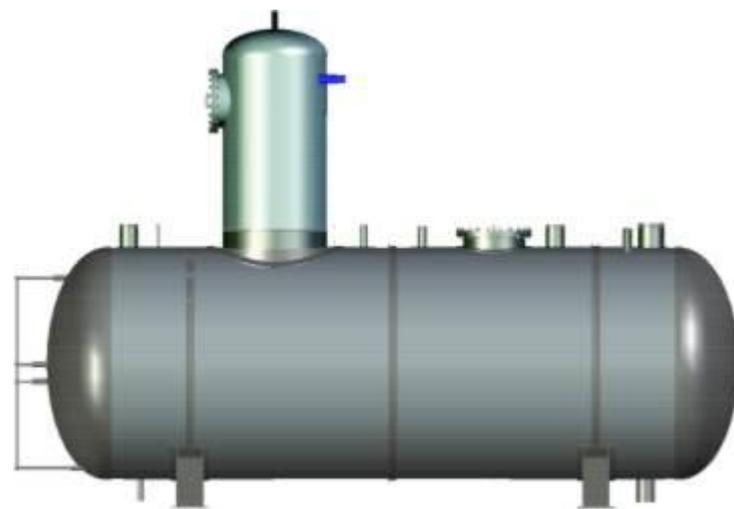


Деаэраторы

Лектор: профессор каф. АТЭС Коротких А.Г.



Содержание

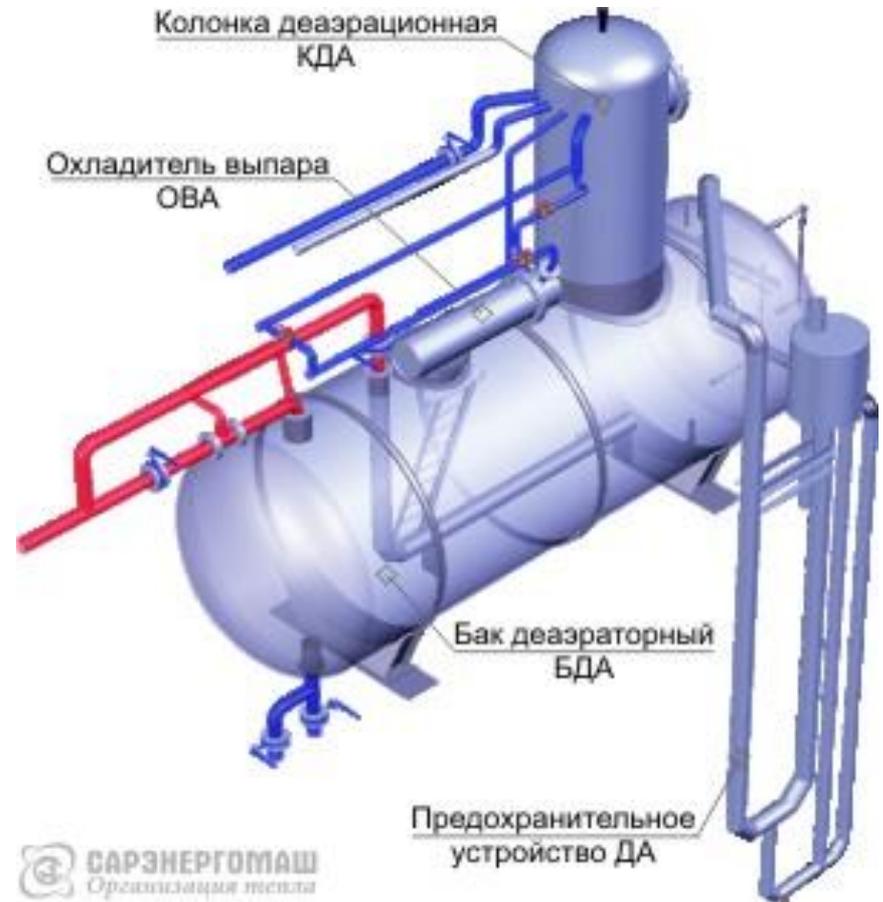
- Назначение деаэрационной установки.
- Способы деаэрации воды.
- Конструктивное выполнение деаэраторов.
- Деаэратор в реакторной установке РБМК-1000.
- Конструкция деаэрационной колоны.
- Описание процесса деаэрации.
- Применение и обозначения.

Назначение деаэрационной установки

Деаэратор по своему назначению несколько отличается от остальных элементов схемы. С одной стороны его можно рассматривать, как промежуточный подогреватель смешивающего типа, поскольку в него поступает горячий пар из второго отбора турбины и дренаж промежуточного пароперегревателя, а температура основного конденсата после прохождения через деаэратор увеличивается.

Деаэратор

Деаэратор — техническое устройство, реализующее процесс деаэрации некоторой жидкости (обычно воды или жидкого топлива), то есть её очистки от присутствующих в ней нежелательных газовых примесей. На многих электрических станциях также играет роль ступени регенерации тепла и бака запаса питательной воды.



Назначение деаэрационной установки

Основное назначение деаэратора – удаление газообразных примесей из теплоносителя. В воде конденсатно-питательного тракта могут присутствовать различные примеси: газообразные (кислород, углекислота, азот и т.д.), твердые (продукты коррозии), естественные (хлориды, кремнекислоты и другие).

Способы деаэрации воды и конструктивное выполнение деаэраторов

Для удаления газов из воды могут быть использованы химические и термические методы.

Химические методы основаны на избирательном взаимодействии удаляемых газов с дозируемыми реагентами. Практически химический метод применим только для удаления кислорода. Для этого используют гидразин, и то не как самостоятельный метод, для удаления небольшого количества кислорода. Вместе с гидразином в воду могут поступать другие примеси. Кроме того, гидразин является токсичным веществом. На АЭС применяют в основном термическую деаэрацию.

Способы деаэрации воды и конструктивное выполнение деаэраторов

Термический метод деаэрации.

В соответствии с законом Генри количество растворенного в воде газа, например кислорода – G_{O_2} , пропорционально парциальному давлению этого газа над жидкостью.

$$G_{O_2} = k_{O_2} \times P_{O_2}, \quad (1)$$

где:

G_{O_2} - количество растворенного в воде кислорода;

k_{O_2} - коэффициент абсорбции кислорода жидкостью или коэффициент растворимости кислорода, зависящий от температуры;

P_{O_2} - парциальное давление кислорода над жидкостью.

Способы деаэрации воды и конструктивное выполнение деаэраторов

Суммарное давление над уровнем воды:

$$P = P_{H_2O} + P_{O_2} + \Sigma P_{г} \quad (2)$$

где:

P_{H_2O} - парциальное давление водяных паров;

$\Sigma P_{г}$ - сумма парциальных давлений других, кроме кислорода, газов, растворенных в воде.

С учетом (2) уравнение (1) можно записать в виде:

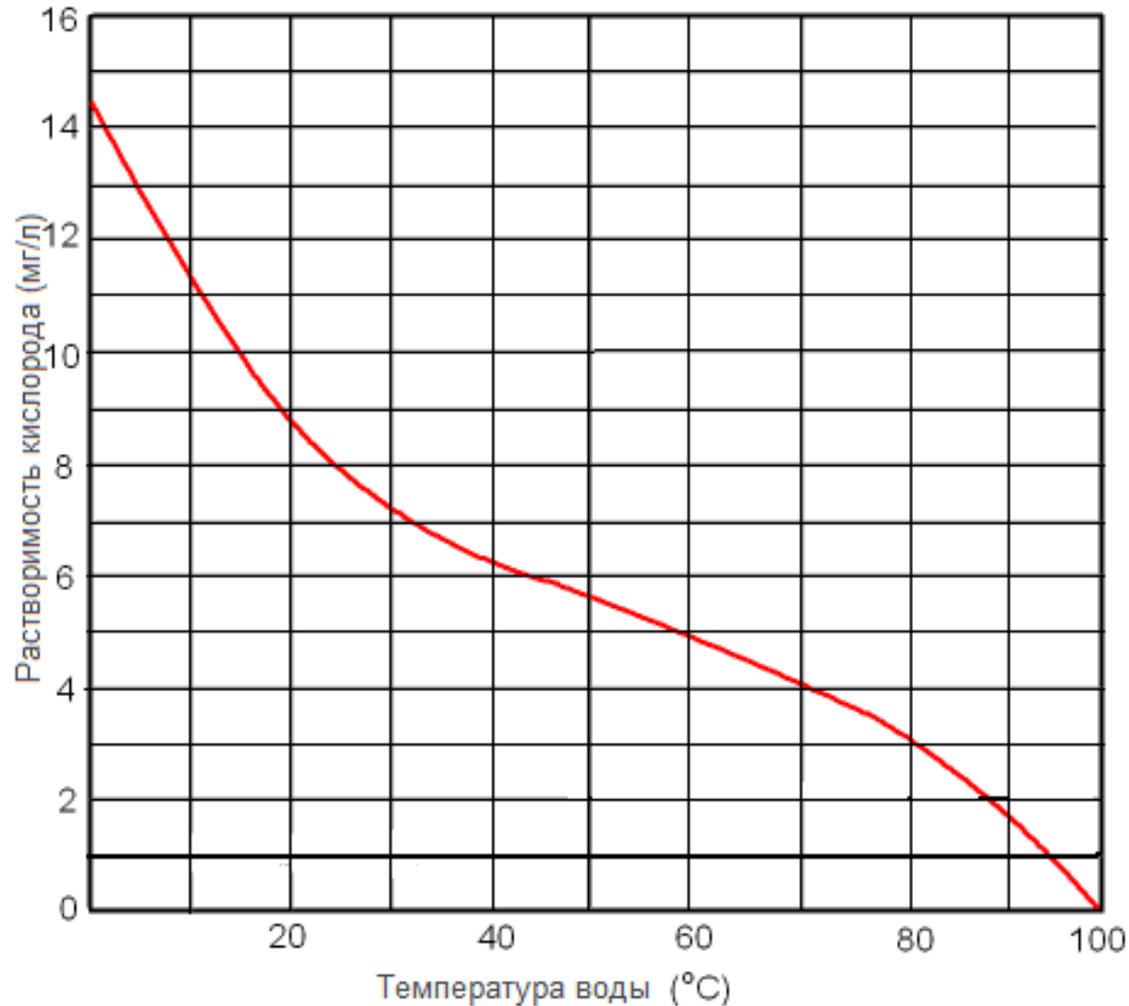
$$G_{O_2} = k_{O_2} \times (P - \Sigma P_{г} - P_{H_2O}) \quad (3)$$

Способы деаэрации воды и конструктивное выполнение деаэраторов

Нагревом воды можно уменьшать содержания кислорода поскольку коэффициент растворимости (k_{O_2}) уменьшается с ростом температуры. Несмотря на уменьшение количества кислорода в воде с повышением температуры оставшаяся его часть значительна.

Так, при изменении температуры воды от 20 до 60 °С количество растворенного в воде кислорода уменьшается с 9 до 5 мг/кг. Оставшаяся часть кислорода (5 мг/кг) в сотни раз превышает допустимые уровни.

Растворимость кислорода в пресной воде при 0,1 МПа в зависимости от температуры



Способы деаэрации воды и конструктивное выполнение деаэраторов

Из уравнения (3) следует, что для сведения к нулю содержания кислорода в воде необходимо выполнение условия:

$$P = P_{H_2O} \quad (4)$$

Это условие выполняется при повышении температуры воды до температуры насыщения, т. е. до кипения. При температуре кипения давление над водой определяется давлением насыщенных паров воды, а количество растворенного в воде кислорода равно нулю.

Способы деаэрации воды и конструктивное выполнение деаэраторов

Для выполнения условия (4) необходимо постоянно удалять выделившиеся из воды газы. Отводимая из деаэратора парогазовая смесь называется **выпаром**. Чем больше выпар, тем эффективнее будет работать деаэратор.

Деаэраторы могут быть смешивающие, поверхностные и перегретой воды.

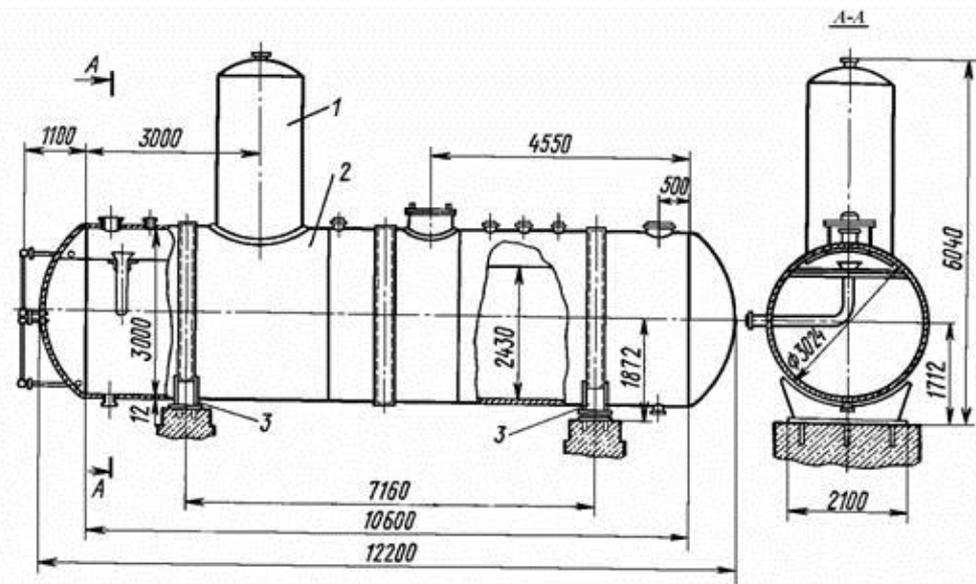
Деаэраторы подразделяются по давлению на вакуумные, атмосферные, повышенного давления.

Вакуумные деаэраторы устанавливаются на подпитке теплосети, **атмосферные** — на линии подачи добавочной воды и **деаэраторы повышенного давления** — на основном потоке конденсата.

Конструктивное выполнение деаэраторов

Само деаэрационное устройство представляет из себя деаэрационную колонну, в которой подогреваемая вода стекает сверху вниз, а навстречу ей снизу подается греющий пар.

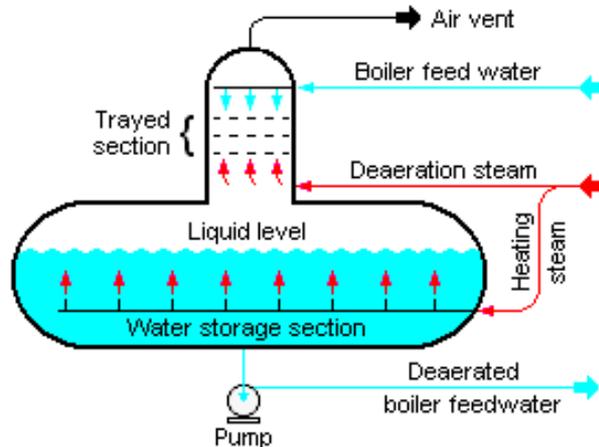
Деаэрационная колонна устанавливается на бак-аккумулятор питательной воды, куда стекает продеаэрированная вода.



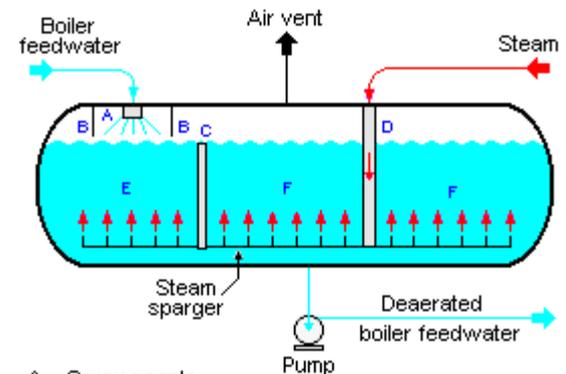
Типы деаэраторов

Существует большое количество видов вертикальных и горизонтальных деаэраторов, выпускаемых различными производителями, каждый из которых может иметь конструкционные отличия.

Существуют деаэраторы **тарельчатого** и **распылительного** типа



- Internal steam distributor piping
- Internal perforated pipe (water distributor)
- Perforated trays
- Low pressure steam
- Boiler feedwater



- A = Spray nozzle
- B = Spray nozzle shroud
- C = Baffle
- D = Steam supply pipe
- E = Preheating section
- F = Deaeration section

Деаэратор в реакторной установке РБМК-1000

Основные параметры деаэрата АЭС с реактором РБМК-1000

Проектно-заводские характеристики		
тип		ДСП-100
производительность	т/час	1000
давление рабочего тела	кгс/см ²	6.6
давление расчетное	кгс/см ²	7.5
температура рабочая	(°C)	167.5
внутренний диаметр	мм	2408
полная высота	мм	4661
емкость геометрическая	м ³	17
масса (с водой)	кг	23440
среда		пар-вода

Деаэрационная колонка ДСП-1000 (смешивающая, повышенного давления, струйного типа) предназначена для сбора всех потоков конденсата, нагрева их до температуры насыщения (температура $T = 167,5$ °C, при давлении $P = 7,6$ атм) и удаления из них растворенных газов.

Конструкция деаэрационной колоны

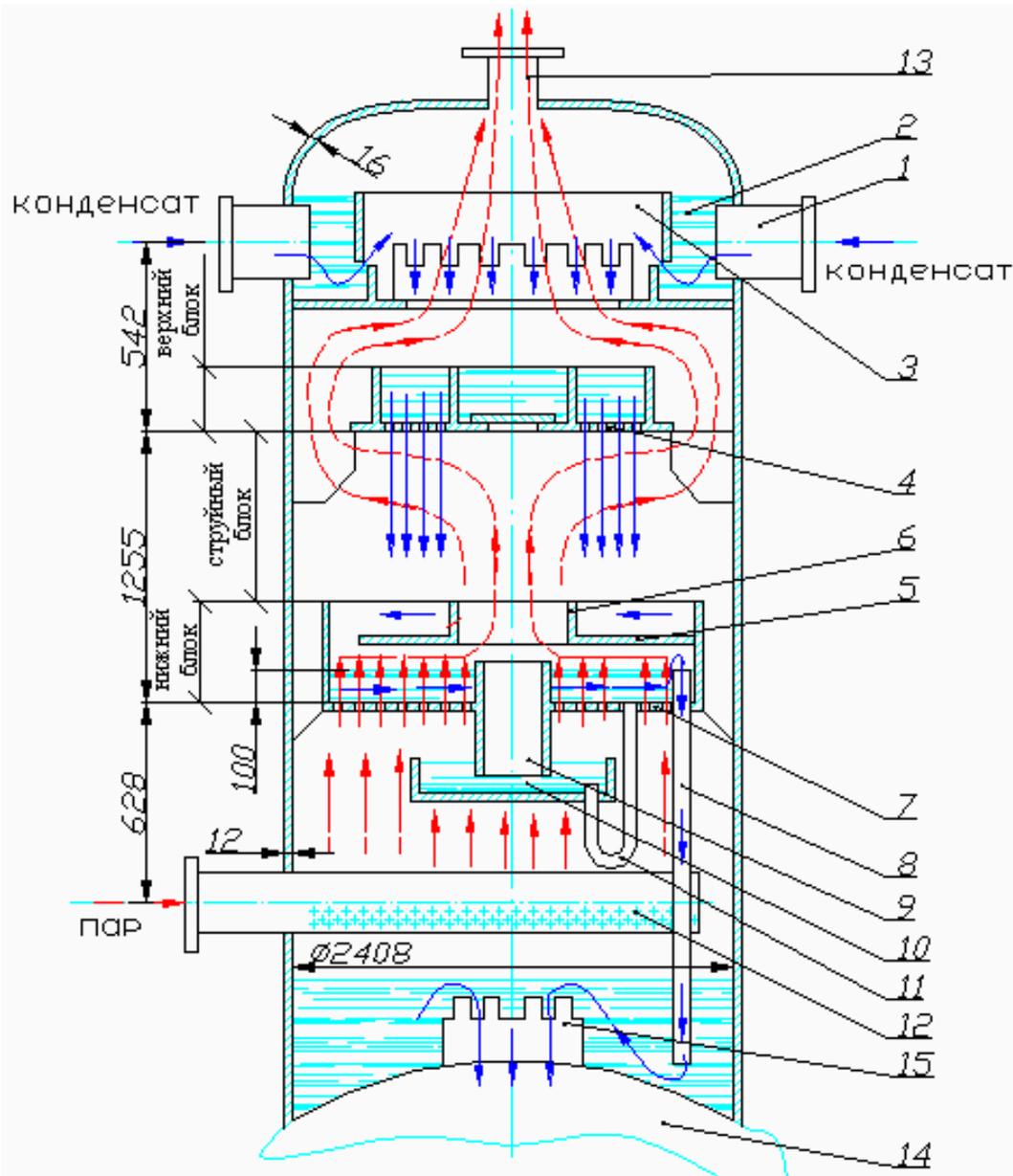


Схема деаэрационной колоны.

- 1 - штуцера ввода
- 2 - кольцевой приемный короб
- 3 - смесительное устройство
- 4 - перфорированное днище
- 5 - переливной лист
- 6 – горловина
- 7 - перфорированный лист
- 8 – сливные трубы
- 9 - паро-перепускной патрубков
- 10 – поддон
- 11 – пара водо-перепускных труб
- 12 - префорированный коллектор
- 13 - коллектор подвода греющего пара
- 14 - деаэрационному баку

Конструкция деаэрационной колонны

Деаэрационная колонна состоит из корпуса, кольцевого приемного короба, смесительного устройства, верхнего и нижнего блоков, коллекторов подвода греющего пара и горячих потоков дренажей.

Корпус представляет собой стальной цилиндр сварной конструкции с внутренним диаметром 2408 мм, изготовленный из листовой стали толщиной 12 мм, к которому приварена сферическая крышка.

Конструкция деаэрационной колоны

В верхней части корпуса расположен кольцевой приемный короб (2) для приема холодных потоков конденсата. Внутренняя обечайка короба в нижней части имеет прямоугольные окна, через которые конденсат поступает в смесительное устройство.

Смесительное устройство (3) предназначено для смешения холодных потоков конденсата, равномерного распределения их по периметру колонки и представляет собой короб, образованный внутренней обечайкой приемного короба и обечайкой смесительного устройства в верхней части, которой имеются прямоугольные вырезы расположенные по всему периметру.

Конструкция деаэрационной колонны

Верхний блок состоит из внутренней и наружных обечаек и перфорированного днища (4) (дырчатый щит), приваренного с низу. Для обеспечения жесткости конструкции равномерного распределения конденсата по всей поверхности дырчатого щита.

Нижний блок состоит из переливного листа (5) и барботажного устройства. С одной стороны переливной лист имеет вырез для слива воды в барботажное устройство, а в центре горловину (6) для прохода пара. В колонне переливной лист закреплен с помощью удерживающего каркаса.

Конструкция деаэрационной колоны

Барботажное устройство состоит из перфорированного листа (7), четырех сливных труб (8) приваренных со стороны противоположной сегментному вырезу переливного листа, выступающего над ним на 100 мм паро-перепускного патрубка (9), поддона (10) и двух водо-перепускных труб (11) соединяющих барботажный лист и поддон

Конструкция деаэрационной колонны

Под нижним блоком расположены коллектор подвода греющего пара (13) и коллекторы горячих потоков дренажей.

Коллектор греющего пара представляет собой перфорированную трубу $\text{Ø}325 \times 10$ мм. Отверстия расположены семью рядами на нижней части коллектора, что обеспечивает равномерное распределение пара по всему пространству колонки.

Коллекторы подвода дренажей представляют собой перфорированные трубы $\text{Ø}108 \times 6$ мм, вводы которых в колонку выполнены на одном уровне с коллектором греющего пара.

Описание процесса деаэрации

Холодные потоки конденсата через штуцера ввода (1) поступают в кольцевой приемный короб (2) и далее через прямоугольные окна на внутренней обечайке в смесительное устройство (3).

Из смесительного устройства при достижении определенного уровня, конденсат равномерным потоком по всему периметру поступает на перфорированное днище (4) верхнего блока.

Описание процесса деаэрации

Из верхнего блока конденсат пройдя через отверстия перфорированного днища, дробится на тонкие струи. Проходит через струйный отсек конденсат нагревается до температуры близкой к температуре насыщения и попадает на нижний блок. Сначала на переливной лист (5), затем через сегментный вырез переливного листа поступает на перфорированный лист (7) барботажного устройства.

По барботажному листу вода движется слева на право и обрабатывается паром, проходящим через отверстия щита. Происходит нагрев до температуры насыщения и окончательное удаление растворенных газов.

Описание процесса деаэрации

В конце барботажного листа вода через четыре сливные трубки (8), верхние концы которых, для обеспечения постоянного слоя воды, выступают на 100 мм над листом, поступает в нижнюю часть колонны и далее через сливную горловину (15) сливаются в деаэрационный бак (14).

Сливная горловина обеспечивает постоянный уровень воды в нижней части колонны перед поступлением ее в деаэрационный бак. Слив воды из сливных трубок происходит под этот уровень, что препятствует прохождению пара через сливные трубы в обход барботажного устройства.

Описание процесса деаэрации

Греющий пар из префорированного коллектора (12) подается под барботажный лист. Степень перфорации листа выбрана такой, что при минимальной нагрузке под листом создается устойчивая паровая подушка, исключая провал воды через отверстия листа. На барботажном листе происходит интенсивная паровая обработка слоя воды, движущейся в сторону сливных труб и глубокая и стабильная дегазация.

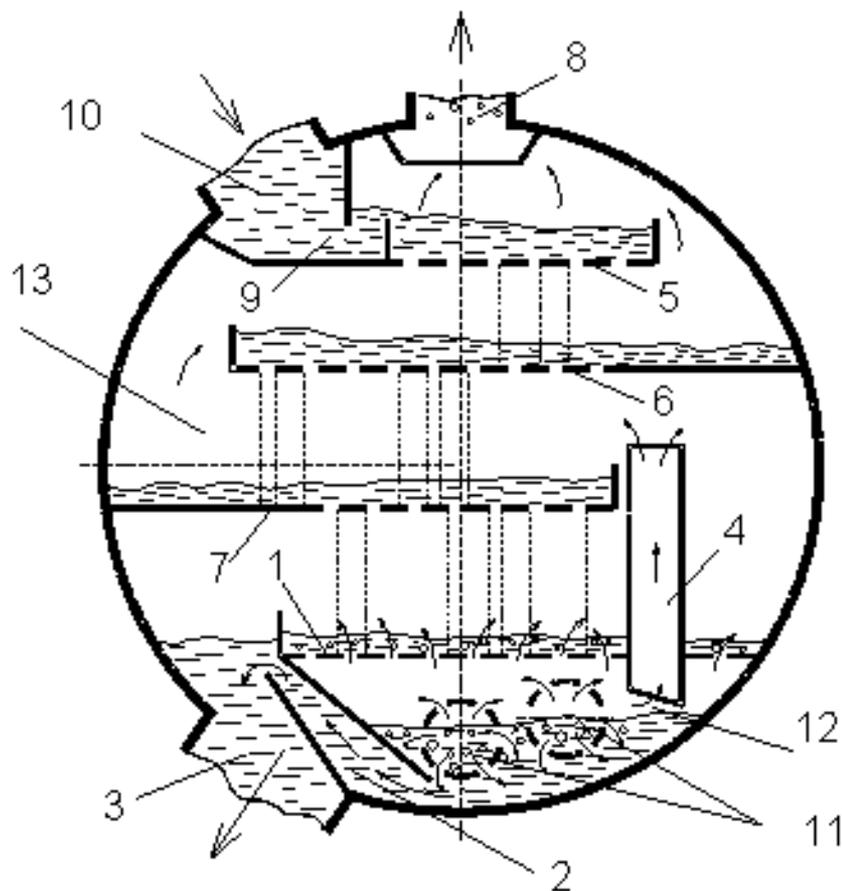
Не сконденсировавшийся пар и выделившиеся из воды газы поднимаются вверх и через горловину (6) переливного листа поступают в струйный отсек.

С увеличением производительности и расхода пара давление в паровой подушке возрастает, и пар в обход барботажного листа через паро-перепускной патрубок (9) гидрозатвора поступает в струйный отсек.

Описание процесса деаэрации

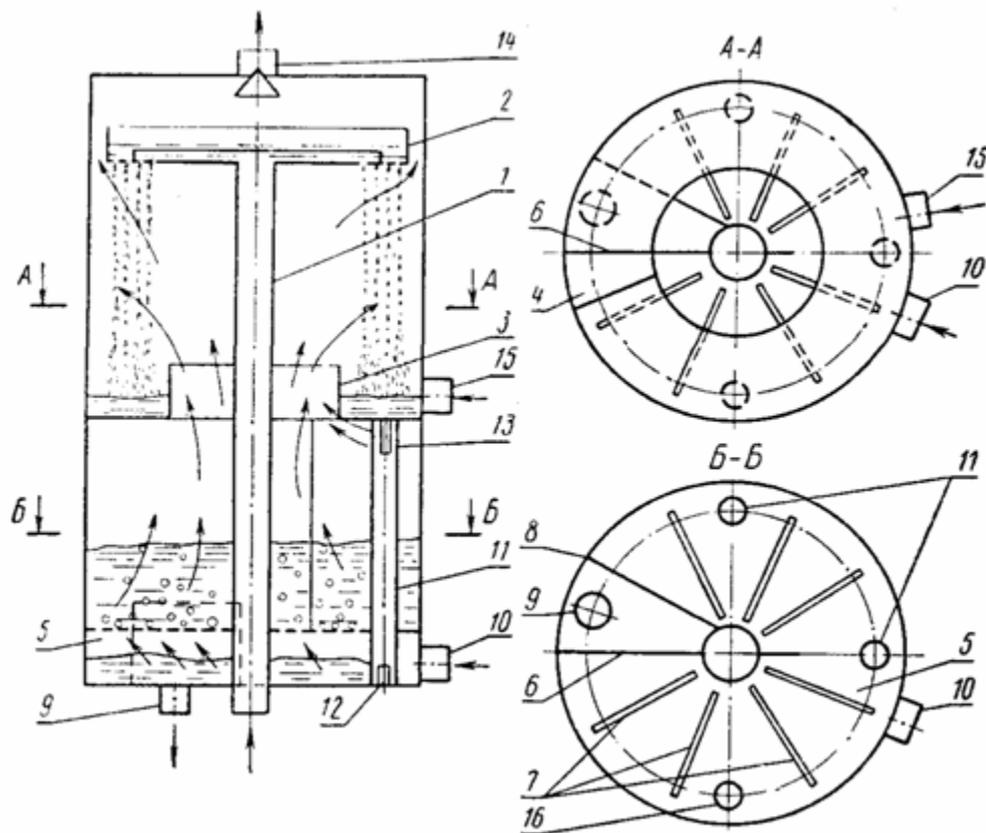
В струйном отсеке пар, двигаясь в верх, пересекает и оmyвает падающие вниз, с перфорированного днища струи воды. При этом происходит перемешивание воды с паром, подогрев ее до температуры, близкой к температуре насыщения при данном давлении в колонки и предварительная дегазация воды. Конденсат греющего пара присоединяется к струям воды, а несконденсированный греющий пар и выделившаяся из воды газ по периферии, через кольцевой зазор между корпусом и верхним блоком, проходят в верхнюю часть колонки, обеспечивая ее вентиляцию и подогрев встречных потоков воды, поступающих из смесительного устройства (3), и далее через штуцер выпара отводятся из колонки.

Струйно-барботажный вакуумный деаэратор горизонтального типа



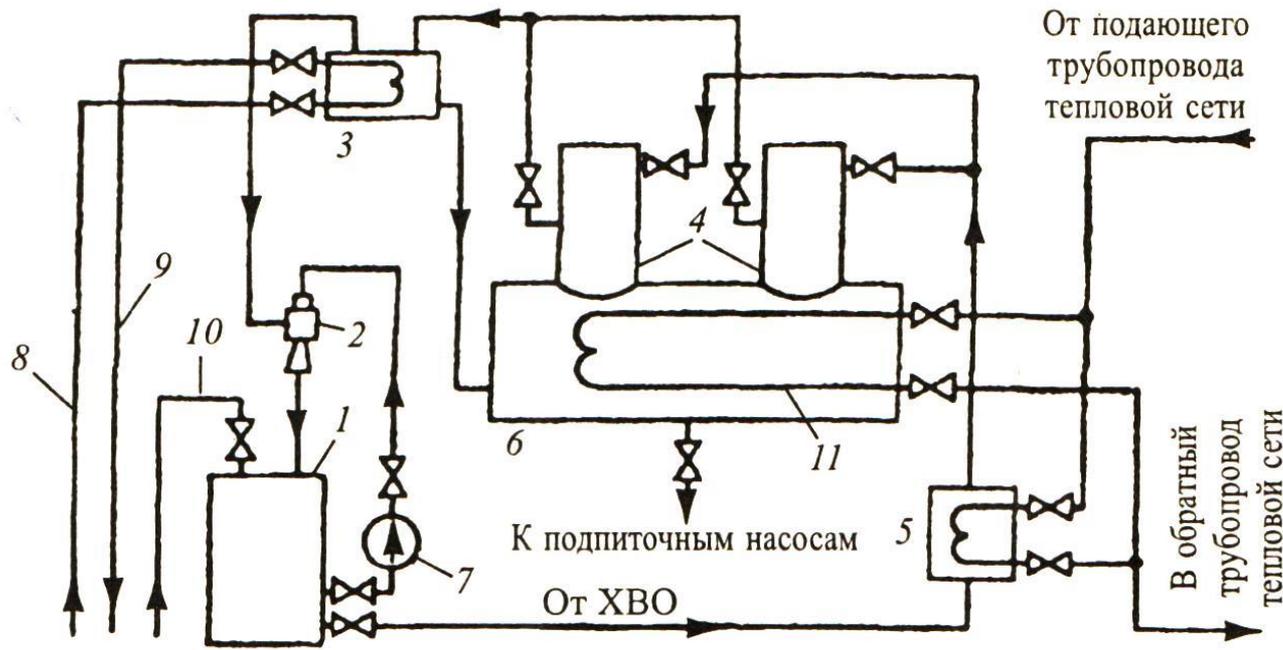
1 – барботажный лист; 2 – канал для прохода неиспарившейся перегретой воды; 3 – отвод деаэрированной воды; 4 – пароперепускной короб; 5, 6, 7 – тарелки соответственно первая, вторая и третья; 8 – отвод выпара; 9 – распределительный коллектор; 10 – подвод исходной воды; 11 – подвод греющего агента; 12 – испарительный отсек; 13 – деаэрационный отсек

Струйно-барботажный вакуумный деаэратор вертикального типа



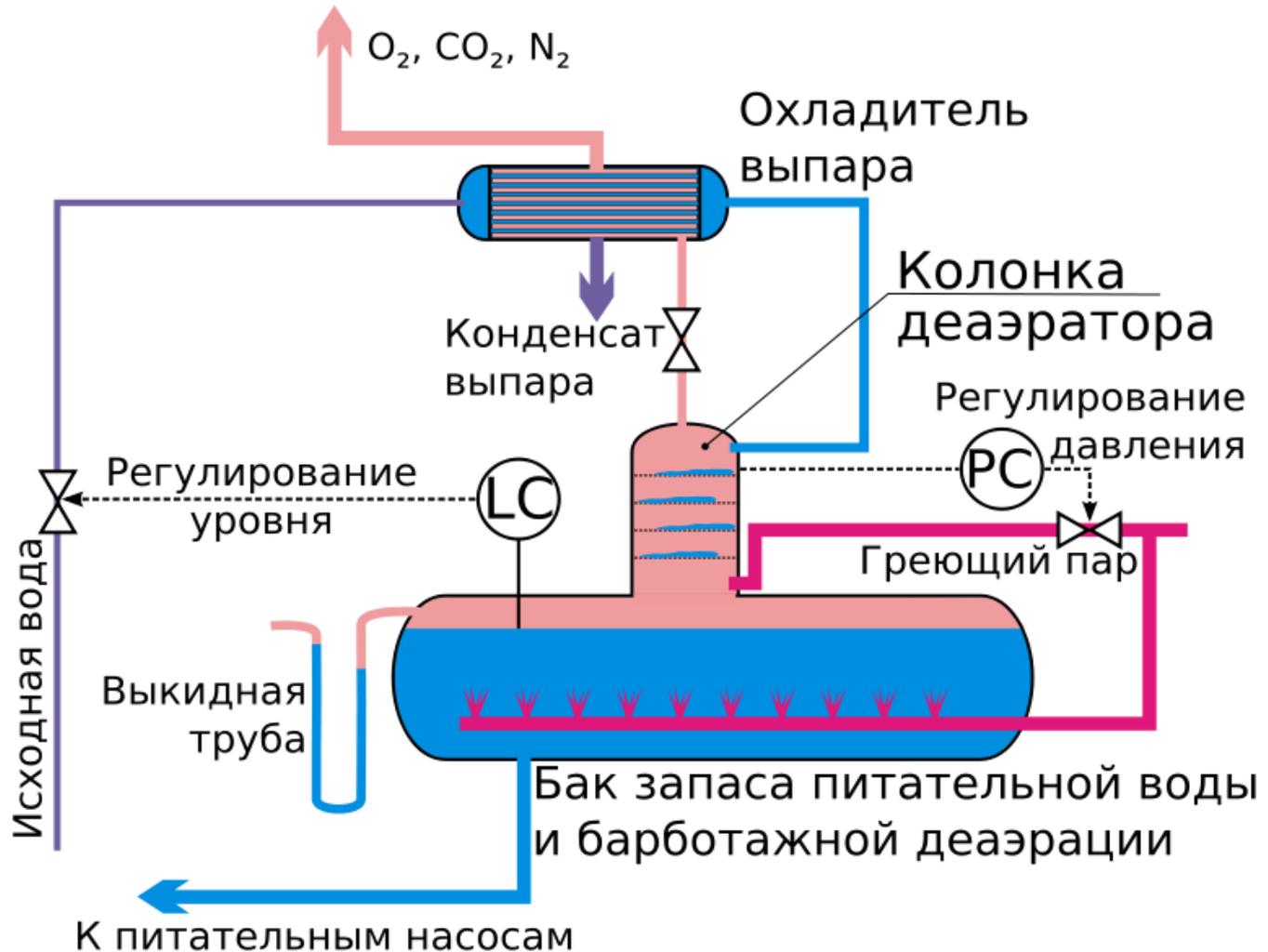
- 1 - отвод деаэрированной воды; 2 - барботажный лист; 3 - водосливной порог; 4 - коллектор; 5 - отвод выпара; 6 - верхняя тарелка; 7 - подвод исходной воды; 8 - перепускная тарелка; 9 - подвод конденсата; 10, 13 - отверстия для перепуска пара; 11 - перепускная труба; 12 - подвод греющей среды; 14 - водоперепускная труба; 15 - щели для прохода пара; 16 - вертикальная перегородка; 17 - сектор для слива воды

Схема включения вакуумного деаэратора

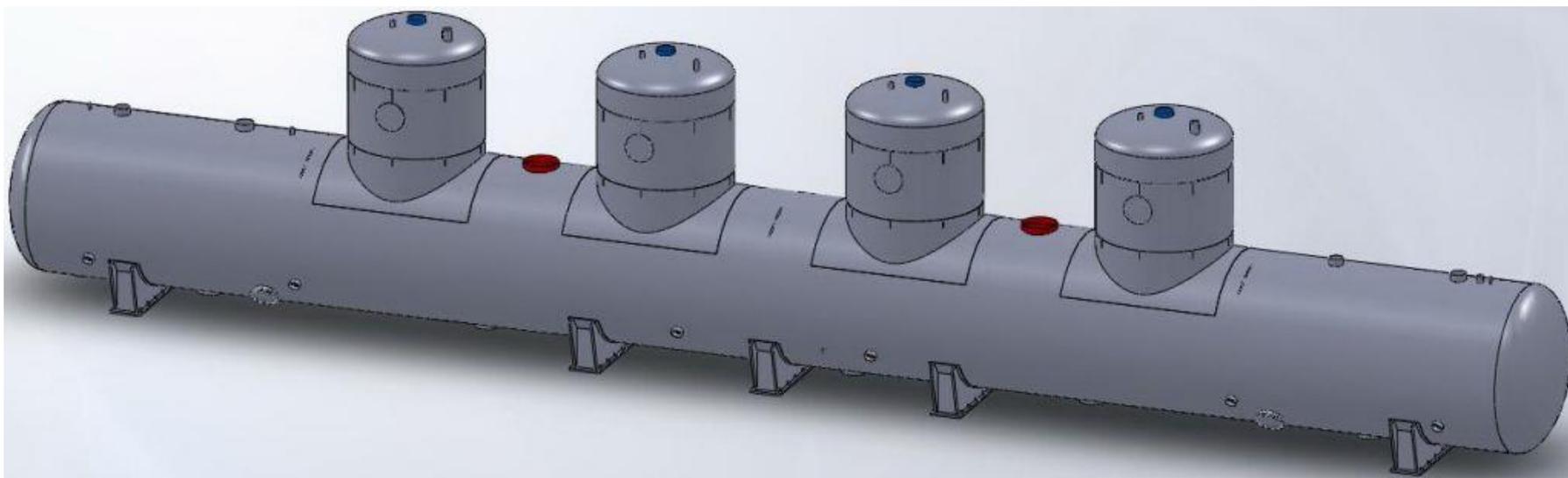


- 1 – бак-газоотделитель; 2 – водяной эжектор; 3 – охладитель выпара; 4 – деаэрационные колонки; 5 – водоводяной водоподогреватель; 6 – бак деаэрированной воды; 7 – центробежный насос; 8 - трубопровод городской воды; 9 – трубопровод воды к ХВО; 10- трубопровод заполнения бака-газоотделителя; 11 – змеевик

Термический струйный деаэратор



ДЕАЭРАТОР ДП-6400(4x1600)/250-А для блока 1200 МВт АЭС



В настоящее время разрабатываются деаэраторы повышенного давления производительностью 225, 500 и 1000 т/ч с малогабаритными колонками (с уменьшенным вертикальным габаритом) с улучшенными характеристиками.

Применение деаэраторов

Обозначение	Тип	Давление, МПа	Температура, °С	Применение
ДВ	Вакуумные	0,0075— 0,05	40—80	Подпиточная вода тепловых сетей, вода в тракте химической водоподготовки
ДА	Атмосферные	0,12— 0,13	102—107	Добавочная вода ТЭС, питательная вода испарителей, подпиточная вода тепловых сетей
ДП	Повышенного давления	0,6—1,2	158—188	Питательная вода энергетических паровых котлов и парогенераторов

Обозначения деаэраторов

- **Полезная вместимость деаэраторного бака** — расчетный полезный объём бака, определяемый в размере 85 % его полного объёма.
- ГОСТ устанавливает ряды для подбора ёмкости баков (для ДА 1—75 м³, ДП 65—185 м³) и производительности (1—2800 т/ч).
- Деаэратор обозначается по принципу ДА (ДП, ДВ) - (производительность, т/ч)/(полезная вместимость бака, м³).
- Колонки отдельно КДА (КДП)- (производительность).
- Баки БДА (БДП)-(вместимость).