

КОНДЕНСАЦИОННЫЕ УСТАНОВКИ
И
ЭЖЕКТОРЫ

Основное назначение **конденсационного устройства** — создание и поддержание как можно более низкого давления в выпускной части турбины, конденсация отработавшего пара и возврат его в систему питания паровых котлов.

Известно, что **чем выше начальные и ниже конечные параметры пара, тем больший будет располагаемый теплоперепад и большая часть тепловой энергии пара может быть превращена в механическую работу.**

Понижение давления ниже атмосферного в конденсаторе происходит за счет того, что поступающий в него пар искусственно охлаждается.

вопрос. Назначение конденсационной установки

конденсатная установка предназначена:

1. Конденсировать отработавший в турбине пар и тем самым сохранять свободную от солей воду для котлов;
2. Устанавливать и поддерживать низкое остаточное давление за турбиной и тем самым увеличивать степень расширения пара в турбине, благодаря чему можно получить дополнительную работу;
3. Удалять из конденсата кислород и другие газы,

Состав конденсационной установки.

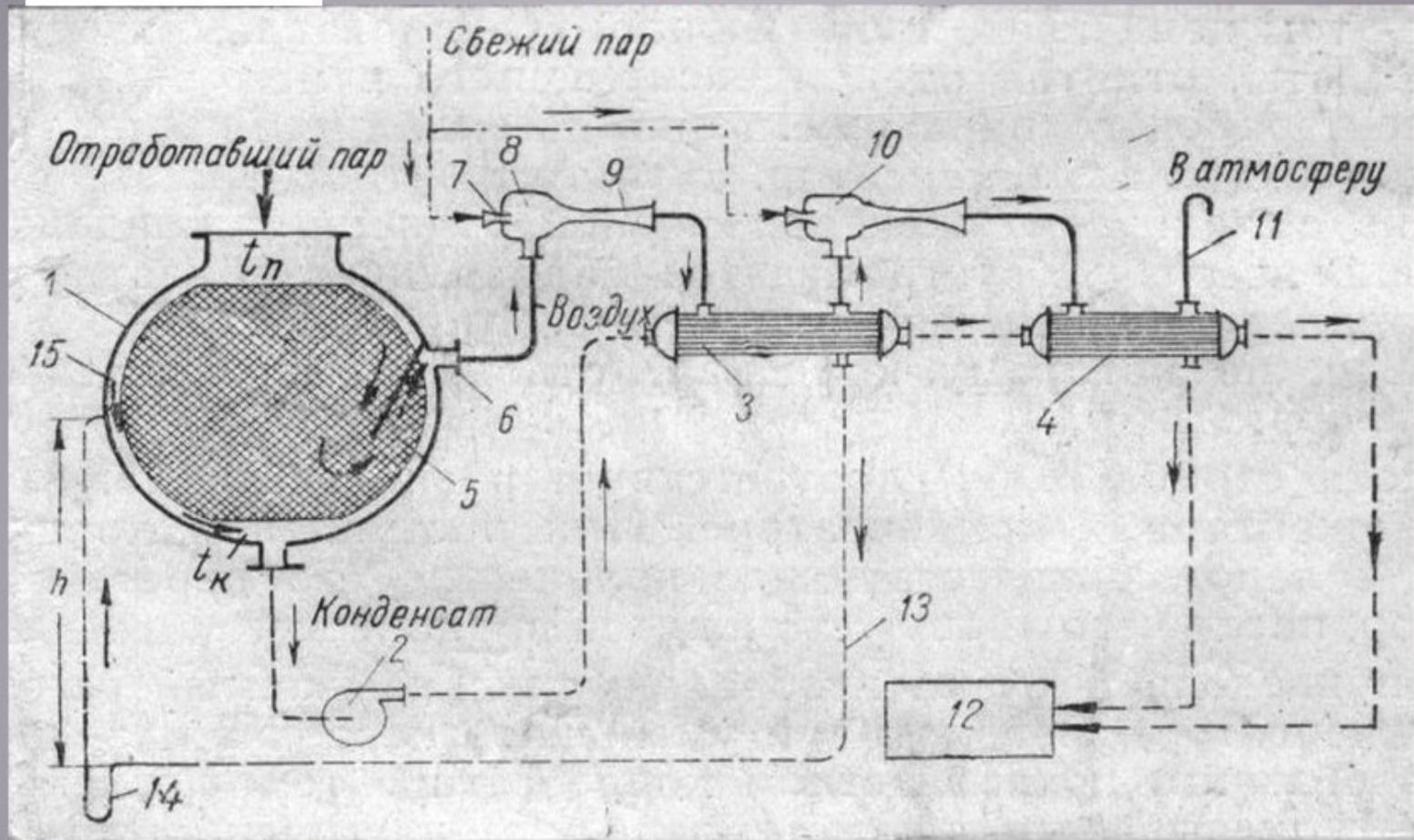


Рис. 2 Схема конденсационной установки.

1 – конденсатор воздуха

2 – конденсатный насос

3, 4 – охладители первой и второй ступени

5 – перегородка

6 – патрубок для удаления воздуха

7,8,9, 10 – пароструйные эжекторы
первой и второй ступеней

11 – патрубок для удаления

12 – теплый ящик

13 – гидравлический затвор

Конденсационная установка

Конденсационная установка является неотъемлемой частью ПТУ (паротурбинная установка) и выполняет следующие функции: конденсацию отработавшего в турбине пара; поддержание вакуума за последними ступенями турбины для обеспечения возможно большей степени расширения пара; частичное обескислороживание питательной воды и удаление из нее других растворенных газов (деаэрацию).

В состав конденсационной установки входят следующие элементы: **конденсатор**, являющийся теплообменным аппаратом, замыкающим цикл паросиловой установки, и предназначенный для конденсации отработавшего в турбине пара и частичной деаэрации образовавшегося конденсата; **циркуляционный насос с циркуляционной системой**, служащие для прокачки главного конденсатора охлаждающей забортной водой.

При охлаждении пар конденсируется и объем его во много раз уменьшается. Так, например, при давлении 0,005 Мн/м² объем конденсата меньше, чем объем пара почти в 30 тысяч раз.

Для каждой турбинной установки устанавливается наивыгоднейший вакуум, который обычно не превышает 95—97%, так как дальнейшее углубление вакуума приводит к значительному увеличению размеров конденсатора,

Внутри конденсатора попадает вместе с паром воздух, который не конденсируется. Кроме того, воздух просачивается через неплотности, в результате чего для поддержания вакуума необходимо обеспечить непрерывный отсос его из конденсатора в атмосферу.

Для этой цели используют **паровые эжекторы.**

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.**

Подавляющее распространение получили пароструйные эжекторы, простые по конструкции и компактные, не требующие механического привода и позволяющие создать начальный уровень разрежения в конденсаторе за короткое время (5-6 мин).

Давление в межтрубном пространстве конденсатора обычно составляет 0,0035-0,006 МПа. При таком глубоком вакууме неизбежны подсосы в него воздуха, в первую очередь из-за неплотностей в местах соединения корпуса конденсатора с выхлопным патрубком турбины.

Температура конденсации газов, входящих в состав атмосферного воздуха, намного ниже, чем для водяного пара, поэтому они не конденсируются в конденсаторе. Следовательно, **подсосы неконденсирующихся газов в конденсатор** турбины приводят к увеличению давления в нем.

Это приводит к существенным негативным последствиям:

- **снижается КПД цикла рабочего тела;**
- **ухудшаются условия теплообмена при конденсации пара.**

Если не предпринимать мер по удалению этих газов из парового объема конденсатора, показатели тепловой экономичности турбоустановки будут постепенно снижаться до неприемлемых значений. Этим обусловлена **необходимость использования эжекторов – струйных насосов для отсоса воздуха из конденсатора.**

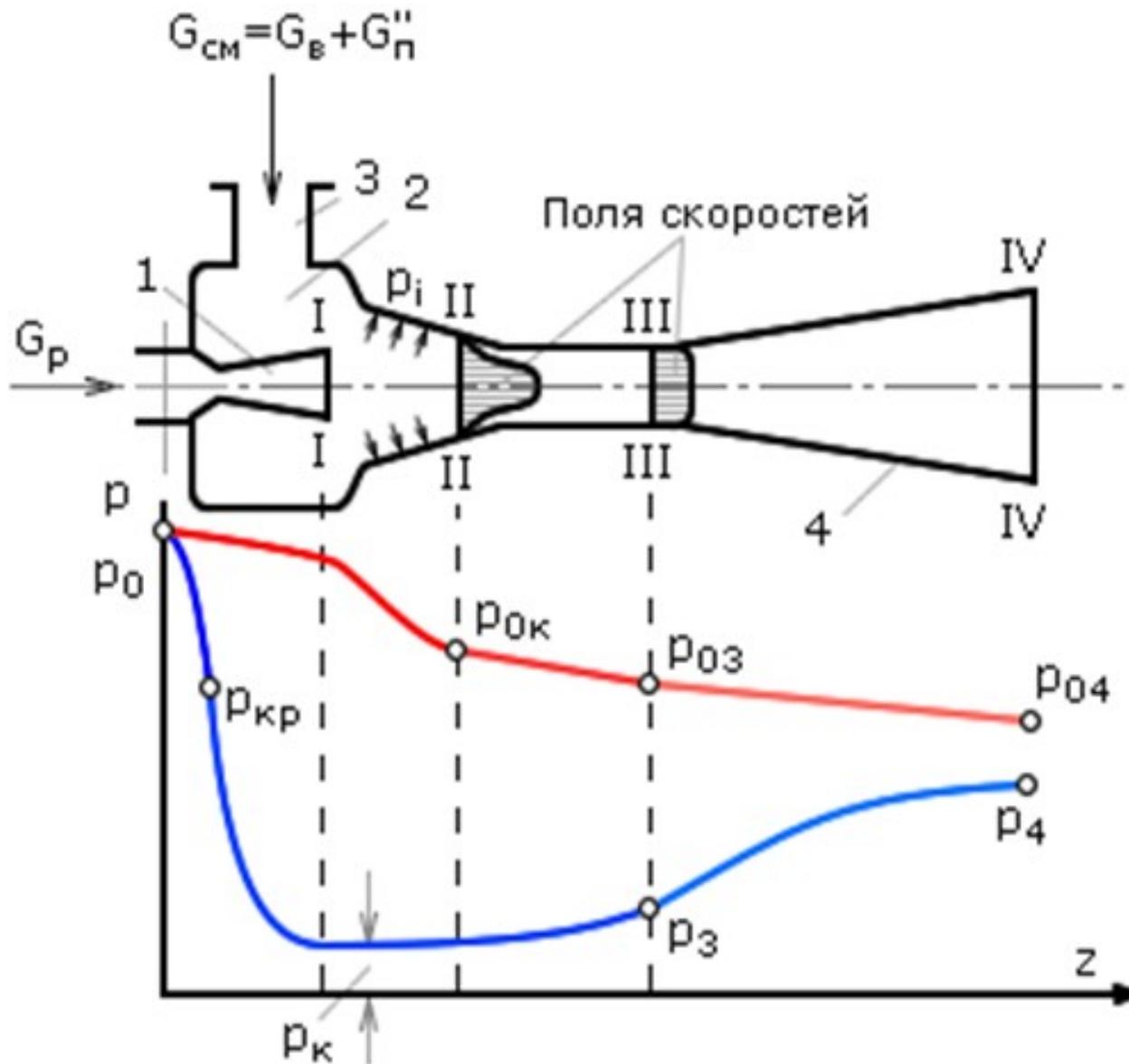


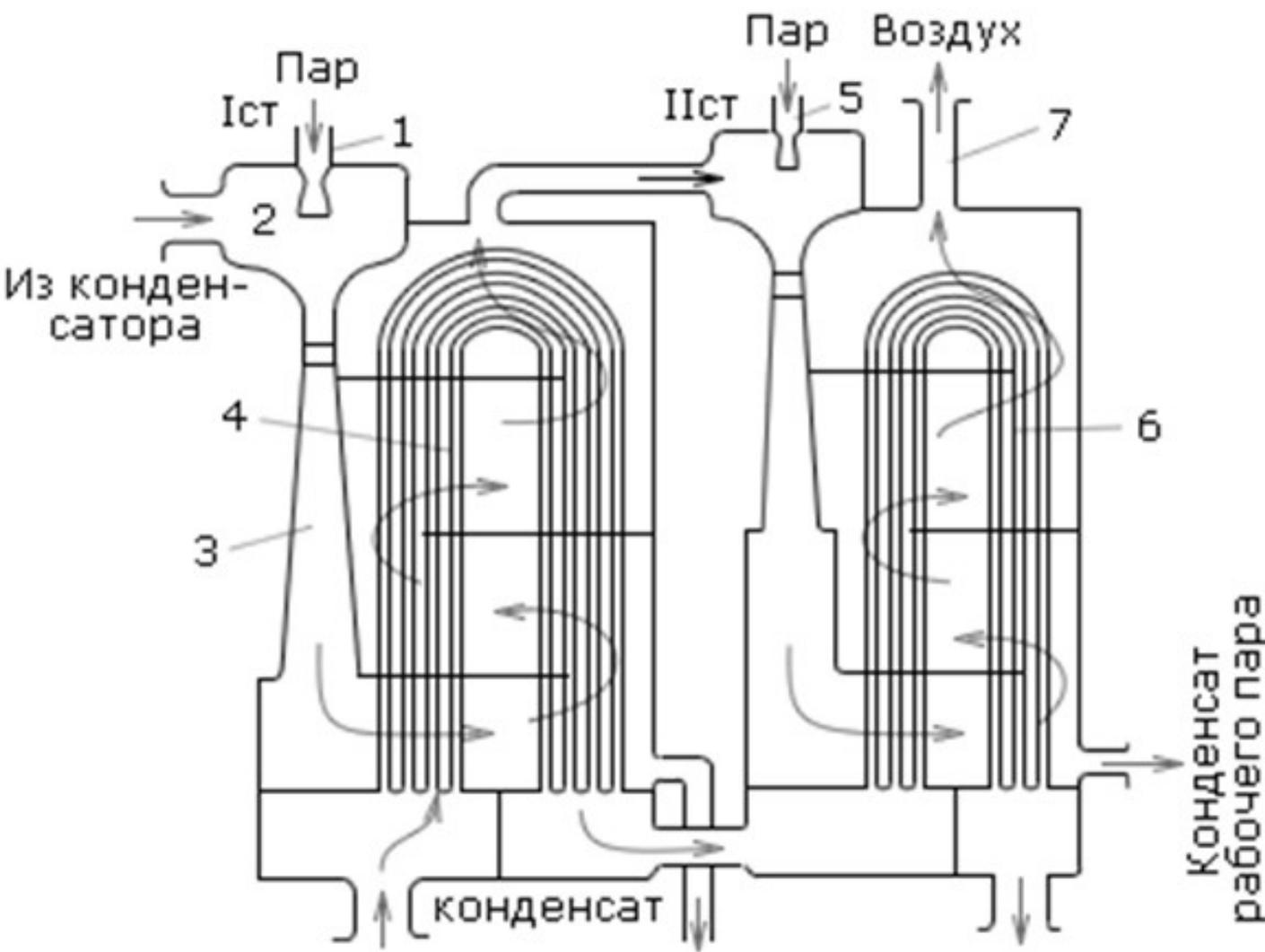
Схема пароструйного эжектора

представлена на рис. Он 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.

Одна ступень эжектора понижает давление не более чем в 4— 6 раз.

Поэтому в паротурбинных установках одноступенчатые эжекторы применяются в качестве пусковых.

Для обеспечения степени понижения 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 устанавливаются

промежуточные охладители пара поверхностного типа.

В них большая часть пара конденсируется и теплота конденсации используется для подогрева основного конденсата.

Схема двухступенчатого парового эжектора

Схема двухступенчатого пароструйного эжектора

- 1 – рабочее сопло I-й ступени эжектора;
- 2 – камера смешения;
- 3 – диффузор вена канала;
- 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

Охладители эжекторов

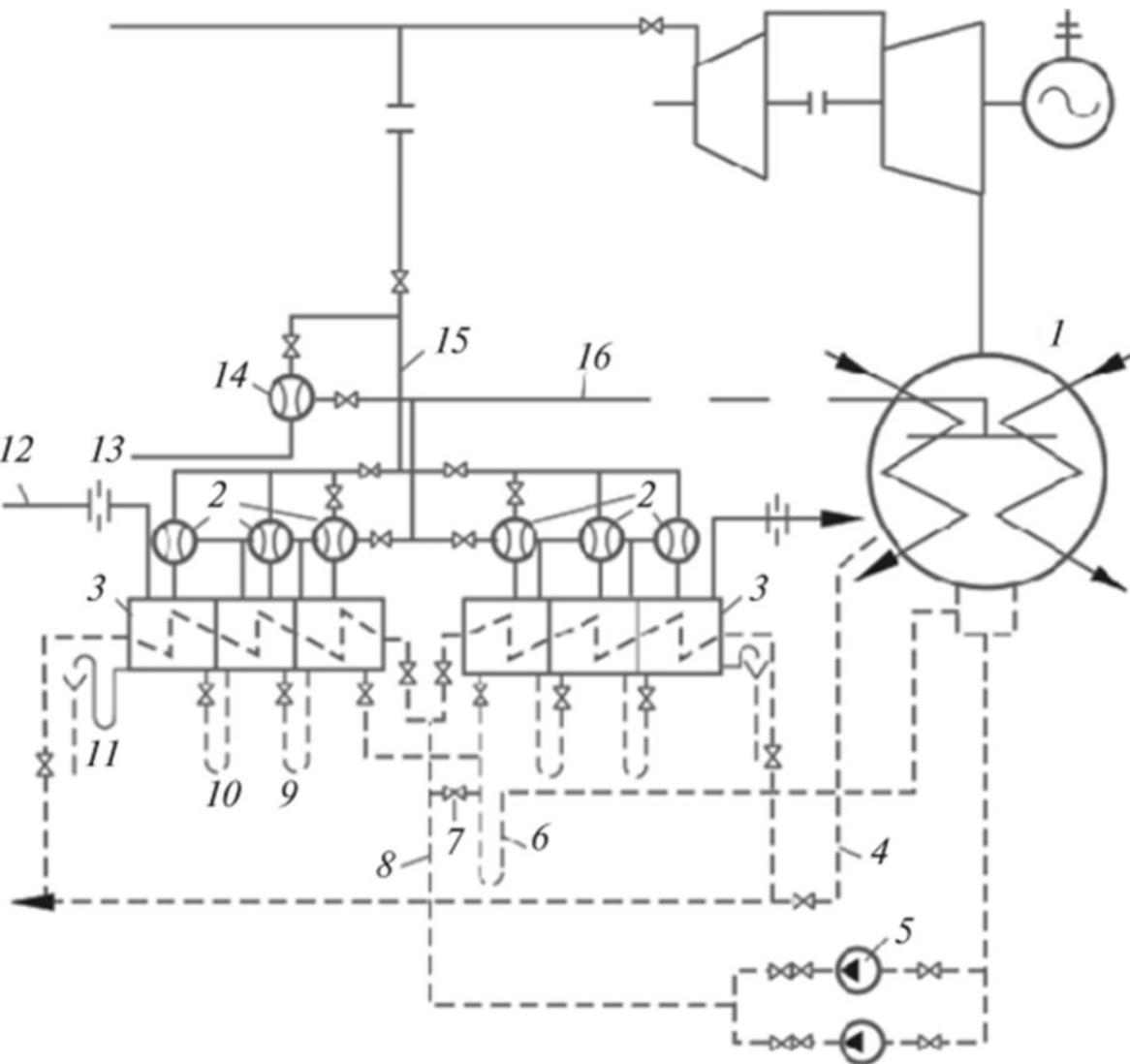
представляют собой теплообменники поверхностного типа, на наружной поверхности трубок которых происходит охлаждение и конденсация паровоздушной смеси, внутри трубок проходит основной конденсат, подаваемый из напорного коллектора конденсатных насосов.

Таким образом, теплосодержание рабочего пара в пароструйном эжекторе используется для подогрева основного конденсата.

Конструкция трехступенчатого пароструйного эжектора показана на следующем слайде.

В сварном корпусе перегородками образованы три камеры, в которых размещены охладители 1-й, 2-й и 3-й ступеней эжектора. Эти охладители являются теплообменниками поверхностного типа с U-образными трубками, через которые движется основной конденсат турбоустановки. Концы трубок развальцованы в нижней трубной доске, которая связана с корпусом посредством фланцевого соединения. В верхней части эжектора выполнены камеры всасывания соответствующих ступеней, в которых установлены сопла и диффузоры. Подвод водяного пара к ним осуществляется от общего паропровода.

Схема конденсационной установки паровой турбины с двумя трехступенчатыми эжекторами:



- 1 — конденсатор; 2 — основные эжекторы; 3 — холодильники эжектора;
4 — рециркуляция конденсата; 5 — конденсатные насосы; 6 — гидравлический затвор; 7 — залив гидрозатвора; 8 — охлаждающая вода (основной конденсат); 9 — перепуск конденсата второй ступени в первую ступень; 10 — перепуск конденсата третьей ступени во вторую ступень; 11 — переливная трубка с дренажом; 12 — выхлоп в атмосферу; 13 — воздухомер; 14 — пусковой эжектор; 15 — рабочий пар на эжекторы; 16 — паровоздушная смесь из конденсатора

После первой ступени эжектора отсасываемая из конденсатора паровоздушная смесь попадает в охладитель (холодильник), где происходит конденсация части пара.

Оставшаяся смесь поступает для дальнейшего сжатия во вторую ступень эжектора с меньшим остаточным содержанием пара, что создает условия для сжатия смеси с меньшей затратой энергии.

Расход рабочего пара в трехступенчатом эжекторе может быть на 20...25% ниже, чем в двухступенчатом. Конденсат из охладителей отводится отдельно или каскадно в конденсатор, что позволяет предотвратить потери рабочего тела.

Чтобы вместе с конденсатом из охладителей в конденсатор не возвращался воздух, обычно используют гидравлический затвор.

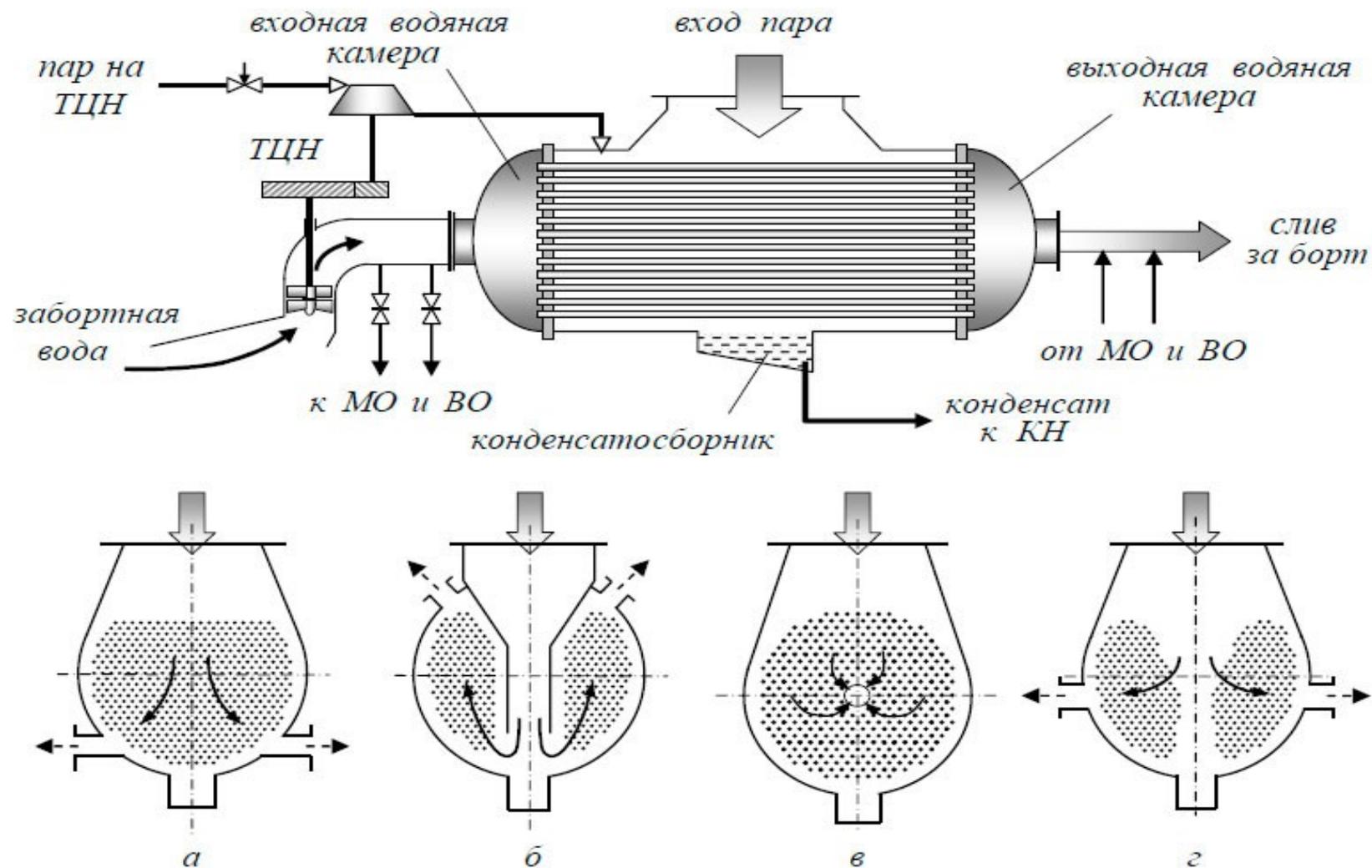


Рис. 66. Схема конденсационной установки и типы поверхностных конденсаторов паровых турбин: *а* – с нисходящим потоком пара; *б* – с восходящим потоком пара; *в* – с центральным потоком пара; *г* – с боковыми потоками пара.

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

➡ – впуск пара от турбины; ---➡ – отсос паровоздушной смеси из конденсатора.

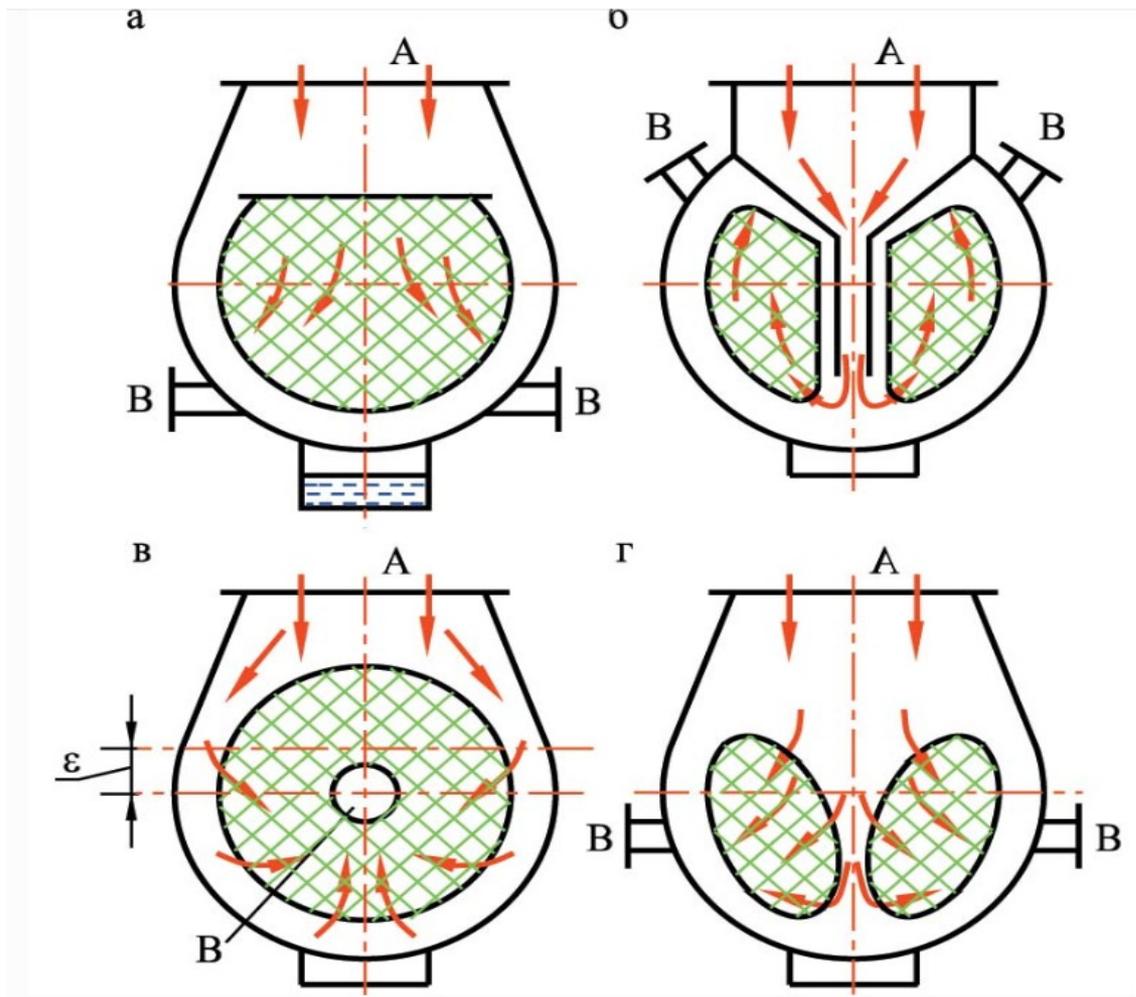
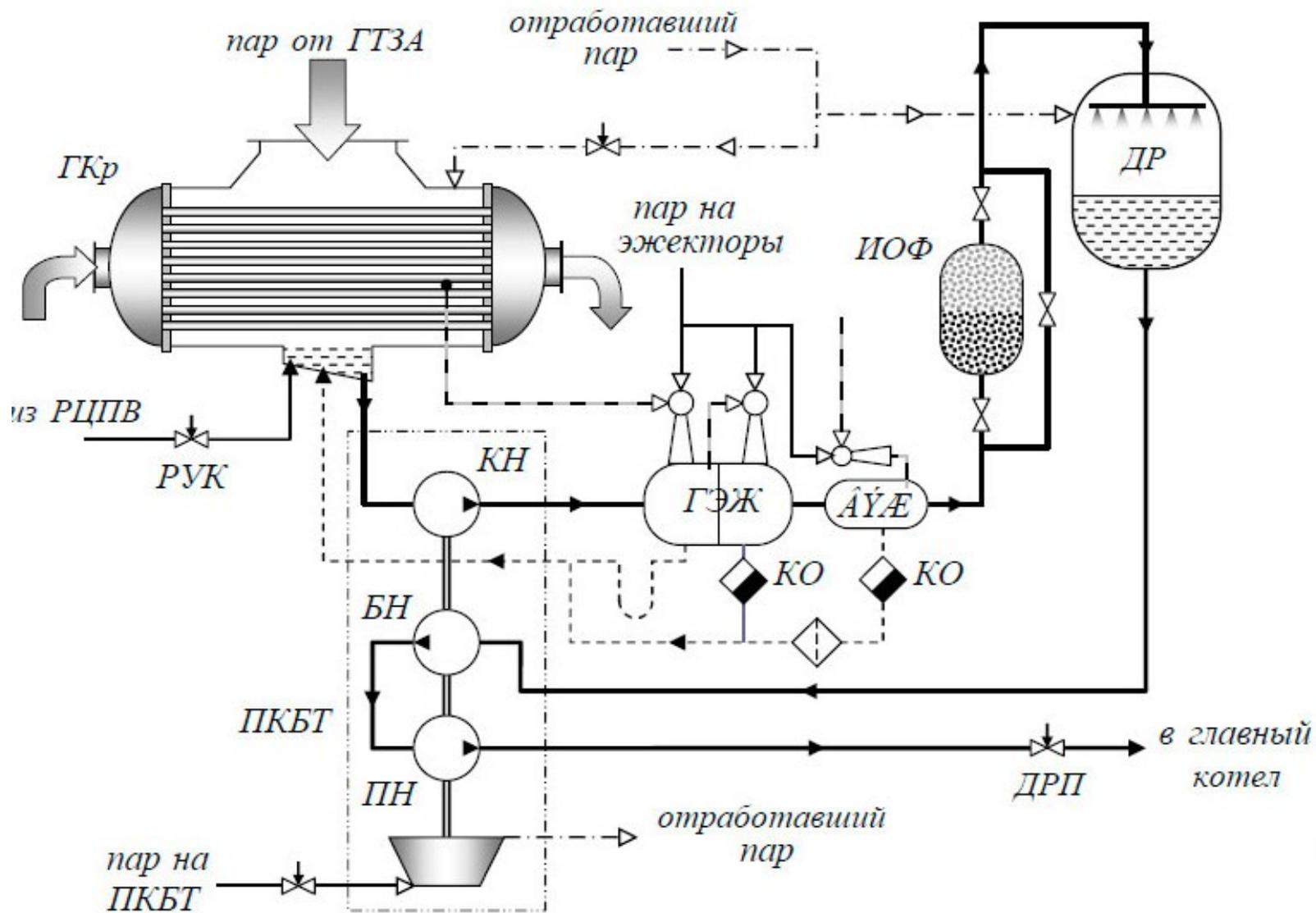


Рис. 2.12. Принципиальные схемы компоновочных решений трубного пучка конденсаторов
а—с нисходящим потоком пара, *б*—с восходящим потоком пара, *в*
—с центральным потоком пара, *г*—с боковым потоком пара; *А*
— пар из турбины, *В*— отсос воздуха

Конденсатно-питательная система

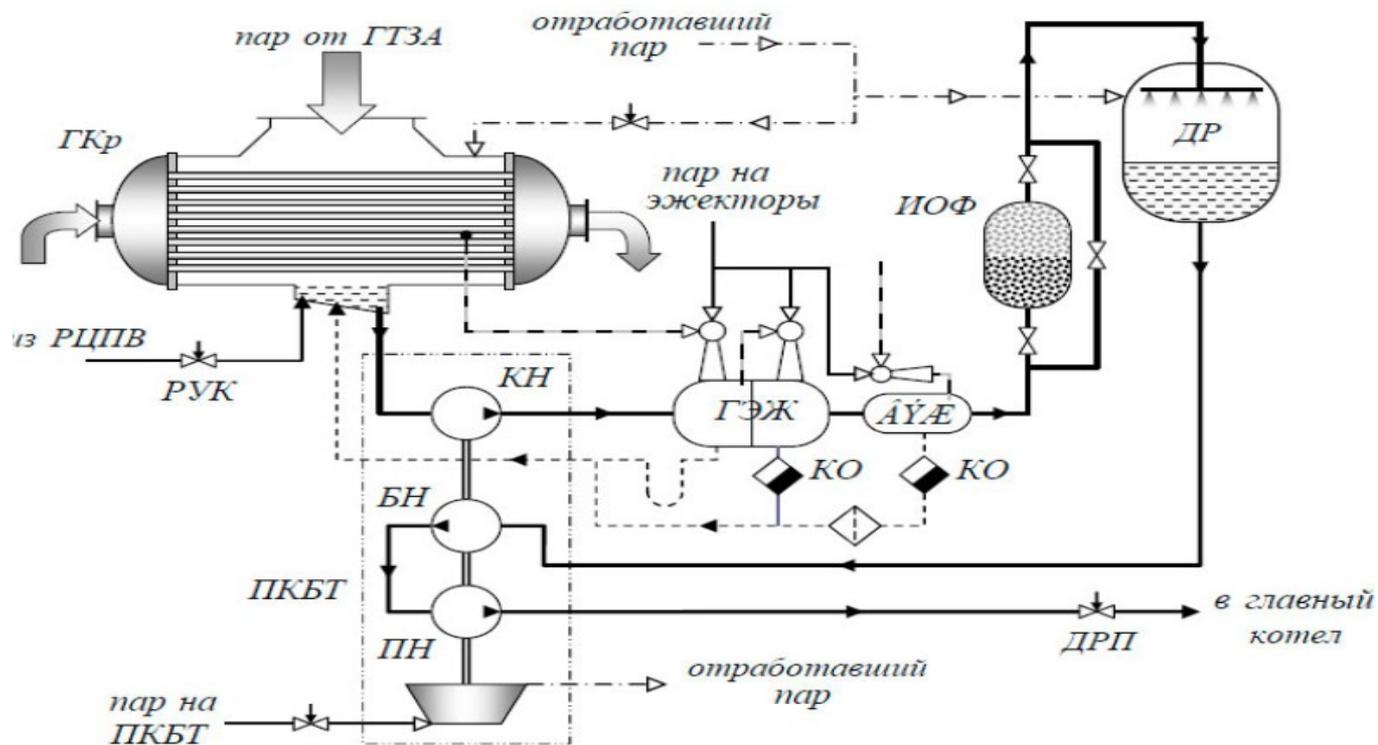
Конденсатно-питательная система предназначена для забора конденсата из главного конденсатора, приема, хранения и подачи питательной воды к котлам, подогревателям, фильтрам, элементам регулирования и управления КТЭУ (котлотурбинная энергетическая установка). В КПС (конденсатно-питательная система) также осуществляется докотловая обработка воды с целью снижения концентрации солей и растворенных газов в питательной воде, подаваемой к котлам. КПС является основным и наиболее сложным звеном паросиловой установки, связывающим между собой главный конденсатор и главные котлы.

КПС по своему типу делятся на **открытые** и **закрытые**. В открытых системах конденсатный насос подает воду в специальную емкость – **теплый ящик**, сообщающийся с внешней средой. Пополнение запасов питательной воды производится так же через теплый ящик. Но использование открытых систем возможно только для КТЭУ, работающих на **невысоких параметрах пара (до 20 кгс/см²)**, так как в теплом ящике происходит контакт питательной воды с атмосферой и насыщение ее кислородом. На современных судах и кораблях с КТЭУ открытые системы уже практически не применяются. В закрытых КПС контакта конденсата и питательной воды с атмосферой нет.



Пояснения -
на
следующем
слайде.

. Схема конденсатно-питательной системы закрытого типа и системы создания и поддержания вакуума в главном конденсаторе.



- | | | | |
|------------|----------------------|--------|-------------------------------|
| —▶ | свежий пар; | —▶ | конденсат и питательная вода; |
| - - -▶ | отработавший пар; | - - -▶ | дренажи конденсата; |
| - · - · -▶ | паровоздушная смесь. | | |

ГКр – главный конденсатор; КН – конденсатный насос; БН – бустерный насос;
 ПН – питательный насос; ПКБТ – питательный конденсатно-бустерный турбоагрегат;
 ГЭЖ – главный эжектор (системы создания вакуума в главном конденсаторе);
 ВЭЖ – вспомогательный эжектор (системы отсоса и уплотнений турбин);
 ИОФ – ионообменный обессоливающий фильтр; ДР – деаэратор;
 КО – конденсатоотводчики; РЦПВ – расходная цистерна питательной воды;
 РУК – регулятор уровня воды в главном конденсаторе; ДРП – двухимпульсный регулятор питания котла.

... ДОПОЛНИТЕЛЬНО –
ПРЕЗЕНТАЦИЯ ПО КОНДЕНСАТНЫМ УСТАНОВКАМ
/ некоторое повторение вышеописанного/

ТЕМА: КОНДЕНСАЦИОННЫЕ УСТРОЙСТВА ТУРБИН

Литература:

Верете А.Г. Судовые паровые и газовые энергетические
установки

Цель занятия:

Изучить назначение, состав и принцип работы конденсационной
установки турбины.

1 вопрос. Назначение конденсационной установки

Из схемы судовой паросиловой установки известно, что пар, отработав в паровой турбине, отправляется в специальный теплообменный аппарат – конденсатор, где, охлаждаясь забортной водой, превращается в воду. Сконденсированная вода подается насосом в котел. Этим достигается полный замкнутый цикл паротурбинной установки.

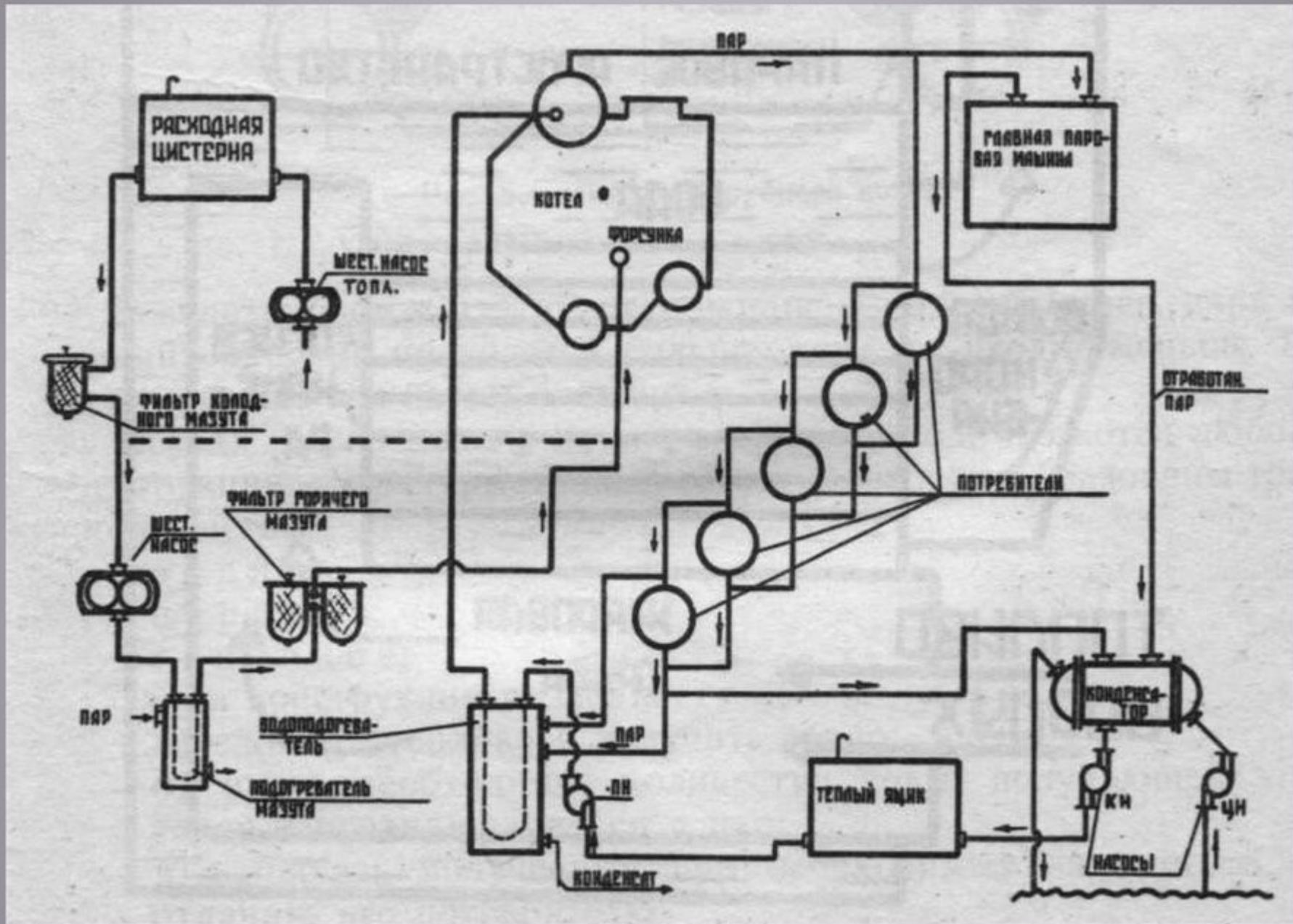


Рис. 1 Схема главной паротурбинной установки.

1 вопрос. Назначение конденсационной установки

Назначение конденсационной установки – превращение отработавшего пара, выходящего из паровой турбины, в воду, которая вновь может быть использована для питания котла.

Постоянная конденсация отработавшего пара и использование полученного конденсата для работы котлов дает возможность:

- ▣ Иметь на судне меньший запас питательной воды, а следовательно, увеличить полезную грузоподъемность судна и расширить район плавания;
- ▣ Использовать конденсат с меньшим содержанием солей, чем обычная питательная вода, что улучшает работу котла.

1 вопрос. Назначение конденсационной установки

Вторым не менее важным назначением установки является обеспечение расширения пара в турбине до более низкого давления - ниже атмосферного.

Работа пара, действующего в паровой турбине, будет тем больше, чем более низким будет давление за последней ступенью турбины. **Глубина вакуума является одним из главных показателей качества работы конденсационной установки: ухудшение вакуума только на 1% вызывает перерасход топлива в паровом котле на 1,2 – 2%. Кроме того ограничивается мощность турбины.** Поэтому остаточное давление в патрубке отработавшего пара конденсатора должно быть не более 4 – 6 кПа.

1 вопрос. Назначение конденсационной установки

При работе паротурбинной установки неизбежно просачивание воздуха во внутренние полости устройства, находящиеся под разряжением.

Присутствие воздуха в питательной воде вредно для сохранности паровых котлов и трубопроводов. Кроме того, воздух, попадая вместе с отработавшим паром в конденсатор, может повысить остаточное давление.

Поэтому назначением конденсационной установки является также удаление воздуха из конденсата.

1 вопрос. Назначение конденсационной установки

Таким образом,

конденсатная установка предназначена:

1. Конденсировать отработавший в турбине пар и тем самым сохранять свободную от солей воду для котлов;
2. Устанавливать и поддерживать низкое остаточное давление за турбиной и тем самым увеличивать степень расширения пара в турбине, благодаря чему можно получить дополнительную работу;
3. Удалять из конденсата кислород и другие газы, разрушающие трубки котла и трубопровода.

2 вопрос. Состав конденсационной установки.

Судовая конденсационная установка состоит из следующих основных частей:

- конденсатор, в котором происходит непосредственная конденсация отработавшего пара, поступающего из паровой турбины;
- насосы, откачивающие конденсат и воздух;
- циркуляционный насос для подачи охлаждающей воды.

В паротурбинных установках применяются поверхностные конденсаторы. Конденсация пара в них происходит на холодной поверхности пучка трубок, внутри которых циркулирует охлаждающая забортная вода. Поверхность трубок, называемая охлаждающей, делит конденсатор на паровое и водяное пространства. В качестве циркуляционных и конденсатных насосов применяются центробежные насосы, в качестве воздушных - пароструйные эжекторы.

2 вопрос. Состав конденсационной установки.

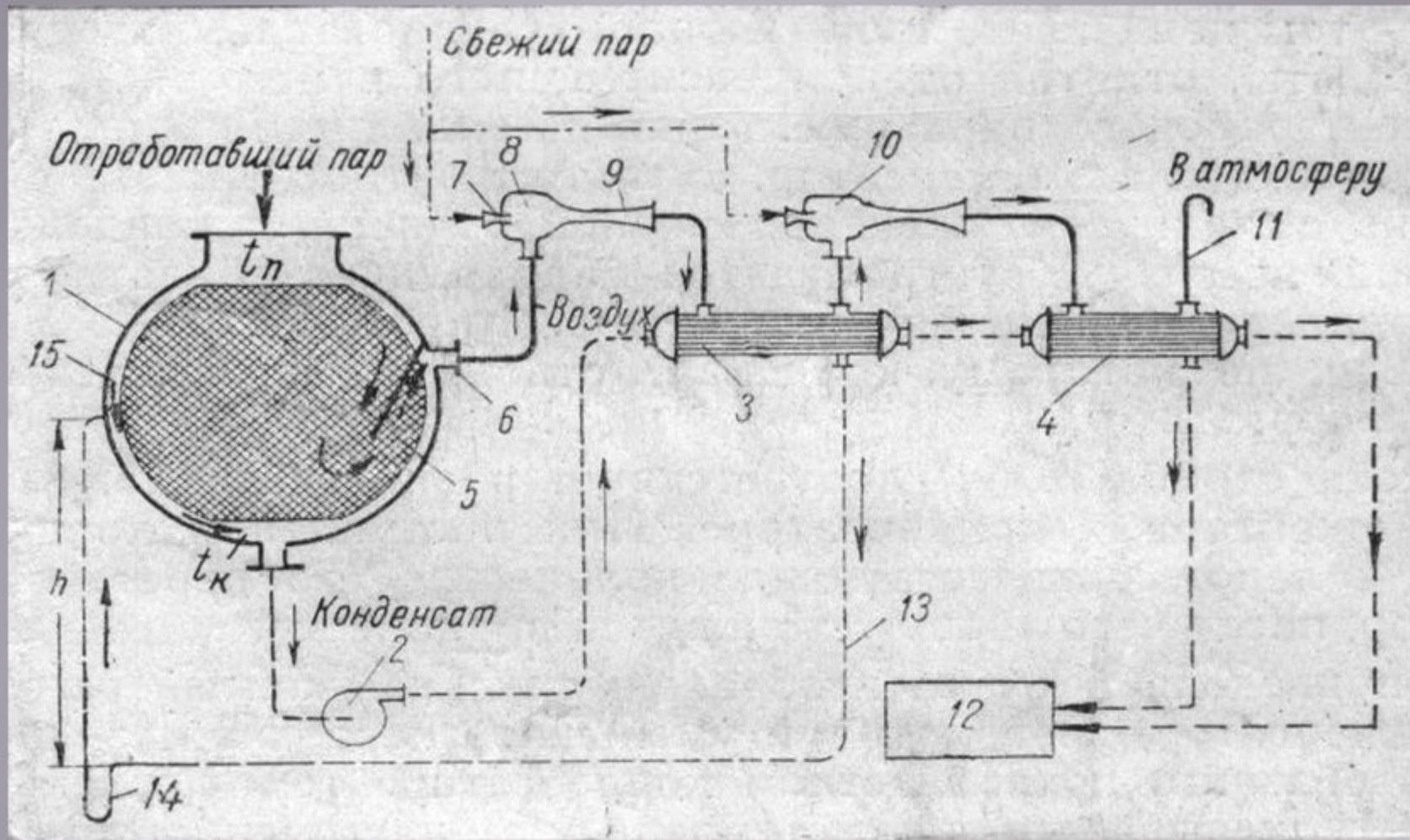


Рис. 2 Схема конденсационной установки.

1 – конденсатор воздуха

2 – конденсатный насос

3, 4 – охладители первой и второй ступени

5 – перегородка

6 – патрубок для удаления воздуха

7,8,9, 10 – пароструйные эжекторы
первой и второй ступеней

11 – патрубок для удаления

12 – теплый ящик

13 – гидравлический затвор

3 вопрос. Принцип работы конденсационной установки.

Отработавший пар из ПТ поступает в конденсатор **1**, где он проходит между трубками, в которых циркулирует забортная вода. Охлаждаясь, пар превращается в конденсат. Забортную воду в трубки конденсатора подает центробежный циркуляционный насос. Конденсат откачивается конденсатным насосом **2** и направляется через охладители **3** и **4** в теплый ящик **12**.

В конденсатор вместе с отработавшим паром, а также через неплотности соединений, поступает воздух, который может постепенно заполнить весь объем конденсатора и разрежения там не будет. Поэтому необходимо весь воздух, поступающий в конденсатор, удалять. Для этого имеется 2-х ступенчатый пароструйный эжектор. Для понижения температуры воздуха, удаляемого из конденсатора, в нем устанавливается перегородка **5**, которая выделяет часть трубок конденсатора, где происходит охлаждение воздуха, удаляемого через патрубок **6**. Эта часть называется воздухоохладителем.

3 вопрос. Принцип работы конденсационной установки.

Пароструйный эжектор первой ступени состоит из сопла **7**, в который подводится свежий пар, камеры смешения **8** и диффузора **9**. Аналогично устроен и эжектор второй ступени. Свежий пар, расширяясь в сопле **7**, выходит из него с большой скоростью и увлекает за собой воздух, создавая разрежение в камере смешения. Затем паровоздушная смесь сжимается в диффузоре **9** и направляется в охладитель первой ступени **3**, прокачиваемый конденсатом. Здесь рабочий пар конденсируется, а воздух отсасывается эжектором второй ступени **10** и через охладитель второй ступени **4** удаляется по патрубку **11** в атмосферу.

Конденсат рабочего пара эжекторов из охладителя **3** по трубопроводу **13** стекает в конденсатор. Для того, чтобы вместе с конденсатом из охладителя эжектора первой ступени в конденсатор не возвращался воздух, устраивается гидравлический затвор **14**. Он представляет собой колено длиной 2,5 – 3 м на трубопроводе, по которому конденсат отводится из охладителя в конденсатор.

4 вопрос. Общее устройство поверхностного конденсатора.

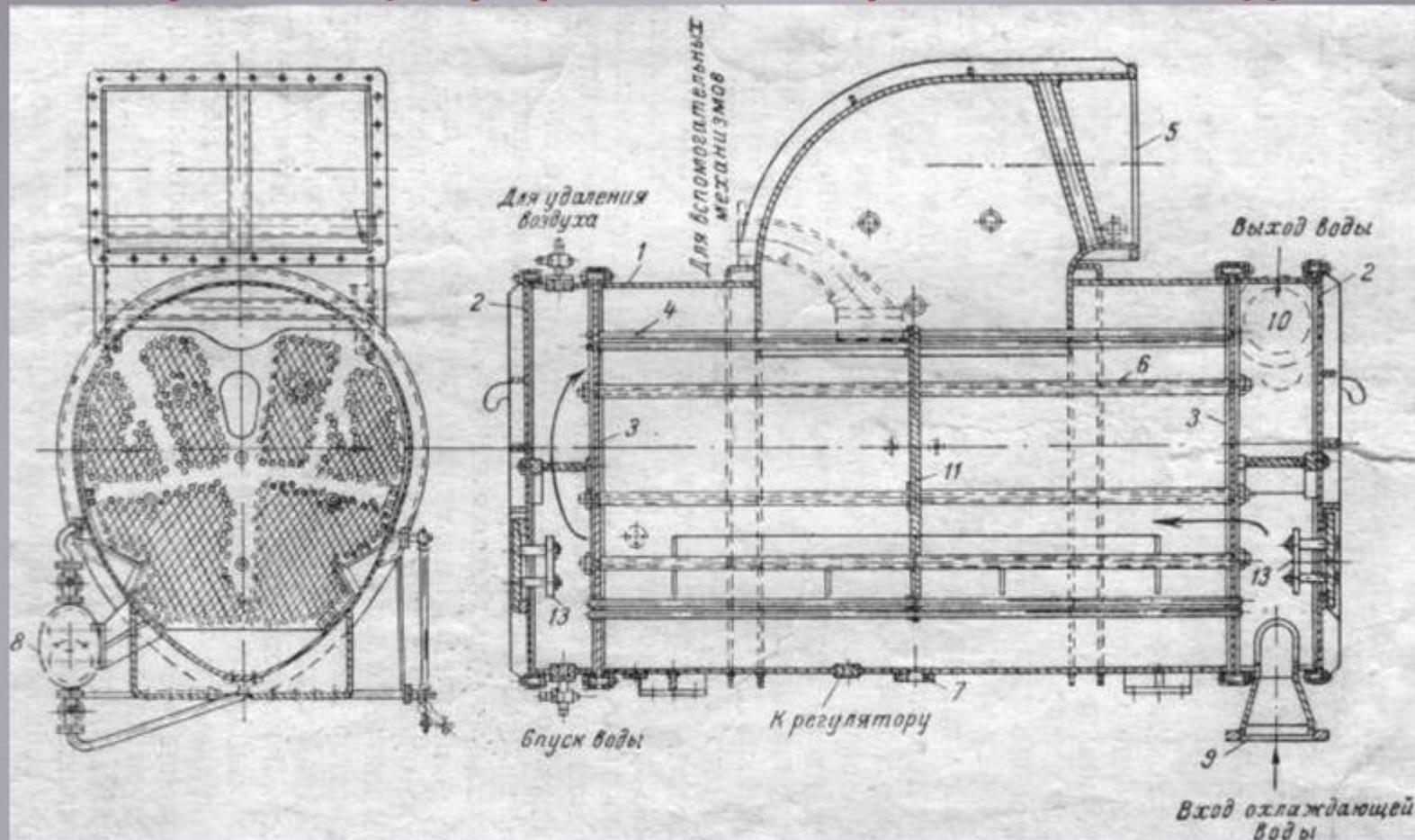


Рис. 3 Схема двухходового конденсатора поверхностного типа.

Устройство:

1 – корпус, стальной сварной;

2 – водяные камеры, стальные;

3 – трубные доски латунные;

4 – трубки (поверхности охлаждения)
латунные;

5 – патрубок отработанного пара;

6 – анкерные связи;

7 – патрубок отвода конденсата;

8 – выносной поплавковый регулятор уровня;

9, 10 – патрубки подвода и отвода
охлаждающей воды;

11 – диафрагма для предотвращения

4 вопрос. Общее устройство поверхностного конденсатора.

Принцип работы:

Охлаждающая вода подается циркуляционным насосом. Отработавший пар от паровой турбины поступает в конденсатор через патрубков 5. Регулирование уровня конденсата производится рециркуляцией, т.е. сбросом части конденсата из напорной магистрали конденсатного насоса после охладителей эжектора. Управление рециркуляционным клапаном, остановка и последующий пуск конденсатного насоса осуществляется поплавковым регулятором. При понижении уровня конденсата поплавков регулятора опускается, при этом регулятор сообщает паровое пространство конденсатора с линией рециркуляции. Тогда конденсат из напорного трубопровода конденсатного насоса будет возвращаться в конденсатор. Его количество регулируется поплавковым устройством.

4 вопрос. Общее устройство поверхностного конденсатора.

В обычных поверхностных конденсаторах температура конденсата оказывается ниже температуры пара, поступающего в конденсатор на $5 - 6$ °С. Эта разница температур называется переохлаждением конденсата. Переохлаждение конденсата вызывает перерасход топлива в паровом котле, т.к. чем ниже температура конденсата, тем больше требуется топлива для парообразования. Также при переохлаждении в конденсате растворяется воздух, который приходится удалять в деаэраторе или ИОФ обескислораживающем, чтобы избежать коррозии паровых котлов. Причиной переохлаждения конденсата является наличие воздуха в конденсаторе.

Уменьшение переохлаждения достигается тем, что часть отработавшего пара поступает по свободному от трубок пространству непосредственно в нижнюю часть конденсатора, где соприкасаясь с конденсатом, подогревает его. В этом случае переохлаждение конденсата не превышает $0,3 - 0,5$ °С.

Переохлаждение конденсата возникает тогда, когда часть поверхности нагрева теплообменного аппарата покрывается конденсатом и не участвует в теплообмене с конденсирующимся паром, вследствие чего температура конденсата снижается.

Переохлаждение конденсата зависит от конструкции конденсатора, его паровой нагрузки, температуры охлаждающей воды, воздушной плотности аппарата, а также эффективности работы эжектора. Переохлаждение конденсата приводит к дополнительным затратам топлива для получения необходимых параметров свежего пара.

Для сведения до минимума переохлаждения конденсата современные конденсаторы выполняются регенеративными—в них конденсат, сливающийся с поверхности теплообмена в конденсатосборник, подогревается встречным течением основного потока пара.

4 вопрос. Общее устройство поверхностного конденсатора.

В связи с тем, что для изготовления корпуса и поверхностей охлаждения используется разный металл: сталь и латунь, при работе конденсатора возникает электрохимическая коррозия этих поверхностей. Для предохранения трубок и трубных досок от разъедания гальваническими токами в водяных камерах устанавливают цинковые пластины (протекторы). Благодаря им ток, возникающий между цинковой пластиной и трубкой или трубной доской, разъедает цинк. Поэтому разрушенные пластины периодически очищают от окислов или заменяют новыми.

4 вопрос. Общее устройство поверхностного конденсатора.

Для управления работой и контроля на конденсаторе устанавливается арматура и контрольно-измерительные устройства, которые могут иметь сигнальные устройства.

Арматура, устанавливаемая на конденсаторе:

- предохранительный клапан
- воздушные краны
- спускные краны

КИП:

- вакуумметр
- водомерное стекло
- солемер
- расходомер охлаждающей воды
- дифференциальный манометр, измеряющий разность давлений в водяных камерах для определения степени загрязненности трубок.

Задание на самоподготовку

1. Выполнить конспект по изученной теме.
2. Выполнить схемы конденсатной установки и поверхностного конденсатора.
3. Подготовить реферат на тему «Детали поверхностного конденсатора: материал изготовления, устройство, способы крепления».

Литература

1. Учебник Верете А.Г. Судовые паровые и газовые энергетические установки