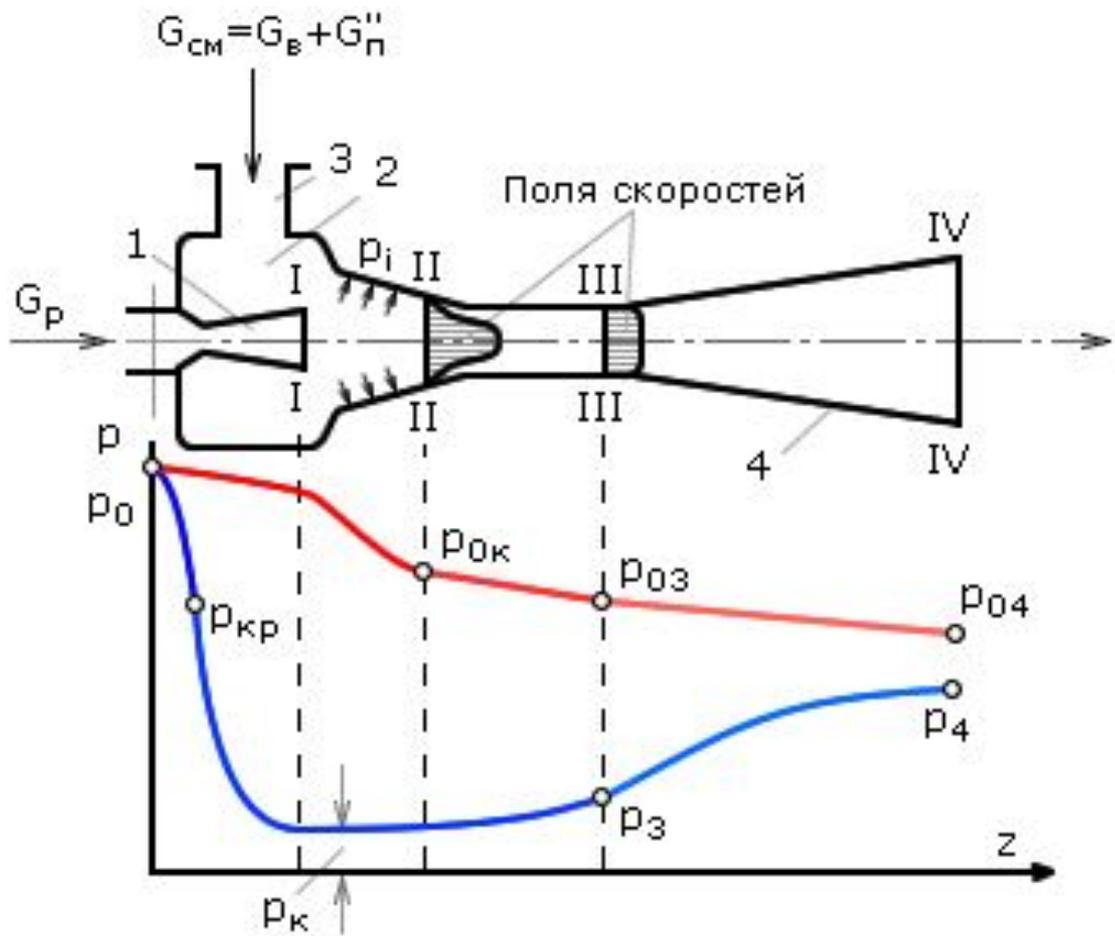
**Повышение давления инжектируемого потока без непосредственной затраты механической энергии является основным, принципиальным качеством струйных аппаратов.**

По назначению эжекторы подразделяются на следующие виды:

**основные эжекторы**, предназначенные для удаления воздуха из конденсатора при нормальной работе турбины;

**пусковые эжекторы**, создающие при пуске турбоустановки разрежение в паровом пространстве конденсатора (при достижении давления 20—30 кПа пусковые эжекторы отключаются и включаются основные эжекторы);

**пусковые эжекторы циркуляционной системы**, создающие разрежение в водяном пространстве конденсатора для заполнения его и сливных циркуляционных водоводов водой, а также удаляющие скапливающийся воздух при работе турбоустановки из верхней точки циркуляционной системы при наличии в ней разрежения.



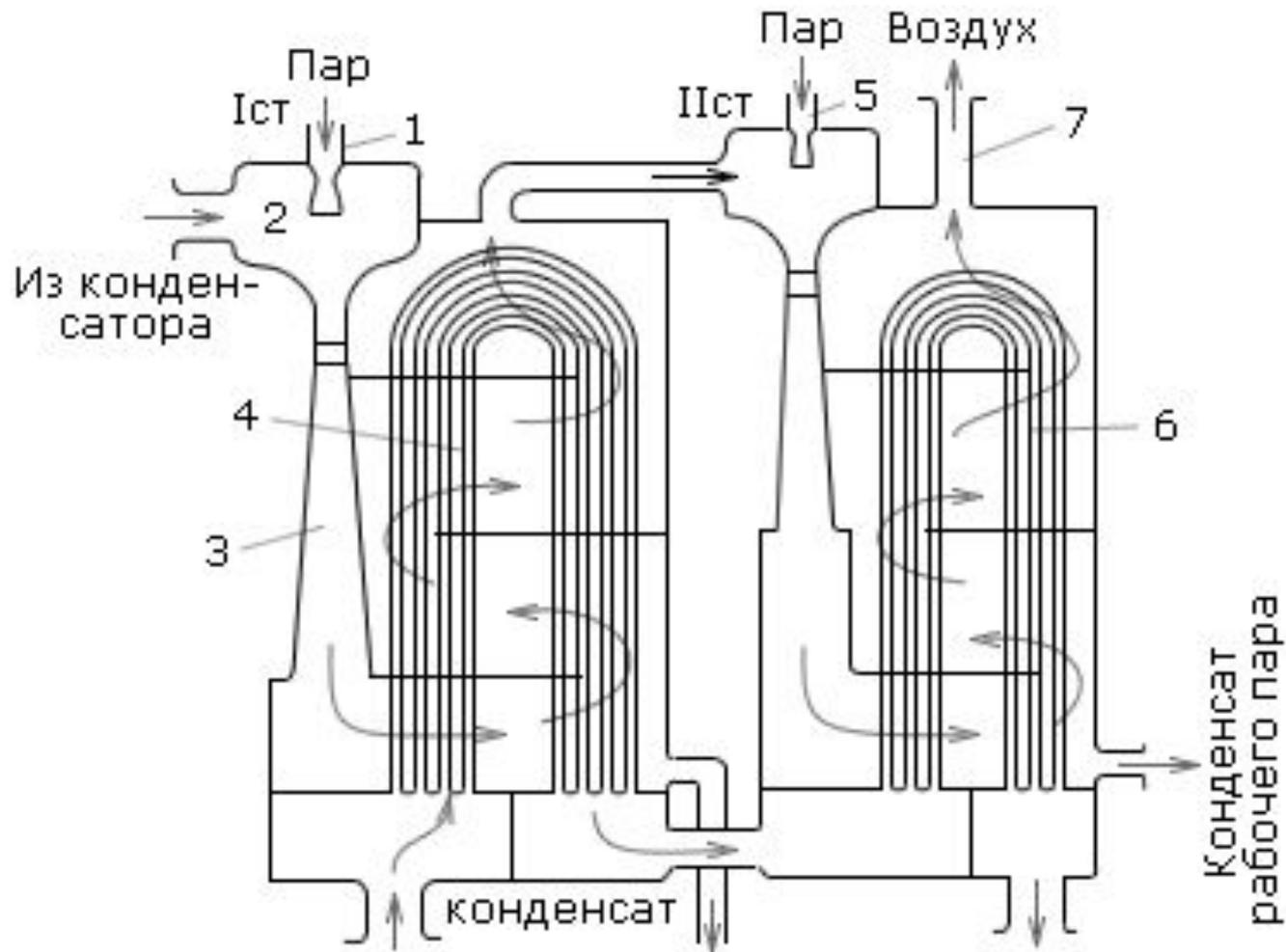
Пароструйный эжектор состоит из трех основных элементов: рабочего сопла *1*, камеры смешения *2*, патрубка *3* подвода паровоздушной смеси с расходом  $G_{см}$  и диффузора *4*. Камера смешения (всасывания) соединяется трубопроводом с конденсатором. Рабочим телом является водяной пар с расходом  $G_p$ , подводимый к соплу *1*.

**Схема пароструйного эжектора и изменение давления в его проточной части**

Одна ступень эжектора повышает давление не более **чем в 4—6 раз**. Поэтому в паротурбинных установках одноступенчатые эжекторы применяются в качестве пусковых.

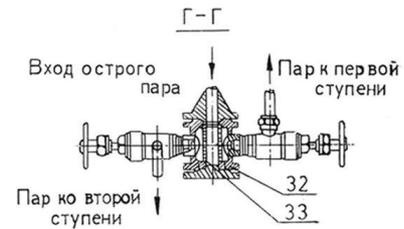
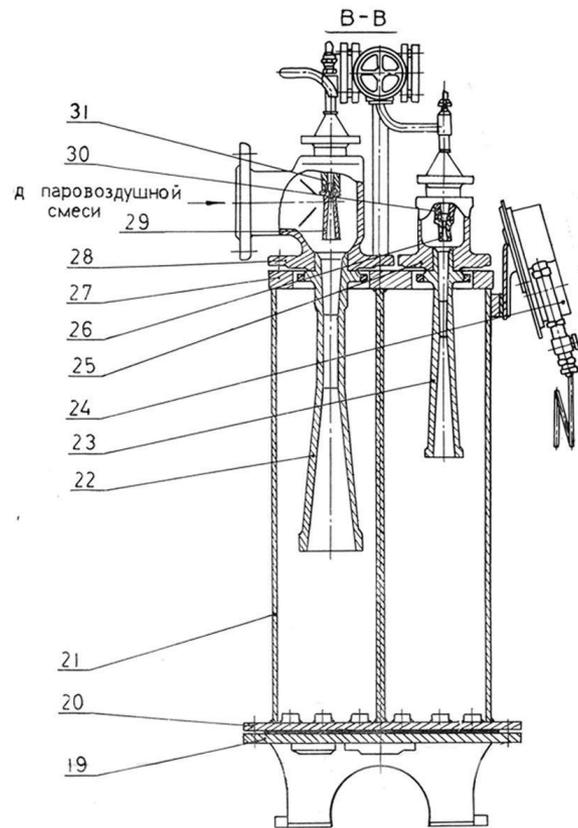
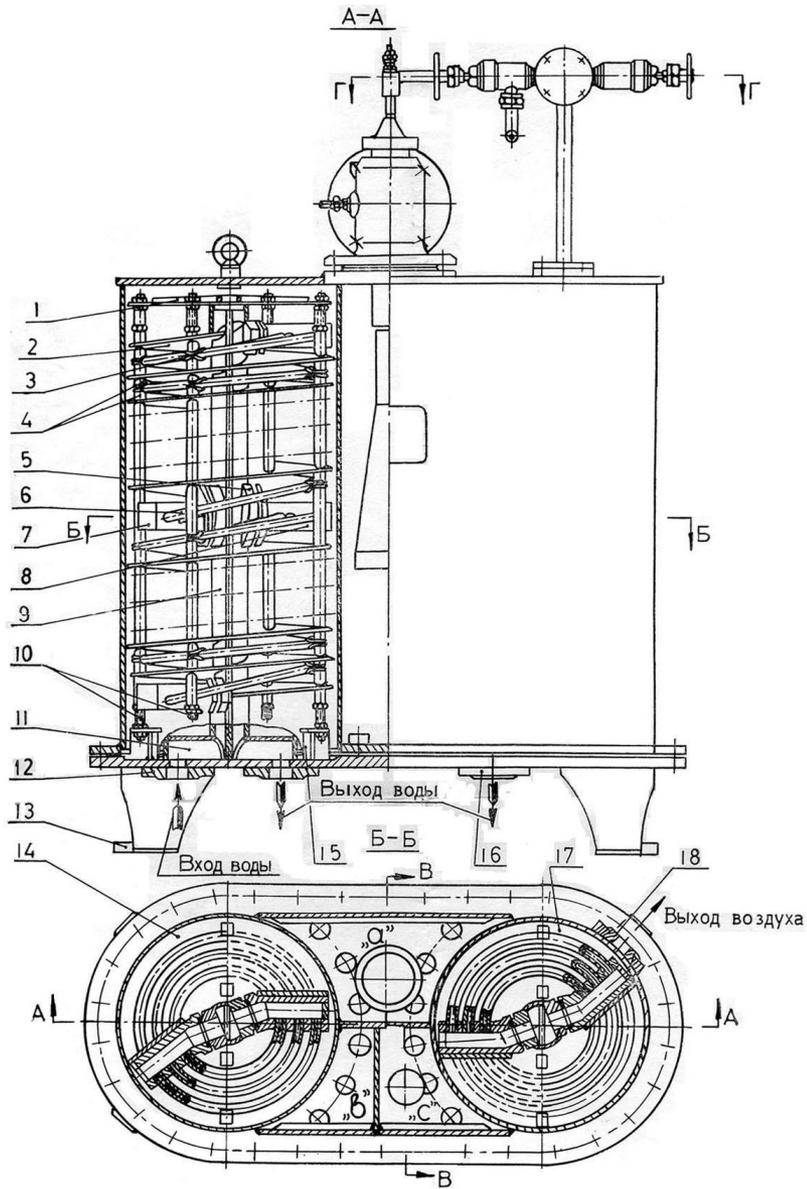
Для обеспечения степени повышения давления отсасываемого воздуха до **25—30 (от 3—6 кПа до барометрического давления)** основные эжекторы выполняются с двумя или тремя последовательно включенными ступенями, каждая из которых производит не полное, а **частичное сжатие** паровоздушной смеси.

Между ступенями устанавливают **промежуточные охладители** пара поверхностного типа. В них большая часть пара конденсируется и теплота конденсации используется для **подогрева основного конденсата**.



### Схема двухступенчатого пароструйного эжектора

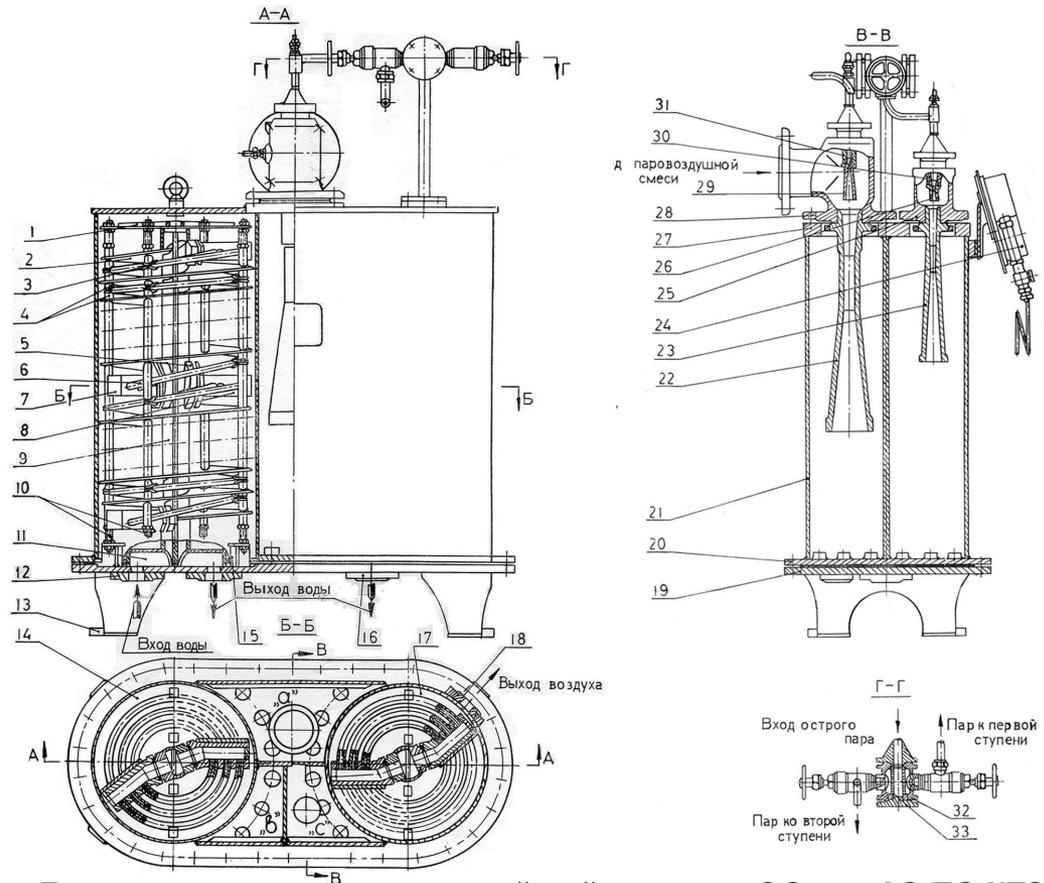
1 – рабочее сопло I-й ступени эжектора; 2 – камера смешения; 3 – диффузорный канал; 4 – трубный пучок охладителя паровоздушной смеси I-й ступени эжектора; 5 - рабочее сопло II-й ступени эжектора; 6 - трубный пучок охладителя паровоздушной смеси II-й ступени; 7 – отвод воздуха



Пароструйный эжектор

# Эжектор

1 – крестовина; 2 – спиральные перегородки; 3 – хомутики; 4 – дистанционные трубки; 5 – приварыш; 6 – змеевики; 7 – водоподводящие коллектора; 8 – водоотводящий коллектор; 9 – стояк; 10 – тяги; 11 – водяные коллекторы; 12 – фланец подвода воды; 13 – опорные лапы; 14 – охладитель первой ступени; 15 – опоры для крепления тяг; 16 – фланец отвода воды; 17 – охладитель второй ступени; 18 – фланец отвода воздуха; 19 – фланец специальный; 20 – фланец корпуса; 21 – корпус эжектора; 22 – диффузор первой ступени; 23 – диффузор второй ступени; 24 – щит с КИП; 25 – сопловая камера второй ступени; 26 – сопло второй ступени; 27 – крышка корпуса; 28 – сопловая камера первой ступени; 29 – сопло первой ступени; 30 – соплодержатель второй ступени; 31 – соплодержатель первой ступени; 32 – парораспределительный коллектор;



## Двухступенчатый пароструйный эжектор ЭО – 30 АО ПО КТЗ

Тип эжектора – ЭО – 30;

Количество ступеней – 2;

Температура отсасываемой паровоздушной смеси – 25 °С;

Производительность по паровоздушной смеси –  $7,78 \cdot 10^{-3}$  кг/с;

Расход охлаждающего конденсата – 4,72 кг/с;

Давление рабочего пара перед соплами – 1,57 МПа;

Температура рабочего пара перед соплами – 420 °С;

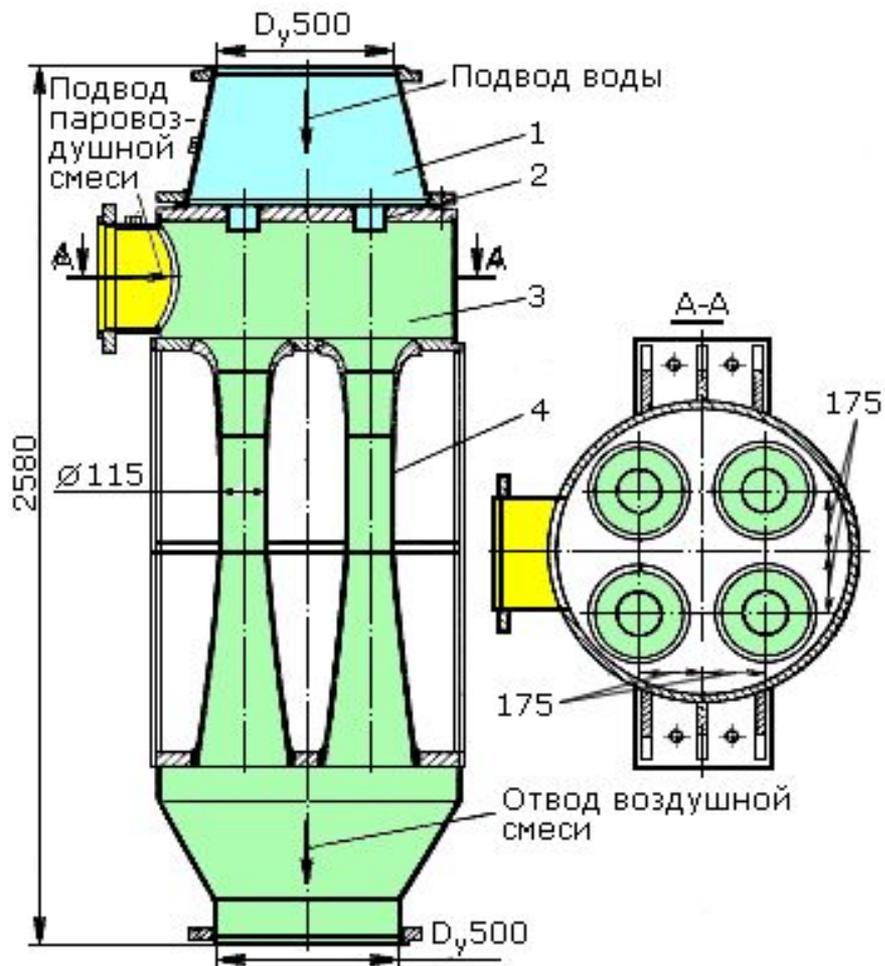
Суммарный расход рабочего пара – 0,0486 кг/с;

Давление в камере всасывания – 6,87 кПа;

Гидравлическое сопротивление охладителей – не более 37 кПа;

## Особенности использования водоструйных эжекторов

Водоструйный эжектор осуществляет **одноступенчатое сжатие** паровоздушной смеси. Работа водоструйных эжекторов связана с эжектирующим действием высокоскоростной струи воды, формируемой в соплах 2.



### Схема водоструйного эжектора

- 1 – входная камера;
- 2 – сопла;
- 3 – камера смешения;
- 4 – диффузорные каналы

Вода под давлением отбирается обычно из трубопровода **циркуляционной воды** системы охлаждения конденсатора турбоустановки.

При смешении воды с паровоздушной средой происходит конденсация пара. Неконденсируемые газы удаляются в атмосферу.

Чаще всего такие эжекторы выполняют **многоканальными** (от двух до семи каналов), что позволяет при умеренных габаритах обеспечить глубокое разрежение в них.

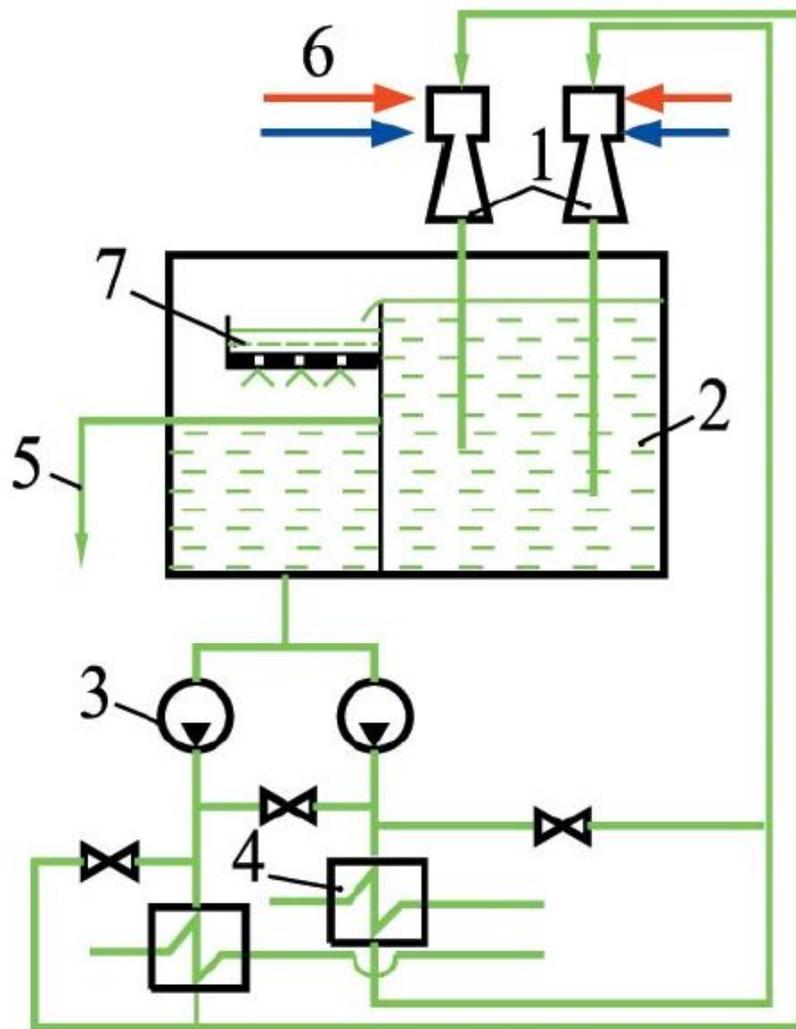
Включение водоструйного эжектора по рабочей воде возможно по двум **схемам**— **разомкнутой и замкнутой**. При разомкнутой схеме рабочая вода для эжектора подается подъемными насосами, как правило, **из напорного циркуляционного водовода**.

**Недостатками** разомкнутой схемы являются **потери пара**, отсасываемого из конденсатора вместе с воздухом, а также потребление значительного количества охлаждающей воды (до **10%** полного ее расхода).

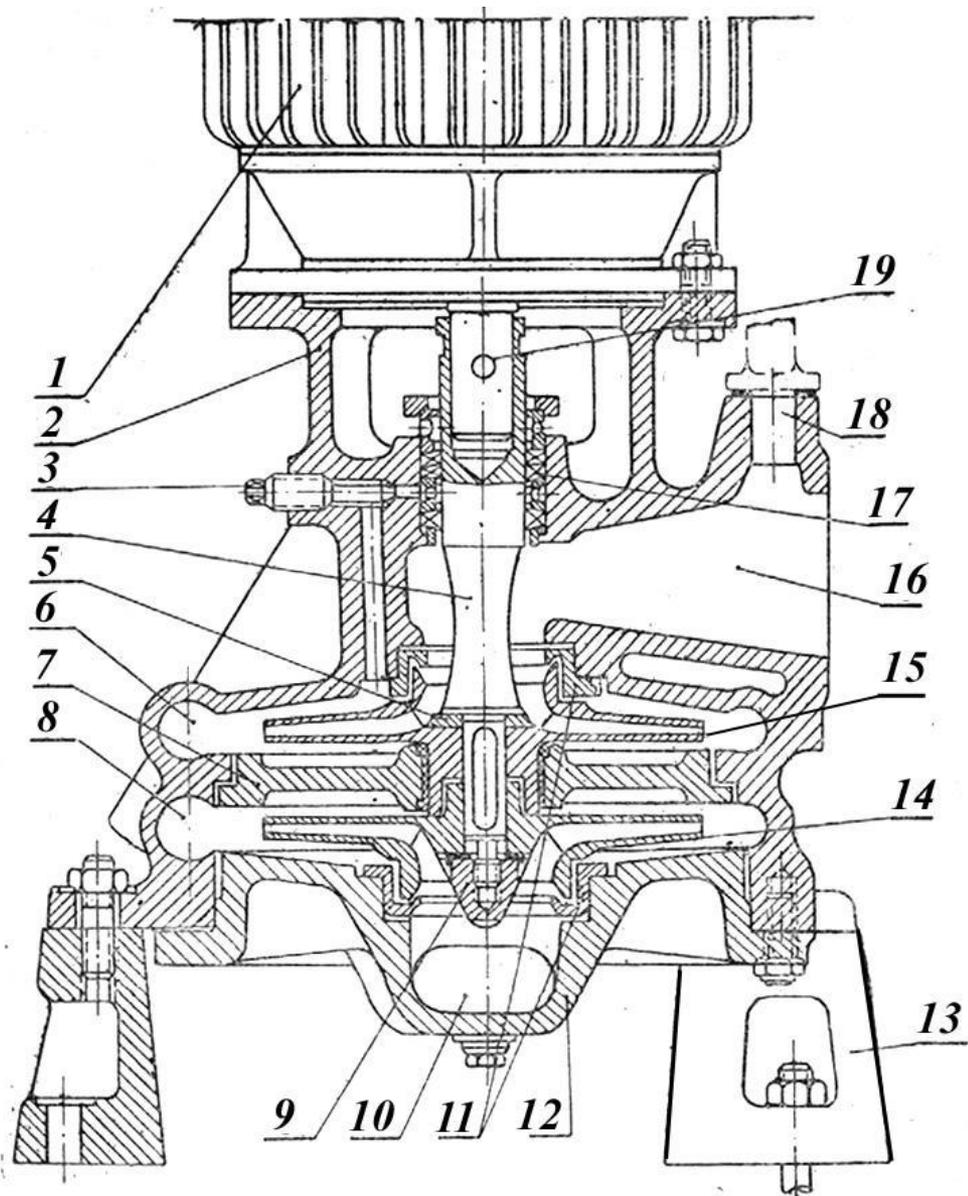
Эти недостатки удастся скомпенсировать **применением замкнутой схемы**, при которой рабочая вода (основной конденсат) циркулирует в контуре «эжектор—сливной бак—насос—эжектор».

### Замкнутая схема водоструйной эжекторной установки

- 1— водоструйный эжектор,
- 2— сливной бак,
- 3— насос
- 4— поверхностный охладитель,
- 5— трубопровод в бак низких точек,
- 6—отсос из конденсатора,
- 7—брызгальное устройство



# Конденсатный насос

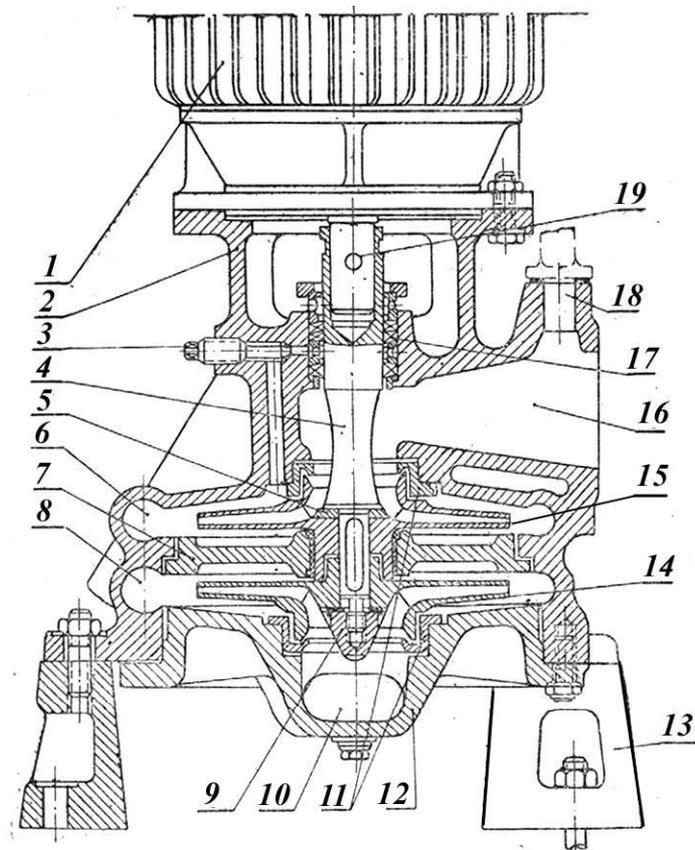


# Конденсатный насос

Основные технические характеристики конденсатных насосов у которых конструкции аналогичны:

• Тип насоса	<b>ЭКН – 18 – К</b>	<b>ЭКН – 18 – КГ</b>	
• Производительность	<b>14</b>	<b>18</b>	<b>м<sup>3</sup> / час;</b>
• Давление нагнетания	<b>41</b>	<b>42</b>	<b>м. вод. ст. ;</b>
• Геометрический подпор	<b>0,6</b>	<b>0,8</b>	<b>м. вод. ст. ;</b>
• Число оборотов	<b>1450</b>	<b>1450</b>	<b>об / мин ;</b>
• Мощность электродвигателя	<b>4,5</b>	<b>7,0</b>	<b>кВт .</b>

1-электродвигатель; 2-корпус; 3- дроссель; 4-удлиннитель вала; 5- установочное кольцо; 6-спиральная камера 1-й ступени; 7-диафрагма; 8- спиральная камера 2-й ступени; 9-гайка обтекатель; 10-перепускной канал; 11-уплотнительная втулка; 12- крышка; 13-стойау фундаментная; 14-рабочее колесо 2-й ступени; 15-рабочее колесо 1-й ступени; 16-всасывающий патрубок; 17-сальник; 18-отверстие для отсоса воздуха; 19-штифт

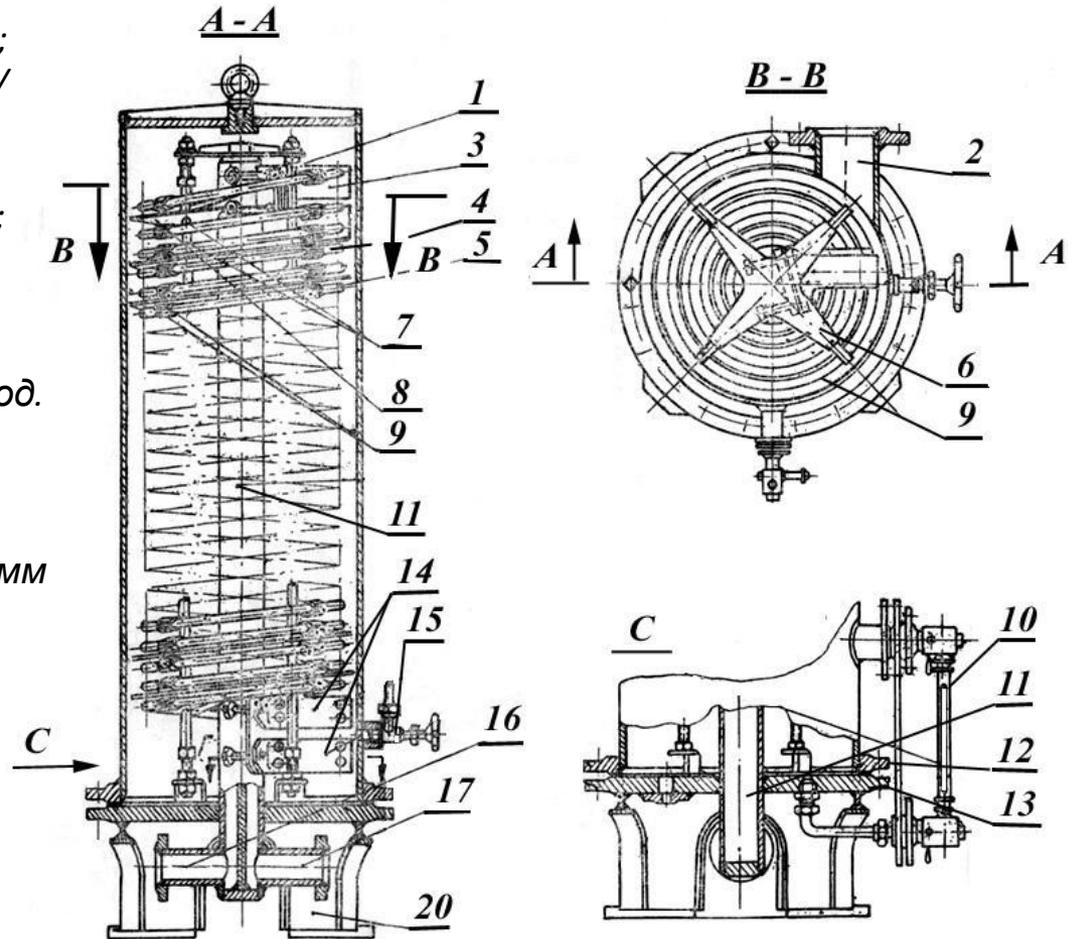


# Подогреватель низкого давления

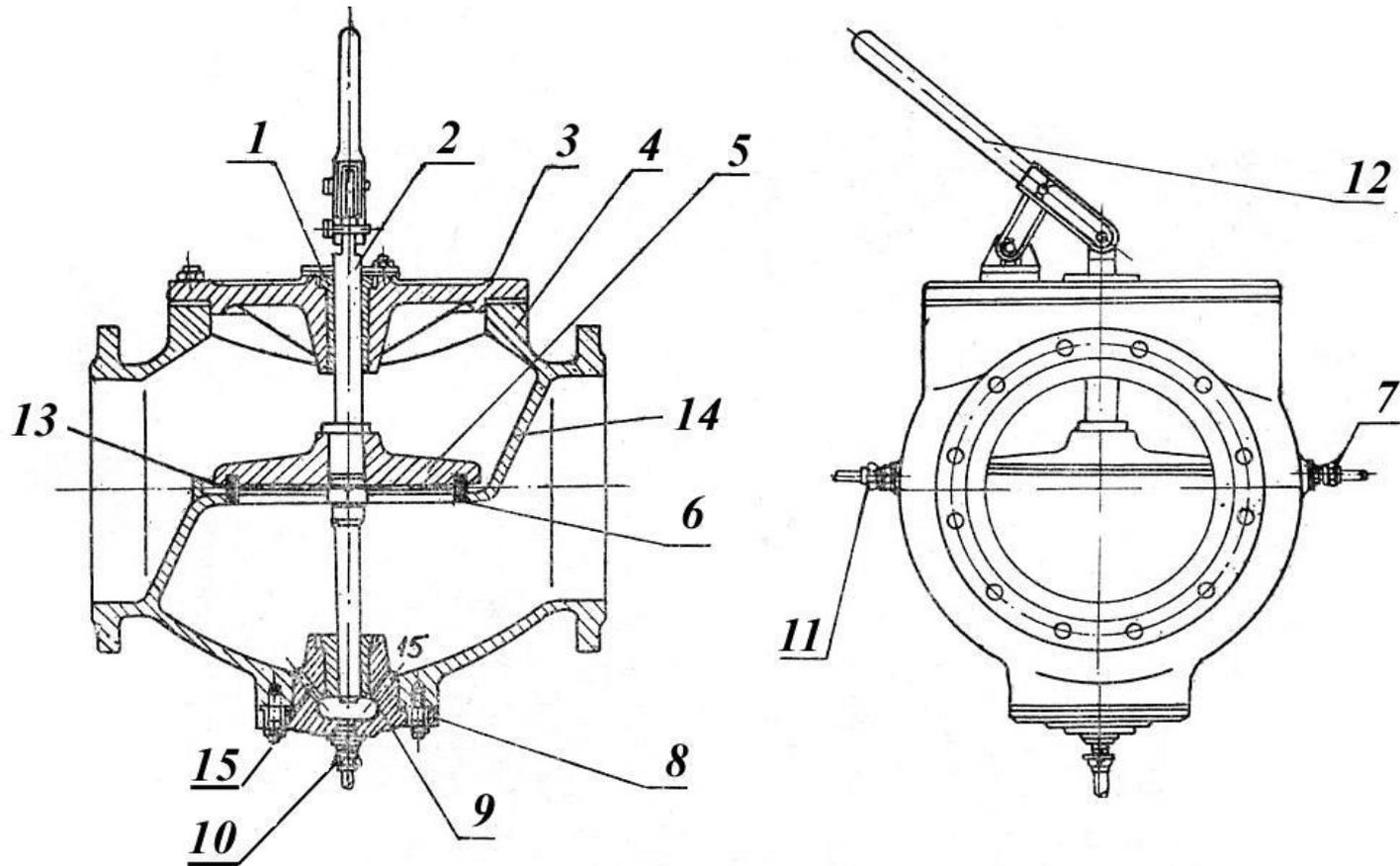
Подогреватель ПН-9 АО ПО КТЗ поверхностного типа, змеевиковый, винтовой

## Основные технические характеристики:

Тип подогревателя	- ПН - 9;
Расход конденсата час;	- 16,6 т / час;
Температура конденсата на входе	- 42 ° C;
Температура конденсата на выходе	- 86 ° C;
Расход пара час;	- 1,4 т / час;
Поверхность нагрева	- 9 м <sup>2</sup> ;
Гидравлическое сопротивление ст;	- 7 м.вод.
Количество змеевиков	- 10 ;
Число витков	- 2
Диаметр патрубков подвода греющего пара	- 19 / 17 мм
Диаметр патрубка подводяной коллектор;	- 19 / 17 мм
Крышка;	- 3
Змеевики трубного пучка;	- 5
Крестовина;	- 7
Трубки дистанционные;	- 8
Спиральные перегородки;	- 9
Хомутики;	- 10
Воомерное стекло;	- 11
Стояк;	- 12
Фланец отвода конденсата;	- 13
Корпус;	- 14
Нижние водяные коллекторы;	- 15
Вентиль отвода воздуха;	- 16
Патрубок отвода подогреваемой воды;	- 17
Патрубок подвода подогреваемой воды;	- 18
Лапы	- 19
Шпатель	- 20

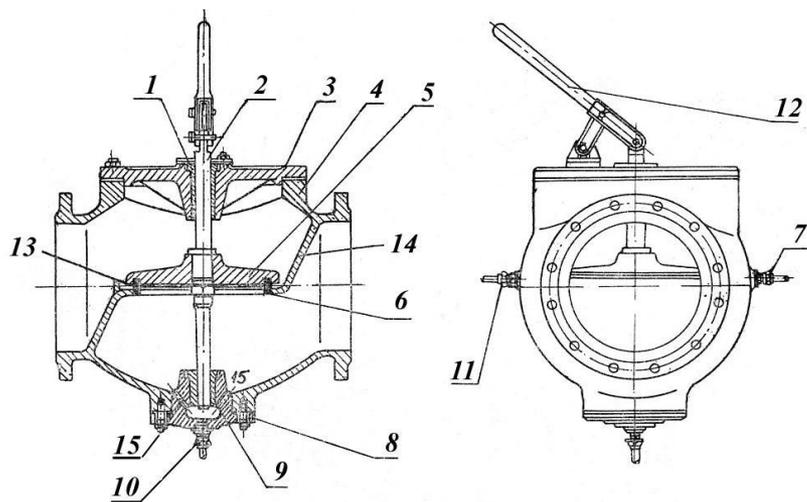


## Атмосферный клапан



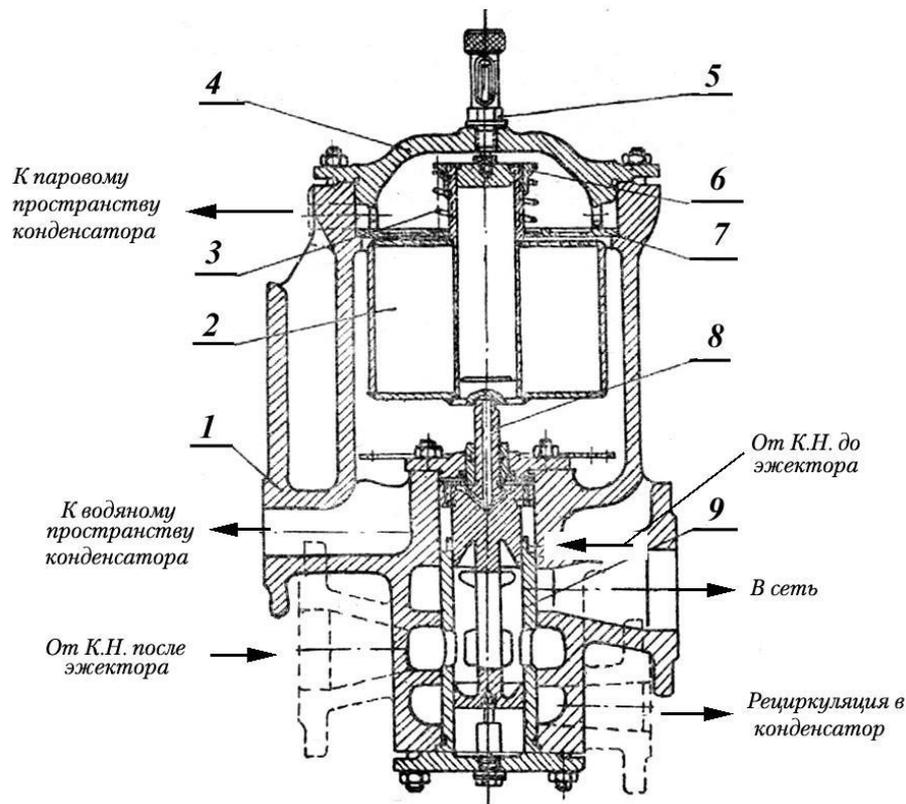
1-направляющая втулка; 2-шток; 3-верхняя крышка; 4-корпус; 5-тарелка клапана; 6-седло; 7,10,11-штуцерное соединение; 8-нижняя крышка; 9-втулка направляющая; 12-рукоятка; 13-кольцевой канал гидроуплотнения; 14-перегородка; 15-сливные отверстия для конденсата пара

# Атмосферный клапан



1-направляющая втулка; 2-шток; 3-верхняя крышка; 4-корпус; 5-тарелка клапана; 6-седло; 7,10,11-штуцерное соединение; 8-нижняя крышка; 9-втулка направляющая; 12-рукоятка; 13-кольцевой канал гидроуплотнения; 14-перегородка; 15-сливные отверстия для конденсата пара

# Регулятор уровня конденсата



1-корпус; 2-поплавок; 3-пружина; 4-крышка; 5-указатель положения поплавка; 6-гайка; 7-тарелка пружины; 8-золотник с дифференциальным поршнем; 9-втулка