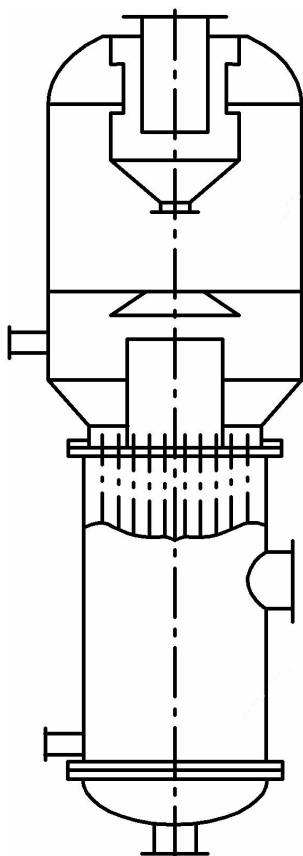


Л.Н. Овчинников

Расчёт однокорпусной выпарной установки

Учебное пособие



Иваново

2016

Министерство образования и науки Российской Федерации

Ивановский государственный химико-технологический университет

Л.Н. Овчинников

Расчёт однокорпусной выпарной установки

Учебное пособие

Иваново 2016

УДК 66.048

Овчинников, Л.Н. Расчёт однокорпусной выпарной установки:

учеб. пособие/Л.Н. Овчинников; Иван. гос. хим.-технол. ун-т.-Иваново, 2016.- 95 с.

В учебном пособии приведена методика технологического и конструктивного расчёта однокорпусной выпарной установки. Рассмотрены конструкции выпарных аппаратов, барометрических конденсаторов смешения и их узлов. Представлен справочный материал по выбору конструкций аппаратов, их узлов, а также физико-химических свойств некоторых растворов.

Предназначено для студентов-технологов и студентов-механиков, обучающихся по направлениям «Химическая технология», «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии» при выполнении курсовых и дипломных проектов. Кроме того, оно будет полезно для преподавателей специальных кафедр, осуществляющих консультирование студентов по темам, связанным с изучением процесса выпаривания в химической технологии.

Табл. 53 Ил. 23 Библиогр.: 13 назв.

Печатается по решению редакционно –издательского совета ФГБОУ ВО Ивановского государственного химико-технологического университета

Рецензенты:

кафедра гидравлики, теплотехники и инженерных сетей Ивановского государственного политехнического университета; доктор технических наук, профессор В.Е. Мизонов (Ивановский государственный энергетический университет).

© Овчинников Л.Н., 2016

© ФГБОУ ВО «Ивановский государственный химико-технологический университет», 2016

Оглавление

Обозначения	4
1. Общие положения	7
2. Технологический расчет	13
2.1. Материальный баланс выпарного аппарата	13
2.2. Тепловой баланс	13
2.3. Температурные потери и полезная разность температур	14
2.4. Теплопередача в выпарных аппаратах	16
3. Конструктивный расчет выпарного аппарата	19
3.1. Расчет числа труб в трубной решетке	19
3.2. Размещение труб в трубной решетке	19
3.3. Расчет диаметра корпуса аппарата	20
3.4. Расчет парового пространства	20
3.5. Расчет толщины стенки обечайки	24
3.6. Расчет толщины днища (крышки)	25
3.7. Расчет толщины трубной решетки	26
3.8. Расчет и выбор опор аппарата	28
3.9. Расчет барометрического конденсатора	29
3.10. Расчет высоты барометрической трубы	32
3.11. Расчет количества отсасываемого воздуха. Выбор конструкции вакуум-насоса	32
3.12. Пример расчета выпарной установки	33
Библиографический список	47
4. Приложение	48
4.1 Основные конструкционные материалы и их характеристики	49
4.2 Конструкции и размеры основных элементов выпарных аппаратов	51
4.3 Выпарные аппараты: типы, конструкции	71
4.4 Конденсаторы и насосы: типы, конструкции	80
4.5 Физико-химические и теплофизические свойства растворов и насыщенного водяного пара	84

Обозначения

G_H - расход исходного раствора, кг/с;

G_K - расход упаренного раствора, кг/с;

x_H - начальная концентрация раствора, мас.%;

x_K - конечная концентрация раствора, мас.%;

W - производительность аппарата по испаряемой воде (расход вторичного пара), кг/с;

G_{II} - расход греющего пара, кг/с;

i_{II} - энтальпия греющего пара, Дж/кг;

i_B - энтальпия вторичного пара, Дж/кг;

c_H - удельная теплоемкость начального (исходного) раствора, Дж/(кг·К);

c_K - удельная теплоемкость конечного (упаренного) раствора, Дж/(кг·К);

t_H - температура исходного раствора, °С;

t_K - температура упаренного раствора, °С;

i_K - энтальпия конденсата, Дж/кг;

Q - тепловой поток, Вт;

$r_{B,II}$ - удельная теплота испарения (растворителя), Дж/кг;

r_{II} - удельная теплота конденсации греющего пара, Дж/кг;

K - коэффициент теплопередачи, Вт/(м²·К);

$\Delta t_{пол}$ - полезная разность температур, °С;

t_r - температура греющего пара, °С;

$t_{B,II}$ - температура вторичного пара, °С;

$\Delta t_{\text{общ}}$ - общая разность температур, $^{\circ}\text{C}$;

$P_{\text{в.п}}$ - давление вторичного пара в аппарате, Па;

$\rho_{\text{р}}$ - плотность раствора, $\text{кг}/\text{м}^3$;

$\rho_{\text{в.п}}$ - плотность растворителя при температуре кипения, $\text{кг}/\text{м}^3$;

$t_{\text{ср}}$ - температура кипения растворителя при давлении $P_{\text{ср}}$, $^{\circ}\text{C}$;

$t_{\text{а}}^{\text{а}}$ - температура вторичного пара, соответствующая давлению в барометрическом конденсаторе, $^{\circ}\text{C}$;

α - коэффициент теплоотдачи, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$;

$\lambda_{\text{к}}$ - теплопроводность конденсата, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$;

$\rho_{\text{к}}$ - плотность конденсата, $\text{кг}/\text{м}^3$;

$\mu_{\text{к}}$ - вязкость конденсата, $\text{Па} \cdot \text{с}$;

r - удельная теплота испарения, $\text{Дж}/\text{кг}$;

$\lambda_{\text{р}}$ - теплопроводность раствора, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$;

$\sigma_{\text{р}}$ - поверхностное натяжение, $\text{Н}/\text{м}$;

$c_{\text{р}}$ - теплоемкость раствора, $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$;

$\mu_{\text{р}}$ - динамическая вязкость раствора, $\text{Па} \cdot \text{с}$;

$\rho_{\text{вп}}$ - плотность вторичного пара, $\text{кг}/\text{м}^3$;

$\rho_{\text{о}}$ - плотность вторичного пара при атмосферном давлении, $\text{кг}/\text{м}^3$;

$r_{\text{вп}}$ - теплота парообразования вторичного пара, $\text{Дж}/\text{кг}$;

$d_{\text{ц}}$ - диаметр циркуляционной трубы, м;

$d_{\text{н}}$ - наружный диаметр нагревательной трубки, м;

$d_{\text{вн}}$ - внутренний диаметр нагревательной трубки, м;

$D_{\text{к}}$ - внутренний диаметр нагревательной трубки, м;

$\nu_{\text{вп}}$ - кинематический коэффициент вязкости вторичного пара, м²/с;

$W_{\text{пп}}$ - скорость пара в паровом пространстве, м/с;

$D_{\text{с}}$ - внутренний диаметр сепаратора, м;

$V_{\text{пп}}$ - объем парового пространства, м³;

$c_{\text{в}}$ - удельная теплоемкость воды, Дж/(кг·К);

$t_{\text{вк}}$ - конечная температура охлаждающей воды в барометрическом конденсаторе, °С;

$t_{\text{н}}$ - начальная температура охлаждающей воды в барометрическом конденсаторе, °С;

$D_{\text{бк}}$ - диаметр барометрического конденсатора, м;

$G_{\text{в}}$ - расход охлаждающей воды в барометрическом конденсаторе, кг/с;

$t_{\text{бк}}$ - температура конденсата в барометрическом конденсаторе, °С;

$W_{\text{бтр}}$ - скорость воды в барометрической трубе, м/с;

$D_{\text{бтр}}$ - диаметр барометрической трубы, м;

$P_{\text{вак}}$ - вакуум в барометрическом конденсаторе, Па;

$P_{\text{бк}}$ - давление в барометрическом конденсаторе, Па;

$G_{\text{возд}}$ - количество отсасываемого воздуха из ловушки, кг/ч;

$P_{\text{п}}$ - парциальное давление водяного пара, Па.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Выпаривание – процесс концентрирования раствора нелетучего вещества путем удаления из кипящего раствора части растворителя в виде пара. Этот процесс получил широкое распространение в химической и смежных с ней отраслях промышленности при концентрировании растворов кислот, щелочей, минеральных солей, сахарных сиропов, опреснении морской воды и т.д. Иногда выпаривание завершают кристаллизацией веществ (выделение твердой фазы) из растворов, у которых удалена часть растворителя.

Способы выпаривания разнообразны. К ним относятся:

- простое (однокорпусное) выпаривание;
- многокорпусное выпаривание;
- выпаривание с использованием теплового насоса.

Простое выпаривание осуществляется периодически или непрерывно на установках небольшой производительности, когда не требуется экономии греющего пара. Схема установки простого выпаривания непрерывным методом представлена на рис.1.1.

Установка работает следующим образом.

Исходный раствор поступает в подогреватель (5). Здесь раствор нагревается до температуры кипения или близкой к ней и направляется в выпарной аппарат (6), в котором происходит выпаривание. В нижней части аппарата раствор воспринимает тепло греющего пара, поступающего в нагревательную камеру аппарата, и растворитель испаряется. Образующийся вторичный пар освобождается от брызг жидкости в сепарационной зоне аппарата и, проходя брызгоуловитель, поступает в барометрический конденсатор (9). В нем конденсируется вторичный пар, который, смешиваясь с охлаждающей водой, удаляется через барометрическую трубу (11) в канализацию. Упаренный раствор перекачивается насосом (7) в сборник готового продукта (8).

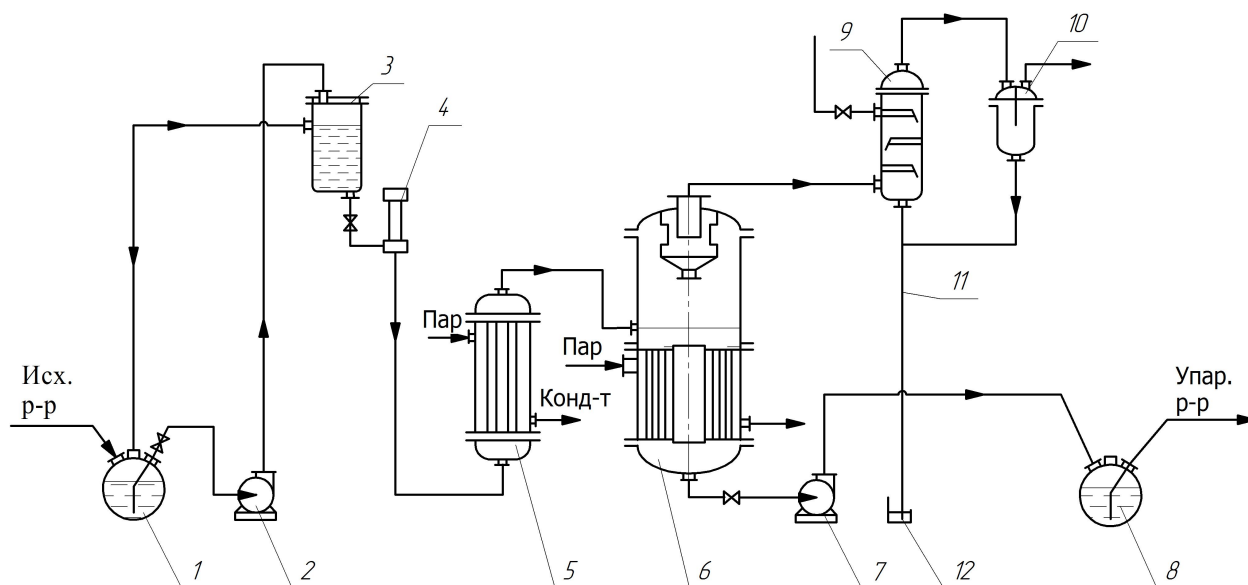


Рис. 1.1. Схема установки простого выпаривания непрерывного действия:

- 1 - ёмкость; 2 - насос; 3 - напорный бак; 4 - измеритель расхода;
- 5 - подогреватель; 6 - выпарной аппарат; 7 - насос; 8 - сборник готового продукта;
- 9 - барометрический конденсатор; 10 - ловушка;
- 11 - барометрическая труба; 12 - барометрический сборник

Выпаривание производят в выпарных аппаратах различных конструкций.

Их можно классифицировать по ряду следующих признаков:

- по расположению поверхности нагрева – на горизонтальные, вертикальные;
- по способу действия – на периодические и непрерывные;
- по характеру движения кипящей жидкости – с естественной и принудительной циркуляцией раствора;
- по кратности циркуляции – с однократной и многократной циркуляцией.

Конструкции выпарных аппаратов должны обладать простотой, надёжностью, технологичностью изготовления, монтажа и ремонта, стандартизацией узлов и деталей. В промышленности наиболее широкое распространение получили вертикальные выпарные аппараты

непрерывного действия с естественной циркуляцией раствора (рис.1.2; 1.3, в).

Нормальная работа этих аппаратов требует обеспечения следующих условий:

- уровень жидкости в циркуляционной трубе должен быть такой высоты, чтобы сообщить парожидкостной смеси движение в кипяtilьных трубках;

- разность между температурой греющего пара и раствора должна быть не менее $7-10^{\circ}\text{C}$.

Выпарные аппараты с принудительной циркуляцией раствора и пленочные выпарные аппараты изображены на рис.1.3, а, б. В выпарных аппаратах с принудительным движением раствора его циркуляция обеспечивается осевым или центробежным насосом, перекачивающим раствор из сепаратора в греющую камеру. Скорость движения жидкости в кипяtilьных трубках составляет $1,5-3,5$ м/с, что обеспечивает высокие значения коэффициентов теплопередачи. Выпарные аппараты с принудительной циркуляцией раствора используют при малых разностях температур греющего пара и раствора ($3 - 4^{\circ}\text{C}$), при выпаривании растворов, обладающих большой вязкостью, когда естественную циркуляцию осуществить трудно. Применение принудительной циркуляции наиболее эффективно при тепловых нагрузках порядка $q = 29000 - 40000$ Вт/м².

В пленочных выпарных аппаратах раствор должен двигаться вдоль поверхности нагрева в виде тонкой пленки со скоростью 20 м/с. Это обеспечивает высокие значения коэффициентов теплоотдачи. Выпаривание осуществляется за время однократного прохождения раствора. Подробное описание работы выпарных аппаратов изложено в литературе [1-4].

Основной задачей проектного расчета выпарной установки простого действия является определение поверхности нагрева выпарного аппарата, выбор его конструкции, расчет и выбор вспомогательного оборудования по ГОСТам, ОСТам, нормам и справочной литературе. Для определения поверхности нагрева осуществляют технологический расчет выпарного аппарата.

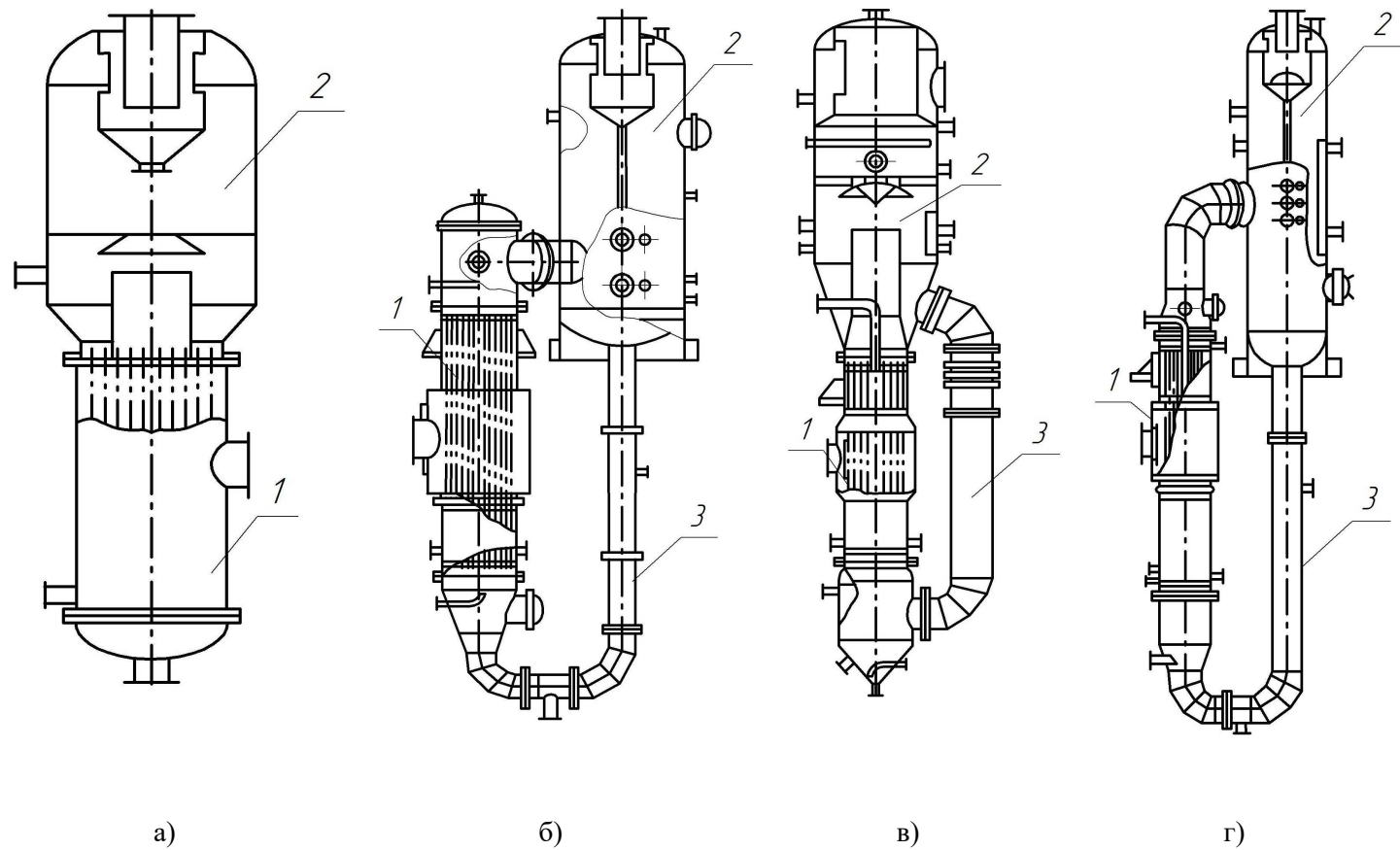


Рис.1.2. Выпарные трубчатые аппараты с естественной циркуляцией:

а – с соосной двухходовой греющей камерой (тип 1 исполнение 1);

б – вынесенной греющей камерой (тип 1 исполнение 2 группа А);

в – соосной греющей камерой и солеотделением (тип 1 исполнение 3);

г – вынесенной греющей камерой (тип 1 исполнение 2 группа Б)

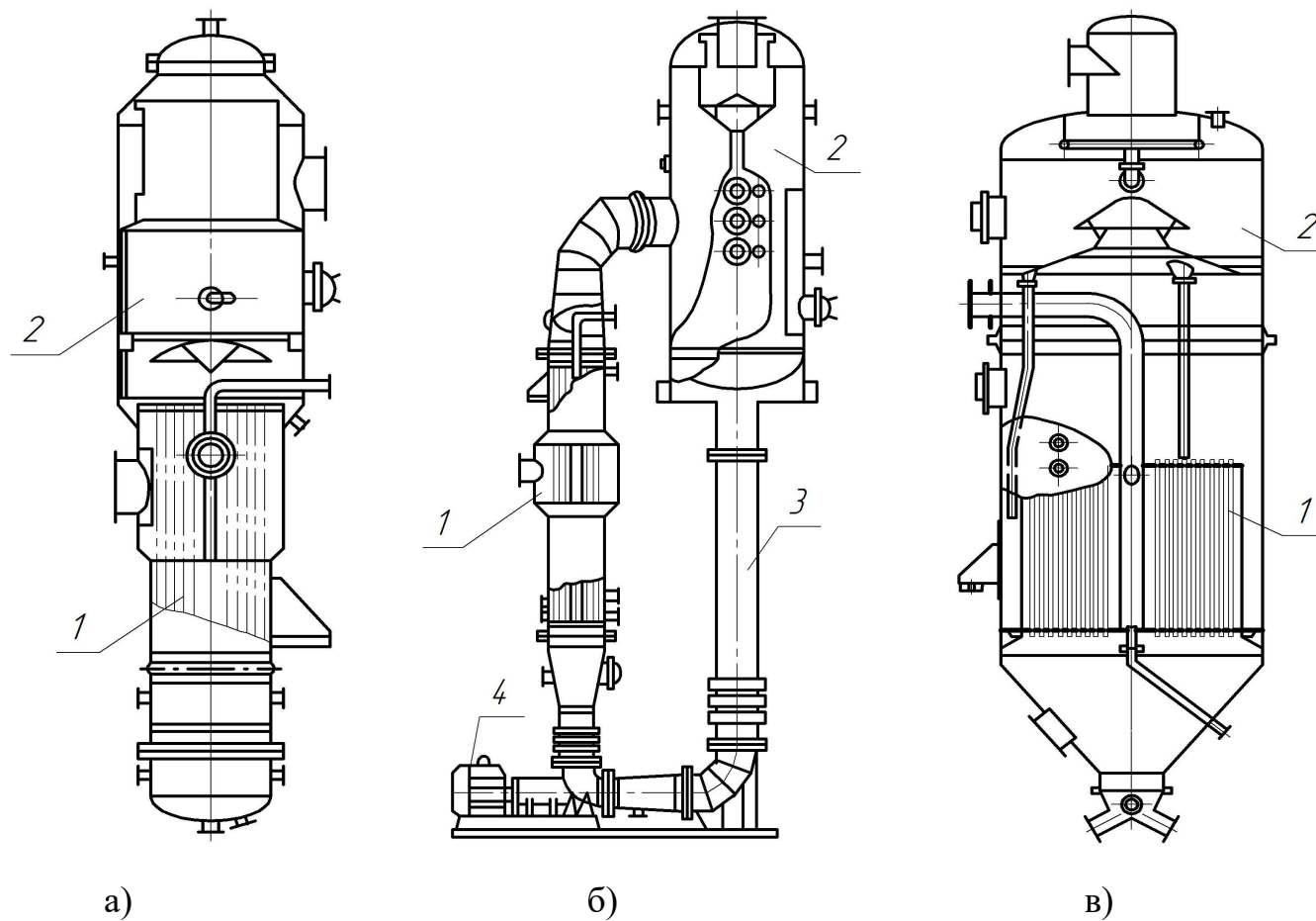


Рис. 1.3. Выпарные трубчатые аппараты

а – с восходящей пленкой (тип 3 исполнение 1);

б – с принудительной циркуляцией и вынесенной греющей камерой (тип 2 исполнение 1);

в – с естественной циркуляцией и подвесной греющей камерой;

1 – греющая камера; 2 – сепаратор; 3 – циркуляционная труба; 4 - электродвигатель

2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

2.1. Материальный баланс выпарного аппарата

Материальный баланс составляют для определения количества выпариваемой воды. Используя два равенства:

баланс по общему количеству вещества

$$W = G_H - G_K \quad (2.1)$$

и баланс по растворенному веществу

$$G_H x_H = G_K x_K, \quad (2.2)$$

получают уравнение для расчета количества удаляемого растворителя

$$W = G_H \left(1 - \frac{x_H}{x_K} \right). \quad (2.3)$$

2.2. Тепловой баланс

Тепловой баланс записывают в виде равенства:

$$G_{II} i_{II} + G_H c_H t_H = W i_B + (G_H - W) c_K t_K + G_{II} i_K \pm Q_D + Q_{II}, \quad (2.4)$$

где Q_D - теплота дегидратации, Вт; $Q_{II} = (G_{II} i_{II} + G_H c_H t_H) (0,03 \div 0,005)$ - потери теплоты в окружающую среду, $^{\circ}\text{C}$, равные 3-5% от статьи прихода.

Из (2.4) определяют количество теплоты Q , подводимой к раствору в аппарате и необходимой для удаления заданного количества растворителя:

$$Q = G_{II} (i_{II} - i_K) = G_H c_K (t_K - t_H) + W (i_B - c_K t_K) \pm Q_D + Q_{II} \quad (2.5)$$

или расход греющего пара, подаваемого в межтрубное пространство греющей камеры:

$$G_{II} = \frac{W (i_B - c_K t_K) + G_H c_K (t_K - t_H) + Q_{II}}{i_{II} - i_K}. \quad (2.6)$$

Как правило, величина Q_D мала по сравнению с Q и ей можно пренебречь, т.е. $Q_D = 0$.

Если $t_K = t_H$, то имеют:

$$G_{II} = \frac{W (i_B - c_K t_K) + Q_{II}}{i_{II} - i_K} \approx W \frac{r_B}{r_{II}}. \quad (2.7)$$

Поскольку теплота испарения возрастает с уменьшением давления, а давление греющего пара всегда больше, чем давление в аппарате, то

$$\frac{G_{\Pi}}{W} = \frac{r_{\text{в}}}{r_{\Pi}} \geq 1 . \quad (2.8)$$

Практически для выпаривания 1 кг воды в однокорпусном аппарате приходится затрачивать, как минимум, 1,1 кг греющего пара.

Зная теплоту Q , можно из основного уравнения теплопередачи определить площадь поверхности нагревательной камеры:

$$F = \frac{Q}{K \Delta t_{\text{пн}}} , \quad (2.9)$$

где K - коэффициент теплопередачи от греющего пара к раствору, Вт/(м²·К);

$\Delta t_{\text{пол}}$ - полезная разность температур, °С.

Порядок определения этих величин приводится ниже.

2.3. Температурные потери и полезная разность температур

Разность между температурой греющего пара и температурой вторичного пара на выходе из аппарата называют общей разностью температур $\Delta t_{\text{общ}}$.

$$\Delta t_{\text{общ}} = t_{\text{г}} - t_{\text{в.п.}} \quad (2.10)$$

Разность между температурой греющего пара и температурой кипения раствора в аппарате называют полезной разностью температур

$$\Delta t_{\text{пол}} = t_{\text{г}} - t_{\text{к}} , \quad (2.11)$$

где $t_{\text{к}}$ - температура кипения раствора, °С.

Общая разность температур больше полезной разности температур на величину температурных потерь $\Sigma \Delta t$:

$$\Sigma \Delta t = \Delta t_{\text{общ}} - \Delta t_{\text{пол}} . \quad (2.12)$$

Температурные потери составляют:

$$\Sigma \Delta t = \Delta t_{\text{гд}} + \Delta t_{\text{гд}} + \Delta t_{\text{гс}} , \quad (2.13)$$

где $\Delta t_{\text{тд}}$, $\Delta t_{\text{гс}}$, $\Delta t_{\text{гд}}$ – соответственно температурная, гидростатическая и гидравлическая депрессии.

Температурную депрессию рассчитывают как разность между температурой кипения раствора $t_{\text{к}}$ и температурой вторичного пара $t_{\text{в.п}}$, равной температуре кипения чистого растворителя:

$$\Delta t_{\text{тд}} = t_{\text{к}} - t_{\text{в.п.}} \quad (2.14)$$

Температурная депрессия, вычисленная при атмосферном давлении, называется нормальной ($\Delta t'_{\text{тд}}$). Для определения температурной депрессии при других давлениях используют формулу Тищенко:

$$\Delta t_{\text{тд}}^{\text{р}} = 16,2 \frac{T^2}{r} \Delta t'_{\text{тд}} \quad (2.15)$$

где T – температура кипения чистого растворителя (воды), $^{\circ}\text{К}$; $\Delta t'_{\text{тд}}$ – нормальная температурная депрессия, значения которой для различных водных растворов приведены в приложении (см. табл. 4.5.4), r – теплота парообразования при данном давлении, Дж/кг.

Гидростатическая депрессия учитывает изменение температуры кипения раствора по высоте слоя кипящей жидкости в аппарате. Обычно среднюю температуру кипения раствора рассчитывают на середину высоты греющих труб. В этом случае давление в среднем слое будет равно:

$$P_{\text{ср}} = P_{\text{в.п}} + 0,5 \rho_{\text{р}} g H_{\text{ур}} = P_{\text{в.п}} + \Delta P_{\text{гэф}}, \quad (2.16)$$

где $H_{\text{ур}}$ – высота уровня раствора; $P_{\text{в.п.}}$ – давление вторичного пара в аппарате, Па; $\Delta P_{\text{гэф}}$ – повышение давления в жидкости на глубине $0,5 H_{\text{ур}}$ от поверхности.

Высота уровня раствора $H_{\text{ур}}$ связана с высотой кипятильной трубки $H_{\text{тр}}$ следующей зависимостью:

$$H_{\text{ур}} = \Psi_{\text{ап}}^{\text{опт}} H_{\text{тр}}, \quad (2.17)$$

где - $\Psi_{\text{ап}}^{\text{опт}}$ относительная геометрическая характеристика, доли.

Эту величину определяют по эмпирическому уравнению:

$$\Psi_{\text{аі}}^{\text{ііо}} = \frac{26 + 0,14 (\rho_{\delta} - \rho_{\text{а}})}{100}, \quad (2.18)$$

где $\rho_{\text{р}}$, $\rho_{\text{в}}$ – соответственно плотности раствора и растворителя (воды) при температуре кипения, кг/м³.

Величину гидростатической депрессии определяют по разности температур:

$$\Delta t_{\text{гс}} = t_{\text{ср}} - t_{\text{в.п.}}, \quad (2.19)$$

где $t_{\text{ср}}$ - температура кипения растворителя при давлении $P_{\text{ср}}$, °С.

Гидравлическая депрессия $\Delta t_{\text{гд}}$ приводит к снижению температуры вторичного пара при переходе его из корпуса в барометрический конденсатор. Эту величину определяют по уравнению:

$$\Delta t_{\text{гс}} = t_{\text{в.п.}} - t_{\text{в}}^{\delta}, \quad (2.20)$$

где $t_{\text{в}}^{\delta}$ - температура вторичного пара, соответствующая давлению в барометрическом конденсаторе; $t_{\text{в.п.}}$ - температура вторичного пара, соответствующая давлению над раствором в аппарате.

При расчете однокорпусной установки гидравлическую депрессию принимают равной нулю, т.е. $\Delta t_{\text{гд}} = 0$.

Таким образом, зная температурные потери, рассчитывают температуру кипения раствора по формуле:

$$t_{\text{к}} = t_{\text{в.п.}} + \Delta t_{\text{гд}}^{\text{р}} + \Delta t_{\text{гд}} + \Delta t_{\text{гс}}. \quad (2.21)$$

2.4. Теплопередача в выпарных аппаратах

В промышленности наиболее широкое применение нашли выпарные аппараты, у которых нагревательная камера выполнена в виде трубчатого теплообменника. В этом случае теплопередача осуществляется от

греющего пара, поступающего в межтрубное пространство, к раствору, движущемуся в трубках.

Коэффициент теплопередачи от греющего пара к раствору через разделяющую их стенку определяют по формуле:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (2.22)$$

где α_1, α_2 - соответственно коэффициенты теплоотдачи от конденсирующего пара к стенке и от стенки к кипящему раствору, Вт/(м²·°C); $\sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i}$ - сумма термических сопротивлений всех слоев, из которых состоит стенка, включая слои загрязнений, Вт/(м²·°C).

Общее тепловое сопротивление R в формуле (2.22) рассчитывается по уравнению:

$$R = \frac{1}{\alpha_1} + r_{\text{загр1}} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + r_{\text{загр2}} + \frac{1}{\alpha_2}, \quad \frac{\text{м}^2 \text{град}}{\text{Вт}}; \quad (2.23)$$

где $r_{\text{загр1}} = 1 / \alpha_{\text{загр1}}$ и $r_{\text{загр2}} = 1 / \alpha_{\text{загр2}}$ - тепловые сопротивления ($\alpha_{\text{загр}}$) и проводимости ($1 / r_{\text{загр}}$) загрязнений по обе стороны стенки, определяются из табл. 4.5.10 (прил.).

Из уравнения (2.22) следует, что коэффициент теплоотдачи всегда меньше меньшего из коэффициентов теплоотдачи.

Коэффициент теплоотдачи α_1 , в случае конденсации пара на вертикальных трубках, рассчитывают по формуле:

$$\alpha_1 = \frac{A_1}{(q H_{\text{тр}})^{0,33}}, \quad (2.24)$$

где $H_{\text{тр}}$ - высота кипятильной трубы, м; q - удельный тепловой поток (при расчете задают в пределах $10 \cdot 10^3 \div 70 \cdot 10^3$ Вт/м²), A_1 - коэффициент, учитывающий физико-химические свойства конденсата.

$$A_1 = 2,6 \lambda_k \rho_k^{0,66} r_k^{0,33} \mu_k^{-0,33}, \quad (2.25)$$

где λ_k , ρ_k , r_k , μ_k - соответственно величины коэффициентов теплопроводности, плотности, удельной теплоты испарения конденсата и вязкости конденсата.

При конденсации на наружной поверхности горизонтальных труб коэффициент теплоотдачи α_1 рассчитывают по уравнению:

$$\alpha_1 = \frac{A_2}{(q d_n)^{0,33}}, \quad (2.26)$$

где d_n – наружный диаметр горизонтальной греющей трубки, м; q – удельный тепловой поток, Вт/м²; A_2 – коэффициент, учитывающий физико-химические свойства конденсата.

Коэффициент A_2 определяют по формуле:

$$A_2 = 0,66 \lambda_k \rho_k^{0,66} r_k^{0,33} g^{0,33} \mu_k^{-0,33}, \quad (2.27)$$

где g – ускорение силы тяжести, м/с².

Коэффициент теплоотдачи α_2 учитывает особенности теплоотдачи от стенки к кипящей жидкости, находящейся в трубках греющей камеры выпарного аппарата. Для выпарных аппаратов с естественной циркуляцией раствора характерно пузырьковое кипение при умеренных тепловых нагрузках $q = 10 \cdot 10^3 \div 70 \cdot 10^3$ Вт/м².

Коэффициент теплоотдачи α_2 от стенки к кипящему раствору для пузырькового кипения в вертикальных трубках определяют по уравнению:

$$\alpha_2 = A q^{0,6} = 780 q^{0,6} \frac{\lambda_p^{1,3} \rho_p^{0,5} \rho_{вп}^{0,06}}{\sigma_p^{0,5} r_{вп}^{0,6} \rho_o^{0,66} c_p^{0,3} \mu_p^{0,3}}, \quad (2.28)$$

где λ_p , ρ_p , σ_p , c_p , μ_p – соответственно, теплопроводность, плотность, кг/м³, поверхностное натяжение, теплоемкость, динамическая вязкость, Па·с, для раствора при температуре кипения; $\rho_{вп}$ и ρ_o – плотности вторичного пара при давлении в паровом пространстве и при атмосферном давлении, кг/м³; $r_{вп}$ – теплота парообразования вторичного пара.

3. КОНСТРУКТИВНЫЙ РАСЧЕТ ВЫПАРНОГО АППАРАТА

Основными задачами конструктивного расчета аппарата являются:

- 1) определение числа трубок греющей камеры, диаметра аппарата и размеров сепарационного пространства, толщины трубной решетки, обечайки, стенок крышек и днищ, изоляции, размеров штуцеров и фланцевых соединений;
- 2) выбор схемы размещения трубок в трубной решетке, днищ и крышек, опор аппарата и типа брызгоуловителя.

3.1. Расчет числа труб в трубной решетке

$$n = \frac{F}{\pi d_{\text{cp}} H_{\text{T}}}, \quad (3.1)$$

где F – поверхность нагрева аппарата, м^2 ; H_{T} – высота (длина) труб, м ;

$d_{\text{cp}} = (d_{\text{н}} + d_{\text{вн}}) 0,5$ – средний диаметр труб, м .

3.2. Размещение труб в трубной решетке

Размещение труб в трубных решетках производится по вершинам равносторонних треугольников, вершинам квадратов и концентрическим окружностям (см. приложение табл. 4.2.6). Наиболее рациональным является размещение по вершинам равносторонних треугольников, при котором при одном и том же шаге между трубами на решетке помещается максимальное количество труб.

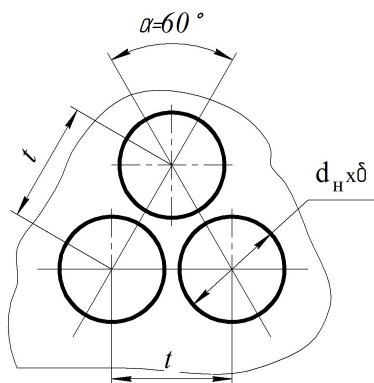


Рис.3.1. Схема размещения труб по вершинам равносторонних треугольников

Величина минимального шага между трубами:

$$t = \beta d_n = (1,25 \div 1,4) d_n . \quad (3.2)$$

3.3. Расчет диаметра корпуса аппарата

$$D_k = \sqrt{\frac{0,4 F \beta^2 d_n \sin \alpha}{\psi H_T} + A^2} , \quad (3.3)$$

где $\psi = 0,7 \div 0,9$ – коэффициент использования площади трубной решетки;

$A = d_{ц} + 2 \beta d_n$ – коэффициент, учитывающий наличие в трубной решетке циркуляционной трубы;

$$d_{ц} = \sqrt{\frac{4C f_{тр}}{\pi}} - \text{диаметр циркуляционной трубы, м;}$$

$C = 0,25 \div 0,35$ – опытный коэффициент;

$$f_{тр} = \frac{\pi d_{сп}^2}{4} n - \text{площадь суммарного сечения всех кипяtilьных труб, м}^2 .$$

Диаметр греющей камеры можно рассчитать также по уравнению:

$$D_c = t (b - 1) + 4 d_n . \quad (3.4)$$

Здесь b – количество труб на диаметре пространства размещения труб в решетке, определяемое по формуле:

$$b = 2 \sqrt{\frac{n-1}{3}} + 0,25 . \quad (3.5)$$

Полученное значение величины " b " уточняется в соответствии с данными в приложении табл.4.2.6.

3.4. Расчет парового пространства

Расчет парового (надрастворного) пространства предполагает определение диаметра сепаратора D_c и высоты зоны сепарации H_d (рис.3.3), от объема которой зависит качество отделения вторичного пара от кипящего раствора в аппарате. Неудовлетворительная сепарация может привести к значительному уносу мелких капель раствора из аппарата,

исключая тем самым дальнейшую возможность использования конденсата вторичного пара в теплотехнических целях.

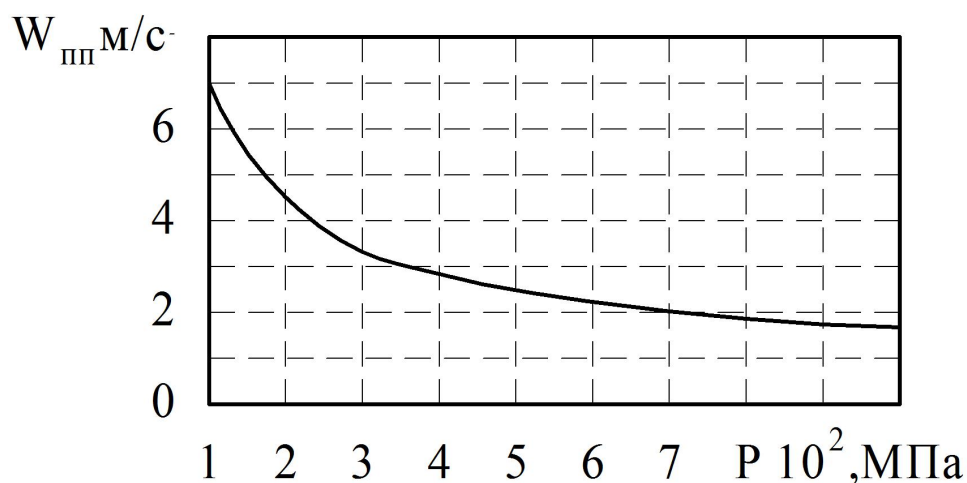


Рис. 3.2. Изменение допустимой скорости $W_{пт}$ пара в сепараторе в зависимости от абсолютного давления в барометрическом конденсаторе (1-7) 10^2 МПа

Из рис.3.2 следует что, скорость пара в паровом пространстве (по сечению сепаратора) не должна превышать 7 м/с при $P=0,01$ МПа.

Количество уносимого продукта в виде капель во многом зависит от свойств выпариваемого раствора (поверхностное натяжение, вязкость) и скорости вторичного пара в паровом пространстве. При низком поверхностном натяжении и высокой вязкости исходного раствора происходит пенообразование, что характерно, например, для коллоидных растворов. С целью снижения пенообразования в раствор вводят масла, ПАВ и т.д., осуществляют предварительную фильтрацию исходного раствора от взвешенных примесей. Если унос происходит без пенообразования, а только путем механического захвата мелких капель поднимающимся паром, то для снижения этого явления необходимо уменьшить скорость вторичного пара и увеличить высоту парового пространства, чтобы частицы успели осесть под действием силы тяжести.

Скорость пара в паровом пространстве рассчитывают по формуле:

$$W_{\text{шт}} = \frac{W}{0,785 D_c^2 \rho_{\text{вп}}}, \quad (3.6)$$

где W - расход вторичного пара, кг/с; D_c – диаметр сепаратора, м.

Расчёт скорости осаждения (витания) одиночной шарообразной капли под действием силы тяжести можно осуществить из анализа зависимости $Re = f(Ar)$.

С этой целью, определяют критерий Архимеда :

$$Ar = \frac{d_{\text{кап}}^2 (\rho_p - \rho_{\text{вп}}) \rho_{\text{вп}} g}{\mu_{\text{вп}}^2}, \quad (3.7)$$

где $d_{\text{кап}}$ – диаметр капли, обычно принимаемый $d_{\text{кап}} = 0,2 \div 0,8$ мм;

$\mu_{\text{вп}}$ – коэффициент динамической вязкости вторичного пара, Па·с;

$\rho_p, \rho_{\text{вп}}$ – соответственно плотность раствора и вторичного пара.

По численному значению критерия Архимеда выбирают вид зависимости $Re = f(Ar)$.

$$1. \quad Ar < 3,6 \quad Re = Ar/18 = 0,056 Ar. \quad (3.8)$$

$$2. \quad 3.6 < Ar < 100 \quad Re = 0,0593 Ar^{0,92}. \quad (3.9)$$

$$3. \quad 100 < Ar < 84 \cdot 10^3 \quad Re = 0,152 Ar^{0,715}. \quad (3.10)$$

$$4. \quad Ar > 84 \cdot 10^3 \quad Re = 1,74 Ar^{0,5}. \quad (3.11)$$

Из критерия Рейнольдса находят скорость осаждения (витания):

$$W_{\text{ос}} = W_{\text{вит}} = \frac{Re \mu_{\text{вп}}}{d_{\text{кап}} \rho_{\text{вп}}}. \quad (3.12)$$

С повышением скорости движения пара увеличивается подъёмная скорость и унос жидкости из аппарата. Если $W_{\text{шт}} > W_{\text{вит}}$, то капля поднимается и уносится при любой высоте сепарационного пространства.

Объем парового пространства над раствором рассчитывают по уравнению:

$$V_{\text{шт}} = \frac{W}{\rho_{\text{вп}} R_{v_1}}, \quad (3.13)$$

где W - расход вторичного пара, кг/ч;

R_{v_1} - допустимое напряжение парового пространства, $\text{м}^3/(\text{м}^3 \cdot \text{ч})$.

Допустимая величина напряжения парового пространства R_{v_1} может быть приближённо определена по выражению:

$$R_{v_1} = f_1 f_2 R_v ,$$

где R_v – допустимое напряжение парового пространства при атмосферном давлении (для раствора солей, минеральных кислот и щелочей $R_v = 1600 \div 1700 \text{ м}^3/(\text{м}^3 \cdot \text{ч})$; при выпаривании пенящихся растворов R_v уменьшают в 1,5 – 2 раза).

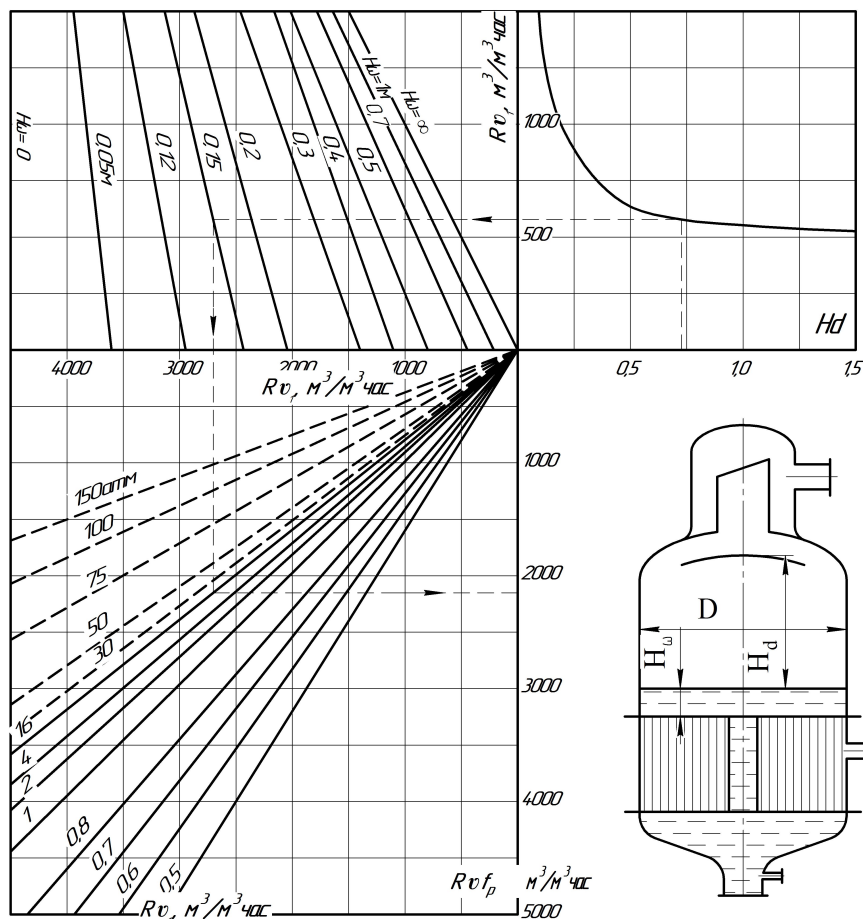


Рис 3.3. Номограмма для определения предельного напряжения парового пространства: H_w – высота раствора над кипящими трубками; H_d – высота парового пространства над кипящим раствором; f_p , R_v – предельное напряжение парового пространства.

Таблица 3.1

Р, атм, МПа	0	0,04	0,06	0,08	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,4
f_1	0,84	0,85	0,87	0,92	1	1,35	1,7	2,05	2,4	3,1

f_1 – коэффициент, зависящий от давления пара (абс.) в паровом пространстве.

Таблица 3.2

H_w , м	0	0,05	0,1	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5
f_2	1	0,83	0,69	0,59	0,51	0,4	0,32	0,27

f_2 – коэффициент, учитывающий уровень H_w раствора над точкой ввода парожидкостной смеси в паровое пространство (рис. 3.3).

Зная R_{v_1} , находят высоту и диаметр сепаратора по формулам:

$$D_c = \sqrt{\frac{V_{\text{мп}}}{0,785 W_{\text{мп}}}},$$

$$H_d = \frac{V_{\text{мп}}}{0,785 D_c^2}. \quad (3.14)$$

Обычно высоту парового пространства ориентировочно принимают не менее 1,5 м, а при выпаривании сильно пенящихся растворов 2,5-3 м.

3.5. Расчет толщины стенки обечайки

Минимальную толщину стенки цилиндрической обечайки, нагруженной внутренним избыточным давлением, рассчитывают по уравнению:

$$\delta_{\text{min}} = \frac{D_k P}{2 [\sigma] \varphi - P} + C_k, \quad (3.15)$$

где $\varphi = \varphi_{\text{ш}} \varphi_0$ - коэффициент ослабления обечайки из-за сварного шва

($\varphi_{ш} = 0,7 \div 1$) и наличия неукрепленных отверстий ($\varphi_0 = (D_B - d_0) / D_B$);

D_B – внутренний диаметр корпуса аппарата; d_0 – диаметр отверстия в корпусе; $[\sigma] = \eta \sigma^*$ – допускаемое напряжение на растяжение для материала обечайки, МН/м²;

η – поправочный коэффициент (для взрыво- и пожароопасных сред $\eta = 0,9$, в остальных случаях $\eta = 1$);

σ^* – нормативное допускаемое напряжение, МН/м²;

C_k – прибавка на коррозию материала ($C_k \approx 1 \div 1,5$ мм).

В связи с тем, что перед эксплуатацией аппарата проводят промышленные испытания с давлением, превышающим атмосферное в 2 ÷ 4 раза, то соответственно σ_{min} увеличивают в 2 ÷ 4 раза, т.е.

$$\sigma = (2 \div 4) \sigma_{min} . \quad (3.16)$$

3.6. Расчет толщины днища (крышки)

Толщина стенки эллиптического или полусферического днища (крышки) рассчитывается по формуле:

$$\sigma \geq \frac{P R}{(2 \varphi [\sigma] - 0,5 P)} + C_k , \quad (3.17)$$

где R – радиус кривизны в вершине днища, м.

($R = D_k$ – для эллиптических днищ; $R = 0,5 D_k$ – для полусферических днищ).

Толщину стенки конических днищ, нагруженных внутренним избыточным давлением, определяют по уравнению:

$$\sigma \geq \frac{0,8 P D_k}{(2 \varphi [\sigma] - P)} \frac{1}{\cos \alpha} + C_k , \quad (3.18)$$

где α – половина угла при вершине конуса.

Для расчета толщины стенки плоской крышки используют выражение:

$$\sigma \geq 0,41 D_{\text{сп}} \sqrt{\frac{P}{[\sigma]} + C_{\text{к}}}, \quad (3.19)$$

где $D_{\text{сп}}$ – средний диаметр прокладки ($D_{\text{сп}} = D_{\text{н}} + b^*$);

$D_{\text{н}}$ – наружный диаметр цилиндрической обечайки, м;

b^* – ширина прокладки ($b^* = 15 \div 25$ мм), м.

3.7. Расчет толщины трубной решетки

Наиболее распространенные конструкции трубных решеток приведены на рис.3.4

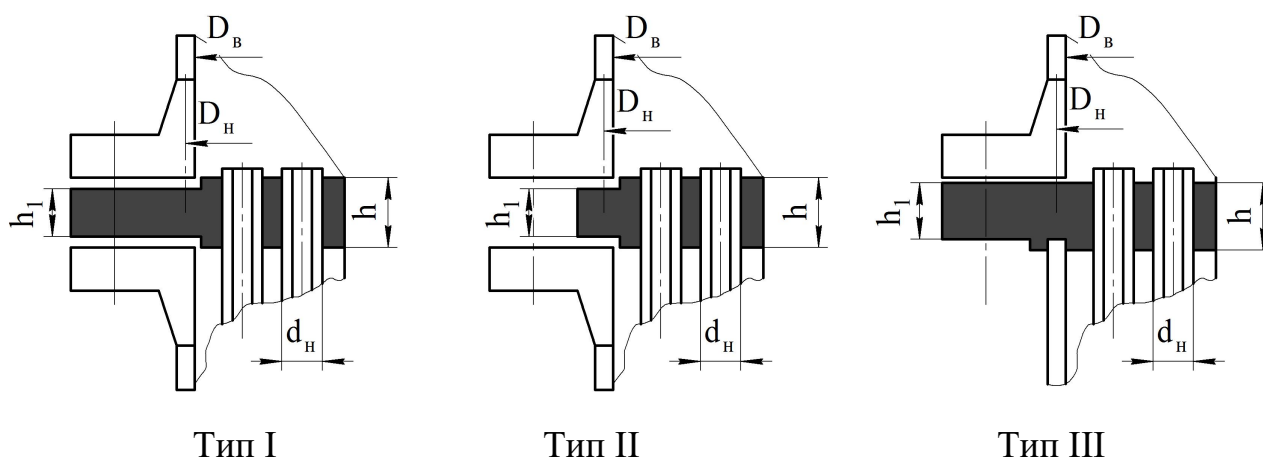


Рис.3.4. Конструкции трубных решеток

Толщину трубной решетки можно ориентировочно определить по уравнению:

$$h = K D \sqrt{\frac{P}{\varphi_0 [\sigma]_{\text{н}}} + C_{\text{к}}}, \quad (3.20)$$

где K , D и P – параметры, значения которых для различных типов решеток приведены в табл. 3.3;

$[\sigma]_{и}$ – допускаемое напряжение на изгиб для материала трубной решетки, МН/м^2 , (ориентировочно $[\sigma]_{и} = (0,7 \div 0,8) [\sigma]$);

φ_0 – коэффициент ослабления решетки отверстиями:

$$\varphi_0 = (D_{п} - b d_{н}) / D_{п}, \quad (3.21)$$

где b – число труб на диаметре решетки;

$P_{\text{мтр}}$ – давление в межтрубном пространстве при условии, что оно наибольшее по значению во всем аппарате;

$D_{п}$ – средний диаметр уплотняющей прокладки (рассчитывается в зависимости от типа решетки и размеров фланцевого соединения);

Таблица 3.3

Параметры для выбора типа трубной решетки

Тип решетки	K	D, м	P, МПа
I	0,47	$D_{п}$	$P_{\text{мтр}}$
II	0,45	$D_{п}$	$P_{\text{мтр}}$
III	0,47	$D_{п}$	$P_{\text{мтр}}$

Толщину трубной решетки h_1 можно рассчитать из соотношения:

$$h_1 = K_1 D_{п} \sqrt{\frac{P}{[\sigma]_{и}}} + C_k, \quad (3.22)$$

где K_1 – коэффициент, зависящий от типа решетки.

Таблица 3.4

Значения опытного коэффициента K_1 для различных типов решеток

Тип решетки	I	II	III
K_1	0,28	0,36	K_{1III}

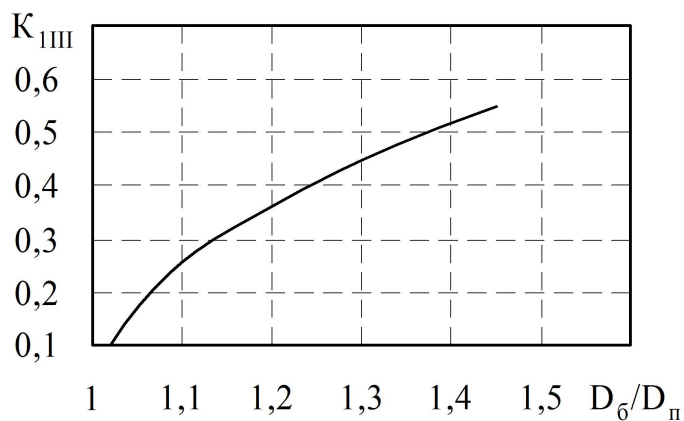


Рис.3.5. Значение опытного коэффициента $K_{1,III}$ от симплекса $D_б/D_п$

$D_б$ – диаметр болтовой окружности, м;

$D_п$ – диаметр прокладки, м.

Высоту (толщину) трубной решетки необходимо проверить исходя из надежности закрепления в ней труб. Так, при развальцовке труб:

$$h \geq 0,125 d_n + 0,005 + C_k, \quad (3.23)$$

где d_n – наружный диаметр, м.

3.8. Расчет и выбор опор аппарата

Для закрепления вертикальных аппаратов, установленных в помещении, обычно используют подвесные опорные лапы, которые рекомендуется располагать выше центра масс аппарата.

Нагрузка на подвесную опорную лапу определяется максимальным весом аппарата (металлоконструкций и жидкостью в трубном и межтрубном пространстве).

$$Q = \frac{M_{\max}}{t} = \frac{M_{\text{мат}} + M_{\text{ж}}}{z}, \quad (3.24)$$

где z – число лап (определяется конструктивно); $M_{\text{мат}}$ – масса металлоконструкций аппарата, кг (в соответствии с ГОСТом), $M_{\text{мат}} = \rho_{\text{м}} V_{\text{ап}}$ (для стали $\rho_{\text{м}}=7900$ кг/м³);

$$M_{\text{ж}} = \rho_{\text{ж}} (V_{\text{тр}} + V_{\text{мтр}}), \quad (3.25)$$

где $V_{\text{ап}}$, $V_{\text{тр}}$, $V_{\text{мтр}}$ – соответственно, объемы аппарата, трубного и межтрубного пространства, м³.

По расчетной нагрузке Q выбирают размеры лапы в соответствии с табл.4.2.17 (приложение).

3.9. Расчет барометрического конденсатора

Конденсаторы смешения применяются для улавливания вторичного пара после выпарного аппарата. В результате конденсации вторичного пара в конденсаторах, охлаждаемых водой, создается вакуум. Однако из-за подсоса воздуха через неплотность поддерживать вакуум в конденсаторе затруднительно. Для удаления воздуха из конденсаторов применяют вакуум-насосы. Обычно абсолютное давление в конденсаторах составляет 0,01 ÷ 0,03 МПа (0,1 ÷ 0,3 ата).

Конденсаторы смешения бывают прямоточные и противоточные. На установках большой производительности чаще применяются противоточные барометрические конденсаторы, схема которого изображена на рис. 3.6. Для улучшения соприкосновения пара с водой в аппарате расположены тарелки с отверстиями. Высота барометрической трубы должна быть не менее 1 м на каждые 0,01 МПа разрежения.

Расход воды определяют из уравнения теплового баланса:

$$G_{\text{в}} = \frac{W (i_{\text{в}} - c_{\text{в}} t_{\text{вк}})}{c_{\text{в}} (t_{\text{вк}} - t_{\text{н}})}, \quad (3.26)$$

где W – количество конденсируемого пара, кг/с; i_v – энтальпия поступающего пара, Дж/кг; c_v – удельная теплоемкость воды, Дж/(кг·К); $t_{вк}$ – конечная температура охлаждающей воды, °С; t_n – начальная температура охлаждающей воды.

Температура уходящей воды $t_{вк}$ должна быть всегда меньше температуры конденсации. Разность между температурой конденсации и температурой уходящей воды составляет 3-5 °С. Обычно расход воды в конденсаторах составляет от 10 до 60 кг на 1 кг конденсируемого пара.

Диаметр барометрического конденсатора $D_{бк}$ определяют из уравнения расхода:

$$D_{бк} = \sqrt{\frac{4 W}{\rho_{вп} \pi W_{вп}}}, \quad (3.27)$$

где $W_{вп}$ – скорость вторичного пара на полное сечение конденсатора, м/с.

Скорость $W_{вп}$ принимают 15-20 м/с. Размеры полки (рис.3.7) определяют по уравнениям:

$$\ell = \frac{D_{бк}}{2} + 0,05; \quad (3.28)$$

$$b = \sqrt{D_{бк}^2 - 0,01}, \quad (3.29)$$

где ℓ, b – длина и ширина полки.

Остальные размеры конденсатора подбирают по таблице 4.4.1 (см. приложение.)

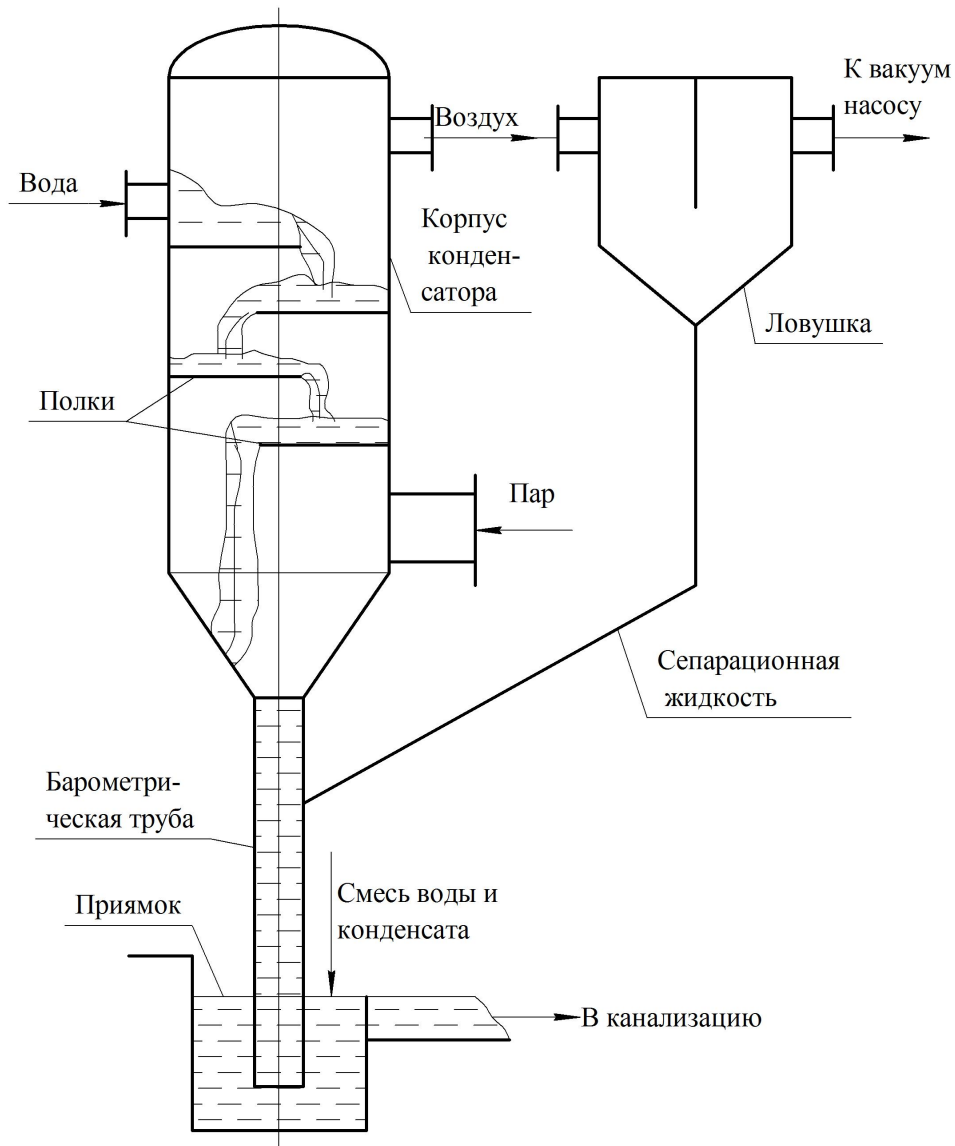


Рис.3.6. Схема работы барометрического конденсатора смешения

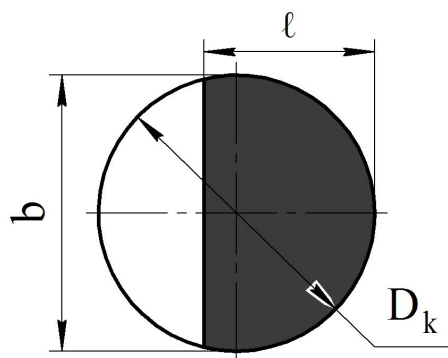


Рис. 3.7. Геометрические характеристики полки

3.10. Расчет высоты барометрической трубы

Скорость воды в барометрической трубе $W_{\text{бтр}}$ определяют из уравнения расхода:

$$W_{\text{бтр}} = \frac{4 (G_{\text{в}} + W)}{\rho_{\text{в}} \pi D_{\text{бтр}}^2}, \quad (3.30)$$

где $D_{\text{бтр}}$ – диаметр барометрической трубы (принимают по нормальям);
 $\rho_{\text{в}}$ – плотность воды, кг/м³.

Высоту барометрической трубы $H_{\text{бтр}}$ рассчитывают по уравнению:

$$H = \frac{P_{\text{вак}}}{\rho_{\text{в}} g} + \left(1 + \sum \zeta + \lambda \frac{H_{\text{бтр}}}{D_{\text{бтр}}} \right) \frac{W_{\text{бтр}}^2}{2g} + 0,5, \quad (3.31)$$

где $P_{\text{вак}}$ – вакуум в барометрическом конденсаторе, Па; ζ – сумма коэффициентов местных сопротивлений; λ – коэффициент трения в барометрической трубе (зависит от режима движения жидкости); 0,5 – запас высоты на возможные изменения барометрического давления, м.

$$P_{\text{вак}} = P_{\text{атм}} - P_{\text{бк}}, \quad (3.32)$$

где $P_{\text{атм}}$ – атмосферное давление, Па; $P_{\text{бк}}$ – давление в барометрическом конденсаторе, Па.

3.11. Расчет количества отсасываемого воздуха.

Выбор конструкции вакуум-насоса

Количество отсасываемого воздуха из ловушки барометрического конденсатора определяют по эмпирической формуле [6]:

$$G_{\text{возд}} = 0,001 (0,025 G_{\text{воды}} + 10 W), \quad (3.33)$$

где $G_{\text{воды}}$ – расход охлаждающей воды, кг/с; W – количество конденсируемого пара, кг/с.

По уравнению состояния определяют объемную производительность вакуум-насоса:

$$V_B = \frac{R (273 + t_{\text{возд}}) G_{\text{возд}}}{M_{\text{возд}} P_{\text{возд}}}, \quad (3.34)$$

где R – универсальная газовая постоянная, Дж/кмоль·К; M – молекулярная масса воздуха, кг/кмоль; $t_{\text{возд}}$ – температура воздуха, °С; $P_{\text{возд}}$ – парциальное давление сухого воздуха в барометрическом конденсаторе, Па.

Температуру воздуха рассчитывают по уравнению:

$$t_{\text{возд}} = t_{\text{н}} + 4 + 0,1 (t_{\text{вк}} - t_{\text{н}}). \quad (3.35)$$

Давление воздуха равно:

$$P_{\text{возд}} = P_{\text{бк}} - P_{\text{п}}, \quad (3.36)$$

где $P_{\text{п}}$ – парциальное давление водяного пара (Па) при $t_{\text{возд}}$ [6].

Зная объемную производительность $V_{\text{возд}}$ и остаточное давление $P_{\text{бк}}$, подбирают вакуум-насос (см. приложение табл.4.4.2).

Остальные элементы конструктивного расчета изложены в примере расчета выпарного аппарата .

Объем выполнения технологического, конструктивного расчетов для студентов технологических специальностей и студентов-механиков устанавливается преподавателем-консультантом.

3.12. Пример расчета выпарной установки

Задание на проектирование. Спроектировать однокорпусную выпарную установку производительностью 3000 кг/ч по исходному раствору NaOH; начальная концентрация раствора $x_{\text{н}} = 10$ %; конечная концентрация $x_{\text{к}} = 30$ %; исходный раствор поступает в аппарат при температуре 80 °С; давление греющего пара 2 ата (0,2 МПа); абсолютное давление в барометрическом конденсаторе 0,3 ата (0,03 МПа).

Определение поверхности теплопередачи

Количество испаряемой воды определяют из материального баланса по формуле (2.3):

$$W = G_n \left(1 - \frac{x_n}{x_k} \right) = \frac{3000}{3600} \left(1 - \frac{10}{30} \right) = 0,556 \text{ кг/с} .$$

Для определения поверхности теплопередачи выпарного аппарата, рассчитываемой по уравнению (2.9), необходимо знать значение полезной разности температур, коэффициент теплопередачи и тепловую нагрузку. Полезную разность температур рассчитывают по уравнению (2.11):

$$\Delta t_{\text{пол}} = t_{\text{г}} - t_{\text{к}} ,$$

где $t_{\text{к}} = t_{\text{в.п}} + \Delta t_{\text{гд}}^{\text{п}} + \Delta t_{\text{гд}} + \Delta t_{\text{гс}}$ – температура кипения раствора (2.21).

По табл. 4.5.2 (прил.) находят свойства водяного пара для разных давлений и их значения сводят в табл. 3.5.

Таблица 3.5

	Давление			Температура, °С	Энтальпия, кДж/кг
	кг/см ²	Па	МПа		
$P_{\text{гп}}$	2	$2 \cdot 10^5$	0,2	119,6	2710
$P_{\text{ап}}$	0,3	$0,3 \cdot 10^5$	0,03	68,7	2720

Затем последовательно определяют различные виды температурных потерь.

Величину температурной депрессии при давлении вторичного пара $P_{\text{в.п}} = 0,3 \cdot 10^5$ Па определяют по формуле Тищенко (2.15):

$$\Delta t_{\text{гд}}^{\text{п}} = 16,2 \frac{T^2}{r} (\Delta t') = 16,2 \frac{342^2}{2336000} 14 = 11 \text{ } ^\circ\text{С} ,$$

где $\Delta t_{\text{гд}} = 114 - 100 = 14 \text{ } ^\circ\text{С}$ - нормальная температурная депрессия при $x_{\text{к}}$ и атмосферном давлении $P_{\text{атм}}$; $T = 273 + 68,7 = 342 \text{ К}$ - температура кипения воды при $P = 0,3 \cdot 10^5$ Па (0,3 ата); $r_{\text{вп}} = 2336 \cdot 10^3$ Дж/кг - теплота испарения воды при $P = 0,3 \cdot 10^5$ Па.

Потери полезной разности температур от гидростатического давления $\Delta t_{гд}$ рассчитывают на середину слоя раствора, находящегося в аппарате.

Давление на середину слоя $P_{ср}$ жидкости равно:

$$P_{ср} = P_{в.п.} + 0,5 \rho g H_{ур} = 0,3 \cdot 10^5 + 0,5 \cdot 1290 \cdot 9,81 \cdot 2,82 = 47843,4 \text{ Па},$$

где $P_{в.п.}$ - давление вторичного пара, Па; $\rho_p = 1290 \text{ кг/м}^3$ - плотность раствора, кг/м^3 ; $H_{ур}$ - высота оптимального уровня раствора в аппарате (2.17); $\rho_v = 972 \text{ кг/м}^3$ - плотность воды при температуре кипения.

$$H_{ур} = \psi_{ап}^{опт} H_{тр} = \left[\frac{26 + 0,14(1290 - 972)}{100} \right] 4 = 1,62 \text{ м}.$$

Температура кипения воды при $P_{ср} = 47843,4 \text{ Па}$ составляет $79,8 \text{ }^\circ\text{C}$.

Следовательно, гидростатическая депрессия:

$$\Delta t_{гд} = 79,8 - 68,7 = 11,1 \text{ }^\circ\text{C}.$$

С учетом температурных потерь от гидравлических сопротивлений

$\Delta t_{гс} = 1 \div 1,5 \text{ }^\circ\text{C}$, полезная разность температур составит:

$$\Delta t_{пол} = 119,6 - 68,7 - 11 - 11,1 - 1 = 27,8 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Температура кипения раствора в трубах:

$$t_{кип} = 67,7 + 11 + 11,1 + 1 = 91,8 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Расход греющего пара определяют из теплового баланса.

Приход теплоты:

1) с греющим паром $Q_1 = G_{п} i_{п} = G_{п} \cdot 2710 \cdot 10^3 \text{ Вт};$

2) с исходным раствором $Q_2 = G_{н} c_{н} t_{н} = 0,83 \cdot 3770 \cdot 80 = 250328 \text{ Вт};$

Суммарный приход теплоты:

$$G_{п} \cdot 2710 \cdot 10^3 + 250328.$$

Расход теплоты:

3) со вторичным паром

$$Q_3 = W i_{в} = 0,556 \cdot 2620 \cdot 10^3 = 1456720 \text{ Вт};$$

4) с концентрированным раствором

$$Q_4 = (G_H - W) c_k t_{кип} = 0,278 \cdot 3220 \cdot 91,8 = 82175,7 \text{ Вт};$$

5) с конденсатом

$$Q_5 = G_{II} i_k = G_{II} \cdot 502 \cdot 10^3 \text{ Вт};$$

б) потери теплоты в окружающую среду и на дегидратацию (обезвоживание) принимаем 5% от прихода теплоты, т.е.

$$(G_{II} \cdot 2710 \cdot 10^3 + 250328) \cdot 0,05 \text{ Вт}.$$

Общий расход теплоты

$$G_{II} \cdot 2710000 + 250328 = 1456720 + 82175,7 + G_{II} \cdot 502000 + G_{II} \cdot 2710000 \cdot 0,05 + 250328 \cdot 0,05.$$

Решая уравнение теплового баланса относительно расхода греющего пара G_{II} , получаем:

$$G_{II} \cdot 2072500 = 1301084,1$$

$$G_{II} = 0,63 \text{ (кг/с)}.$$

Используя уравнение (2.8), определяем удельный расход пара на 1 кг испаряемой воды:

$$d = \frac{G_{II}}{W} = \frac{0,63}{0,556} = 1,13.$$

После расчета тепловой нагрузки определяют величину коэффициента теплопередачи K . С этой целью строят зависимость удельной тепловой нагрузки от полезной разности температур $q = f(\Delta t_{пол})$. Построение зависимости $q = f(\Delta t_{пол})$ начинают с определения коэффициентов теплоотдачи α_1 и α_2 , предварительно задаваясь различными удельными тепловыми нагрузками.

Коэффициент теплоотдачи α_1 рассчитывают по формуле (2.23):

$$\alpha_1 = \frac{A_1}{(q H_{тр})^{0,33}} = \frac{2,6 \lambda_k \rho_k^{0,66} r_k^{0,33} \mu_k^{-0,33}}{(q H_{тр})^{0,33}} =$$

$$= \frac{2,6 \cdot 0,686 \cdot 943^{0,66} \cdot (2207 \cdot 10^3)^{0,33} \cdot (0,256 \cdot 10^{-3})^{-0,33}}{(q \cdot 4)^{0,33}} = \frac{309766}{(q \cdot 4)^{0,33}}.$$

Коэффициент теплоотдачи α_2 в соответствии с формулой (2.27)

равен:

$$\alpha_2 = A q^{0,6} = 780 q^{0,6} \frac{\lambda_p^{1,3} \rho_p^{0,5} \rho_{вп}^{0,06}}{\sigma_p^{0,5} r_{вп}^{0,6} \rho_0^{0,66} c_p^{0,3} \mu_p^{0,3}} =$$

$$= \frac{780 (0,5635)^{1,3} (1296,7)^{0,5} (0,1876)^{0,06} q^{0,6}}{(0,09483)^{0,5} (2336000)^{0,6} (0,579)^{0,66} (3641)^{0,3} (1,96 \cdot 10^{-3})^{0,3}} = 4,7 q^{0,6},$$

т.е. $\alpha_2 = 4,7 q^{0,6}.$

Физико-химические характеристики растворителя и кипящего раствора можно определить в приложении по табл. 4.5.1-4.5.9.

Результаты расчета коэффициентов теплоотдачи, теплопередачи и полезной разности температур при различных удельных тепловых нагрузках представлены в табл.3.6.

Используя табличные данные, строят зависимость $q = f(\Delta t_{пол})$, из которой, по определенному ранее значению полезной разности температур $\Delta t_{пол} = 27,8 \text{ } ^\circ\text{C}$, находят величину рабочей тепловой нагрузки.

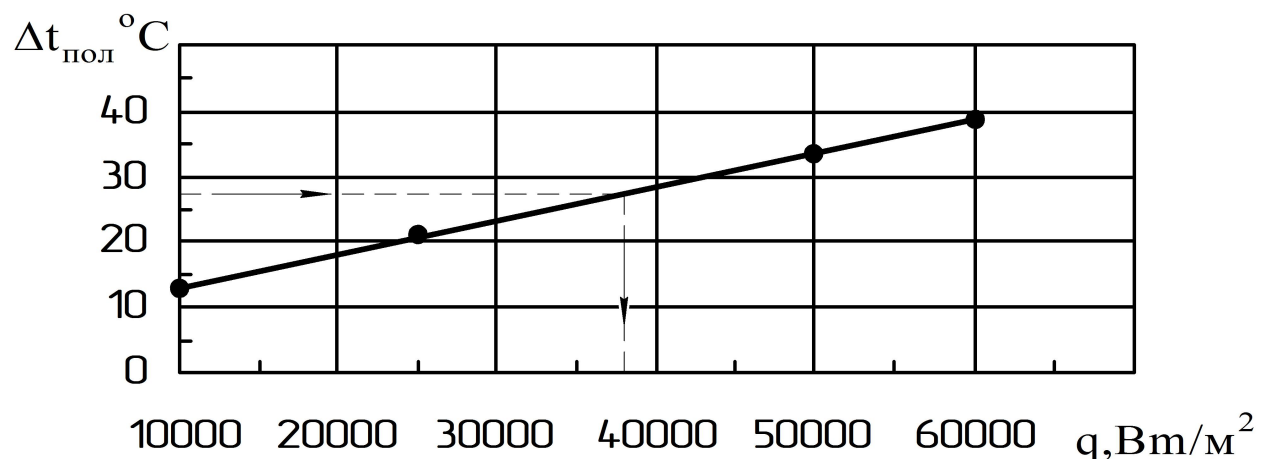


Рис.3.8. Зависимость полезной разности температур от удельной тепловой нагрузки

Из рис.3.8 следует, что полезной разности температур $27,8^{\circ}\text{C}$ соответствует удельная тепловая нагрузка $q = 38000 \text{ Вт/м}^2$, следовательно:

$$K = \frac{q}{t_{\text{пол}}} = \frac{38000}{27,8} = 1366,9 \text{ Вт/м}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

В табл.3.6 коэффициент теплопередачи K рассчитывается по уравнению (2.22) с учётом общего теплового сопротивления R (2.23),

Таблица 3.6

Результаты расчета коэффициента теплопередачи K

Величины	$A_1 = 309766$	$A_2 = 5,2$		
$q, \text{ Вт/м}^2$	10000	25000	50000	60000
$\alpha_1 = \frac{A_1}{(q H_{\text{тр}})^{0,33}}$	9383,3	6934,8	5516,9	5194,7
$\alpha_2 = 4,7 q^{0,6}$	1180,6	2045,8	3100,8	3459,3
$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}}$	786,5	1184,8	1488,8	1557,4
$\Delta t_{\text{пол}} = \frac{q}{K}$	12,7	21,1	33,6	38,5

включающее $\sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i}$ - сумму термических сопротивлений всех слоев, из которых состоит стенка со слоями загрязнений, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$. Значения тепловой проводимости загрязнений приведены в табл.4.5.10 (прилож.).

Поверхность теплопередачи :

$$F = \frac{Q}{K \Delta t_{\text{пол}}} = \frac{2208000}{1366,9 \cdot 27,8} = 58,1 \text{ м}^2,$$

где $Q = Q_1 - Q_5 = G_{\text{п}} (i_{\text{п}} - i_{\text{к}}) = 0,63 (2710 \cdot 10^3 - 502 \cdot 10^3) = 2208000 \text{ Вт}$ – количество тепла (2.5), подводимого к раствору в аппарате и необходимого для удаления заданного количества растворителя.

После завершения расчета поверхности теплообмена нагревательного устройства выбирают тип выпарного аппарата в соответствии с ГОСТ 11987-81 [7]. В нашем случае выбираем выпарной аппарат с естественной циркуляцией раствора и вынесенной греющей камерой (тип 1, исполнение 2), с поверхностью нагрева 63 м^2 . Основные характеристики таких аппаратов показаны в табл. 4.3.6.

Конструктивный расчет аппарата

Определение числа труб в трубной решетке

$$n = \frac{F}{\pi d_{\text{cp}} H_{\text{T}}} = \frac{63}{3,14 \cdot 0,036 \cdot 4} = 139,3 ,$$

где $d_{\text{cp}} = (0,038 + 0,034) 0,5 = 0,036$ м.

В соответствии с данными табл. 4.2.6 при размещении труб в трубной решетке по вершинам равносторонних треугольников принимаем ближайшее значение числа труб $n = 127$.

Параметры, характеризующие размещение труб в трубной решетке.

Шаг между трубами:

$$t = \beta d_{\text{H}} ,$$

где $\beta = 1,25$ – коэффициент, значение которого определяется в зависимости от d_{H} (см. табл.4.2.7, приложение):

$$t = 1,25 \cdot 0,038 = 0,0475 \text{ м.}$$

Число труб на диаметре решетки:

$$z = 2 \sqrt{\frac{n-1}{3} + 0,25} = 2 \sqrt{\frac{127-1}{3} + 0,25} = 13 \text{ шт.}$$

Принимаем стандартное значение $z = 13$.

Определение диаметра корпуса обечайки греющей камеры

$$D_{\text{к}} = \sqrt{\frac{0,4 F \beta^2 d_{\text{H}} \sin \alpha}{\psi H_{\text{T}}} + A^2} ,$$

где $\psi = 0,7 \div 0,9$ – коэффициент использования трубной решетки [2]. Так как в трубной решетке циркуляционная труба отсутствует для выбранного аппарата, то $A = 0$.

$$D_k = \sqrt{\frac{0,4 \cdot 63 \cdot 1,25^2 \cdot 0,038 \cdot \sin 60^\circ}{0,7 \cdot 4}} = 0,68$$

или

$$D_k = t(b - 1) + 4 d_H = 0,0475(13 - 1) + 4 \cdot 0,038 = 0,722 \text{ м.}$$

Принимаем $D_k = 800$ мм в соответствии с выбранным ранее аппаратом (см. табл. 4.3.6).

Расчет толщины стенки обечайки и днища (крышки).

Принимаем материал аппарата (см. табл. 5.2, приложение) сталь 15Х5М с нормативным допускаемым напряжением $\sigma^* = 138$ МПа.

$$\delta_{\min} = \frac{D_k P_{\text{гп}}}{2[\sigma]\varphi - P_{\text{гп}}} + C_{\text{кор}} = \frac{0,8 \cdot 0,2}{2 \cdot 124,2 \cdot 1 - 0,2} + 0,001 = 0,0017 \text{ м}^2,$$

где $[\sigma] = \sigma^* \eta = 138 \cdot 0,9 = 124,2$ МПа ;

$D_k = D_b$ – внутренний диаметр обечайки аппарата ;

$\varphi = 0,7 \div 1$ – коэффициент сварного шва [7], для автоматической двухсторонней сварки $\varphi = 1$;

$C_{\text{кор}} = \Pi \tau_a = 0,1 \cdot 10 = 1$ мм = 0,001 м – прибавка на коррозию для материала аппарата за $\tau_a = 10$ лет эксплуатации при коррозионной проницаемости $\Pi = 0,1$ мм/год.

Из практических рекомендаций принимаем толщину стенки обечайки $\delta = 6 \div 8$ мм (см. табл. 4.2.3).

Толщину стенок днищ (крышек) можно рассчитать по уравнениям (3.17) и (3.18) или принять равной толщине стенки обечайки. Принимаем $\delta_{\text{дн}} = \delta_{\text{кр}} = \delta = 8$ мм.

Расчет трубной решетки

Толщина трубной решетки:

$$h = K D \sqrt{\frac{P}{\varphi_0 [\sigma]_H}} + C_{\text{кор}} .$$

Принимаем тип решетки - III, тогда $K = 0,47$; $D = D_B = 0,4$ м; $P = P_{\text{гп}} = 0,2$ МПа (см. табл. 3.3; рис.3.4).

Коэффициент ослабления решетки отверстиями:

$$\varphi_0 = \frac{(D_i - b \cdot d_i)}{D_i} = \frac{(0,808 - 13 \cdot 0,038)}{0,808} = 0,389.$$

Для решетки типа III : $D_{\text{п}} = \frac{D_{\text{п}} + D_{\text{в}}}{2} = \frac{0,816 + 0,8}{2} = 0,808$ м.

Допускаемое напряжение на изгиб:

$$[\sigma]_H = (0,7 \div 0,8) [\sigma] = 0,8124,2 = 99,4 \text{ МПа.}$$

Тогда

$$h = 0,47 \cdot 0,8 \sqrt{\frac{0,2}{0,389 \cdot 99,4}} + 0,001 = 0,028 \text{ м.}$$

Для стальных трубных решеток должно выполняться условие (см. уравнение 3.23):

$$h \geq 0,125 d_H + 0,005 + C_k = 0,125 \cdot 0,038 + 0,005 + 0,001 = 0,0102 \text{ м.}$$

Условие выполняется. Принимаем $h = 28$ мм.

Выбор днищ и крышек

Для выпарных аппаратов применяют в основном два типа днищ: эллиптические отбортованные стальные ГОСТ 6533-78 (рис. 4.2.1, табл. 4.2.4), конические отбортованные и неотбортованные (рис. 4.2.3, табл. 4.2.5).

Выбор фланцев

Фланцы предназначают для разъемного соединения обечаек, днищ и трубопроводов с внутренними базовыми размерами. Различные типы фланцев и их характеристики подробно изложены в [8]. Для выпарных

аппаратов, работающих под давлением до 1,6 МПа (16 ата), согласно ГОСТ 26-426-79, как правило, используют плоские стальные приварные фланцы (см. рис. 4.2.6, 4.2.7 и табл. 4.2.10, 4.2.11).

Трубы, работающие под давлением до 2,5 МПа (25 ата), соединяются плоскими приварными фланцами, согласно ГОСТ 12820-80.

Определение основных размеров штуцеров выпарного аппарата и их подбор по нормальям

Для расчета внутреннего диаметра штуцеров задают:
скорость раствора (воды) - $W_{\text{ж}} = 1,0 \div 2,0$ м/с;
скорость пара - $W_{\text{пара}} = 15 \div 25$ м/с .

Диаметр штуцера для ввода греющего пара:

$$d_1 = 1,135 \sqrt{\frac{G_{\text{п}}}{\rho_{\text{п}} W_{\text{пара}}}} = 1,135 \sqrt{\frac{0,63}{1,10715}} = 0,25 \text{ м.}$$

Диаметр штуцера для выхода конденсата:

$$d_2 = 1,135 \sqrt{\frac{G_{\text{п}}}{\rho_{\text{конд}} W_{\text{ж}}}} = 1,135 \sqrt{\frac{0,63}{9431}} = 0,0293 \text{ м.}$$

Принимаем $d_2 = 50$ мм.

Диаметр штуцера для выхода вторичного пара:

$$d_3 = 1,135 \sqrt{\frac{W}{\rho_{\text{ен}} W_{\text{пара}}}} = 1,135 \sqrt{\frac{0,556}{0,187615}} = 0,6 \text{ м.}$$

Диаметр штуцера входа и выхода раствора:

$$d_4 = 1,135 \sqrt{\frac{G_{\text{п}}}{\rho_{\text{р}} W_{\text{ж}}}} = 1,135 \sqrt{\frac{3000}{3600 \cdot 1296,7}} = 0,029 \text{ м.}$$

Из конструктивных соображений принимаем $d_4 = 50$ мм.

Расчет и выбор опор аппарата

Выбор опор аппарата производится в зависимости от нагрузки (веса аппарата) по табл. 4.2.17 (рис. 4.2.10) или в справочнике [8].

Расчет сепарационного пространства

Скорость пара в паровом пространстве.

$$W_{\text{шт}} = \frac{W}{0,785 D_c^2 \rho_{\text{вп}}} = \frac{0,556}{0,785 \cdot 1,6^2 \cdot 0,1876} = 1,48 \text{ м/с.}$$

В соответствии с табл. 4.3.6 при поверхности теплообмена $F = 63 \text{ м}^2$ принимаем диаметр сепаратора $D_c = 1600 \text{ мм} = 1,6 \text{ м}$.

Критерий Архимеда

$$Ar = \frac{d_{\text{кап}}^3 (\rho_p - \rho_{\text{вп}}) \rho_{\text{вп}} g}{\mu_{\text{вп}}^2} = \frac{0,5 \cdot 10^{-3} (1296,7 - 0,1876) 0,1867 \cdot 9,81}{0,012 \cdot 10^{-2}} = 211 ,$$

где $\mu_{\text{вп}} = 0,012 \cdot 10^{-3}$ при $t_{\text{вп}} = 68,7 \text{ }^\circ\text{C}$ [6], $d_{\text{кап}} = 0,5 \text{ мм}$ – диаметр капли, $\rho_p = 1296,7 \text{ кг/м}^3$, $\rho_{\text{вп}} = 0,1867 \text{ кг/м}^3$ – соответственно плотность раствора и вторичного пара.

По численному значению критерия Архимеда $100 < Ar < 84 \cdot 10^3$ выбирают зависимость

$$Re = 0,152 Ar^{0,715} = 0,152 \cdot 211^{0,715} = 6,97.$$

Скорость витания (осаждения) в паровом пространстве рассчитывают из критерия Рейнольдса:

$$Re = \frac{W_{\text{ос}} d_{\text{кап}} \rho_{\text{вп}}}{\mu_{\text{вп}}} \text{ откуда } W_{\text{ос}} = \frac{Re \mu_{\text{вп}}}{d_{\text{кап}} \rho_{\text{вп}}} = \frac{6,97 \cdot 0,012 \cdot 10^{-3}}{0,5 \cdot 10^{-3} \cdot 0,1867} = 2,32, \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

При условии $W_{\text{ос}} = 2,32 \text{ м/с} > W_{\text{шт}} = 1,48 \text{ м/с}$ капли раствора будут оседать на поверхности кипящего раствора. В этом случае установка дополнительного сепаратора не требуется.

Объем парового пространства:

$$V_{\text{шт}} = \frac{W}{\rho_{\text{вп}} R_{V_1}}.$$

Допускаемое напряжение парового пространства

$$R_{V_1} = f_1 f_2 R_V = 0,845 \cdot 1 \cdot 1700 = 1436,5 \text{ м}^3/(\text{м}^3 \text{ ч})$$

Для растворов щелочей (NaOH) при атмосферном давлении
 $R_V = 1700 \text{ м}^3/(\text{м}^3 \text{ час}), [10]$.

Коэффициенты:

$$f_1 = 0,845 - \text{при } P_{\text{вп}} = 0,03 \text{ МПа}, \quad (\text{см. табл. 3.1}),$$

$$f_2 = 1 - \text{при } H_w = 0, \quad (\text{см. табл. 3.2}).$$

$$V_{\text{мп}} = \frac{0,556 \cdot 3600}{0,1876 \cdot 1436,5} = 7,43 \text{ м}^3.$$

Высота сепаратора.

$$H_d = \frac{V_{\text{мп}}}{0,785 D_c^2} = \frac{7,43}{0,785 \cdot 1,6^2} = 3,7 \text{ м}.$$

Расчет толщины тепловой изоляции

Толщину тепловой изоляции рассчитывают из равенства удельных
 ТЕПЛОВЫХ ПОТОКОВ:

$$\alpha_B (t_{\text{ст}_2} - t_{\text{воз}}) = \frac{\lambda_{\text{из}}}{\delta_{\text{из}}} (t_{\text{ст}_1} - t_{\text{ст}_2}),$$

где $\alpha_B = 9,3 + 0,058 \cdot 40 = 11,62$ - коэффициент теплоотдачи от изоляции к
 воздуху, $\text{Вт}/\text{м}^2 \text{ К}$; $t_{\text{ст}_2}$ - температура изоляции со стороны воздуха, $^{\circ}\text{C}$; $t_{\text{воз}}$ -
 температура воздуха, $^{\circ}\text{C}$; $t_{\text{ст}_1}$ - температура стенки аппарата; λ -
 коэффициент теплопроводности материала изоляции, $\text{Вт}/\text{м К}$.

$$\delta_{\text{из}} = \frac{0,09 (119 - 40)}{11,62 (40 - 20)} = 0,03 \text{ м}$$

Расчет барометрического конденсатора

Из теплового баланса определяют расход охлаждающей воды:

$$G_B = \frac{W (i_B - c_B t_{\text{вк}})}{c_B (t_{\text{вк}} - t_H)} = \frac{0,56 (2624 \cdot 10^{-3} - 4,19 \cdot 10^3 \cdot 66)}{4,19 \cdot 10^3 (66 - 20)} = 6,8 \text{ кг/с}.$$

Из уравнения расхода рассчитывают диаметр барометрического
 конденсатора:

$$D_{\text{бк}} = \sqrt{\frac{4 W}{\rho_{\text{вп}} \pi W_{\text{вп}}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,56}{0,198 \cdot 3,14 \cdot 20}} = 0,42 \text{ м.}$$

По табл.4.4.1 (прилож.) выбирают диаметр барометрического конденсатора $D_{\text{бк}} = 0,5$ м.

Размеры полки конденсатора определяют по уравнениям:

$$\text{длина} \quad \ell = \frac{D_{\text{бк}}}{2} + 0,05 = \frac{0,5}{2} + 0,05 = 0,3 \text{ м};$$

$$\text{ширина} \quad b = \sqrt{D_{\text{бк}}^2 - 0,01} = \sqrt{0,5^2 - 0,01} = 0,49 \text{ м.}$$

Определение высоты барометрической трубы

Скорость воды в барометрической трубе равна:

$$W_{\text{бтр}} = \frac{4 (G_{\text{в}} + W)}{\rho_{\text{в}} \pi D_{\text{бтр}}^2} = \frac{4 (6,8 + 0,56)}{980 \cdot 3,14 \cdot 0,125^2} = 0,6 \text{ м/с,}$$

где $D_{\text{бтр}}$ – диаметр барометрической трубы, выбирают по табл. 4.4.1.

Зная скорость воды, находим значение критерия Рейнольдса:

$$Re = \frac{W_{\text{бтр}} D_{\text{бтр}} \rho_{\text{в}}}{\mu_{\text{в}}} = \frac{0,6 \cdot 0,125 \cdot 900}{0,47 \cdot 10^{-3}} = 159574.$$

По [6] коэффициент трения в гладких трубах $\lambda = 0,027$. Коэффициент местных сопротивлений на входе и на выходе из трубы равны

$$\sum \zeta = \zeta_{\text{вх}} + \zeta_{\text{вых}} = 0,5 + 1,0 = 1,5 .$$

Высоту барометрической трубы рассчитывают по формуле:

$$\begin{aligned} H_{\text{бтр}} &= \frac{P_{\text{вак}}}{\rho_{\text{в}} g} + \left(1 + \sum \zeta + \lambda \frac{H_{\text{бтр}}}{D_{\text{бтр}}} \right) \frac{W_{\text{бтр}}^2}{2 g} + 0,5 = \\ &= \frac{6,8 \cdot 10^4}{980 \cdot 9,81} + \left(1 + 1,5 + 0,027 \frac{H_{\text{бтр}}}{0,125} \right) \frac{0,6^2}{2 \cdot 9,81} + 0,5 = 7,37 \text{ м.} \end{aligned}$$

Определение производительности вакуум-насоса

Производительность вакуум-насоса определяется количеством отсасываемого воздуха из конденсатора.

$$G_{\text{возд}} = 0,001 (0,025 G_{\text{воды}} + 10 W) = 0,001 (0,025 \cdot 6,8 + 10 \cdot 0,56) = 5,77 \cdot 10^{-3} \text{ кг/с.}$$

Температуру воздуха рассчитывают по формуле:

$$t_{\text{возд}} = t_{\text{н}} + 4 + 0,1 (t_{\text{вк}} - t_{\text{н}}) = 20 + 4 + 0,1 (66 - 20) = 28,4 \text{ }^{\circ}\text{C} .$$

Объемная производительность вакуум-насоса равна:

$$\begin{aligned} V_{\text{возд}} &= \frac{R (273 + t_{\text{возд}}) G_{\text{возд}}}{M_{\text{возд}} P_{\text{возд}}} = \\ &= \frac{8310 (273 + 28,4) 5,77 \cdot 10^{-3}}{29 \cdot 0,26 \cdot 10^5} = 0,019 \text{ м}^3 / \text{с} = 1,15 \text{ м}^3 / \text{мин} . \end{aligned}$$

Давление воздуха составляет:

$$P_{\text{возд}} = P_{\text{бк}} - P_{\text{п}} = 0,3 - 0,04 = 0,26 \text{ Па} .$$

Зная объемную производительность $V_{\text{возд}}$ и остаточное давление $P_{\text{бк}}$, по табл. 4.4.2 (прил.) подбирают насос типа ВВН-1,5 с мощностью на валу 2,1 кВт.

Библиографический список

1. Касаткин, А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А.Г. Касаткин - М.: Химия, 1971.-784с.
2. Плановский, А.Н., Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии / А.Н. Плановский, П.И. Николаев.-М.: Химия, 1972.-496 с.
3. Машины и аппараты химических производств / [И.И. Чернобыльский и др.] -М.: Машиностроение, 1975.-456 с.
4. Авербух, Я.Д. Процессы и аппараты химической технологии./ Я.Д. Авербух, Ф.П. Заостровский, Л.Н Матусевич ; Уральск. политехн. ин-т.- Свердловск, 1973.-428 с.
5. Коган ,В.Б. Теоретические основы тепловых процессов химической технологии./ В.Б. Коган.-Л.: Химия, 1977.- 592 с.
6. Павлов, К.Ф Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии / К.Ф.Павлов, П.Г. Романков, А.А. Носков.-Л.: Химия, 1987.-576 с.
7. Дытнерский, Ю.И. Основные процессы и аппараты химической технологии: пособие по проектированию./ Ю.И. Дытнерский.-М.: Химия, 1983.-272 с.
8. Лоцинский, А.А. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры: справочник / А.А. Лоцинский, А.Р. Толчинский.- Л.: Машиностроение, 1970.-752 с.
9. Справочник химика./ М.-Л., Т.3. М.: Химия, 1962.-1006 с.
10. Справочник химика. / М.- Л., Т.5., Химия, 1968.-974 с.
11. Лебедев, П.Д., Теплоиспользующие установки промышленных предприятий: курсовое проектирование./ П.Д. Лебедев, А.А. Щукин.- М.: Энергия, 1972.-408 с.
- 12.Теплотехнический справочник Т.2.-М., Энергия, 1972.-896 с.

4. ПРИЛОЖЕНИЕ

4.1. ОСНОВНЫЕ КОНСТРУКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИХ

ХАРАКТЕРИСТИКИ

Таблица 4.1.1

Конструкционные материалы, рекомендуемые для химической аппаратуры

Металлические материалы				
Марка стали и ГОСТ	Полуфабрикаты	Давление среды, МПа	Температура среды, °С	Назначение
1	2	3	4	5
Ст 3сп ГОСТ 380-71	Листы	1,6	от +10 до +200	Обечайки, днища, фланцы, трубные решетки, и др. детали химических аппаратов, работающих с неагрессивными средами (водой, воздухом, водяным паром, бензолом, ксилолом)
Ст 3сп ГОСТ 1050-74	Трубы	1,6	от +10 от +200	Штуцеры, обечайки люков, трубопроводы и другие детали химических аппаратов, работающих с неагрессивными средами
Сталь 20 ГОСТ 1050-74	Листы	20	от -40 до +475	Обечайки, днища, фланцы, трубные решетки, и др. детали химических аппаратов, работающих с неагрессивными средами
Сталь 20 ГОСТ 1050-74	Трубы	Не ограничено	от -30 до +475	Штуцеры, обечайки люков, трубопроводы и другие детали химических аппаратов, работающих с неагрессивными средами
Сталь 08кп ГОСТ 9045-72	Листы	Не ограничено	от +10 до +200	Металлические прокладки для фланцевых соединений аппаратов, работающих с неагрессивными средами

Окончание таблицы 4.1.1

1	2	3	4	5
Сталь 12X18H10T ГОСТ 5632-72	Листы	Не ограничено	от -250 до +600	Обечайки, днища, фланцы, трубные решетки, и др. детали химических аппаратов, работающих с сильно агрессивными средами (кислотами, щелочами)
Сталь 12X18H10T ГОСТ 5632-72	Трубы	Не ограничено	от -250 до +350	Штуцеры, обечайки люков, трубопроводы и другие детали химических аппаратов, работающих с сильно агрессивными средами (кислотами, щелочами)
Сталь 12X18H10T ГОСТ 5632-72	Листы	Не ограничено	от -250 от +640	Металлические прокладки для фланцевых соединений аппаратов, работающих с сильно агрессивными средами
Паронит ПОН ГОСТ 481-80	Листы	6,3	от -50 до +100	Прокладки для аппаратов, работающих с воздухом, водяным паром
Резина ТКЦМ ГОСТ 5632-72	Листы	1	от -30 до +65	Прокладки для аппаратов, работающих с кислотами и щелочами
Резина ПМБ ГОСТ 7338-77	Листы	1	от -40 до +80	Прокладки для аппаратов, работающих с нефтепродуктами (бензином, бензолом, толуолом и др.)
Фторопласт-4 ГОСТ 10007-80Е	Листы	40	от -250 до +250	Прокладки для аппаратов, работающих с любыми агрессивными средами любой концентрации

Примечание. Толщина прокладок из паронита и резины рекомендуется

3 мм, фторопласт – 2мм.

Таблица 4.1.2

Нормативное допускаемое напряжение

Расчетная температура, °С	Нормативное допускаемое напряжение σ^* для сталей марок, Мн/м ²													
	ВСт.3	20, 20К	09Г2С, 16ГС, 17ГС, 17Г1С, 10Г2С1	10Г2	12ХМ	12МХ	15ХМ	15Х5М	15Х5М-У	08Х22Н6Т	08Х21Н6М2Т	03Х21Н21М4ГБ	03Х18Н11	03Х16Н15М3
20	140	147	183	180	147	147	155	146	240	240	180	160	153	147
100	134	142	160	160	-	-	-	141	235	207	173	133	140	138
150	131	139	154	154	-	-	-	138	230	200	171	125	130	130
200	126	136	148	148	145	145	152	134	225	193	171	120	120	124
250	120	132	145	145	145	145	152	127	220	173	167	115	113	117
300	108	119	134	134	141	141	147	120	210	167	149	112	103	110
350	98	106	123	123	137	137	142	114	200	-	143	108	101	107
400	85	92	105	92	132	132	137	105	170	-	141	107	90	105

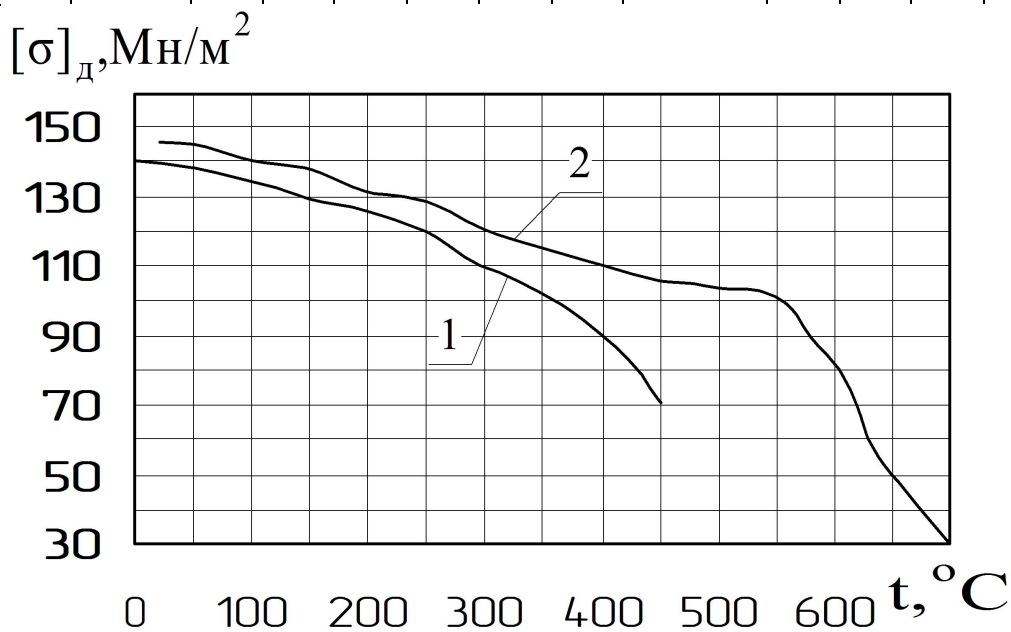


Рис.4.1.1. Допускаемые напряжения для стали ВСт.3 (1) и Х18Н10Т (2)

4.2. КОНСТРУКЦИИ И РАЗМЕРЫ ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ВЫПАРНЫХ АППАРАТОВ

Таблица 4.2.1

Внутренние диаметры D_B , мм, стальных сварных цилиндрических обечаек,
выполненных из листового проката по ГОСТ 9617-76

400	500	600	700	800	900	1000	1200	1400
1600	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000	3200

Таблица 4.2.2

Длины ℓ , мм, цилиндрической части корпусов стальных аппаратов.
Для емкостных аппаратов согласно ГОСТ 9931-85

200	220	250	280	320	360	400	450	500	550
600	650	700	800	900	1000	1100	1250	1400	1600
1800	2000	2200	2500	2800	3200	3600	4000	4500	5000
5500	6000	6500	7000	7500	8000	8500	9000	9500	10000

Таблица 4.2.3

Толщина стенок вальцованных обечаек для аппаратов

Давление в аппарате P , МПа	Толщина стенки обечайки S , мм, при внутреннем диаметре D , мм														
	400	500	600	700	800	900	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600
0,3	4	6	8	8	8	8	8	8	8	10	10	10	10	10	10
0,6	6	8	8	8	8	8	10	10	10	10	10	12	12	12	12
1,0	8	8	10	10	10	10	12	14	14	16	16	16	18	18	18
1,6	8	10	10	12	12	12	12	14	16	16	16	18	20	20	22
2,5	10	12	12	14	16	16	18	20	20	22	22	22	-	-	-
4,0	12	12	16	16	20	20	22	25	28	32	-	-	-	-	-
6,3	14	16	20	22	25	30	28	34	38	45	-	-	-	-	-
8,0	18	22	25	28	30	34	38	45	50	55	-	-	-	-	-
10,0	22	24	30	34	38	45	45	55	60	-	-	-	-	-	-

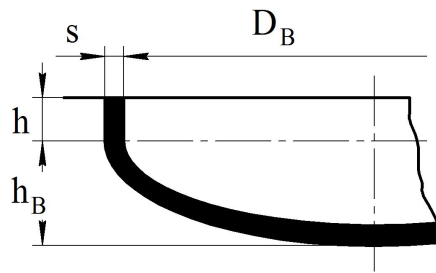


Рис.4.2.1. Конструкции эллиптических днищ

Таблица 4.2.4

Размеры эллиптических отбортованных стальных днищ для аппаратов, работающих под давлением до 10 МПа (100кг/см²) согласно ГОСТ 6533-78

D _B , мм	h _B , мм	h , мм	D _B , мм	h _B , мм	h , мм
400	100	25	1600	400	25
500	125	25	1600	400	40
600	150	25	1800	450	40
700	175	25	2000	500	40
800	200	25	2000	500	60
900	225	25	2200	550	60
1000	250	25	2200	550	60
1200	300	25	2400	600	40
1200	300	40	2400	600	60
1400	350	25	2600	650	40
1400	350	40	2600	650	60

Примечания:

1. Толщина стенки днищ: 4,5,6,8,10,12,14,16,18,20,22,25,28,30,32,34,36,38,40, 45,50,55,60,65,70,80,90,100 мм

2. Толщина стенки эллиптического отбортованного стального днища должна быть не менее толщины стенки цилиндрической вальцованной обечайки аппарата.

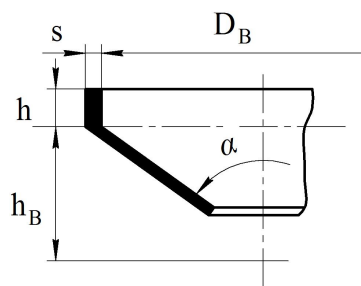


Рис.4.2.2. Конструкции конических днищ

Таблица 4.2.5

Размеры конических отбортованных стальных днищ для аппаратов, работающих под давлением до 2,5 МПа (25кг/см²) согласно ГОСТ 12619

D _B , мм	$\alpha = 60^{\circ}$		$\alpha = 90^{\circ}$		h , мм
	h _B , мм	r , мм	h _B , мм	r , мм	
400	367	80	232	80	30
500	452	80	282	80	30
600	541	80	332	80	30
700	627	80	382	80	40
800	735	160	466	160	40
900	821	160	516	160	40
1000	908	160	566	160	40
1200	1080	160	666	160	50
1400	1254	160	766	160	50
1600	1439	200	882	200	60
1800	1612	200	982	200	60
2000	1785	200	1082	200	70
2200	1958	200	1182	200	80
2400	2130	200	1282	200	80
2600	2303	200	1382	200	80

Примечания:

1. Толщина стенки днищ из углеродистых сталей: 3,4,6,8,10,12,14,16,18 мм.
2. Толщина стенки днищ из коррозионностойких сталей: 3,4,5,6,7,8,9,10,11,12, 13,14,15,16,17,18 мм.
3. Толщина стенки конического отбортованного стального днища должна быть: а) не менее 1,2 толщины стенки цилиндрической вальцованной обечайки аппарата (для днищ с углом конуса 60°); б) не менее 1,5 толщины стенки цилиндрической вальцованной обечайки аппарата (для днищ с углом конуса 90°).

Таблица 4.2.6

Количество труб в круглых плоских трубных решетках при размещении их по вершинам равносторонних треугольников и концентрическим окружностям

Количество труб на диаметре	Размещение						
	по вершинам равносторонних треугольников					по концентрическим окружностям	
	в шестиугольнике	в сегментах			всего	на наружной окружности	всего
		1-й ряд	2-й ряд	3-й ряд			
7	7	-	-	-	7	6	7
9	19	-	-	-	19	12	19
11	37	-	-	-	37	18	37
13	61	-	-	-	61	25	62
15	91	-	-	-	91	31	93
17	127	-	-	-	127	37	130
19	169	3	-	-	187	43	173
21	217	4	-	-	241	50	223
23	271	5	-	-	301	56	279
25	331	6	-	-	367	62	341
27	397	7	-	-	439	69	410
29	469	8	-	-	517	75	485
31	547	9	2	-	613	81	566
33	631	10	5	-	721	87	653
35	721	11	6	-	823	94	747
37	817	12	7	-	931	100	847
39	919	13	8	-	1045	106	953
41	1027	14	9	-	1165	113	1066
	1141	15	12	-	1303	119	1185
	1261	16	13	4	1459	125	1310

Таблица 4.2.7

Величина минимального шага между трубами в трубных решетках

d_H , мм	14	14 до 20	20 до 30	30
t	$1,4 d_H$	$1,35 d_H$	$1,3 d_H$	$1,25 d_H$

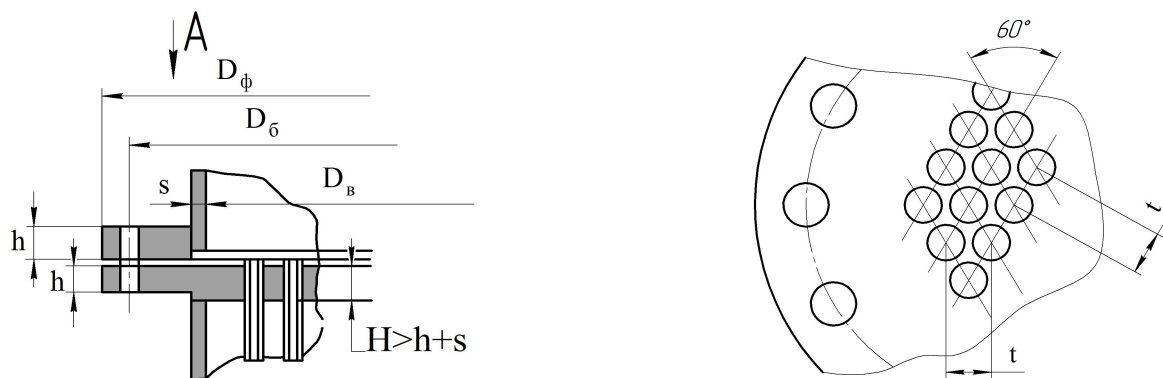


Рис.4.2.3. Конструкции и размеры трубных решеток теплообменных аппаратов

Таблица 4.2.8

Распределение труб в трубной решетке

Внутренний диаметр кожуха, мм	Количество труб в решетке, шт.	Количество труб на диаметре, шт.
400	91	11
600	217	17
800	469	25
1000	721	31
1200	1027	37
1400	1327	43

Примечание. Количество труб в решетке приведено для труб $d_n^x \ S = 25 \times 2$ мм и шага $t = 32$ мм.

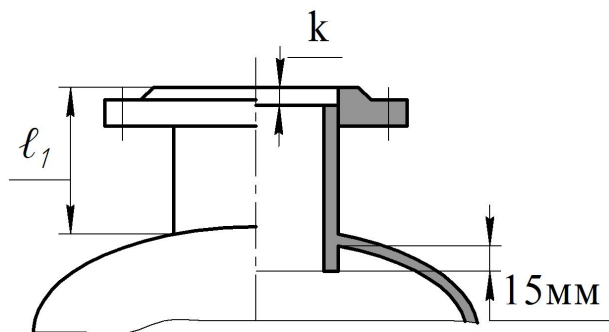


Рис. 4.2.4. Конструкции штуцеров

Таблица 4.2.9

Высота штуцеров

Условный проход d_y , мм	Вылет штуцера ℓ_1 при давлении, МПа						
	0,6	1,0	1,6	2,5	4,0	6,3	10,0
25	155	155	155	155	160	175	175
32	155	155	165	165	165	180	180
40	155	155	165	165	170	185	190
50	155	155	165	165	170	190	190
80	155	165	165	165	180	190	210
100	155	155	165	165	190	215	235
125	155	155	185	185	190	215	235
150	155	185	185	185	190	225	245
200	160	190	190	190	210	230	290
250	160	190	190	190	220	265	310
300	190	210	210	210	270	300	360

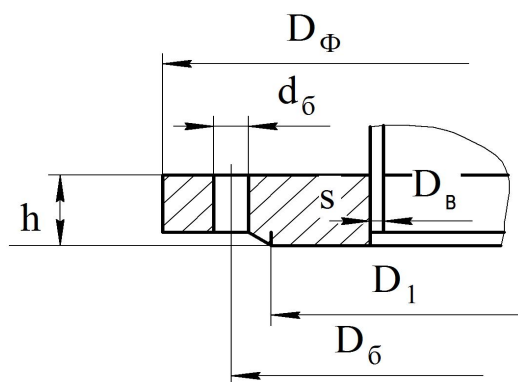


Рис.4.2.5. Конструкции фланца

Таблица 4.2.10

Фланцы арматуры, соединительных частей и трубопроводов, цельные

P _y , МПа	D _y ,	d _н ,	D _{сп} ,	D _б ,	D ₁ ,	d _б ,	z, шт	h,	Масса, кг
	мм	мм	мм	мм	мм	мм		мм	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,25 0,6 1,0 1,6	25	32	100 115	75 85	60 68	M10 M12	4	10 12 16	0,55 0,64 0,89 1,17
0,25 0,6 1,0 1,6	50	57	140 160	110 125	90 102	M12 M16	4	11 13 15 19	1,04 1,33 2,06 2,58
0,25 0,6 1,0 1,6	80	89	185 195	150 160	128 138	M16	4	11 15 17 21	1,84 2,44 3,19 3,71
0,25 0,6 1,0 1,6	100	108	205 215	170 180	148 158	M16	4	11 15 19 23	2,6 3,88 5,4 6,38
0,25 0,6 1,0 1,6	125	133	235 245	200 210	178 188	M16	8	11 17 21 25	2,6 3,88 5,4 6,38

Окончание таблицы 4.2.10

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,25 0,6 1,0 1,6	150	159	260	225	202	M16	8	13	3,43
			280	240	68	M12		17	4,39
								21	6,62
								25	7,81
0,25 0,6 1,0 1,6	200	210	315	280	258	M16	8	15	4,73
			335	295	242	M20		19	5,89
								21	8,05
								27	10,1
						12			
0,25 0,6 1,0 1,6	250	273	370	335	312	M16	12	18	6,95
			390	350	320	M20		20	7,67
			405	355		M24		23	10,7
								28	14,5
0,25 0,6 1,0 1,6	300	325	435	395	365	M20	12	18	9,33
			440	400	370			20	10,3
			460	410	378			24	12,9
								28	17,8
					M24				
0,25 0,6 1,0 1,6	350	377	485	445	415	M20	12	18	10,5
			500	460	430		16	20	12,6
			520	470	438			24	15,9
								30	22,9
			M24						
0,25 0,6 1,0 1,6	400	426	535	495	465	M20	16	18	11,6
			565	515	482	M24		24	15,2
			580	525	490	M27		26	21,6
								34	31
0,25 0,6 1,0 1,6	500	530	640	600	570	M20	16	20	16
							25	19,7	
			670	620	585	M24	20	28	27,7
			710	650	610	M30		44	57

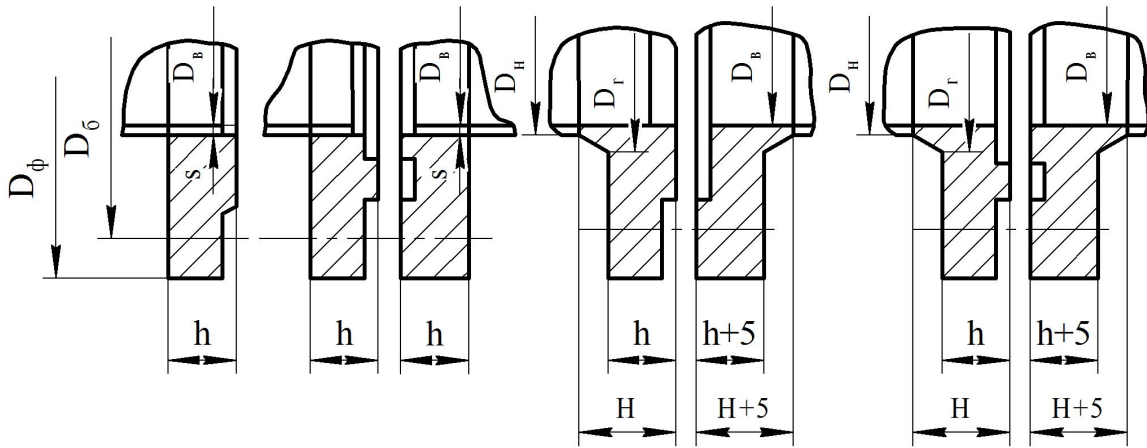


Рис. 4.2.6. Конструкции фланцев

Таблица 4.2.11

Фланцы арматуры, соединительных частей и трубопроводов, цельные

Р _у , МН/ м ²	D _в	D _φ	D _б	D _г	D _н	S _{mi} n	H				Болты										
							для типов				d _б	z									
							3 и 4	1	2	3 и 4											
мм																					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13									
0,3	400	530	490	-	-	6	-	-	24	-	M20	16									
0,6		535	495	428	412		50	10	35	25		20	24								
1,0														54	32	38	30				
1,6																					
0,3	450	580	540	-	-	6	-	-	25	-	M20	20									
0,6		590	550	482	464		55	32	38	28		24	24								
1,0														60	36	42	32				
1,6																					
0,3	500	630	590	-	-	6	-	20	25	-	M20	20									
0,6		640	600	532	514		58	34	40	30		24	24								
1,0														62	40	45	35				
1,6																					
0,3	600	730	690	-	-	6	-	22	28	-	M20	24									
0,6		740	700	636	614		65	38	44	32		28	24								
1,0														68	46	52	38				
1,6																					
0,3	700	830	790	-	-	6	-	25	30	-	M20	28									
0,6		840	800	742	716		72	45	50	32		28	24								
1,0														850	810	746	718	8	80	52	40
1,6																					

Продолжение таблицы 4.2.11

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
0,3 0,6 1,0 1,6	800	930	890	-	-	6	-	26	32	-	M20	32
		945	905	848	818	6	90	52	58	35		
		955	915	852	820	8		60	65	42		36 40
0,3 0,6 1,0 1,6	900	1030	990	-	-	6	-	30	35	-	M20	36
		1045	1005	952	918	8/12	90	54	60/50	40		
		1055	1015	958	922	8	100	68	74	45		40 44
0,3 0,6 1,0 1,6	1000	1130	1090	-	-	6	-	32	38	-	M20	40
		1145	1105	1056	1120		98	62/54	68/60	45		
		1160	1120	1062	1126	8/12	108	74	80	50		44 52
0,3 0,6 1,0 1,6	1100	1230	1190	-	-	8	-	32	38	-	M20	40
		1250	1210	1160	1120	8/12	105	66/58	72/64	48		
		1260	1220	1168	1126	-	118	-	-	55		52 56
0,3 0,6 1,0 1,6	1200	1335	1295	-	-	8	-	32	38	-	M20	
		1350	1310	1260	1220	8/12	110	72/64	78/70	50		
		1360	1320	1270	1228	-	112	-	-	30		
0,3 0,6 1,0 1,6	1300	1435	1395	-	-	8	-	38	44	-	M20	48
		1450	1410	1362	1322	8/12	112	78/70	84/75	52		
		1470	1425	1372	1330	-	125	-	-	62		M22
0,3 0,6 1,0 1,6	1400	1535	1495	-	-	8	-	38	44	-	M20	56 60
		1555	1515	1466	1422	8/12	125	84/78	90/84	58		
		1575	1530	1478	1432	-	138	-	-	68		M22
0,3 0,6 1,0 1,6	1500	1635	1595	-	-	10	-	42	48	-	M20	56
		1655	1615	1566	1522	10/16	130	92/74	98/80	65		
		1690	1640	1582	1534	-	142	-	-	70		M24
0,3 0,6 1,0 1,6	1600	1740	1700	-	-	10	-	42	48	-	M20	60
		1765	1725	1672	1626	10/12	140	100/64	105/70	70		
		1805	1750	1688	1636	-	155	-	-	75		M27

Окончание таблицы 4.2.11

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
0,3 0,6	1700	1840	1800	-	-	10	-	42 76	48 82	-	M20	64
0,3 0,6 1,0 1,6	1800	1940	1900	-	-	10	-	48 82	54 88	-	M20	68
		1995 2025	1950 1970	1890 1902	1832 1838	-	160 180	-	-	75 85	M24 M30	72 64
0,3 0,6	1900	2040	2000	-	-	10	-	53 88	60 94	-		
0,3 0,6 1,0 1,6	2000	2140	2100	-	-	10	-	58 90	64 95	-		
		2205 2240	2160 2180	2100 2112	2034 2040	-	185 205	-	-	80 95		
0,3 0,6 1,0 1,6	2200	2350	2310	-	-	12	-	58 92	64 98	-	M20	80
		2415 2450	2370 2390	2310 2320	2236 2248	-	195 220	-	-	85 105	M24 M30	80 72
0,3 0,6	2400	2550	2510	-	-	12	-	64 102	68 108	-	M20	88
0,3	2600	2750	2710	-	-	12	-	68	74	-	M20	88
0,3	2800	2950	2910	-	-	12	-	74	80	-	M20	92
0,3	3000	3150	3110	-	-	12	-	80	85	-	M20	96

Таблица 4.2.12

Условные проходы штуцеров выпарного аппарата

Условные обозначения	Назначение штуцеров и люков	Диаметры обечаек греющих камер D_k , мм												
		600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000
		Условные проходы D , мм												
А	Вход греющего пара	250	400	500	600	800	800	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1100
Б	Выход вторичного пара	300	500	600	700	800	800	1000	1000	1000	1100	1100	1200	1200
В	Выход конденсата	40	50	70	100	100	100	125	125	125	150	150	150	150
Г	Вход раствора	50	70	80	100	100	125	125	150	150	150	200	200	200
Д	Выход раствора	40	50	70	80	80	100	100	125	125	125	150	150	150
К	Смотровое окно	80	80	80										
Л	Люк на сепараторе	400	400	400					150					
М	Люк на греющей камере								500					
Н								250						

Примечание. Аппараты прямоточные (пленочные)

Таблица 4.2.13

Материалы, применяемые для термической изоляции

Температура среды, °С	Наименование термоизоляционного материала	Толщина одного слоя, мм	Число слоев	Толщина изоляции, мм	Удельный вес изоляции, кг/м ³
80	Асбестоцементные плиты с проволочной сеткой. Асбозуритовая штукатурка.	30	1	40	430
		10	1		900
130	Асбестоцементные плиты с проволочной сеткой. Асбозуритовая штукатурка	30	2	75	430
		15	1		900
160	Скорлупа из совелита без обжига. Асбозуритовая штукатурка.	80	1	90	500
		10	1		900
200	Совелитовые плиты с проволочной сеткой. Асбозуритовая штукатурка.	50	1	105	400
		40	1		900
		15	1		
260	Совелитовые плиты с проволочной сеткой. Асбозуритовая штукатурка.	30			
		15			
340	Совелитовые плиты с проволочной сеткой. Асбозуритовая штукатурка.	60	2	110	--
		10	1		900
400	Совелитовые плиты с проволочной сеткой. Асбозуритовая штукатурка.	50	2	145	--
		30	1		900
		15	1		
450	Совелитовые плиты с проволочной сеткой. Асбозуритовая штукатурка.	40	3	135	400
		15	1		900

Таблица 4.2.14

Размеры сепараторов вертикальных трубчатых выпарных аппаратов

Размеры сепаратора											
Диаметр, мм	При $P_{вип} \geq 9,81 \cdot 10^4$ Па	D_c	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000
	При $P_{вип} \approx 0,8 \cdot 10^4$ Па		800	1200	1400	2000	2200	2600	2800	3000	3200
Высота, мм	До брызгоуловителя	H_c	1200			1600					
	До отбойника	H_0	300	400		500		600		700	
Диаметр, мм	При $P_{вип} \geq 9,81 \cdot 10^4$ Па	D_c	800	1000	1000	1400	1600	1800	2200	2400	2600
	При $P_{вип} \approx 0,8 \cdot 10^4$ Па				1400	1800	2000	2400	2800	3200	3600
Высота до брызгоуловителя, мм		H_c	1200			1600					
Диаметр, мм	При $P_{вип} \geq 9,81 \cdot 10^4$ Па	D_c	800	1200	1600	1800	2000	2400	2800	3000	4000
	При $P_{вип} \approx 0,8 \cdot 10^4$ Па			1400	1800	2200	2600	3200	3300	4000	5000
Высота до брызгоуловителя, мм		H_c	1200			1600					
Диаметр, мм	При $P_{вип} \geq 9,81 \cdot 10^4$ Па	D_c		1200	1400	1600	2000	2200	2400	2600	2800
	При $P_{вип} \approx 0,8 \cdot 10^4$ Па							2400	2600	2800	3400
Высота, мм	До брызгоуловителя	H_c		1200			1600				
	До отбойника	H_0		400		500		600		700	

Таблица 4.2.15

Рекомендуемый сортамент стальных труб, работающих под давлением до 10 МПа ($100 \text{ кг с} / \text{см}^2$) согласно ГОСТ 8734-75 и ГОСТ 9941-81

Условный проход d_y , мм	Наружный диаметр d_n , мм		Толщина стенки S , мм	
	ГОСТ 8734-75	ГОСТ 9941-81	ГОСТ 8734-75	ГОСТ 9941-81
15	20	18	2,0	2,5
20	25	25	2,0	2,5
25	32	32	3,5	2,5
32	38	38	3,5	3,0
40	45	45	4,0	3,5
50	57	56	6,0	4,0
65	76	76	7,0	5,0
80	89	89	7,0	6,0
100	108	108	8,0	7,0
125	132	133	10,0	8,0
150	158	159	11,0	9,0
200	218	219	14,0	12,0
250	272	273	18,0	14,0
300	324	325	20,0	18,0

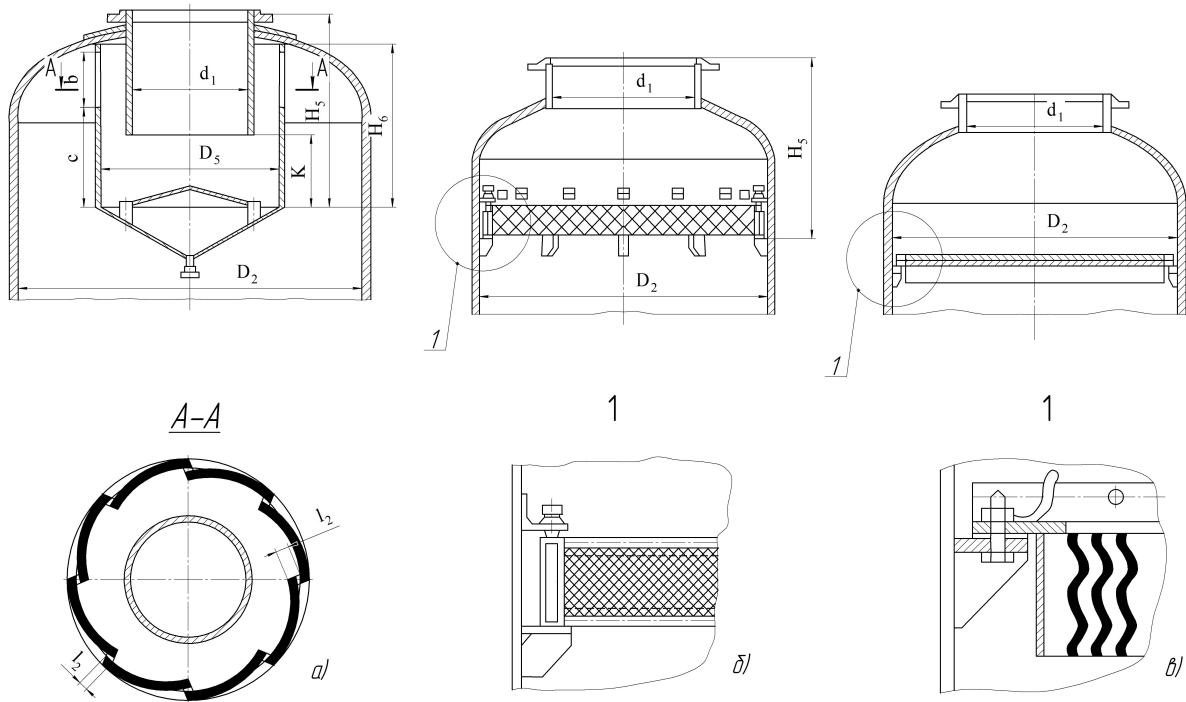


Рис.4.2.8. Конструктивное оформление соединения брызгоотделителей с обечайкой сепаратора: а-центробежный; б-насадочный; в-жалюзийный

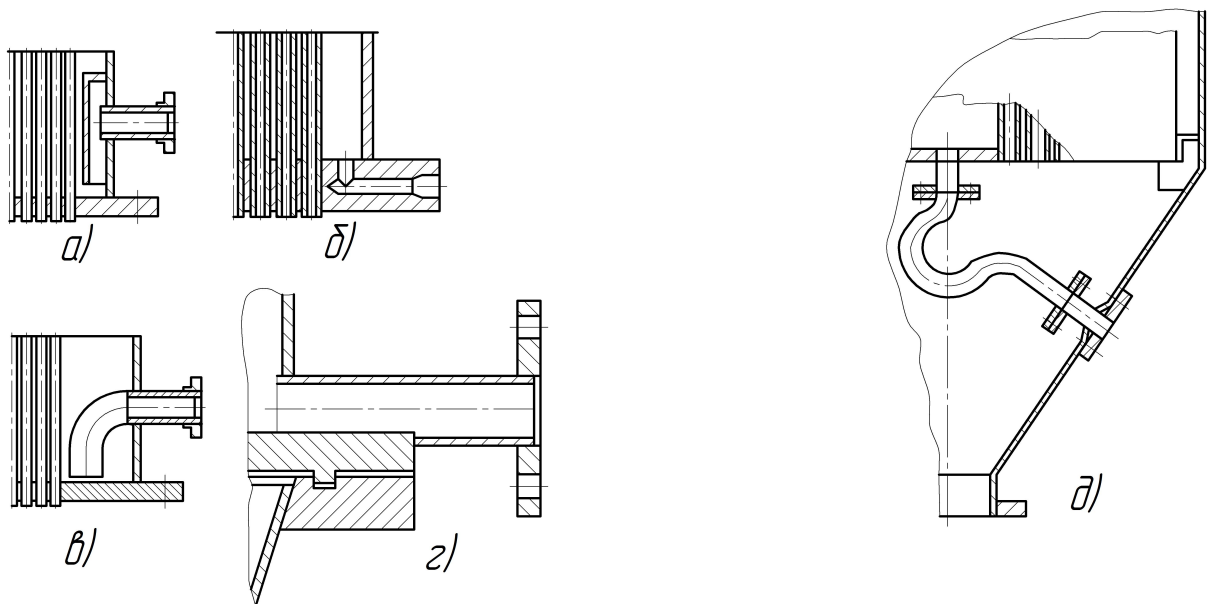


Рис.4.2.9. Конструктивное оформление соединения штуцера вывода конденсата с греющей камерой аппарата. Вывод конденсата: в, г, д – с уровня трубной решетки; а, б – на заданной высоте от трубной решетки

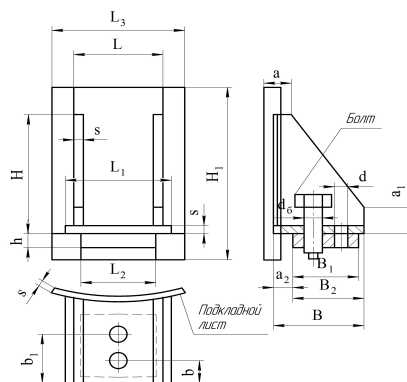


Рис.4.2.10. Конструкция опоры (лапы)

Таблица 4.2.17

Размеры опор (лап) вертикальных цилиндрических аппаратов

$G \cdot 10^2$ МН(м)	Тип опоры	L, мм	L ₁ , мм	L ₂ , мм	V, мм	V ₁ , мм	V ₂ , мм	b, мм	b ₁ , мм	H, мм	h, мм	s, мм	a, мм	a ₁ , мм	a ₂ , мм	d, мм	d ₆ , мм	Масса , кг	s ₁ , мм	L ₃ , мм	H ₁ , мм
0,16	I	50	60	40	60	45	50	15	40	85	6	4	10	15	10	12	M10	0,5	4; 6;	75	120
	100				55	60	45		120	0,81								8; 10	155		
0,4	I	85	95	80	95	65	70	22	50	140	10	5	15	25	25	12	M10	1,15	6;	125	200
	160				75	880	60		190	2,57								8	255		
1,0	I	100	120	90	115	80	85	22	65	170	14	6	25	30	30	24	M16	2,65	8	150	250
	195				85	90	70		235	4,56								10	310		
2,5	I	140	160	130	155	110	115	22	90	230	20	8	25	40	40	24	M20	6,84	10	200	330
	255				110	115	90		310	10,7								12	410		
4,0	I	170	190	160	185	125	135	40	105	285	24	10	30	50	50	35	M24	9,46	10	250	405
	315				145	155	115		390	20,2								12	510		
6,3	I	210	240	200	230	160	170	40	135	345	30	12	35	60	60	35	M30	22,6	12	300	490
	380				160	170	135		470	35,4								16	620		
10	I	280	320	260	310	220	230	40	175	460	32	16	50	80	80	42	M36	50,5	16	400	650
	520				230	240	175		620	88,2								20	820		
16	I	340	380	320	390	280	290	60	205	570	40	20	60	100	100	42	M42	96,4	20	500	810
	650				280	290	205		780	156								24	1020		
25	I	410	460	380	480	350	360	60	225	680	50	24	75	120	120	42	M48	173	24	600	970
	800				360	360	225		940	278								28	1230		

Таблица 4.2.18

Основные параметры болтов с шестигранной головкой по ГОСТ 7798-70,

мм

Нормальный диаметр резьбы, d	Шаг резьбы		d ₁	S	H	D, не менее	r		d ₃	Предельное смещение оси отверстия в стержне относительно оси резьбы	d ₄	l ₂
	крупный	мелкий					не менее	не более				
6	1	-	6	10	4	10,9	0,25	0,6	1,6	0,20	2	2
8	1,25	1	8	13	5,5	14,2	0,4	1,1	2	0,20	2,5	2,8
10	1,5	1,25	10	17	7	18,7	0,4	1,1	2,5	0,20	3,2	3,5
12	1,75	1,25	12	19	8	20,9	0,6	1,6	3,2	0,25	3,2	4
(14)	2	1,5	14	22	9	24,3	0,6	1,6	3,2	0,25	3,2	4,5
16	2	1,5	16	24	10	26,5	0,6	1,6	4	0,30	4	5
(18)	2,5	1,5	18	27	12	29,9	0,6	1,6	4	0,30	4	6
20	2,5	1,5	20	30	13	33,3	0,8	2,2	4	0,30	4	6,5
(22)	2,5	1,5	22	32	14	35	0,8	2,2	5	0,45	4	7
24	3	2	24	36	15	39,6	0,8	2,2	5	0,45	4	7,5
(27)	3	2	27	41	17	45,2	1,0	2,7	5	0,45	4	8,5
30	3,5	2	30	46	19	50,9	1,0	2,7	6,3	0,45	4	9,5
36	4	3	36	55	23	60,8	1,0	3,2	6,3	0,45	5	11,
42	4,5	3	42	65	26	72,1	1,2	3,3	8	0,50	5	5
48	5	3	48	75	30	83,4	1,6	4,3	8	0,50	5	13
												15

Таблица 4.2.19

Гайки шестигранные по ГОСТ 5915-70, мм

Номинальный диаметр резьбы, d	Шаг резьбы		Размер “под ключ”	Диаметр описанной окружности D, не менее	Высота Н
	крупный	мелкий			
6	1	-	10	10,9	5
8	1,25	1	13	14,2	6,5
10	1,5	1,25	17	18,7	8
12	1,75	1,25	19	20,9	10
(14)	2	1,5	22	24,3	11
16	2	1,5	24	26,5	13
(18)	2,5	1,5	27	29,9	15
20	2,5	1,5	30	33,3	16
(22)	2,5	1,5	32	35,0	18
24	3	2	36	39,6	19
(27)	3	2	41	45,2	22
30	3,5	2	46	50,9	24
36	4	3	55	60,8	29
42	4,5	3	65	72,1	34
48	5	3	75	83,4	38

Таблица 4.2.20

Шайбы пружинные (ГОСТ 6402-70), мм

Номинальный диаметр резьбы крепежной детали	Номинальный диаметр d	Размеры S и b			
		Легкие шайбы		Нормальные шайбы	Тяжелые шайбы
		S	b	S=b	S=b
5	5,1	1,2	1,6	1,4	1,6
6	6,1	1,4	2,0	1,6	2,0
8	8,1	1,6	2,5	2,0	2,5
10	10,1	2,0	3,0	2,5	3,0
12	12,0	2,5	3,5	3,0	3,5
14	14,2	3,0	4,0	3,5	4,0
16	16,3	3,2	4,5	4,0	4,5
18	18,3	3,5	5,0	4,5	5,0
20	20,5	4,0	5,5	5,0	5,5
22	22,5	4,5	6,0	5,5	6,0
24	24,5	5,0	7,0	6,0	7,0
27	27,5	5,5	8,0	7,0	8,0
30	30,5	6,0	9,0	8,0	9,0
36	36,5	-	-	9,0	10
42	42,5	-	-	10	12
48	48,5	-	-	12	-

Таблица 4.2.21

Шайбы нормальные (ГОСТ 1371-78) и шайбы увеличенные (ГОСТ 6958-78), мм

Номинальный диаметр резьбы крепежной детали	Шайбы нормальные					Шайбы увеличенные		
	d ₁	d ₂	S	e	X, не менее	d ₁	d ₂	S
1	1,1	5	0,3	0,08-0,15	0,15	1	4	0,5
1,2	1,3	4	0,3	0,08-0,15	0,15	1,3	4	0,5
1,4	1,5	4	0,3	0,08-0,15	0,15	1,5	-	0,8
1,6	1,7	4	0,3	0,08-0,15	0,15	1,7	5	0,8
2	2,2	5	0,3	0,08-0,15	0,15	2,2	6	0,8
2,5	3,2	6,5	0,5	0,13-0,25	0,25	2,7	8	0,8
3	4,3	7	0,5	0,13-0,25	0,25	3,2	10	0,8
4	5,3	9	0,8	0,20-0,40	0,40	4,3	12	1,0
5	6,4	10	1,0	0,25-0,50	0,50	5,3	16	1,6
6	8,4	12,5	1,6	0,40-0,80	0,80	6,4	18	1,6
8	10,5	17	1,6	0,40-0,80	0,80	8,4	24	2,0
10	13	21	2,0	0,50-1,00	1,00	10,5	30	2,5
12	15	24	2,5	0,60-1,25	1,25	13	36	3
14	17	28	2,5	0,60-1,25	1,25	15	42	3
16	19	30	3	0,75-1,50	1,50	17	48	4
18	21	34	3	0,75-1,50	1,50	19	55	4
20	23	37	3	0,75-1,50	1,50	21	60	5
22	25	39	3	0,75-1,50	1,50	23	65	5
24	28	44	4	1,00-2,00	1,50	25	70	6
27	31	50	4	1,00-2,00	1,50	28	80	6
30	37	56	4	1,00-2,00	1,50	31	90	6
36	43	66	5	1,25-2,50	1,50	37	100	8
42	50	78	7	1,75-3,50	2,10	43	120	8

4.3. ВЫПАРНЫЕ АППАРАТЫ: ТИПЫ, КОНСТРУКЦИИ

Таблица 4.3.1

Основные характеристики выпарных аппаратов

1	2	3	4		6	7	8			11
			Конструктивные особенности	Расположение греющей камеры			Диаметр, мм	Толщина стенок, мм	Длина, мм	
ТИП	ИСПОЛНЕНИЕ	Принцип действия	Конструктивные особенности	Расположение зоны кипения	Основные назначения	Поверхность теплообмена, м ²	Размеры труб греющих камер			Рекомендуемые соотношения площадей сечения труб (циркуляционных и греющей камеры), не менее
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
I	а	Естественная циркуляция	Соосная (внутренняя)	В трубах греющей камеры	Упаривание растворов, не образующих осадка на греющей поверхности	10,16,25,50 63,100,125 160,200,250 315,400,500 630,800,1000 1250,1400 1600,1800,2000	25 38 57	2,0; 3,0 2,0; 3,5 2,5; 3,5	3;4; 5 3;4; 5 7; 2,5 4;5; 7	0,5
	б	То же	То же	Вынесена	Упаривание растворов, образующих на греющей поверхности растворимый осадок	10,16,25,50,25 63,80,100,125 160,200,250,38 315,400,500 630,800,1000 1250,1400,1600 1800,2000	25 38	1,5; 2,0 3,0 2,0; 3,5 2,5; 3,5	4;5 4;5; 7 3;5; 7	0,9
II	а	Выносная	Выносная	В трубах греющей камеры	Упаривание растворов, не образующих осадка на греющей поверхности и пенящихся растворов	10,16,25,50,63 80,100,125,160 200,250,315,400 500,630,800 1000,1250,1400 1600,1800,2000	25 38 57	2,0; 3,0 2,0; 3,5 2,5; 3,5	3;4; 5 3;4; 57 2,5; 4 5;7	0,5

Окончание таблицы 4.3.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
III	а	Принудительная	Соосная (внутренняя)	Вынесенная	Упаривание растворов, образующих на греющей поверхности растворимый осадок	10,16,25,50,63 80,100,125 160,200,250,315 400,500,630,800 1000,1250,1400 1600,1800,2000	38 57	2,0; 3,5 2,5; 3,5	4;5 3;5; 7	0,9
	а	То же	Выносная	В трубах греющей камеры	Упаривание вязких растворов и растворов, образующих на греющей поверхности растворимый осадок	25,50,63,80,100 125,160,200,250 315,400,500,630 800,1000,1250 1400,1600	25 38	1,5; 2,0 3,0 2,0; 3,5	4;5 5;7	0,9
V	а	Пленочное выпаривание с восходящей пленкой	Соосная (внутренняя)	То же	Упаривание вязких растворов и растворов, образующих на греющей поверхности растворимый осадок	25,50,63,80,100 125,160,200,250 315,400,500,630 800,1000,1250 1400,1600	38	2,0; 3,5	5	0,9
		Пленочное выпаривание с падающей пленкой	То же	То же	Упаривание чистых растворов и растворов чувствительных к высоким температурам	50,63,80 100,125 160,200,250,315 400,500,630,800 1000,1250,1400 1600,1800,2000 2240,2500	38 57	2,0; 3,5 2,5; 3,5	5;7 7;9	-
	б	Пленочное выпаривание с падающей пленкой	То же	То же	То же	50,63,80 100,125 160,200,250,315 400,500,630,800 1000,1250,1400 1600,1800,2000 2240,2500	38	2; 3,5	5;7	-
						50,63,80 100,125 160,200,250,315 400,500,630,800 1000,1250,1400 1600,1800,2000 2240,2500	57	2,5; 3,5	7;9	-

Таблица 4.3.2

Основные конструктивные размеры выпарных аппаратов пленочного типа

Поверхность нагрева, м ²	Общая высота аппарата, мм	Диаметр испарителя, мм	Размеры сепараторов, мм		Число трубок	Вес аппарата, кг
			диаметр	высота		
100	9915	800	1550	2500	157	7800
200	10165	1100	1950	2750	316	11000
300	10315	1300	2250	2900	476	14700
400	10365	1450	2450	2950	628	18000
500	10415	1600	2650	3000	783	21100
600	10415	1750	2850	3000	944	24200
700	10415	1900	3050	300	1100	26900

Таблица 4.3.3

Размеры греющих камер выпарных аппаратов типа ВВ

(с центральной циркуляционной трубой)

Поверхность нагрева, м ²	Наружные диаметры греющих труб									
	d = 38 мм					d = 57 мм				
	Диаметр корпуса (нар.), мм	Диаметр циркуляционной трубы, мм	Длина трубок, мм	Число трубок	Полная поверхность нагрева, м ²	Диаметр корпуса, мм	Диаметр циркуляционной трубы, мм	Длина трубок, мм	Число трубок	Полная поверхность нагрева, м ²
25	600	194	3600	75	27	600	194	3500	29	22
	800	273	2000	146	35	800	273	2500	64	28
50	800	273	3500	146	61	1000	351	3500	102	65
	1000	361	2000	240	53	1200	426	2000	152	55
100	1000	351	3500	240	95	1200	426	3500	152	95
	1400	450	2000	512	122	1400	450	2500	226	100
150	1200	426	3500	386	162	1400	450	3500	226	140
	1400	450	2500	512	152	1600	500	2500	318	145
250	1400	450	4000	512	242	1800	600	3500	392	245
	1600	500	3000	734	464	2000	650	2500	518	232
350	1600	500	4000	734	350	200	650	3500	518	325
	1800	550	3000	944	340	--	--	--	--	--

Типы выпарных трубчатых аппаратов по ГОСТ 11987-81

Таблица 4.3.4

Типы и назначение выпарных аппаратов

Тип	Наименование	Исполнение	Назначение
1	Выпарные трубчатые аппараты с естественной циркуляцией	1 – с соосной двухходовой греющей камерой	Упаривание растворов, не образующих осадка на греющих трубках, а также при незначительных накипеобразованиях, удаляемых промывкой. Упаривание растворов, выделяющих незначительный осадок, удаляемый механическим способом. Упаривание растворов, выделяющих кристаллы и образующих осадок, удаляемый промывкой.
2		2 – с вынесенной греющей камерой	
		3 – с соосной греющей камерой и солеотделением	
2	Выпарные трубчатые аппараты с принудительной циркуляцией	1 – с вынесенной греющей камерой	Упаривание вязких растворов или выделяющих осадок на греющих трубках, удаляемый механическим способом. Упаривание вязких чистых растворов, не выделяющих осадок, а также при незначительных накипеобразованиях на трубках, удаляемых промывкой.
3		2 – с соосной греющей камерой	
	3	Выпарные трубчатые аппараты пленочные	1 – с восходящей пленкой
	2 – со стекающей пленкой		

ОСНОВНЫЕ РАЗМЕРЫ ВЫПАРНЫХ АППАРАТОВ

Таблица 4.3.5

Выпарной аппарат с естественной циркуляцией и соосной двухходовой камерой (тип 1, исполнение 1)

Техническая характеристика (размеры в мм)

Поверхность теплообмена (номинальная), м ² , при диаметре трубы 38x2 мм и длине		Диаметр греющей камеры D, мм	Диаметр сепаратора D ₁ , мм	Диаметр циркуляционной трубы D ₂ , мм	Высота аппарата Н, мм	Масса аппарата, кг	Рисунок, литература
l=3000	l=4000	не менее	не более	не более	не более	не более	
	10	400	600	250	10500	1000	
	16	600	800	300	10500	1200	
	25	600	1000	400	11000	2200	
	40	800	1200	500	11000	3000	
	63	1000	1400	600	11500	4800	
	100	1000	1800	700	11500	6000	
	--	1200	2400	1200	12500	8600	
	--	1400	3000	1400	12500	13000	
	--	1800	3800	1800	12500	21000	

Таблица 4.3.6

Выпарной аппарат с естественной циркуляцией и вынесенной греющей камерой (тип 1, исполнение 2)

Техническая характеристика (размеры в мм)

Поверхность теплообмена (номинальная), м ² , при диаметре трубы 38x2 мм и длине		Диаметр греющей камеры D, мм	Диаметр сепаратора D ₁ , мм	Диаметр циркуляционной трубы D ₂ , мм	Высота аппарата Н, мм	Масса аппарата, кг
l=3000	l=5000	не менее	не более	не более	не более	не более
10	--	400	600	200	12000	1700
16	--	400	800	250	12000	2500
25	--	600	1000	300	12500	3000
40	--	600	1200	400	12500	4700
63	--	800	1600	500	13000	7500
100	112	1000	1800	600	13000	8500
125	140	1000	2200	700	13500	11500
200	180	1200	2400	700	13500	12000
250	224	1200	2800	800	14500	14800
315	280	1400	3200	900	14500	15000
--	355	1600	3600	1000	15000	21000
--	400	1600	3800	1000	15000	26500
--	450	1600	4000	1000	15000	31800
--	500	1600	4500	1200	16500	33000
--	560	1800	4500	1200	17000	38300
--	630	1800	5000	1200	17000	40000
--	710	2000	5000	1400	18000	50000
--	800	2000	5600	1400	18000	55000

Таблица 4.3.7

Выпарной аппарат с естественной циркуляцией, соосной греющей камерой
и солеотделением (тип 1, исполнение 3)

Техническая характеристика (размеры в мм)

Поверхность теплообмена (номинальная), м ² , при диаметре трубы 38x2 мм и длине		Диаметр греющей камеры D	Диаметр сепаратора D ₁	Диаметр циркуляционной трубы D ₂	Высота аппарата H	Масса аппарата, кг
l=4000	l=6000	не менее	не более	не более	не более	не более
10	--	400	600	200	14500	1900
16	--	400	800	250	14500	2500
25	--	600	1000	300	14500	2700
40	50	600	1200	400	15500	3000
63	80	800	1600	500	15500	3500
100	112	1000	1800	600	15500	5200
125	140	1000	2200	700	16000	10000
200	180	1200	2400	700	16000	12500
250	224	1200	2800	800	16000	15000
315	280	1400	3200	900	16500	20000
--	355	1600	3600	1000	17500	23000
--	400	1600	3800	1000	17500	30000
--	450	1600	4000	1000	18000	31500
--	500	1600	4500	1200	18000	33000
--	560	1600	4500	1200	18000	40000
--	630	1800	5000	1200	19000	43500
--	710	1800	5600	1400	19000	48500
--	800	2000	5600	1400	19000	50000

Таблица 4.3.8

Выпарной аппарат с принудительной циркуляцией и соосной греющей камерой (тип 2, исполнение 2)

Техническая характеристика (размеры в мм)

Поверхность теплообмена (номинальная), м ² , при диаметре трубы 38x2 мм и длине l = 6000	Диаметр греющей камеры D, не менее	Диаметр сепаратора D ₁ , не более	Диаметр циркуляционной трубы D ₂ , не более	Высота аппарата H, не более	Масса аппарата, кг, не более
25	400	1000	200	19500	6000
40	600	1200	250	19500	7000
63	600	1600	400	19500	9500
100	800	1800	500	21500	14500
125	800	2200	500	21500	15000
160	1000	2400	600	21500	20000
200	1000	2800	600	24500	22500
250	1200	3200	700	24500	28000
315	1200	3600	800	24500	36000
400	1400	3800	900	26000	44000
500	1600	4000	1000	26000	55000
630	1800	4500	1000	26000	69000
800	2000	5000	1200	26500	87000
1000	2200	5600	1400	26500	112000

Таблица 4.3.9

Выпарной аппарат с принудительной циркуляцией и вынесенной греющей камерой (тип 2, исполнение 1)

Техническая характеристика (размеры в мм)

Поверхность теплообмена (номинальная), м ² , при диаметре трубы 38x2 мм и длине l = 6000	Диаметр греющей камеры D, не менее	Диаметр сепаратора D ₁ , не более	Диаметр циркуляционной трубы D ₂ , не более	Высота аппарата H, не более	Масса аппарата, кг, не более
25	400	1200	200	19000	6000
40	600	1400	250	19000	6600
63	600	1900	400	19000	8300
100	800	2200	500	21000	11300
125	800	2600	500	21000	13000
160	1000	2800	600	21000	15500
200	1000	3000	600	23500	19100
250	1200	3400	700	23500	26500
315	1200	3800	800	23500	29800
400	1400	4000	900	25000	32000
500	1600	4500	1000	25000	42000
630	1800	5000	1000	25000	55000
800	2000	5600	1200	25500	62000
1000	2200	6300	1400	25500	65000

Таблица 4.3.10

Выпарной аппарат с восходящей пленкой (тип 3, исполнение 1)

Техническая характеристика (размеры в мм)

Поверхность теплообмена номинальная, м ²		Диаметр греющей камеры D, мм	Диаметр сепаратора D ₁ , мм	Высота аппарата H, мм	Масса аппарата, кг
при диаметре трубы 38x2 и длине	при диаметре трубы 57x2,5 и длине				
l = 7000	l = 7000	не менее	не более	не более	не более
--	10	400	600	11000	2200
--	16	400	800	11000	3000
--	25	600	1000	11000	3600
--	40	600	1200	11000	4400
--	63	800	1400	12000	5000
--	100	800	1800	12000	7000
--	125	1000	2200	12000	9000
--	160	1000	2400	12000	10000
--	200	1200	2800	12500	11500
--	224	1200	2800	12500	12000
--	250	1200	3000	12500	13000
--	280	1400	3200	12500	14000
--	315	1400	3400	13000	15000
--	355	1400	3600	13000	18500
--	400	1600	3800	13000	20000
--	450	1600	4000	13500	22500
--	500	1800	4500	13500	24000
--	560	1800	4500	13500	26000
--	630	1800	5000	14000	29000
--	710	2000	5000	14000	31000
--	800	2200	5600	14500	37800
--	900	2200	5600	14500	40500
1000	--	2000	6300	14500	42600
--	1120	2400	6300	15000	45400
1250	--	2200	6300	15000	51900
--	1400	2800	7000	16000	60300
1600	--	2400	7500	16000	70200
--	1800	3000	8000	16500	75000
2000	--	2800	8500	16500	83000
--	2240	3200	9000	17000	90000
2500	--	3000	9500	17000	103000
2800	--	3200	10000	18000	120000
3150	--	3400	10000	18000	130000

Таблица 4.3.11

Выпарной аппарат со стекающей пленкой (тип 3, исполнение 2)

Техническая характеристика (размеры в мм)

Поверхность теплообмена номинальная, м ²		Диаметр греющей камеры D, мм	Диаметр сепаратора D ₁ , мм	Высота аппарата H, мм	Высота парового пространства H ₁ , мм	Масса аппарата, кг
l = 4000	l = 6000	не менее	не более	не более	не более	не более
10	12,5	400	600	9000	1500	1500
16	20	400	800	9000	1500	2000
25	31,5	600	1000	9500	1500	2900
40	50	600	1200	9500	1500	3600
63	80	800	1600	10500	1500	5800
100	112	1000	1800	12000	2000	8800
125	140	1000	2200	12000	2000	10000
160	180	1200	2400	12500	2000	13000
200	224	1200	2800	12500	2000	15000
250	280	1400	3200	13500	2000	20000
315	355	1600	3600	15000	2000	23500
--	400	1600	3800	15000	2000	30500
--	450	1600	4000	16000	2000	32500
--	500	1600	4500	16000	2000	35500
--	560	1600	4500	16000	2000	40000
--	630	1800	5000	17000	2000	45500
--	710	1800	5000	17000	2000	51000
--	800	2000	5000	18000	2000	58500

4.4. КОНДЕНСАТОРЫ И НАСОСЫ: ТИПЫ, КОНСТРУКЦИИ

Таблица 4.4.1

Основные размеры барометрических конденсаторов

Размеры	Внутренний диаметр конденсатора D_k , мм						
	500	600	800	1000	1200	1600	2000
Толщина стенки аппарата S	5	5	5	6	6	8	10
Расстояние от верхней полки до крышки аппарата a	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300
Расстояние от нижней полки до днища аппарата r	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200
Ширина полки в B	--	--	500	650	750	1000	1250
Расстояние между осями конденсатора и ловушкой:							
K₁	675	725	950	1100	1200	1450	1650
K₂	--	--	835	935	1095	1355	1660
Высота установки H	4300	4550	5080	5680	6320	7530	8500
Ширина T	1300	1400	2350	2600	2975	3200	3450
Диаметр ловушки D₁	400	400	500	500	600	800	800
Высота h₁	1440	1440	1700	1900	2100	2300	2300
Диаметр D₂	--	--	400	400	500	600	800
Высота h₂	--	--	1350	1350	1400	1450	1500
Расстояние между полками:							
a₁	220	260	200	250	300	400	500
a₂	260	300	260	320	400	500	650
a₃	320	360	320	400	480	640	800
a₄	360	400	380	475	575	750	950
a₅	390	430	440	550	660	880	1070
Условные проходы штуцеров:							
для входа пара A	300	350	350	400	450	600	800
для входа пара B	100	125	200	200	250	300	400
для входа парогазовой смеси B	80	100	125	150	200	200	250
для барометрической трубы Г	125	150	200	200	250	300	400
воздушник C	--	--	25	25	25	25	25
для входа парогазовой смеси И*	80	100	125	150	200	200	250
для выхода парогазовой смеси Ж*	50	70	80	100	150	200	250
для барометрической трубы Е*	50	50	70	70	80	80	100

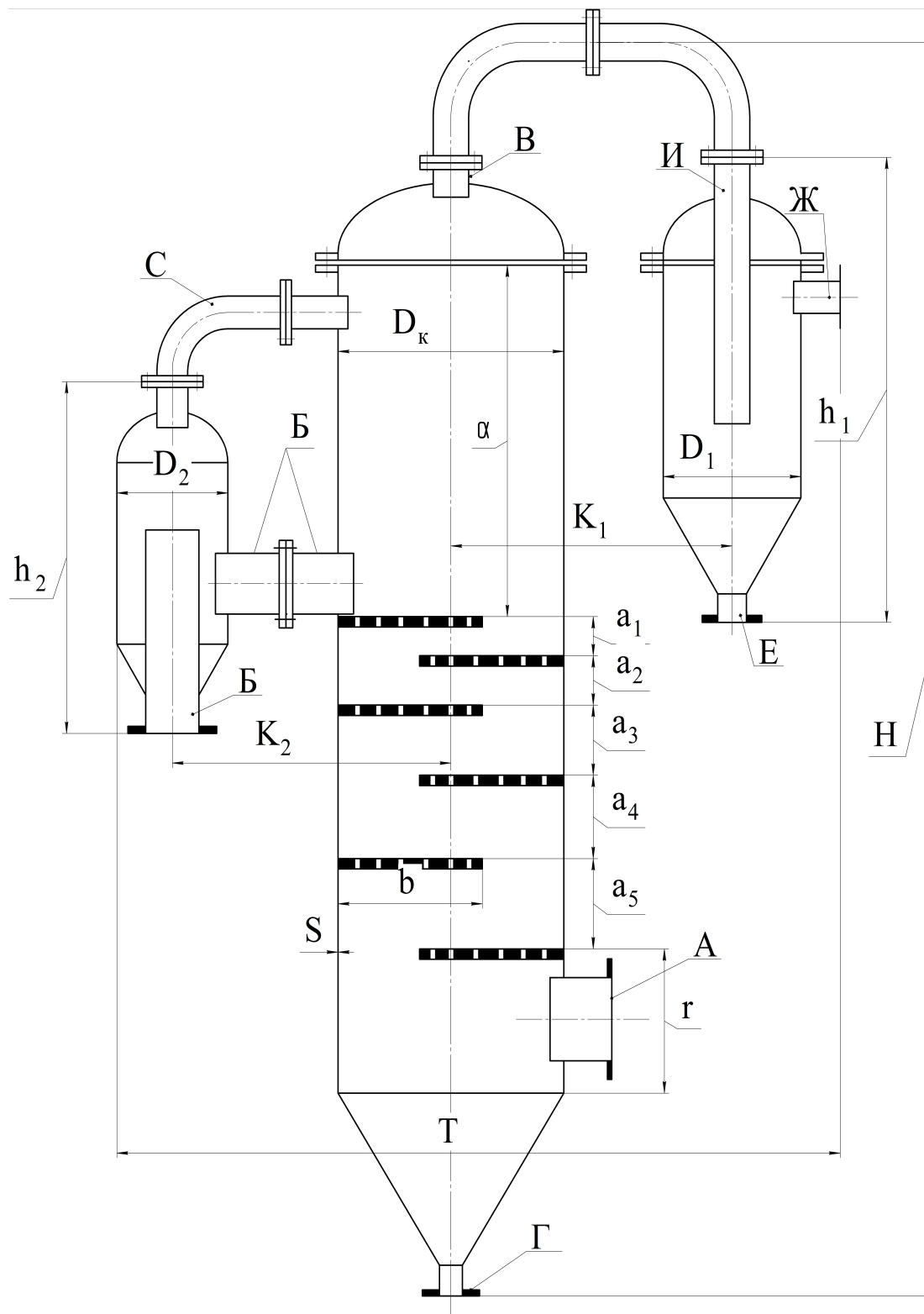


Рис.4.4.1. Барометрический конденсатор. Тип А.

С концентрическими полками

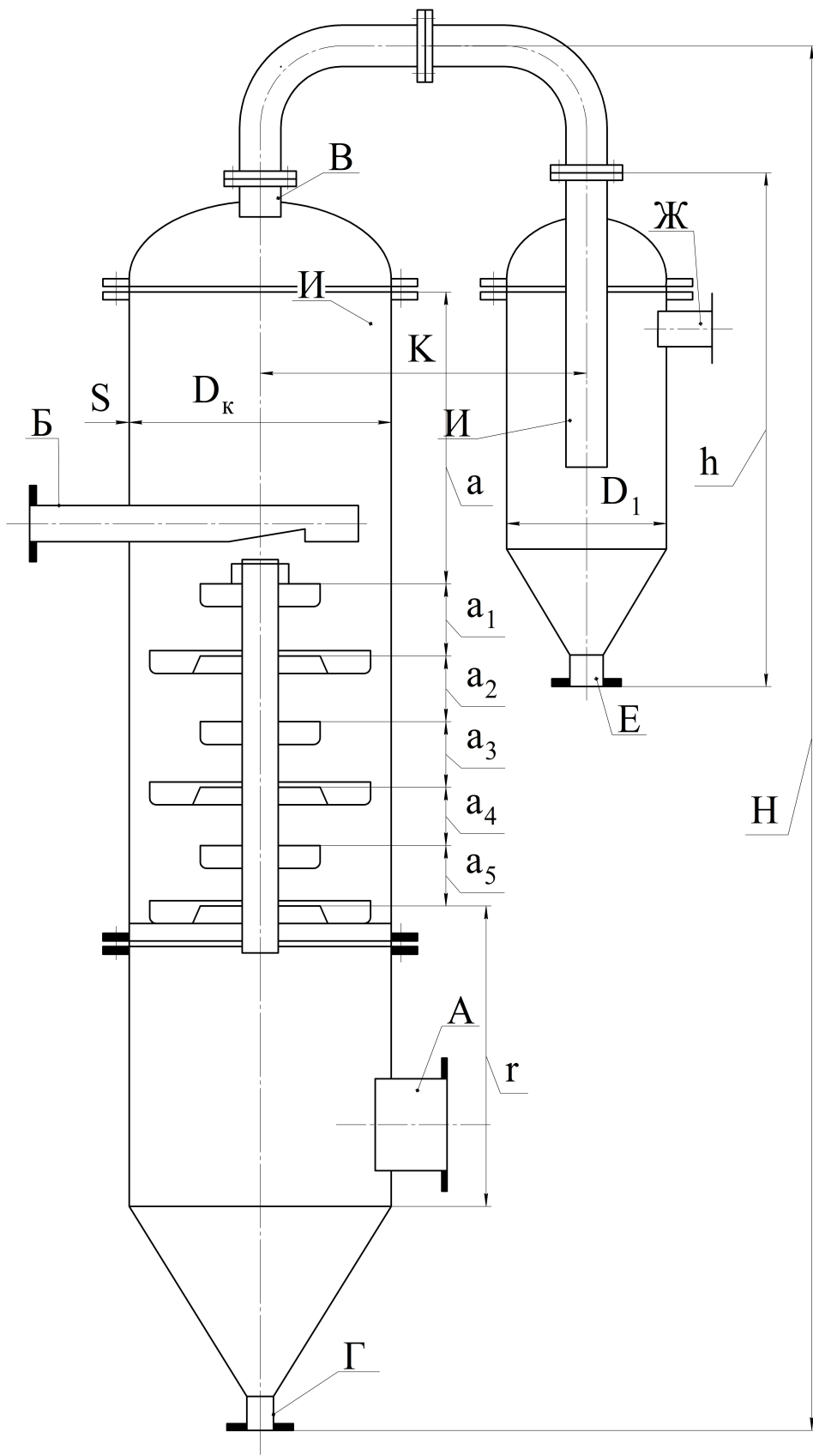


Рис.4.4.2. Барометрический конденсатор. Тип Б.
С сегментными полками

Таблица 4.4.2

Техническая характеристика вакуум-насосов типа ВВН

Типоразмер	Остаточное давление, мм рт. ст.	Производительность, м ³ /мин	Мощность на валу, кВт
ВВН – 0,75	110	0,75	1,3
ВВН – 1,5	110	1,5	2,1
ВВН – 3	75	3	6,5
ВВН – 6	38	6	12,5
ВВН – 12	23	12	20
ВВН – 25	15	25	48
ВВН – 50	15	50	94

Примечание. ВВН – 6 - водяной вакуум-насос производительность
6 м³/мин.

4.5. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ И ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НАСЫЩЕННОГО ВОДЯНОГО ПАРА И НЕКОТОРЫХ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ

Таблица 4.5.1

Свойства насыщенного пара в зависимости от давления

Давление (абсолютное) кгс/см ²	Температура, °С	Удельный объем, м ³ /кг	Плотность, кг/м ³	Удельная энтальпия жидкости, кДж/кг	Удельная энтальпия пара, кДж/кг	Удельная теплота парообразова- ния г, кДж/кг
1	2	3	4	5	6	7
0,01	6,6	131,60	0,00760	27,7	2506	2478
0,015	12,7	89,64	0,01116	53,2	2518	2465
0,02	17,1	68,27	0,01465	71,6	2526	2455
0,025	20,7	55,28	0,01809	86,7	2533	2447
0,03	23,7	46,53	0,02820	99,3	2539	2440
0,04	28,6	35,46	0,03481	119,8	2548	2429
0,05	32,5	28,73	0,04133	136,2	2556	2420
0,06	35,8	24,19	0,05420	150,0	2562	2413
0,08	41,1	18,45	0,06686	172,2	2573	2400
0,10	45,4	14,96	0,07937	190,2	2581	2390
0,12	49,0	12,60	0,09789	205,3	2588	2382
0,15	53,6	10,22	0,1283	224,6	2596	2372
0,20	59,7	7,977	0,1876	250,1	2607	2358
0,30	68,7	5,331	0,2456	287,9	2620	2336
0,40	75,4	4,072	0,3027	315,9	2632	2320
0,50	80,9	3,304	0,3590	339,0	2642	2307
0,60	85,5	2,785	0,4147	358,2	2650	2296
0,70	89,3	2,411	0,4699	375,0	2657	2286
0,80	93,0	2,128	0,5246	389,7	2663	2278
0,90	96,2	1,906	0,5790	403,1	2668	2270
1,0	99,1	1,727	0,6865	415,2	2677	2264
1,2	104,2	1,457	0,7931	437,0	2686	2249
1,4	108,7	1,261	0,898	456,3	2693	2237
1,6	112,7	1,113	1,003	473,1	2703	2227
1,8	116,3	0,997	1,107	483,6	2709	2217
2,0	119,6	0,903	1,618	502,4	2710	2208
3,0	132,9	0,6180	2,120	558,9	2730	2171
4,0	142,9	0,4718		601,1	2744	2141

Окончание таблицы 4.5.1

1	2	3	4	5	6	7
5,0	151,1	0,3825	2,614	637,7	2754	2117
6,0	158,1	0,3222	3,104	667,9	2764	2095
7,0	164,1	0,2785	3,591	694,3	2769	2075
8,0	169,6	0,2454	4,075	718,4	2776	2057
9,0	174,5	0,2195	4,536	740,0	2780	2040
10	179,0	0,1985	5,037	759,6	2784	2024
11	183,2	0,1813	5,516	778,1	2787	2009
12	187,1	0,1668	5,996	795,3	2790	1995
13	190,7	0,1545	6,474	811,2	2793	1984
14	194,1	0,1438	6,952	826,7	2795	1968
15	197,4	0,1346	7,431	840,9	2796	1956
16	200,4	0,1264	7,909	854,9	2798	1943
17	203,1	0,1192	8,389	867,7	2799	1931
18	206,2	0,1128	8,868	880,3	2800	1920
19	208,8	0,1070	9,349	892,5	2801	1909
20	211,4	0,1017	9,83	904,2	2802	1898
30	232,8	0,06802	14,70	1102	2801	1800
40	249,2	0,05069	19,73	1079	2793	1715
50	262,7	0,04007	24,96	1143	2780	1637
60	274,3	0,03289	30,41	1199	2763	1565
70	284,5	0,02769	36,12	1249	2746	1497
80	293,6	0,02374	42,13	1294	2726	1432
90	301,9	0,02064	48,45	1337	2705	1369
100	309,5	0,01875	55,11	1377	2684	1306
120	323,1	0,01437	69,60	1455	2538	1183
140	335,0	0,01164	85,91	1531	2592	1061
160	345,7	0,00956	104,6	1606	2540	934
180	355,4	0,00781	128,0	1684	2483	799
200	304,2	0,00614	162,9	1783	2400	617
225	374,0	0,00310	322,6	2100	2100	0

Таблица 4.5.2

Свойства насыщенного пара в зависимости от температуры

Температура, °С	Давление (абсолютное) кгс/см ²	Удельный объем, м ³ /кг	Плотность, кг/м ³	Удельная энтальпия жидкости, кДж/кг	Удельная энтальпия пара, кДж/кг	Удельная теплота парообразова ния г, кДж/кг
1	2	3	4	5	6	7
0	0,0062	206,5	0,00484	0	2493,1	2493,1
5	0,0089	147,1	0,00680	20,95	2502,7	2481,7
10	0,0125	106,4	0,00940	41,90	2512,3	2470,4
15	0,0174	77,9	0,01283	62,85	2522,4	2459,5
20	0,0238	57,8	0,01729	83,80	2532,0	2448,2
25	0,0323	43,40	0,02304	104,75	2541,7	2436,9
30	0,0433	32,93	0,03036	125,70	2551,3	2425,6
35	0,0573	25,25	0,03960	146,65	2561,0	2414,3
40	0,0752	19,55	0,05114	167,60	2570,6	2403,0
45	0,0977	15,28	0,06543	188,55	2579,8	2391,3
50	0,1258	12,054	0,0830	209,50	2589,5	2380,0
55	0,1605	9,589	0,1043	230,45	2598,7	2368,2
60	0,2031	7,687	0,1301	251,40	2608,3	2356,9
65	0,2550	6,209	0,1611	272,35	2617,5	2345,2
70	0,3177	5,059	0,1979	293,30	2626,3	2333,0
75	0,393	4,139	0,2419	314,3	2636	2331
80	0,483	3,414	0,2929	335,2	2644	2310
85	0,590	2,832	0,3531	356,2	2653	2297
90	0,715	2,365	0,4229	377,1	2662	2285
95	0,862	1,985	0,5039	398,1	2671	2273
100	1,033	1,675	0,5970	419,0	2679	2260
105	1,235	1,421	0,7036	440,4	2687	2248
110	1,461	1,212	0,8254	461,3	2696	2234
115	1,724	1,038	0,9635	482,7	2704	2221
120	2,025	0,893	1,1199	504,1	2711	2207
125	2,367	0,7715	1,296	525,4	2718	2194

Окончание таблицы 4.5.2

1	2	3	4	5	6	7
130	2,755	0,6693	1,494	546,8	2726	2179
135	3,192	0,5831	1,715	568,2	2733	2165
140	3,685	0,5096	1,962	589,5	2740	2150
145	4,238	0,4469	2,238	611,3	2747	2125
150	4,855	0,3933	2,543	632,7	2753	2120
160	6,303	0,3075	3,252	654,1	2765	2089
170	8,080	0,2431	4,113	719,8	2776	2059
180	10,23	0,1944	5,145	763,8	2785	2021
190	12,80	0,1568	6,378	808,3	2792	1984
200	15,85	0,1276	7,840	852,7	2798	1945
210	19,55	0,1045	9,567	897,9	2801	1904
220	23,66	0,0862	11,600	943,2	2803	1860
230	28,53	0,07155	13,98	989,2	2802	1813
240	34,13	0,05967	16,76	1035	2799	1763
250	40,55	0,04998	20,01	1082	2792	1710
260	47,85	0,04199	23,82	1130	2783	1653
270	56,11	0,03538	28,27	1178	2770	1593
280	65,42	0,02988	33,47	1226	2754	1528
290	75,88	0,02525	39,60	1275	2734	1459
300	87,6	0,02131	46,93	1327	2710	1384
310	100,6	0,01799	55,59	1380	2782	1302
320	115,2	0,01516	65,95	1437	2650	1213
330	131,3	0,01273	78,53	1498	2613	1117
340	149,0	0,01064	93,98	1564	2571	1009
350	168,6	0,00884	113,2	1638	2519	881,2
360	190,3	0,00716	139,6	1730	2444	713,6
370	214,5	0,00585	171,0	1890	2304	411,5
374	225	0,00310	322,6	2100	2100	0

Таблица 4.5.3

Температура кипения водных растворов в зависимости от их концентрации, мас. %

Вещество	Температура, °С														
	101	102	103	104	105	107	110	115	120	125	140	160	180	200	220
BaCl₂	11,26	20,11	27,38	33,11	33,57	При	105 ⁰ С	--	--	--	--	--	--	--	--
BaCl₂+2H₂O	13,04	23,75	32,11	38,84	41,72	При	104 ⁰ С	--	--	--	--	--	--	--	--
CaCl₂	5,66	10,31	14,16	17,36	20,00	24,24	29,33	35,68	40,83	45,80	57,89	68,94	75,85	--	--
Ca(NO₃)₂	9,09	16,66	23,08	28,57	33,33	41,0	49,49	57,89	62,89	66,89	76,41	81,49	При	152 ⁰ С	--
КОН	4,49	8,51	11,97	14,82	17,01	20,88	25,65	31,97	36,51	40,23	48,05	54,89	60,41	64,91	68,73
КС₂Н₃О₂	5,66	10,71	15,25	19,67	23,66	30,56	38,84	49,49	57,26	63,17	75,55	85,89	86,23	При	161 ⁰ С
KCl	8,42	14,31	18,96	23,02	26,57	32,62	36,47	При	108,5 ⁰ С	--	--	--	--	--	--
K₂CO₃	10,31	18,37	24,24	28,57	32,24	37,69	43,97	50,86	56,04	60,40	66,94	При	135,5 ⁰ С	--	--
KClO₃	11,66	21,75	30,84	38,34	40,89	При	104,4 ⁰ С	--	--	--	--	--	--	--	--
KJ	13,04	23,97	31,03	37,50	42,52	49,87	17,26	64,90	68,75	При	118,5 ⁰ С	--	--	--	--
KNO₃	13,19	23,66	32,23	39,20	45,10	54,65	65,34	79,53	--	--	--	--	--	--	--
K₂C₄H₄O₆	14,67	25,48	33,61	40,26	45,56	53,70	62,06	71,12	--	--	--	--	--	--	--
KNaCl₄H₄O₆	14,75	25,65	33,24	40,51	45,89	55,34	63,10	73,16	79,59	83,61	91,57	98,52	--	--	--
CuSO₄	26,95	39,98	40,83	44,47	45,12	При	104,5 ⁰ С	--	--	--	--	--	--	--	--
MgCl₂	4,67	8,42	11,66	14,31	16,59	20,32	24,41	29,48	33,07	36,02	38,61	--	--	--	--
MgSO₄	14,31	22,78	32,23	35,32	42,86	При	108 ⁰ С	--	--	--	--	--	--	--	--
NaOH	4,12	7,40	10,15	12,51	14,53	18,32	23,08	26,21	33,77	37,58	48,32	60,13	69,97	77,53	84,03
NaCl	6,19	11,03	14,67	17,69	20,32	25,09	28,92	При	108 ⁰ С	--	--	--	--	--	--
NaNO₃	8,26	15,61	21,87	27,53	32,43	40,47	49,87	60,94	68,94	--	--	--	--	--	--
NaC₂H₃O₂	7,83	13,79	19,03	23,38	26,74	32,66	39,76	49,92	59,36	67,43	--	--	--	--	--
Na₂SO₄	15,26	24,81	30,73	31,83	При	103,5 ⁰ С	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Na₂SO₃	12,28	21,26	28,06	33,11	37,10	43,22	50,98	59,51	68,20	75,12	--	--	--	--	--

Таблица 4.5.4

Температурные депрессии водных растворов при атмосферном давлении

Растворенное вещество	Концентрации раствора, мас. %										
	10	20	30	35	40	45	50	55	60	70	80
CaCl	1,5	4,5	10,5	14,3	19,0	24,3	30,0	36,5	43,0	60,0	--
Ca(NO ₃) ₂	1,1	2,5	4,3	5,4	6,7	8,3	10,0	13,2	17,2	31,2	49,5
CuSO ₄	0,3	0,6	1,4	2,1	3,1	4,2	--	--	--	--	--
FeSO ₄	0,3	0,7	1,3	1,6	--	--	--	--	--	--	--
KCL	1,3	3,3	6,1	8,0	--	--	--	--	--	--	--
KNO ₃	0,9	2,0	3,2	3,8	4,5	5,2	6,1	7,2	8,5	11,6	--
KOH	2,2	6,0	12,2	17,0	23,6	33,0	45,0	60,4	78,8	126,5	190
K ₂ CO ₃	0,8	2,2	4,4	6,0	8,0	10,9	14,6	19,0	24,0	--	--
MgCl ₂	2,0	6,6	15,4	22,0	--	--	--	--	--	--	--
MgSO ₄	0,7	1,7	3,4	4,8	7,0	--	--	--	--	--	--
NH ₄ CL	2,0	4,3	7,6	9,6	11,6	14,0	--	--	--	--	--
NH ₄ NO ₃	1,1	2,5	4,0	5,1	6,3	7,5	9,1	11,0	13,2	19,0	28
(NH ₄) ₂ SO ₄	0,7	1,6	2,9	3,7	4,7	5,9	7,7	--	--	--	--
NaCl	1,9	4,9	9,6	--	--	--	--	--	--	--	--
NaNO ₃	1,2	2,6	4,5	5,6	6,8	8,4	10,0	12,0	--	--	--
NaOH	2,8	8,2	14,0	22,0	28,0	35,0	42,2	50,6	59,6	79,6	106
Na ₂ CO ₂	1,1	2,4	4,2	5,3	--	--	--	--	--	--	--
Na ₂ SO ₄	0,8	1,8	2,8	--	--	--	--	--	--	--	--

Таблица 4.5.5

Плотность ρ , кг/м³

Раствор	Конц. вес, %	Температура, °С					
		20	40	60	80	100	кип
1	2	3	4	5	6	7	8
Ca(NO ₃) ₂	5	1037	1029	1020	1009	999	999
	10	1076	1068	1059	1047	1034	1033
	20	1163	1155	1144	1132	1118	1116
	30	1261	1252	1241	1227	1212	1208
	40	1376	1366	1354	1339	1322	1316
	50	1510	1499	1486	1469	1451	1440
NH ₃ NO ₃	10	1039	1032	1022	1014	998	997
	20	1092	1079	1062	1056	1046	1045
	30	1127	1115	1104	1094	1082	1080
	40	1175	1162	1151	1138	1126	1122
	50	1225	1212	1200	1187	1174	1158
NH ₄ Cl	5	1014	1007	999	987	975	975
	10	1029	1022	1013	1002	991	989
	15	1043	1036	1027	1016	1006	1003
	20	1057	1050	1041	1038	1021	1018
	25	1070	1063	1054	1044	1035	1031
(NH ₄) ₂ SO ₄	5	1028	1021	1012	1001	998	998
	10	1057	1050	1041	1030	1018	1018
	20	1115	1108	1098	1088	1078	1077
	30	1172	1164	1155	1145	1135	1133
	40	1228	1220	1211	1202	1191	1188
K ₂ CO ₃	5	1044	1037	1028	1017	1002	1001
	10	1090	1083	1094	1062	1047	1046
	20	1190	1180	1170	1158	1145	1143
	30	1298	1287	1276	1264	1253	1250
	40	1414	1403	1391	1379	1367	1362
	50	1540	1529	1517	1504	1492	1483
KOH	5	1044	1037	1023	1016	1003	1002
	10	1090	1082	1073	1061	1047	1045
	20	1186	1177	1167	1154	1140	1135
	30	1287	1278	1266	1252	1237	1225
	40	1395	1385	1373	1357	1341	1316
	50	1509	1498	1485	1468	1450	1390
NaOH	5	1054	1046	1036	1024	1012	1010
	10	1109	1100	1090	1077	1064	1062
	20	1219	1208	1196	1183	1170	1164
	30	1328	1315	1303	1289	1276	1263
	40	1430	1416	1403	1389	1375	1355
	50	1525	1511	1497	1483	1469	1430
LiOH	5	1054	1047	1037	1026	1013	1013
	10	1107,4	1099	1090	1078	1064	1064

Таблица 4.5.6

Коэффициент теплопроводности растворов λ , Вт/м град

Раствор	Конц. вес, %	Температура, °С					
		20	40	60	80	100	кип
1	2	3	4	5	6	7	8
Ca(NO ₃) ₂	5	0,594	0,623	0,647	0,665	0,676	0,676
	10	0,590	0,618	0,642	0,659	0,670	0,671
	20	0,578	0,606	0,629	0,647	0,657	0,657
	30	0,565	0,592	0,615	0,633	0,642	0,642
	40	0,550	0,577	0,599	0,615	0,626	0,628
	50	0,533	0,558	0,579	0,595	0,606	0,609
NH ₃ NO ₃	10	0,574	0,602	0,624	0,643	0,654	0,654
	20	0,549	0,576	0,598	0,614	0,624	0,625
	30	0,520	0,544	0,566	0,582	0,591	0,592
	40	0,490	0,513	0,533	0,548	0,577	0,559
	50	0,457	0,479	0,498	0,512	0,520	0,522
NH ₄ Cl	5	0,582	0,609	0,633	0,651	0,661	0,661
	10	0,564	0,591	0,614	0,632	0,641	0,642
	15	0,547	0,577	0,594	0,612	0,621	0,622
	20	0,530	0,556	0,572	0,593	0,602	0,603
	25	0,514	0,538	0,559	0,575	0,584	0,586
(NH ₄) ₂ SO ₄	5	0,591	0,619	0,643	0,661	0,672	0,672
	10	0,572	0,600	0,622	0,640	0,650	0,651
	20	0,562	0,588	0,612	0,628	0,638	0,639
	30	0,540	0,565	0,587	0,604	0,614	0,616
	40	0,516	0,541	0,562	0,578	0,587	0,590
K ₂ CO ₃	5	0,595	0,624	0,647	0,666	0,677	0,677
	10	0,592	0,620	0,644	0,662	0,673	0,673
	20	0,583	0,611	0,634	0,652	0,663	0,664
	30	0,564	0,591	0,614	0,631	0,641	0,643
	40	0,540	0,566	0,588	0,604	0,614	0,617
	50	0,509	0,533	0,554	0,570	0,579	0,582
KOH	5	0,601	0,630	0,654	0,673	0,683	0,684
	10	0,604	0,633	0,657	0,676	0,687	0,688
	20	0,598	0,627	0,651	0,669	0,680	0,682
	30	0,584	0,612	0,6354	0,653	0,664	0,666
	40	0,564	0,591	0,614	0,641	0,641	0,644
	50	0,536	0,562	0,583	0,600	0,609	0,615
NaOH	5	0,614	0,643	0,668	0,687	0,698	0,698
	10	0,627	0,657	0,682	0,702	0,713	0,714
	20	0,640	0,671	0,696	0,716	0,728	0,731
	30	0,645	0,676	0,702	0,722	0,733	0,738
	40	0,645	0,676	0,702	0,722	0,733	0,741
	50	0,645	0,676	0,702	0,722	0,733	0,743
LiOH	5	0,615	0,645	0,669	0,688	0,699	0,700
	10	0,621	0,651	0,676	0,695	0,706	0,707

Таблица 4.5.7

Коэффициент кинематической вязкости ν 10^6 , $\text{м}^2/\text{с}$

Раствор	Конц. вес, %	Температура, °С					
		20	40	60	80	100	кип
1	2	3	4	5	6	7	8
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	5	0,96	0,66	0,50	0,39	0,31	0,31
	10	1,02	0,70	0,53	0,41	0,32	0,32
	20	1,30	0,86	0,62	0,48	0,38	0,37
	30	1,90	1,20	0,82	0,62	0,48	0,46
	40	3,04	1,86	1,27	0,93	0,83	0,69
	50	5,93	3,46	2,25	1,61	1,22	1,07
NH_3NO_3	5	0,95	0,65	0,47	0,37	0,30	0,30
	10	0,92	0,64	0,49	0,38	0,31	0,31
	20	0,90	0,63	0,50	0,41	0,34	0,34
	30	0,89	0,66	0,52	0,42	0,36	0,35
	40	0,94	0,71	0,56	0,47	0,40	0,38
	50	1,09	0,82	0,64	0,54	0,46	0,44
NH_4Cl	5	0,98	0,67	0,49	0,38	0,31	0,31
	10	0,96	0,67	0,50	0,40	0,32	0,31
	15	0,94	0,67	0,51	0,41	0,33	0,32
	20	0,94	0,68	0,52	0,41	0,34	0,32
	25	0,96	0,70	0,53	0,42	0,34	0,32
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	5	1,05	0,69	0,50	0,39	0,31	0,31
	10	1,11	0,74	0,54	0,42	0,34	0,34
	20	1,35	0,91	0,67	0,52	0,42	0,41
	30	1,88	1,28	0,95	0,75	0,61	0,40
KOH	5	1,062	0,708	0,517	0,400	0,325	0,320
	10	1,142	0,769	0,564	0,439	0,360	0,350
	20	1,368	0,934	0,693	0,546	0,447	0,426
	30	1,838	1,228	0,900	0,696	0,564	0,510
	40	2,913	1,835	1,227	0,954	0,749	0,645
	50	5,706	3,232	2,081	1,450	1,083	0,850
NaOH	5	1,24	0,80	0,57	0,43	0,35	0,34
	10	1,65	1,05	0,74	0,55	0,44	0,42
	20	3,72	2,10	1,34	0,93	0,70	0,62
	30	13,48	4,53	2,54	1,58	1,08	0,86
	40	21,9	9,00	4,45	2,53	1,58	1,15
	50	40,0	15,1	7,03	3,77	2,25	1,5

Таблица 4.5.8

Критерий Прандтля, $Pr = \frac{\mu c}{\lambda}$

Раствор	Конц. вес, %	Температура, °С					
		20	40	60	80	100	кип
1	2	3	4	5	6	7	8
Ca(NO ₃) ₂	5	6,71	4,34	3,13	2,36	1,83	1,83
	10	7,13	4,60	3,33	2,48	1,89	1,89
	20	9,22	5,70	3,92	2,94	2,28	2,22
	30	13,57	8,05	5,26	3,85	2,97	2,77
	40	22,03	12,65	8,25	5,85	4,48	4,21
	50	43,93	24,03	14,90	10,32	7,63	6,60
NH ₃ NO ₃	10	6,52	4,24	3,08	2,32	1,85	1,85
	20	6,47	4,26	3,21	2,55	2,07	2,07
	30	6,50	4,55	3,42	2,66	2,27	2,27
	40	7,01	4,97	3,76	3,03	2,52	2,38
	50	8,38	5,90	4,38	3,60	2,99	2,84
NH ₄ Cl	5	6,85	4,41	3,08	2,30	1,84	1,84
	10	6,81	4,44	3,16	2,45	1,92	1,86
	15	6,71	4,47	3,25	2,53	1,99	1,93
	20	6,76	4,56	3,33	2,55	2,06	1,93
	25	6,96	4,76	3,44	2,62	2,09	1,95
(NH ₄) ₂ SO ₄	5	7,34	5,54	3,14	2,36	1,84	1,84
	10	7,82	4,90	3,40	2,56	2,02	2,02
	20	9,71	6,11	4,29	3,23	2,54	2,48
	30	13,72	8,77	6,21	4,75	3,76	3,70
KOH	5	7,38	4,63	3,21	2,48	1,91	1,88
	10	7,93	5,03	3,50	2,64	2,12	2,06
	20	9,50	6,10	4,30	3,29	2,63	2,49
	30	12,68	7,97	5,59	4,19	3,32	2,95
	40	20,23	11,92	7,93	5,75	4,40	3,73
	50	39,62	21,12	12,92	8,73	6,37	4,83
NaOH	5	8,55	5,19	3,54	2,57	2,05	1,99
	10	11,30	6,77	4,54	3,37	2,56	2,44
	20	25,22	13,38	8,17	5,47	4,02	3,54
	30	91,08	28,67	15,30	9,24	6,17	4,86
	40	147,0	56,96	26,81	14,80	9,03	6,42
	50	268,4	95,57	42,35	22,05	12,86	8,29

Таблица 4.5.9

Поверхностное напряжение σ , плотность ρ и вязкость μ некоторых водных растворов при различных концентрациях, мас.% и температурах растворов

Растворенное вещество	Температура, °C	σ , Н/м (при t = var)				Концентрация	μ , мПа с			
		ρ , кг/м ³ (при t = const = 20 °C)					20°C	30°C	40°C	50°C
		5%	10%	20%	50%					
NaOH	20	74,6 10 ⁻³	77,3 10 ⁻³	85,8	--	5	1,3	1,05	0,85	--
	20	1054	1109	10 ⁻³	1525	15	2,78	2,10	1,65	--
				1219	25	7,42	5,25	3,85	--	
NaCl	18	74,0 10 ⁻³	75,5 10 ⁻³	--	--	5	1,07	0,87	0,71	0,50
	20	1034	1071	1148	--	15	1,34	1,07	0,89	0,64
				--	25	1,86	--	--	--	
Na ₂ SO ₄	18	73,8 10 ⁻³	75,2 10 ⁻³	--	--	10	1,29	--	--	--
	20	1044	1092	1192	--					
NaNO ₃	30	72,1 10 ⁻³	72,8 10 ⁻³	74,7	79,8	10	1,07	0,88	0,72	0,54
	20	1032	1067	10 ⁻³	10 ⁻³	20	1,18	1,03	0,86	0,62
				1143	--	30	1,33	1,3	1,17	0,79
KCl	18	73,6 10 ⁻³	74,8 10 ⁻³	77,3	--	5	0,99	0,8	0,66	0,48
	20	1030	1063	10 ⁻³	--	15	1,0	0,83	0,69	0,52
				1133	20	1,02	0,85	0,72	0,54	
K ₂ CO ₃	10	75,8 10 ⁻³	77,0 10 ⁻³	79,2	106,4	--	--	--	--	--
	20	1044	1090	10 ⁻³	10 ⁻³					
NaH ₄ NO ₂	100	59,2 10 ⁻³	60,1 10 ⁻³	61,6	67,5	10	0,96	0,79	0,66	0,50
	20	1019	1040	10 ⁻³	10 ⁻³	30	1,0	0,84	0,73	0,57
				1038	1226	50	1,33	1,14	0,99	0,77
MgCl ₂	18	73,8 10 ⁻³	--	--	--	10	1,5	--	--	--
	20	1040	1082	1171	--	20	2,7	--	--	--
				--	35	10,1	--	--	--	
NH ₄ Cl	18	73,3 10 ⁻³	74,5 10 ⁻³	--	--	--	--	--	--	--
	20	1014	1029	1057	--					
KOH	20	1045	1092	1188	--	--	--	--	--	--
CaCl ₂	18	73,7 10 ⁻³	--	--	--	10	1,5	--	--	--
	20	1014	1084	1178	--	20	2,7	--	--	--
				--	35	10,1	--	--	--	

Таблица 4.5.10

Средние значения тепловой проводимости загрязнений стенок

 $1/r_{\text{загр}}$, Вт/м² град

Теплоносители или загрязнения	Тепловая проводимость загрязнений стенок $1/r_{\text{загр}}$
Вода загрязнённая	1200-1600
Вода очищенная	2500-5000
Нефтепродукты чистые, масла	2500
Водяной пар (с содержанием масла)	5800
Органические жидкости, рассолы	5000
Загрязнения (толщина слоя 0,5 мм)	
Ржавчина	2000
Накипь	3000
Масло (толщина слоя 0,1мм)	1200
Кокс	1400

Редактор В.Л. Родичева

Подписано в печать 7.06.2016. Формат 60x84 1/16. Бумага писчая.

Усл. печ. л. 5,58. Уч.-изд. л. 6,19. Тираж экз. Заказ

ФГБОУ ВО «Ивановский государственный
химико-технологический университет»

Отпечатано на полиграфическом оборудовании кафедры экономики и финансов

ФГБОУ ВО «ИГХТУ»

153000, г.Иваново, пр. Шереметевский, 7