

Министерство здравоохранения и социального развития
Российской Федерации
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ
ХИМИКО-ФАРМАЦЕВТИЧЕСКАЯ АКАДЕМИЯ

Щенникова О.Б.

**РАСЧЕТ И ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ
ХИМИКО-ФАРМАЦЕВТИЧЕСКОЙ
ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

Часть 2

**РАСЧЕТ И ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ
ДЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ ПРОДУКТОВ РЕАКЦИИ,
ХРАНЕНИЯ И ДОЗИРОВАНИЯ ЖИДКОСТЕЙ**

*Методическое пособие по курсу
«Оборудование и основы проектирования ХФП»*

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2005

УДК 66.096.542.95

Щ 53

Щенникова О. Б. Расчет и выбор оборудования химико фармацевтической промышленности: Учебное пособие. Ч 2. СПб.: Изд-во СПХФА, 2004.— 88 с.

В методическом пособии рассмотрены принципы расчета и выбора оборудования, предназначенного для выделения продуктов реакции, хранения и дозирования жидкостей. Также даются общие подходы к методикам расчета фильтровального, сушильного, теплообменного оборудования и оборудования, предназначенного для хранения и дозирования жидкостей; приводятся основные типы и конструктивные параметры фильтров, центрифуг, сушилок, теплообменников, сборников, мерников, используемых в химико-фармацевтической промышленности.

Пособие предназначено для студентов 4 и 5 курсов факультета промышленной технологии лекарств.

Рекомендовано Координационным учебно-методическим Советом по химии при Всероссийском учебно-научно-методическом центре по непрерывному медицинскому и фармацевтическому образованию Минздрава России в качестве учебного пособия для студентов фармацевтических специальностей.

Рецензенты:

Академик Российской Академии инженерных наук д-р техн. наук,
проф. С. А. Плюшкин,
д-р техн. наук, проф. В. М. Барабаш

ISBN 5-8085-0218-7

© Санкт-Петербургская государственная
химико-фармацевтическая академия, 2004

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ ГЕТЕРОГЕННЫХ СИСТЕМ

Расчет и выбор фильтров

Фильтрацию применяют в промышленности для тонкого разделения жидких и гетерогенных систем на жидкую и твердую фазу. Движущей силой процесса фильтрации является разность давлений до и после фильтра. Если эта разность создается с помощью насоса, компрессора или вакуум-насоса, происходит фильтрация под действием перепада давлений, если с помощью центробежных сил — центробежное фильтрование (центрифугирование).

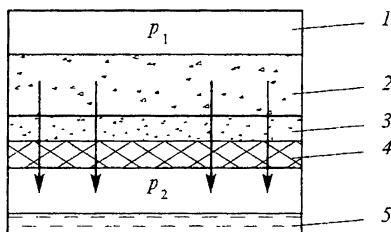


Рис. 1. Схема фильтра для разделения суспензий: 1 — корпус; 2 — суспензия; 3 — осадок; 4 — фильтровальная перегородка; 5 — фильтрат

Схема процесса фильтрации суспензий показана на рис. 1. В простейшем случае фильтр представляет собой сосуд, корпус которого разделен на две части фильтровальной перегородкой. Суспензию помещают в верхнюю часть сосуда таким образом, чтобы она в течение всего процесса фильтрации соприкасалась с фильтровальной перегородкой. В разделенных частях сосуда создают разность давлений $\Delta p = p_1 - p_2$, под действием которой жидкость проходит через поры фильтровальной перегородки, образуя фильтрат. Твердые частицы задерживаются на поверхности перегородки, формируя осадок.

Разность давлений по обе стороны фильтровальной перегородки можно создать несколькими способами. Исходя из этого и фильтрация может проходить при различных условиях.

Обычно фильтрацию проводят при следующих разностях давлений (Δp):

Под вакуумом	$5 \cdot 10^4 - 9 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^2$ (0,5—0,9 кгс/см ²);
Под давлением сжатого воздуха	не более $30 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^2$ (3 кгс/см ²);
При подаче поршневым или центробежным насосом	до $50 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^2$ (5 кгс/см ²) и более;
Под гидростатическим давлением слоя суспензии	до $5 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^2$ (0,5 кгс/см ²).

Классификация фильтровального оборудования. По способу организации процесса фильтровальное оборудование можно разделить на периодическое и непрерывное.

К периодическим фильтрам относят: емкостные фильтры с плоской горизонтальной фильтрующей перегородкой (друк- и нутч-фильтры), намывные батарейные (листовые и патронные) фильтры, многокамерные (фильтр-прессы); к непрерывнодействующим: барабанные, дисковые, карусельные и ленточные.

По способу создания разности давлений фильтровальное оборудование может быть подразделено на фильтры, работающие под вакуумом и фильтры, работающие под давлением. В ряде случаев фильтр может работать и под вакуумом, и под давлением, при соответствующем изменении его конструкции. По конструктивным соображениям целесообразно использовать, где это возможно, фильтры, работающие под вакуумом, т.к. фильтры, работающие под давлением, должны быть механически более прочными. Однако в тех случаях, когда осадок обладает существенным гидравлическим сопротивлением, но не слишком большой сжимаемостью, целесообразно применять фильтры, работающие под давлением.

Фильтровальное оборудование можно также классифицировать по взаимному направлению силы тяжести и движения фильтрата. Такая классификация основана на том, что для проведения процессов фильтрования и создания оптимальных условий для работы фильтров большое значение имеют процессы осаждения твердых частиц суспензии под действием силы тяжести. В соответствии с этой классификацией различают фильтры с противоположными (угол 180°), совпадающими (угол 0°) и перпендикулярными (угол 90°) направлениями силы тяжести и движения фильтрата.

При большой скорости осаждения твердой фазы или необходимости промывки осадка предпочтительными являются фильтры с направлением фильтрации «вниз».

Выбор типа фильтра производится на основе предварительного анализа физико-химических свойств разделяемой суспензии и образующегося осадка, технологических требований, предъявляемых к процессу разделения, и экономических факторов.

Для производств малой мощности при большом ассортименте выпускаемых продуктов могут быть рекомендованы фильтры периодического действия. Для производств большой мощности и производств с непрерывным технологическим процессом необходимы фильтры непрерывного действия.

Определяющим размером при расчете фильтров является поверхность фильтрации, которая определяется по формуле:

$$F_{\phi} = \frac{V_{\text{сут}}}{\beta w} \left(1 + \frac{\sigma}{100} \right),$$

где: w — объемная скорость фильтрации, л/м²·ч;

$V_{\text{сут}}$ — суточный объем суспензии, л;

- τ — время фильтрации, ч;
- σ — резерв мощности;
- β — число операций в сутки.

Под скоростью фильтрации понимают объем фильтрата V , проходящий в единицу времени τ через площадь фильтра F_ϕ :

$$w = \frac{1}{F_\phi} \frac{dV}{d\tau}.$$

Скорость фильтрации зависит от разности давлений на фильтре Δp и гидравлического сопротивления фильтра R , причем $R = R_{oc} + R_{\phi.n}$:

$$w = \frac{\Delta p}{R_{oc} + R_{\phi.n}},$$

где: R_{oc} — сопротивление осадка;

$R_{\phi.n}$ — сопротивление фильтровальной перегородки.

Скорость фильтрования определяют экспериментально на модельном фильтре. Для этого проводят серию экспериментов при различных, но постоянных для каждого опыта разностях давлений, измеряя во времени объем полученного фильтрата. В результате получают уравнение прямой линии:

$$\frac{\tau}{V} = MV + N,$$

наклоненной к горизонтальной оси под углом, тангенс которого равен M и отсекающей на оси ординат отрезок N ; определяют по графику величины M и N , и вычисляют сопротивление осадка и фильтра из равенств:

$$R_{\phi.n} = \frac{\Delta p F_\phi}{\mu} N$$

$$R_{oc} = r_o h_{oc}$$

$$r_o = \frac{2\Delta p F_\phi^2}{\mu x_o} M,$$

где: μ — вязкость жидкости;

r_o — удельное объемное сопротивление слоя осадка (m^{-2}), т.е. сопротивление, оказываемое потоку жидкой фазы слоем осадка толщиной 1 м;

h_{oc} — высота слоя осадка;

x_o — коэффициент пропорциональности, зависящий от концентрации твердой фазы и структуры осадка; его определяют экспериментально, как объем осадка V_{oc} , образующегося при прохождении 1 м³ фильтрата V :

$$x_o = \frac{V_{oc}}{V}.$$

Классификация фильтровального оборудования. По способу организации процесса фильтровальное оборудование можно разделить на периодическое и непрерывное.

К периодическим фильтрам относят: емкостные фильтры с плоской горизонтальной фильтрующей перегородкой (друк- и нутч-фильтры), намывные батарейные (листовые и патронные) фильтры, многокамерные (фильтр-прессы); к непрерывнодействующим: барабанные, дисковые, карусельные и ленточные.

По способу создания разности давлений фильтровальное оборудование может быть подразделено на фильтры, работающие под вакуумом и фильтры, работающие под давлением. В ряде случаев фильтр может работать и под вакуумом, и под давлением, при соответствующем изменении его конструкции. По конструктивным соображениям целесообразно использовать, где это возможно, фильтры, работающие под вакуумом, т.к. фильтры, работающие под давлением, должны быть механически более прочными. Однако в тех случаях, когда осадок обладает существенным гидравлическим сопротивлением, но не слишком большой сжимаемостью, целесообразно применять фильтры, работающие под давлением.

Фильтровальное оборудование можно также классифицировать по взаимному направлению силы тяжести и движения фильтрата. Такая классификация основана на том, что для проведения процессов фильтрации и создания оптимальных условий для работы фильтров большое значение имеют процессы осаждения твердых частиц суспензии под действием силы тяжести. В соответствии с этой классификацией различают фильтры с противоположными (угол 180°), совпадающими (угол 0°) и перпендикулярными (угол 90°) направлениями силы тяжести и движения фильтрата.

При большой скорости осаждения твердой фазы или необходимости промывки осадка предпочтительными являются фильтры с направлением фильтрации «вниз».

Выбор типа фильтра производится на основе предварительного анализа физико-химических свойств разделяемой суспензии и образующегося осадка, технологических требований, предъявляемых к процессу разделения, и экономических факторов.

Для производств малой мощности при большом ассортименте выпускаемых продуктов могут быть рекомендованы фильтры периодического действия. Для производств большой мощности и производств с непрерывным технологическим процессом необходимы фильтры непрерывного действия.

Определяющим размером при расчете фильтров является поверхность фильтрации, которая определяется по формуле:

$$F_{\phi} = \frac{V_{\text{сут}}}{\beta_{\text{ит}}} \left(1 + \frac{\sigma}{100} \right),$$

где: w — объемная скорость фильтрации, л/м²·ч;

$V_{\text{сут}}$ — суточный объем суспензии, л;

- τ — время фильтрации, ч;
- σ — резерв мощности;
- β — число операций в сутки.

Под скоростью фильтрации понимают объем фильтрата V , проходящий в единицу времени τ через площадь фильтра F_ϕ :

$$w = \frac{1}{F_\phi} \frac{dV}{d\tau}.$$

Скорость фильтрации зависит от разности давлений на фильтре Δp и гидравлического сопротивления фильтра R , причем $R = R_{oc} + R_{\phi.п}$:

$$w = \frac{\Delta p}{R_{oc} + R_{\phi.п}},$$

где: R_{oc} — сопротивление осадка;

$R_{\phi.п}$ — сопротивление фильтровальной перегородки.

Скорость фильтрования определяют экспериментально на модельном фильтре. Для этого проводят серию экспериментов при различных, но постоянных для каждого опыта разностях давлений, измеряя во времени объем полученного фильтрата. В результате получают уравнение прямой линии:

$$\frac{\tau}{V} = MV + N,$$

наклоненной к горизонтальной оси под углом, тангенс которого равен M и отсекающей на оси ординат отрезок N ; определяют по графику величины M и N , и вычисляют сопротивление осадка и фильтра из равенств:

$$R_{\phi.п} = \frac{\Delta p F_\phi}{\mu} N$$

$$R_{oc} = r_o h_{oc}$$

$$r_o = \frac{2\Delta p F_\phi^2}{\mu x_o} M,$$

где: μ — вязкость жидкости;

r_o — удельное объемное сопротивление слоя осадка (m^{-2}), т.е. сопротивление, оказываемое потоку жидкой фазы слоем осадка толщиной 1 м;

h_{oc} — высота слоя осадка;

x_o — коэффициент пропорциональности, зависящий от концентрации твердой фазы и структуры осадка; его определяют экспериментально, как объем осадка V_{oc} , образующегося при прохождении 1 м³ фильтрата V :

$$x_o = \frac{V_{oc}}{V}.$$

В случае отсутствия экспериментальных данных для определения скорости фильтрации w можно руководствоваться следующими приближенными значениями:

- для мелкодисперсных, труднофильтруемых осадков и паст 200 л/м²·ч;
- для среднедисперсных осадков 200—700 л/м²·ч;
- для быстрофильтруемых осадков > 700 л/м²·ч;
- для фильтрации активированного угля (по воде) до 1500—2000 л/м²·ч.

После выбора фильтра рекомендуется проверить высоту слоя осадка:

$$h_{oc} = \frac{V_{сут}}{\beta F_{ном}} = \frac{G_{сут}}{\rho \beta F_{ном}},$$

где: $V_{сут}$ — суточный объем влажного осадка, м³;

$G_{сут}$ — суточная масса влажного осадка, кг;

ρ — плотность отжатого осадка, кг/м³;

$F_{ном}$ — номинальная поверхность фильтрации, м².

Плотность влажного осадка можно определить по формуле для определения плотности суспензии, рассматривая его как концентрированную суспензию:

$$\rho_{сусп} = \frac{n + 1}{\frac{1}{\rho_T} + \frac{n}{\rho_ж}} = \frac{\rho_ж \rho_T (n + 1)}{\rho_ж + n \rho_T}$$

где: n — количество массы жидкой фазы на единицу массы твердой фазы ($T:Ж = 1:n$);

ρ_T и $\rho_ж$ — плотность твердой и жидкой фазы соответственно, кг/м³.

Допустимая высота слоя осадка зависит от конструкции фильтра и степени дисперсности частиц.

Для фильтров с плоской горизонтальной фильтрующей перегородкой рациональная толщина слоя осадка составляет 50—250 мм, для намывных батарейных (листовых и патронных) фильтров — 10—40 мм, для многокамерных фильтров — 20—80 мм (в зависимости от толщины плит или рам).

Таблица 1

Свойства мелко— и среднедисперсных осадков

$d_{ч}$, мм	< 0,01	0,01—0,1	0,2—0,5	0,5—1
$R_{oc} \cdot 10^{-9}$	10 ³	0,1—100	0,01—1	0,01—1
h_{oc} допустимая, мм	≤ 1	2—3	3—5	5—8

По степени дисперсности (т.е. по крупности частиц твердой фазы) все осадки можно подразделить на крупнодисперсные (диаметр частиц $d_{ч}$ 10—1 мм); среднедисперсные (1—0,1 мм), мелкодисперсные (100—5 мкм), тонкодисперсные (5—0,1 мкм) и коллоидные (0,1—0,001 мкм). Для мелко- и среднедисперс-

ных частиц максимально допустимая высота слоя осадка не должна превышать 5—8 мм (табл. 1).

Емкостные фильтры с плоской горизонтальной фильтрующей перегородкой. Емкостные фильтры представляют собой наиболее простые фильтры периодического действия, работающие под давлением или под вакуумом. Направление силы тяжести и движение фильтрата в них совпадают. Они предназначены для разделения нейтральных, щелочных и кислых суспензий при периодическом процессе производства и при малых объемах обрабатываемых суспензий.

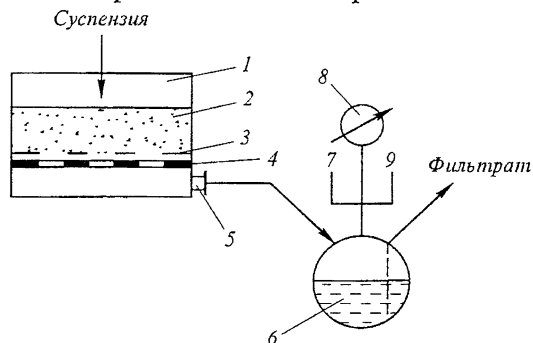


Рис. 2. Схема фильтрующей установки с нутч-фильтром:
1 — корпус фильтра; 2 — осадок; 3 — фильтровальная перегородка; 4 — пористая подложка; 5 — штуцер для выхода фильтрата; 6 — сборник фильтрата; 7 — патрубок для сообщения с атмосферой; 8 — мановакуумметр; 9 — патрубок для соединения с вакуумной линией

Фильтры, работающие под давлением, называются друк-фильтрами, под вакуумом — нутч-фильтрами.

Нутч-фильтр представляет собой открытый резервуар, над дном которого расположена пористая подложка (ложное дно), поддерживающая фильтровальную перегородку (рис. 2). Суспензию загружают сверху, затем в пространстве под ложным дном создают вакуум (соединяя приемник фильтрата с вакуум-насосом), вследствие чего жидкая фаза проходит в виде фильтрата через фильтровальную перегородку и удаляется из нутча через штуцер, расположенный внизу.

Твердая фаза суспензии образует осадок на фильтровальной перегородке. После этого в случае необходимости нутч заполняют промывной жидкостью и проводят отмывку осадка от фильтрата. После завершения процесса фильтрования нутч некоторое время остается под вакуумом, что позволяет уменьшить влажность осадка. Затем осадок удаляют из фильтра сверху вручную.

Конечная влажность осадка на нутч-фильтре составляет 25—50 %.

Основными достоинствами вакуумных нутч-фильтров являются: простота и надежность в работе, возможность тщательной промывки осадка. К недостаткам относятся: громоздкость, ручная выгрузка осадка, негерме-

тичность. Кроме того, для них, как и для других вакуум-фильтров, характерна невысокая движущая сила (на практике Δp не более 75 кПа).

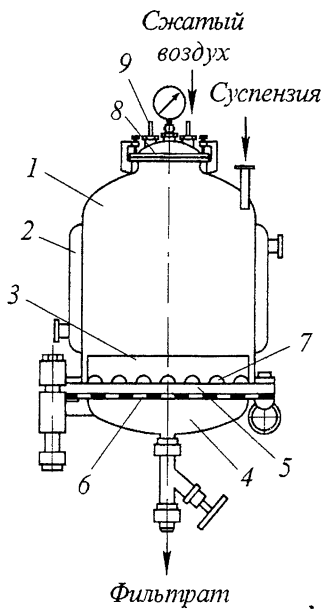


Рис. 3. Друк-фильтр: 1 — корпус; 2 — обогревающая рубашка; 3 — кольцевая перегородка; 4 — откидывающееся дно; 5 — фильтровальная перегородка; 6 — опорная решетка; 7 — сетка; 8 — съемная крышка; 9 — предохранительный клапан

Друк-фильтр, работающий под давлением (до 3 атм) состоит из корпуса с рубашкой, съемной крышки и перемещающегося дна (рис. 3). На опорной решетке располагается фильтровальная перегородка. Иногда в качестве перегородки применяют слой волокон. В этом случае необходимо использовать защитную сетку. Над фильтровальной перегородкой располагают кольцевую перегородку, поддерживающую осадок во время его выгрузки. При этом дно опускается или поворачивается на такой угол, чтобы осадок было удобно снимать вручную с фильтровальной перегородки.

Фильтр снабжен штуцерами для подачи суспензии и сжатого воздуха и для удаления фильтрата. Для того чтобы давление в аппарате не превысило допустимого, он снабжен предохранительным клапаном. В рубашку обычно подают насыщенный водяной пар для повышения температуры фильтрования, что обеспечивает снижение вязкости фильтрата и соответствующее увеличение производительности.

Цикл работы на друк-фильтрах состоит из следующих стадий: заполнение фильтра суспензией, собственно фильтрование под давлением сжатого газа, подсушка осадка, заполнение фильтра промывной жидкостью, промывка осадка, его сушка, удаление с фильтровальной перегородки, регенерация последней.

Конечная влажность осадка при фильтрации на друк-фильтре 15—25 %.

К достоинствам конструкции, помимо перечисленных выше для открытого нутча, добавляются большая движущая сила и пригодность для разделения су-

пензий, выделяющих токсичные пары. К недостаткам относятся ручная выгрузка осадка, громоздкость. По этим причинам емкостные фильтры используются в основном в производствах малой мощности.

Основные параметры емкостных фильтров приведены в приложении (табл. I—III).

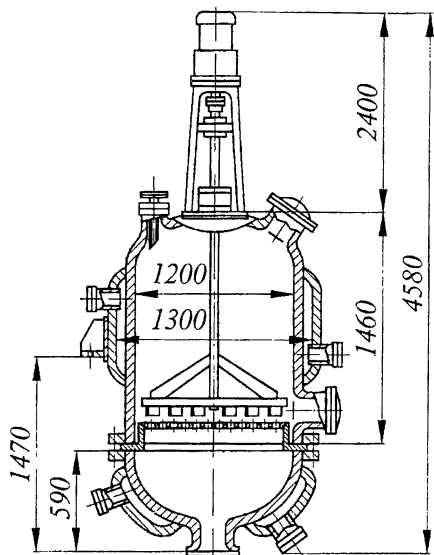


Рис. 4. Фильтр под давлением емкостной стальной эмалированный с механизированной выгрузкой осадка

Ручная выгрузка осадка трудоемка и сопровождается значительными потерями продуктов. Фильтр с механизированной выгрузкой осадка представляет собой емкостной аппарат со специальным перемешивающим устройством, с помощью которого очищается решетка и сбрасывается осадок. Во время фильтрации исходной суспензии мешалка находится в поднятом неработающем состоянии. Механизм выгрузки осадка состоит из рамы со съемными скребками, закрепленной на валу привода. При вращении рамы осадок, разрыхляясь, транспортируется к боковому разгрузочному люку.

Основные параметры стальных емкостных вакуум-фильтров с разгрузчиком приведены в табл. IV. Параметры стального эмалированного емкостного друк-фильтра с механической выгрузкой осадка приведены ниже:

Техническая характеристика стального эмалированного емкостного фильтра с механизированной выгрузкой осадка, работающего под давлением (ДСЭр 1,0-12-12-01; ДСЭрв 1,0-12-12-01) (рис. 4):

Объем корпуса, м ³ :	
верхней части	1,2
нижней части	0,5
Условное давление, МПа (кгс/см ²):	
в корпусе	0,4 (4)

в рубашке	0,6 (6)
Площадь поверхности фильтрования, м ²	1
Площадь поверхности теплообмена, м ²	1
Мощность электродвигателя, кВт	5,5
Частота вращения мешалки, с ⁻¹ (об/мин)	25 (1500)
Масса, кг, не более	2825

Намывные батарейные фильтры. Для увеличения производительности фильтрующей аппаратуры создают конструкции, обеспечивающие максимальное развитие площади фильтрования в единице объема аппарата. Отдельные фильтрующие элементы с развитой поверхностью соединяют друг с другом в один блок или батарею. Фильтрующие элементы изготовляют плоскими (листы) или цилиндрическими (патроны).

Патронные фильтры относятся к работающим под давлением периодическим фильтрам, в которых направления силы тяжести и движения фильтрата перпендикулярны.

Они предназначены: для осветительного фильтрования суспензий с малым содержанием взвеси; для разделения суспензий с содержанием до 5 % твердой фазы с последующей промывкой осадка, для сгущения суспензий; для разделения труднофильтруемых, вязких, легкоиспаряющихся, окисляемых, токсичных, воспламеняющихся и взрывоопасных суспензий.

Возможно фильтрование с применением вспомогательного фильтрующего вещества в качестве намывного слоя или присадок.

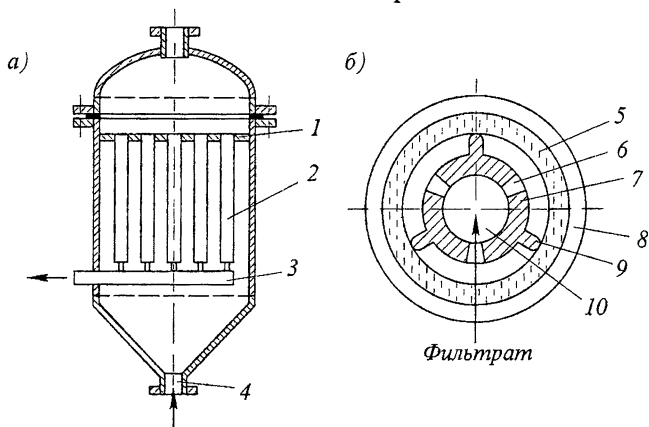


Рис. 5. Патронный фильтр с керамическими патронами:
a — общий вид, *б* — керамический патрон в поперечном разрезе,
 1 — решетка, 2 — патронный фильтрующий элемент,
 3 — коллектор для отвода фильтрата, 4 — штуцер для загрузки суспензии и выгрузки осадка, 5 — пористое керамическое кольцо,
 6 — радиальное отверстие, 7 — центральная труба,
 8 — слой осадка, 9 — продольное ребро, 10 — вертикальный канал

Фильтр состоит из вертикального цилиндрического корпуса с крышкой, решетки и закрепленных в ней полых фильтровальных патронов (рис. 5а).

Суспензия под давлением подается в нижнюю часть корпуса через штуцер. Жидкая фаза проходит через фильтрующую перегородку патронов и выводится из фильтра через коллектор. Твердая фаза задерживается на стенках патронов. Полученный осадок выгружается из аппарата в большинстве случаев «мокрым» способом. При этом осадок сбрасывается с патронов пневмогидравлическим или гидравлическим ударом в заполненный жидкостью корпус и удаляется вместе с жидкостью. Иногда производят отдувку осадка паром в опорожненный корпус.

Фильтры изготовляют с патронами нескольких типов: металлическими — из полых перфорированной трубы или пружинного каркаса, экипируемых тканью; щелевыми — набранными из тонких пластин, сжатых в осевом направлении, или с проволочной навивкой по наружной поверхности полого перфорированного цилиндра; керамическими — из полых цилиндров с пористой стенкой из металлокерамики или шамотнобетонитовой керамики.

Керамический фильтровальный патрон состоит из пористых колец, низанных на закрытую снизу центральную трубу с радиальными отверстиями и продольными ребрами (рис. 5б). В процессе разделения суспензии фильтрат последовательно проходит через слой уже образовавшегося осадка, стенки колец и отверстия, после чего по вертикальному каналу уходит из патрона в коллектор и удаляется из фильтра.

Фильтры с керамическими патронами предназначены для фильтрования нейтральных и агрессивных малоцентрированных суспензий (кроме щелочей концентрацией более 10 %, плавиковой, кремнефтористоводородной и фосфорной кислот). Температура рабочей среды для нейтральных и кислых суспензий от $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $80\text{ }^{\circ}\text{C}$; для щелочных суспензий от $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $30\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Пример 1. Подобрать фильтр для проведения операции фильтрации реакционной массы от осветляющего угля.

Описание технологического процесса. К реакционной массе в количестве 3252,06 кг, содержащей 184,61 кг натриевой соли изоксазолкарбоновой кислоты (НИКК), 12,9 кг примесей и 3054,55 кг воды, $\rho = 1,011\text{ г/см}^3$, добавляют 16,28 кг активированного угля. Дают выдержку, при перемешивании и температуре $18\text{--}22\text{ }^{\circ}\text{C}$, в течение 1 часа и передавливают суспензию с помощью инертного газа через друк-фильтр. Шлам с друк-фильтра в количестве 26,04 кг отправляют на сжигание. Количество операций в сутки 1,43. Время фильтрации 130 мин. Резерв мощности 15 %.

Решение:

1. Рассчитываем суточный объем фильтруемой суспензии:

$$V_{\text{сусп}} = \frac{3252,06}{1,011} = 3216,68\text{ л.}$$

2. Принимаем объемную скорость фильтрации $1500 \text{ л/м}^2 \cdot \text{ч}$.
3. Рассчитываем необходимую поверхность фильтрации по формуле:

$$F_{\phi} = \frac{V_{\text{сут}}}{\beta_{\text{ит}}} \left(1 + \frac{\sigma}{100} \right)$$

$$F_{\phi} = \frac{3216,68}{1,43 \cdot 1500 \cdot \frac{130}{60}} \left(1 + \frac{15}{100} \right) = 0,8 \text{ м}^2.$$

Выбираем по каталогу стальной емкостной друк-фильтр ФЕд с поверхностью фильтрации $F_{\text{ном}} = 0,8 \text{ м}^2$.

Номинальный объем фильтра $0,63 \text{ м}^3$, внутренний диаметр 1000 мм .

4. Проверяем высоту слоя осадка по формуле:

$$h_{\text{ос}} = \frac{G_{\text{сут}}}{\rho \beta F_{\text{ном}}}.$$

Конечная влажность при фильтрации на друк-фильтрах составляет обычно $15\text{—}25\%$. Примем влажность угля 20% . Тогда масса влаги в угле: $26,04 \cdot 0,2 = 5,21 \text{ кг}$.

Отношение жидкой фазы к твердой Ж : Т равно $n = \frac{5,21}{26,04 - 5,21} = 0,25$.

Принимаем плотность сухого угля 800 кг/м^3 . Плотность влаги 1000 кг/м^3 .

$$\rho = \frac{\rho_{\text{ж}} \rho_{\text{т}} (n+1)}{\rho_{\text{ж}} + n \rho_{\text{т}}} = \frac{800 \cdot 1000 (0,25+1)}{1000 + 0,25 \cdot 800} = 833,33 \text{ кг/м}^3$$

$$h_{\text{ос}} = \frac{26,04}{833,33 \cdot 1,43 \cdot 0,8} = 0,027 \text{ м} = 2,7 \text{ см}, \text{ что является допустимым.}$$

Расчет и выбор центрифуг

Процесс центрифугирования применяется в промышленности органического синтеза для получения осадков с влажностью менее $20\text{—}25\%$ (от $6\text{—}10\%$ до $15\text{—}20\%$ на пастах).

При центрифугировании неоднородные дисперсные системы разделяются под действием центробежных сил. Параметром центрифуг, характеризующим напряженность силового центробежного поля, является безразмерная величина — фактор разделения F , который показывает, во сколько раз центростремительное ускорение больше ускорения силы тяжести:

$$F = \frac{w^2 R}{g},$$

где: $w = \frac{\pi n}{30}$ — угловая скорость ротора, рад/сек;

R — внутренний радиус ротора, м.

По величине фактора разделения центрифуги делятся на 3 класса: тихоходные ($F < 1000$); скоростные ($1000 < F < 5000$); сверхцентрифуги ($F > 5000$).

Центрифуга представляет собой в простейшем виде вертикальный цилиндрический ротор со сплошными или перфорированными боковыми стенками. Ротор укрепляется на валу, который приводится во вращение электродвигателем, и помещается в соосный цилиндрический неподвижный кожух, закрываемый съемной крышкой. Под действием центробежных сил суспензия разделяется на осадок и жидкую фазу, называемую фугатом. Осадок остается в роторе, а жидкая фаза удаляется из него.

Классификация центрифуг. По принципу действия центрифуги подразделяются на осадительные (отстойные) и фильтрующие. Ротор осадительных центрифуг выполняется со сплошной обечайкой. При разделении в них суспензий твердые частицы, имеющие, как правило, большую плотность, чем жидкая фаза, под действием центробежной силы осаждаются на обечайке ротора в виде кольцевого слоя; жидкая фаза, также в виде кольцевого слоя, располагается ближе к оси вращения.

Разновидность осадительных центрифуг — сепарирующие, предназначенные для разделения эмульсий. При их разделении на обечайке ротора располагается слой жидкости с большей плотностью, ближе к оси вращения — жидкий слой меньшей плотности.

В фильтрующих центрифугах ротор выполняется в виде перфорированной обечайки, на внутренней поверхности которой закреплена фильтрующая перегородка (сито или ткань). При разделении суспензий жидкая фаза проходит через фильтрующую перегородку, твердая фаза осаждается на ней в виде кольцевого слоя.

По характеру процесса центрифуги относят к машинам периодического и непрерывного действия. В центрифугах периодического действия различные операции (загрузка, разделение, выгрузка) происходят последовательно и периодически, в центрифугах непрерывного действия — одновременно и непрерывно.

По способу выгрузки осадка из ротора различают центрифуги с ручной выгрузкой, с гравитационной (саморазгружающиеся), инерционной, с выгрузкой ножом, пульсирующим поршнем, шнеком, вибрацией.

В центрифугах периодического действия осадок выгружают вручную после остановки ротора через его верхний борт или под действием собственной массы после остановки ротора (такой способ выгрузки пригоден лишь для сыпучих осадков), или срезают ножом, при рабочем или пониженном числе оборотов ротора. Такой способ выгрузки обычно применяют для малоабразивных осадков и в тех случаях, когда допустимо измельчение частиц твердой фазы.

Из шнековых центрифуг непрерывного действия осадок выгружается при вращении шнека относительно ротора и удаляется непрерывно без остановки ротора. Центрифуги непрерывного действия с вибрационной выгрузкой осадка разгружаются посредством колебаний конусного ротора

в осевом направлении; осадок выводится из ротора непрерывно, при рабочей скорости вращения. В центрифугах непрерывного действия с инерционной выгрузкой осадок выходит из ротора под действием тангенциальных составляющих центробежных сил инерции, превосходящих по величине силы трения осадка о стенки ротора.

В зависимости от расположения оси вращения центрифуги подразделяют на вертикальные и горизонтальные.

Обозначение типа центрифуги состоит из буквенной индексации, отражающей используемый принцип разделения, основные конструктивные особенности и способ выгрузки осадка:

О — осадительные, Ф — фильтрующие, К — комбинированные центрифуги, Р — разделяющие сепараторы;

Г — горизонтальные, В — вертикальные, П — подвесные с верхним приводом, М — маятниковые;

Б — с ручной выгрузкой осадка через борт, Д — с ручной выгрузкой через днище, С — саморазгружающиеся, Н — с ножевым съемом осадка, Ш — с шнековой выгрузкой осадка, В — с вибрационной выгрузкой осадка.

Цифры, следующие за буквенным обозначением, характеризуют диаметр барабана и конструктивную модификацию данного типа центрифуги.

Определяющим размером, при выборе центрифуги, является норма допустимой нагрузки P_a (кг), которую рассчитывают по формуле:

$$P_a = \frac{\left(1 + \frac{\sigma}{100}\right) G_{\text{вл}}^{\text{сут}}}{\beta} = \frac{\left(1 + \frac{\sigma}{100}\right) G_{\text{сух}}^{\text{сут}}}{\beta \left(1 - \frac{\varphi}{100}\right)},$$

где: $G_{\text{вл}}^{\text{сут}}$ и $G_{\text{сух}}^{\text{сут}}$ — суточная масса влажного и сухого осадка, кг;

φ — влажность осадка;

σ — резерв мощности.

После выбора центрифуги следует также проверить толщину слоя осадка:

$$h_{\text{ос}} = \frac{V_{\text{вл}}^{\text{сут}}}{\beta F_{\text{ном}}} = \frac{G_{\text{вл}}^{\text{сут}}}{\rho \beta F_{\text{ном}}},$$

где: $V_{\text{вл}}^{\text{сут}}$ — суточный объем влажного осадка, м³;

$F_{\text{ном}}$ — номинальная поверхность фильтрации, м².

Для центрифуги поверхность фильтрации определяется по формуле:

$$F_{\text{ном}} = \pi D H$$

где: D — диаметр корзины, м;

H — высота корзины, м.

Выбор типа промышленной центрифуги производится на основе анализа технологических требований, предъявляемых к процессу разделения, свойств суспензии и осадка и мощности производства. В основу такого анализа положен опыт промышленной эксплуатации центрифуг.

Маятниковые (трехколонные) центрифуги (рис. 6) относятся к нормальным отстойным или фильтрующим центрифугам периодического действия с ручной выгрузкой осадка.

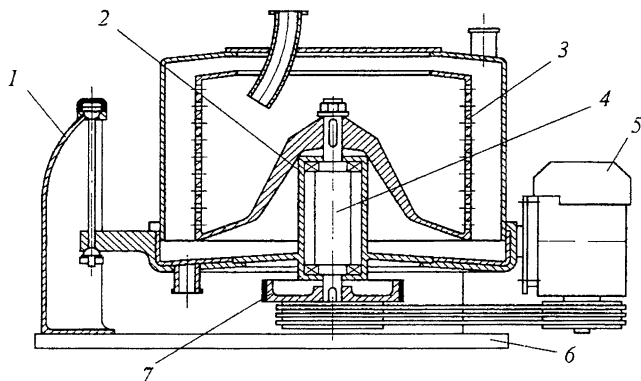


Рис. 6. Конструктивная схема центрифуг типа ФМБ и ОМБ:

- 1 — колонна; 2 — привод; 3 — ротор; 4 — вал; 5 — электродвигатель;
6 — фундаментальная плита; 7 — ленточный пружинный тормоз

Центрифуги типа ФМБ и ФМД (с фильтрующим ротором) предназначены для разделения суспензий со средне- и мелкоизмельченной твердой фазой (выше 10 мкм) и широким диапазоном концентраций. Наиболее эффективно применение этих машин на специализированных малотоннажных производствах, когда требуется получение осадка с наименьшей влажностью и высокая эффективность его промывки. Центрифуги применяют для разделения суспензий как с растворимой, так и с нерастворимой твердой фазой (в том числе с твердой фазой, имеющей повышенную абразивность), особенно когда недопустимо ее измельчение.

К достоинствам маятниковых центрифуг следует отнести простоту конструкции, малую массу и низкую стоимость машины. Существенным недостатком центрифуг этого типа является необходимость их периодической остановки для выгрузки осадка ручным способом. Поэтому удельный вес этих центрифуг в общем количестве выпускаемого фильтровального оборудования постепенно снижается. На смену им приходят центрифуги с механизированной нижней выгрузкой осадка.

Общим конструктивным признаком маятниковых центрифуг с ручной выгрузкой осадка является вертикальное расположение оси ротора (фильтрующего — в центрифугах ФМБ и осадительного — в центрифугах ОМБ), вал которого вращается в подшипниках качения, расположенных в корпусе привода.

Станина подвешена на трех тягах с шаровыми шарнирами и пружинами в колоннах, установленных на фундаментной плите, что позволяет валу ротора самоустанавливаться, а также уменьшает динамическую нагрузку на подшипники при возникновении дисбаланса.

Роторы фильтрующих центрифуг оснащены подкладными (дренажными) ситами.

Привод центрифуги осуществляется от электродвигателя через клиноременную передачу.

Ленточный пружинный тормоз центрифуг заблокирован с электродвигателем. При выключении электродвигателя блокирующее устройство автоматически включает тормоз и останавливает ротор, а при включении — автоматически его растормаживает. Оно предотвращает открывание крышки при включенном электродвигателе, а также включение электродвигателя при открытой крышке кожуха центрифуги.

В центрифугах фильтрующего типа суспензия подается в ротор на ходу в питатель или отверстие в крышке кожуха. Суспензии с нерастворимой и абразивной твердой фазой загружают в ротор при остановленной центрифуге. Скорость загрузки суспензии определяется скоростью отвода фильтрата через увеличивающийся слой осадка, который откладывается на внутренней стенке фильтрующего барабана, обтянутого сеткой или фильтровальной тканью. Загрузка заканчивается при заполнении ротора осадком.

Фильтрат (фугат) и промывная жидкость выводятся из кожуха через сливной штуцер, расположенный в станине. Осадок при фуговании не измельчается. Его выгружают вручную через верхний борт ротора (ФМБ и ОМБ) или днище ротора (ФМД и ОМД).

Выгрузка осадка в центрифугах типа ФМБ производится следующими способами:

1. При остановке центрифуги из барабана вынимается фильтрующий мешок, сшитый по форме барабана, с осадком. Но этот метод не может применяться для центрифуг с большим диаметром барабана, поскольку прочность мешка недостаточна, чтобы выдержать вес большого количества осадка.

2. Барабан разгружается вручную лопатами.

Центрифуги ФМБ изготавливаются как в открытом, так и в герметизированном взрывозащищенном исполнении. Центрифуги ФМД изготавливаются только со взрывозащищенным электрооборудованием и неискрящим тормозом, герметизированные конструкции не выпускаются.

Основные параметры центрифуг типа ФМБ и ФМД приведены в табл. VI.

Подвесные центрифуги с верхним приводом (рис. 7) применяются преимущественно в сахарной промышленности, где уровень их технического совершенства очень высок. В химической промышленности в последнее время их вытесняют маятниковые механизированные центрифуги. За редким исключением

подвесные центрифуги для химической промышленности изготавливаются с фильтрующими роторами. Область применения этих машин практически та же, что и маятниковых центрифуг.

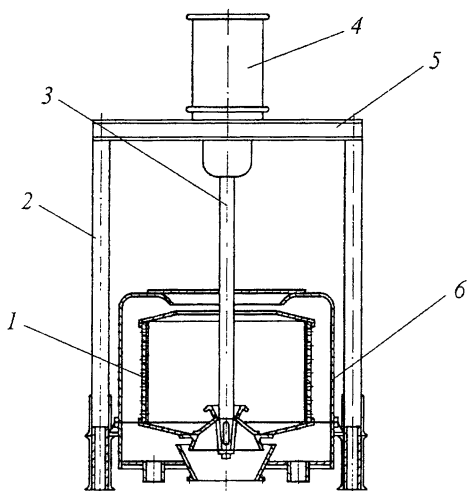


Рис. 7. Конструктивная схема центрифуг типа ФПН, ОПН и ФПД:

- 1 — ротор;
- 2 — стойка;
- 3 — вал-веретено;
- 4 — электродвигатель;
- 5 — продольные швеллеры;
- 6 — кожух

Общий конструктивный признак подвесных центрифуг — вертикальное расположение осей ротора и вала-веретена. Вал верхним концом подвешен в шаровой опоре, расположенной значительно выше центра тяжести вращающейся системы. Шаровая опора — головка привода центрифуги — представляет собой систему подшипников качения, размещенных в стакане, свободно опирающемся на сферическую поверхность корпуса привода. Пределы отклонения вала ограничиваются резиновым амортизатором, что уменьшает динамическую нагрузку на подшипники при возникновении дисбаланса. Корпус головки привода закреплен болтами на продольных швеллерах, опирающихся на две стойки. Система смазки подшипников — циркуляционная.

Привод центрифуг осуществляется от фланцевого электродвигателя, соединенного с валом центрифуги специальной упругой муфтой. Конструкция электродвигателя позволяет производить торможение противотоком. Подвесные центрифуги также укомплектованы механическим ленточным тормозом, расположенным в корпусе головки привода.

Ротор центрифуги закрыт кожухом, состоящим из верхней и нижней частей. Кожух является сборником фильтрата, который отводится через штуцер, расположенный в днище его нижней части. Для отдельного отвода из кожуха фугата и промывной жидкости к штуцеру присоединен сегрегатор.

Все центрифуги (кроме центрифуг с гуммированными основными деталями) оснащены устройством для пропарки внутренней полости кожуха и наружной поверхности ротора.

При работе фильтрующих центрифуг суспензия подается при пониженном числе оборотов ротора. Затем число оборотов доводят до максимального, при котором осадок отжимают, промывают и повторно отжимают.

Подвесные центрифуги изготовляют с ручной и механизированной выгрузкой осадка. У механизированных центрифуг осадок срезается при пониженном числе оборотов ротора, вследствие чего практически исключается измельчение кристаллов осадка. В центрифугах ФПД осадок выгружается при остановленном роторе вручную. Разгрузка происходит через отверстия внизу барабана. Во время загрузки и работы центрифуги отверстия прикрыты клапаном, который свободно скользит по валу и перед выгрузкой приподнимается.

Подвесные центрифуги изготавливаются негерметизированными.

Встречаются конструкции подвесных центрифуг с саморазгружающимся осадком, который выгружается под действием сил тяжести. Нижняя часть барабана в этих случаях выполняется в виде конуса с углом наклона большим, чем угол естественного откоса влажного осадка, вследствие чего при остановке осадок сползает вниз. Гравитационная выгрузка может применяться только для сыпучих осадков. Поэтому центрифуги подобного типа получили незначительное распространение в химических производствах.

Основные параметры подвесных центрифуг приведены в приложении (табл. VII).

Горизонтальные центрифуги с ножевым устройством для удаления осадка (ФГН и ОГН) (рис. 8) являются нормальными отстойными или фильтрующими центрифугами периодического действия с автоматизированным управлением.

В горизонтальной фильтрующей центрифуге с ножевым устройством операции загрузки суспензии, центрифугирования, промывки, механической сушки осадка и его разгрузки выполняются автоматически. Центрифуга управляется электрогидравлическим автоматом, позволяющим по толщине осадка контролировать степень заполнения ротора.

Фильтрующие центрифуги предназначены для разделения мелко— и среднedisперсных суспензий (размер частиц более 30 мкм), с преимущественно растворимой твердой фазой, объемной концентрацией более 10 %, так как при обработке суспензий с меньшей концентрацией твердой фазы значительно удлиняется цикл их разделения, а машины этого типа предназначены для работы с более короткими циклами, чем другие фильтрующие центрифуги периодического действия.

На центрифугах типа ФГН не рекомендуется обрабатывать нерастворимые продукты или продукты с нерастворимыми примесями, так как в этих случаях весьма затрудняется регенерация остающегося подслоя и фильтрующего основания.

Основное преимущество центрифуг типа ФГН состоит в возможности проведения всех стадий процесса в автоматическом режиме и при постоянной частоте вращения ротора. К недостаткам следует отнести: измельчение кристаллов при срезе осадка, большие трудности регенерации фильтрующей

перегородки при обработке суспензии с нерастворимой твердой фазой. Их также не рекомендуется применять для липких и мажущихся осадков. Однако, преимуществ центрифуг типа ФГН значительно больше, поэтому спрос промышленности на них во всем мире по-прежнему высок.

Общим конструктивным признаком центрифуг является горизонтальное расположение оси ротора, вал которого вращается в подшипниках качения, установленных в станине.

На передней крышке центрифуги смонтированы: механизм среза осадка, разгрузочный бункер, питающая труба, труба для промывки и регенерации (для фильтрующих центрифуг), регулятор уровня слоя загрузки и переключатели хода ножа.

В кожухе центрифуги предусмотрен люк для доступа к ротору, при замене или ремонте сит, для фильтрующих центрифуг и люк-воздушник для отвода паров и газов из внутренней полости кожуха.

Ротор фильтрующих центрифуг типа ФГН — сварной, с перфорированной обечайкой. Внутри ротора с помощью планок и колец закреплены дренажное и фильтрующее сита. В зависимости от обрабатываемой суспензии фильтрующие сита могут быть заменены фильтровальными тканями, которые подбирают и устанавливают потребители.

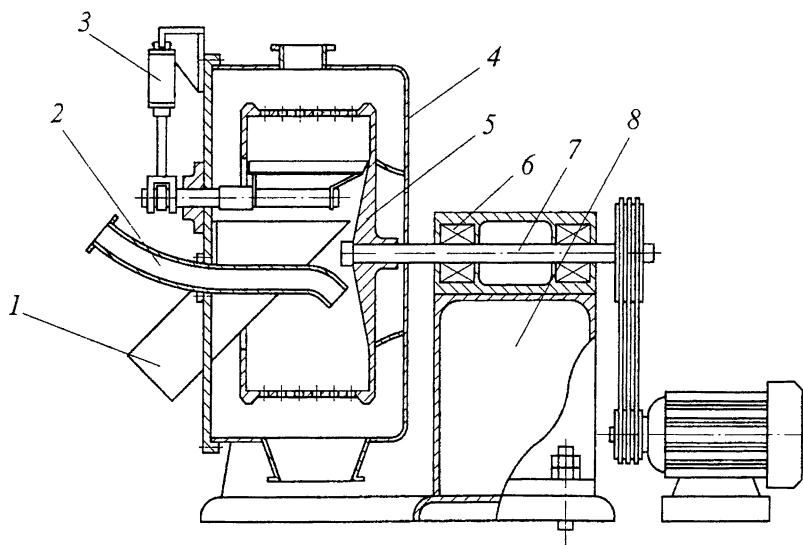


Рис. 8. Горизонтальная центрифуга с ножевым устройством для удаления осадка:
1 — разгрузочный бункер; 2 — питающая труба; 3 — механизм среза осадка;
4 — кожух; 5 — ротор; 6 — подшипники качения; 7 — вал; 8 — станина

При работе центрифуги суспензия поступает через регулируемый загрузочный клапан и питающую трубу. Подача суспензии автоматически прекращается при достижении заданного уровня слоя осадка, после чего осуществляется отжим и, если требуется, промывка осадка.

Отжатый осадок срезается поступательно движущимся или поворотным ножом и через бункер выгружается из центрифуги.

Основные параметры центрифуг типа ФГН приведены в приложении (табл. VIII).

Пример 2. Подобрать центрифугу для операции центрифугирования и промывки осадка изоксазолкарбоновой кислоты (ИКК).

Описание технологического процесса: Суспензию ИКК в количестве 4843,11 кг, содержащую 164,92 кг ИКК, 10,2 кг примесей и 4667,99 кг воды, самотеком сливают на центрифугу. Маточный раствор собирают в сборник, откуда передают на сжигание. Осадок на центрифуге промывают водой из водовода. Промывные воды сливают в канализацию промышленных стоков. Отбирают пробу пасты изоксазолкарбоновой кислоты для определения массовой доли основного вещества, которая должна быть не менее 98 % в пересчете на сухое вещество. Массовая доля воды в ИКК 15—20 %. Количество операций в сутки 1,43.

Решение:

1. Определяем состав и массу влажного осадка.

Принимаем выход на операции центрифугирования и промывки 99 %. Тогда масса 100 % ИКК в осадке составит: $164,92 \cdot 0,99 = 163,27$ кг. Масса технического ИКК с учетом содержания основного вещества 98 %: $163,27/0,98 = 166,6$ кг. В ней примесей: $166,6 - 163,27 = 3,3$ кг.

Принимаем влажность ИКК 20 %. Тогда масса влажного осадка:

$$166,6/0,8 = 208,25 \text{ кг. В нем воды: } 208,25 - 166,6 = 41,65 \text{ кг.}$$

2. Определяем норму допустимой нагрузки по формуле:

$$P_a = \frac{G_{\text{сут}}^{\text{вл}}}{\beta} \left(1 + \frac{\sigma}{100} \right)$$

Принимаем $\sigma = 15$ %.

$$P_a = \frac{208,25}{1,43} \left(1 + \frac{15}{100} \right) = 167,47 \text{ кг.}$$

Выбираем маятниковую центрифугу с ручной выгрузкой осадка ФМД-802-4 с предельной загрузкой 180 кг. Рабочая емкость барабана 0,08 м³, внутренний диаметр 800 мм. Площадь поверхности фильтрации 1 м².

3. Проверяем высоту слоя осадка по формуле:

$$h_{\text{ос}} = \frac{G_{\text{сут}}}{\rho \beta F_{\text{ном}}}.$$

Плотность органических соединений лежит в пределах 700—1300 кг/м³. Принимаем плотность влажного осадка ИКК 1000 кг/м³.

$$h_{\text{ос}} = \frac{208,25}{1000 \cdot 1,43 \cdot 1} = 0,15 \text{ м} = 15 \text{ см, что допустимо.}$$

СУШИЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Расчет и выбор сушильного оборудования

Сушкой называется процесс удаления влаги из веществ (обычно твердых тел).

По физической сущности сушка является процессом совместного тепло-массопереноса и сводится к перераспределению и перемещению влаги под воздействием теплоты из глубины высушиваемого материала к его поверхности и последующему ее испарению.

Классификация сушилок. Существуют различные конструкции аппаратов, предназначенных для сушки, они классифицируются по ряду признаков.

Для рассмотрения основных групп сушилок, применяемых в химико-фармацевтической промышленности, ограничимся классификацией по способу организации процесса и состоянию слоя высушиваемого материала. По этому принципу все сушильные аппараты можно разделить на: сушилки периодического действия с неподвижным или движущимся плотным слоем материала и сушилки непрерывного действия со взвешенным слоем.

Несмотря на общую тенденцию в промышленности к переходу на применение сушильного оборудования непрерывного действия, позволяющего интенсифицировать и механизировать процесс, сушилки периодического действия не утратили своего значения. В химико-фармацевтической промышленности, где многие производства относятся к разряду малотоннажных, применение этих сушилок, как показывает мировая практика, в ряде случаев оправдано.

К сушилкам периодического действия можно отнести полочные и барабанные сушилки.

Сушилки непрерывного действия со взвешенным слоем предназначены для сушки сыпучих материалов со свободной и слабосвязанной влагой, которые рассыпаются в процессе подсушки в потоке воздуха или инертного газа.

Процесс сушки проходит в условиях активных гидродинамических режимов взаимодействия между продуктом и теплоносителем. Применение таких процессов дает возможность легко вводить и выводить твердый продукт из зоны сушки, при этом достигается равномерное распределение твердой фазы в слое и его равномерное прогревание. Аппараты с активными гидродинамическими режимами наиболее полно удовлетворяют таким условиям, как: 1) достижение высоких технико-экономических показателей; 2) высокая интенсивность тепло- и массообмена; 3) возможность настраивания на режимы, близкие к оптимальным для каждого конкретного продукта.

Сушильные аппараты непрерывного действия, по характеру движения в них материала, можно разделить на сушилки с пневмотранспортом материала (пневматическая и аэрофонтанная сушилки); сушилки с закрученными потоками (циклонная и вихревая); сушилки с кипящим слоем материала и распылительные сушилки.

В некоторых случаях перед сушилкой устанавливают подсушиватель. Использование двухступенчатых и комбинированных сушилок в одной установке позволяет обеспечить рациональные гидродинамические режимы и технологические условия сушки продуктов до необходимой остаточной влажности и расширяет область применения сушилок со взвешенным слоем.

Отдельную группу сушилок составляют вакуум-сублимационные сушилки, предназначенные для сушки термолабильных материалов.

Расчет сушильных аппаратов производится в следующей последовательности: 1) по требуемой производительности составляют материальный баланс процесса сушки с определением часового количества испаряемой влаги, сухого продукта и т.д.; 2) составляют тепловой баланс с определением расхода тепла, топлива, пара, сушильного агента и т.д.; 3) исходя из заданного режима сушки и расходов агента сушки, определяют необходимую поверхность тепло— и массообмена, обеспечивающую заданную производительность сушилки. По величине поверхности тепло— и массообмена находят габариты сушильной камеры и определяют необходимое количество сушильных аппаратов.

Материальный баланс сушки. Производительность сушилки по высушиваемому продукту $G_{\text{вл.мат}}$ определяют из материального баланса стадии (операции), с учетом числа операций в сутки β :

$$G_{\text{вл.мат}} = \frac{G_{\text{вл.мат}}^{\text{сут}}}{\beta},$$

где $G_{\text{вл.мат}}^{\text{сут}}$ — суточная производительность по высушиваемому продукту, кг. Количество свободной влаги, испаряемой в процессе сушки W , будет равно:

$$W = G_{\text{вл.мат}} - G_{\text{сух.мат}} = G_{\text{сух.мат}} \frac{w_{\text{н}} - w_{\text{к}}}{100 - w_{\text{н}}},$$

где: $G_{\text{сух.мат}}$ — количество высушенного материала (с учетом примесей), кг; $w_{\text{н}}$ и $w_{\text{к}}$ — начальная и конечная влажность, масс. доли.

Тепловой баланс контактной сушки. При контактной сушке высушивание материала происходит путем передачи тепла от теплоносителя к материалу через разделяющую их стенку, поэтому расчет контактной сушилки сводится к определению необходимой поверхности теплообмена.

Тепло, передаваемое через стенку, расходуется на нагревание высушиваемого материала до температуры сушки $Q_{\text{н}}$ и собственно на сушку, т.е. на испарение влаги из материала $Q_{\text{исп}}$ и на потери в окружающую среду $Q_{\text{пот}}$:

$$\Sigma Q = Q_{\text{н}} + Q_{\text{исп}} + Q_{\text{пот}}, \text{ кДж.}$$

Количество тепла, необходимое для нагрева материала, определяют как:

$$Q_{\text{н}} = \frac{G_{\text{сух.мат}}^{\text{сут}} c_{\text{мат}} (t_{\text{с.кон}} - t_{\text{нач}}) + W_{\text{сут}} c_{\text{вл}} (t_{\text{с.нач}} - t_{\text{нач}})}{\beta},$$

где: $G_{\text{сух.мат}}^{\text{сут}}$ — суточное количество высушенного материала, кг;

$W_{\text{сут}}$ — суточное количество удаляемой влаги, кг;

$c_{\text{мат}}$ и $c_{\text{вл}}$ — теплоемкость высушенной части материала (с учетом примесей) и влаги, кДж/кг · К;

$t_{\text{нач}}$ — начальная температура высушиваемого материала, °С;

$t_{\text{с.нач}}$ — начальная температура сушки, соответствующая температуре кипения влаги при данном давлении, °С;

$t_{\text{с.кон}}$ — конечная температура сушки, °С.

Количество тепла, необходимое для испарения влаги, определяется следующим образом:

$$Q_{\text{исп}} = \frac{W_{\text{сут}} (H - c_{\text{вл}} t_{\text{с.нач}})}{\beta},$$

где H — энтальпия паров, образующихся при сушке, при конечной температуре сушки, кДж/кг.

Если обогрев производят паром, то расход последнего определяется из следующего соотношения (в кг):

$$D = \frac{Q_{\text{исп}} + Q_{\text{н}} + Q_{\text{пот}}}{H_{\text{п}} - H_{\text{к}}},$$

где $H_{\text{п}}$ и $H_{\text{к}}$ — энтальпии пара и конденсата, кДж/кг.

Тепловой баланс воздушной сушки. При конвективной сушке высушивание материала производится путем непосредственного его соприкосновения с сушильным агентом, в качестве которого чаще всего используют нагретый в калорифере воздух.

Расход сухого газа (воздуха) на сушку определяют из уравнения:

$$L = \frac{W}{x_2 - x_0},$$

где x_0 и x_2 — влагосодержание газа на входе в калорифер и выходе из сушильной камеры в расчете на 1 кг абсолютно сухих газов, кг.

Начальное влагосодержание газа определяют по уравнению:

$$x = \frac{M_{\text{п}}}{M_{\text{с.г}}} \frac{\phi P_{\text{н.п}}}{P - \phi P_{\text{н.п}}},$$

где: $M_{\text{п}}$ и $M_{\text{с.г}}$ — молярные массы пара и сухого газа, г/моль;

ϕ — относительная влажность воздуха;

$P_{\text{н.п}}$ — давление насыщенного водяного пара, кгс/см²;

P — общее давление паровоздушной смеси, кгс/см².

Для влажного воздуха $\frac{M_{\text{п}}}{M_{\text{с.г}}} = 0,622$.

Если температура влажного воздуха выше температуры насыщения водяного пара, при общем давлении P , то $P_{\text{н.п}} = P$ и

$$x = 0,622 \frac{\varphi}{1 - \varphi}.$$

Конечное влагосодержание газа можно определить по диаграмме Рамзина или аналитическим методом, совместным решением системы уравнений:

$$\frac{(H_2 - H_1)}{x_2 - x_0} = c_{\text{вл}} t_{\text{нач}} - \frac{G_{\text{сух.мат}} c_{\text{мат}} (t_{\text{с.кон}} - t_{\text{нач}})}{W} - q_{\text{пот}},$$

$$H_2 = (1,01 + 1,97x_2)t_2 + 2493x_2,$$

где H_1 и H_2 — энтальпия воздуха на выходе из калорифера и на выходе из сушильной камеры, кДж/кг сухого воздуха;

$q_{\text{пот}}$ — удельные потери тепла в окружающую среду ($q_{\text{пот}} = 125 \div 420$ кДж на 1 кг влаги в зависимости от влажности материала; меньшую величину принимают для высоковлажных материалов);

1,01 и 1,97 — удельные теплоемкости сухого воздуха и водяного пара при постоянном давлении, кДж/кг·К;

2493 — удельная теплота парообразования воды при 0 °С, кДж/кг;

t_2 — температура воздуха на выходе из сушильной камеры, °С.

$$H_1 = (1,01 + 1,97x_0)t_1 + 2493x_0,$$

где t_1 — температура воздуха на выходе из калорифера, °С.

Если для нагрева воздуха используют паровой калорифер, то расход пара в нем составит (в кг):

$$D = \frac{L(H_1 - H_0)}{\eta(H_{\text{г.п}} - H_{\text{к}})},$$

где: η — коэффициент полезного использования тепла в калорифере (0,98—0,99);

$H_{\text{г.п}}$, $H_{\text{к}}$ — энтальпия пара и конденсата, кДж/кг;

H_0 — энтальпия воздуха на входе в калорифер, кДж/кг.

Пример 3. Определить количество воздуха, необходимого для сушки изоксазолкарбонной кислоты (ИКК).

Описание технологического процесса. 208,25 кг влажной пасты ИКК (влажность 20 %, содержание основного вещества в пересчете на сухой остаток 98 %) сушат при температуре 135—140 °С до остаточного содержания влаги не более 0,3 %. Получают 167,11 кг изоксазолкарбонной кислоты с содержанием основного вещества не менее 98 % в пересчете на сухой остаток. Количество операций в сутки 1,43.

Решение:

1. Определяем суточное количество влаги W , удаляемое из высушиваемого материала по формуле:

$$W = G_{\text{сух.мат}} \frac{w_{\text{н}} - w_{\text{к}}}{100 - w_{\text{н}}} = 167,11 \frac{20 - 0,3}{100 - 20} = 41,14 \text{ кг.}$$

2. Запишем уравнение теплового баланса для воздушной сушики:

$$\frac{(H_2 - H_1)}{x_2 - x_0} = c_{\text{вл}} t_{\text{нач}} - \frac{G_{\text{сух.мат}} c_{\text{мат}} (t_{\text{с.кон}} - t_{\text{нач}})}{W} - q_{\text{пот}}.$$

Примем $q_{\text{пот}} = 125$ кДж/кг влаги, $c_{\text{вл}} = 4,19$ кДж/кг.

Начальная температура воздуха 135°C . Примем конечную температуру воздуха 60°C . Температуру материала примем на 2°C меньше температуры отработанного воздуха. Тогда температура материала в слое равна 58°C . Начальную температуру влажного материала примем 20°C .

В $167,11$ кг высушенной ИКК содержится $0,3\%$ влаги, что составляет $167,11 \cdot 0,003 = 0,5$ кг. Масса сухого остатка: $167,11 - 0,5 = 166,61$ кг. В нем содержится 98% ИКК и 2% примесей. Теплоемкость ИКК $c_{\text{мат}} = 1,27$ кДж/моль. Теплоемкость примесей принимаем по ИКК.

$$\frac{H_2 - H_1}{x_2 - x_0} = 4,19 \cdot 20 - \frac{(166,61 \cdot 1,27 + 0,5 \cdot 4,19) \cdot (58 - 20)}{41,14} - 125 = -238,58 \text{ кДж/кг влаги.}$$

3. Определяем начальные параметры воздуха (влажность x и энтальпию H) при температуре 20°C и давлении $P = 1$ кгс/см².

Примем влажность воздуха 80% .

При $t = 20^\circ\text{C}$ давление насыщенного пара $P_{\text{нас}} = 0,0238$ кгс/см².

$$x_0 = \frac{0,622 \varphi P_{\text{н.п.}}}{(P - \varphi P_{\text{н.п.}})} = \frac{0,622 \cdot 0,8 \cdot 0,0238}{1 - 0,8 \cdot 0,0238} = 0,0121 \text{ кг/кг сухого воздуха}$$

$H_0 = (1,01 + 1,97x)t_0 + 2493x = (1,01 + 1,97 \cdot 0,0121)20 + 2493 \cdot 0,0121 = 50,84$ кДж/кг сухого воздуха,

где t_0 — начальная температура воздуха, $^\circ\text{C}$.

При нагревании воздуха до 135°C его влагосодержание остается постоянным ($0,0121$ кг влаги/кг сухого воздуха), а энтальпия возрастает до:

$$H_1 = (1,01 + 1,97 \cdot 0,0121)135 + 2493 \cdot 0,0121 = 169,73 \text{ кДж/кг}$$

6. Определяем параметры отработанного воздуха. Для этого необходимо решить два уравнения:

$$H_2 = H_1 + (-238,58)(x_2 - x_0) = 169,73 - 238,58(x_2 - 0,0121)$$

$$H_2 = (1,01 + 1,97x_2)60 + 2493x_2$$

$x_2 = 0,0395$ кг влаги/кг сухого воздуха.

$$H_2 = (1,01 + 1,97 \cdot 0,0395)60 + 2493 \cdot 0,0395 = 163,74 \text{ кДж/кг}$$

7. Определяем расход воздуха на сушку:

$$L = \frac{1}{x_2 - x_0} W = \frac{41,14}{0,0395 - 0,0121} = 1501,46 \text{ кг}$$

Сушилки периодического действия

Вакуумные шкафы. Вакуумные шкафы предназначены для высушивания различных материалов в условиях вакуума. Этот тип сушилок представляет собой обычно горизонтальный цилиндрический аппарат или прямоугольный шкаф с откидной передней крышкой. Внутри шкафа на стойках установлены плиты, в которые сверху по трубе вводится греющий пар, а снизу отводится конденсат.

Сушку обычно проводят следующим образом. От шкафа отсоединяют крышку и на греющих плитах размещают высушиваемый материал, уложенный предварительно в специальные противни слоем 20—60 мм. После этого шкаф закрывают крышкой и подводят греющий пар. Сушка протекает под действием кондукционного нагрева неподвижного слоя материала в условиях вакуума. Пары влаги, испаряющейся в процессе сушки, и воздух отсасываются из шкафа вакуум-насосом (рис. 9). По окончании сушки материал выгружается из шкафа вместе с противнями.

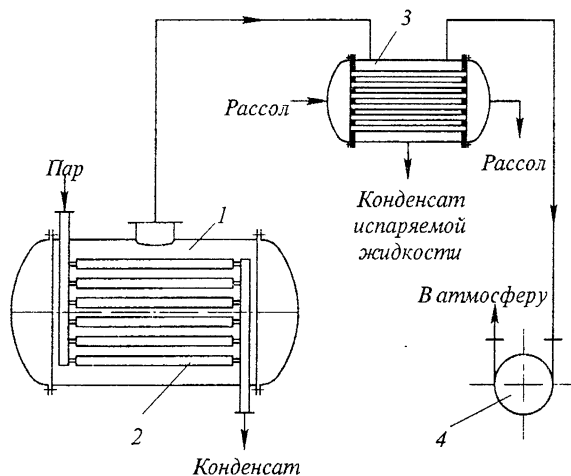


Рис. 9. Установка с вакуум-сушильным шкафом: 1 — камера сушилки; 2 — полые плиты; 3 — конденсатор; 4 — вакуумный насос

Вакуумные шкафы имеют ряд отрицательных сторон: повышенные трудозатраты, возможность контакта работающих с высушиваемым продуктом и антисанитарные условия в рабочем помещении при загрузке и выгрузке химико-фармацевтических препаратов, а также малая интенсивность сушки, т.к. сушка в них происходит в неподвижном слое при наличии плохо проводящих тепло

зазоров между противнями и греющими плитами. Напряжение рабочей поверхности плит (со стороны материала) обычно не превышает $0,5\text{—}3 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{влаги}$.

Но, несмотря на большой выбор сушилок, позволяющих вести интенсивно процесс сушки в потоке воздуха, в целом ряде случаев, особенно при сушке готовых фармакопейных препаратов, применение вакуумных шкафов может быть оправдано. В них высушивают небольшие количества продукта или вещества, неопасные в санитарном отношении. Вакуумные шкафы незаменимы также в случаях сушки термолабильных продуктов, не допускающих контакта с горячим воздухом или легко окисляемых воздухом, а также для сушки продуктов от влаги органических растворителей, в том числе относящихся к легко воспламеняющимся жидкостям (ЛВЖ). Применение в этом случае вакуумных шкафов с низкотемпературным конденсатором, охлаждаемым холодной водой или рассолом на линии отсоса паров, позволяет, помимо создания более «мягкого» температурного режима сушки (в зависимости от глубины вакуума в шкафу) и снижения пожароопасности процесса, улавливать пары растворителя для его регенерации и исключения выброса в атмосферу.

Основные параметры вакуумных сушильных шкафов приведены в приложении (табл. IX).

Пример 4. Рассчитать вакуум-сушилку для сушки изоксазолкарбоневой кислоты (ИКК) по условиям примера 3. Принять температуру сушки 60°C .

Решение:

1. Определяем количество тепла, необходимого для нагрева материала от 20°C до 60°C по формуле:

$$Q_{\text{н}} = \frac{G_{\text{сух. мат}} c_{\text{мат}} (t_{\text{с. кон}} - t_{\text{нач}}) + W c_{\text{вл}} (t_{\text{с. нач}} - t_{\text{нач}})}{\beta}$$

$$Q_{\text{н}} = \frac{(166,61 \cdot 1,27 + 0,5 \cdot 4,19)(60 - 20) + 41,14 \cdot 4,19 \cdot (60 - 20)}{1,43} = 10799,06 \text{ кДж}$$

2. Определяем расход тепла на испарение влаги по формуле:

$$Q_{\text{исп}} = \frac{W(H - c_{\text{вл}} t_{\text{с. нач}})}{\beta} = \frac{41,14(2608,3 - 4,19 \cdot 60)}{1,43} = 67806,2 \text{ кДж}$$

3. Определяем необходимую поверхность теплообмена.

Для вакуум-сушильных шкафов напряжение по влаге составляет $0,5\text{—}$

$3 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{ч}$. Следовательно, для удаления $\frac{41,14}{1,43} = 28,77 \text{ кг}$ влаги за 1 ч необ-

ходимо $\frac{28,77}{1,3} = 9,59 \text{ м}^2$.

Выбираем вакуум-сушильный шкаф ШСВ-4,5 с поверхностью нагрева 10 м^2 . Поверхность загрузки $F_3 = 4,5 \text{ м}^2$.

6. Проверяем толщину слоя осадка.

Принимаем плотность влажного осадка $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$.

$$h_{\text{ос}} = \frac{G_{\text{вл. мат}}^{\text{сут}}}{\beta \rho F_3} = \frac{208,25}{1,43 \cdot 1000 \cdot 4,5} = 0,032 \text{ м} = 3,2 \text{ см}, \text{ что допустимо.}$$

Оптимальная толщина слоя осадка составляет 2—6 см.

7. Определяем расход пара на нагрев по формуле (с учетом 5 % потерь):

$$D = \frac{Q_{\text{исп}} + Q_{\text{н}} + Q_{\text{пот}}}{H_{\text{гп}} - H_{\text{к}}} = \frac{10799,06 + 67806,2 + 0,05(10799,06 + 67806,2)}{2679 - 419} = 36,52 \text{ кг.}$$

Сушилки полочные атмосферные предназначены для сушки пасты, волокнистых и сыпучих крупнокусковых материалов, стеклопосуды. Данные сушилки не предназначены для сушки тонкодисперсных и пылящих материалов.

Конструктивно полочные шкафные сушилки представляют собой прямоугольную камеру, внутри которой помещается неподвижно этажерка с полками. Материал загружают на противни, которые устанавливают на полки. Его периодически перемешивают вручную, или материал остается неподвижным в течение всего процесса сушки. Поэтому недостатки, присущие вакуумным шкафам, в равной мере относятся и к сушилкам этого типа.

В полочных сушилках применяется многократная циркуляция сушильного агента (обычно воздуха) с промежуточным подогревом в калориферах. Полочные сушилки, применяемые в медицинской промышленности, обычно изготавливают с выносным вентилятором, установленным наверху камеры сушилки. В силу присущих им недостатков сушилки подобного типа не следует применять для сушки пылящих материалов, а также токсичных продуктов. Важным вопросом является сушка этим способом продуктов от легковоспламеняющихся жидкостей, часто применяемых в химико-фармацевтической промышленности для выделения и очистки полупродуктов и готовых препаратов путем их кристаллизации из среды органического растворителя.

Применение полочных сушилок в химико-фармацевтической промышленности может быть оправдано (с учетом указанных выше ограничений) на малотоннажных производствах и для опытных установок, когда количество высушиваемого продукта незначительно и измеряется в пределах от нескольких килограммов до нескольких десятков килограммов за операцию. В этом случае вопросы экономики не играют существенной роли и основным фактором, оправдывающим применение этого типа сушилок, являются простота их конструкции, невысокая стоимость и возможность изготовления собственными силами на месте применения.

В случае применения шкафных сушилок для сушки продуктов от органических растворителей, относящихся к ЛВЖ, необходимо соблюдение условия, чтобы максимальная объемная концентрация паров растворителя в отходящем из сушильной камеры воздухе не превышала 30 % нижнего предела

взрываемости смеси паров данного растворителя с воздухом. Очевидно, в этом случае недопустимо применять системы с замкнутым циклом теплоносителя, а работать «на прямую».

Основные параметры полочных атмосферных сушилок приведены в приложении (табл. X).

Сушилки вакуумные барабанные. Сушилки вакуумные барабанные применяются в основном для термочувствительных материалов, требующих сушки при пониженном давлении, а также в тех случаях, когда удаляются органические растворители или по требованиям технологии необходима герметизация процесса и улавливание растворителя, т.е. для тех же процессов сушки, для которых применяются вакуумные сушильные шкафы. Применение вакуумных барабанных сушилок как более эффективного вида оборудования по технико-экономическим соображениям рекомендуется для многотоннажных производств химико-фармацевтической промышленности, когда для обеспечения требуемой мощности потребовалось бы установить значительное количество полочных вакуумных шкафов. Однако сушилки с мешалкой выгодно отличаются от сушильного шкафа тем, что процесс сушки в них благодаря перемешиванию протекает с большей скоростью и, кроме того, высушенный материал выгружается из аппарата механизированным способом.

Вакуум-барабанные сушилки могут быть выполнены с неподвижным корпусом и вращающейся мешалкой, или с вращающимся корпусом и неподвижной мешалкой.

В зависимости от свойств материала и требований к готовой продукции сушка ведется в условиях среднего (остаточное давление 20—100 мм рт. ст.) или глубокого (остаточное давление до 1 мм рт. ст.) вакуума. Нормальное заполнение объема аппарата продуктом составляет 0,2—0,3 общего объема аппарата.

Производительность сушилки зависит от температуры греющего пара, величины разрежения и начальной влажности материала. Напряжение их поверхности по влаге колеблется в пределах 6—8 кг/м²·ч, т.е. выше чем для вакуум-сушильных шкафов, но сушильный агрегат более сложен и требует больших эксплуатационных расходов.

Барабанные вакуумные сушилки выполняются в следующих исполнениях: ВГС — вакуум-гребковая сушилка; СВГР — сушилка вакуум-гребковая с реверсивным ротором; ВБС — с вращающимся корпусом; ВПБ — вращающаяся с паровой рубашкой.

Гребковая сушилка (рис. 10) состоит из цилиндрического корпуса с паровой рубашкой и мешалки. Гребки мешалки закреплены на валу взаимно перпендикулярно; на одной половине длины барабана гребки мешалки изогнуты в одну сторону, на другой половине — в противоположную. Кроме того, мешалка может иметь реверсивный привод, автоматически меняющий направление ее вращения каждые 5—8 мин. Поэтому при работе мешалки материал (загруженный

через люк) периодически перемещается от краев барабана к середине и в обратном направлении.

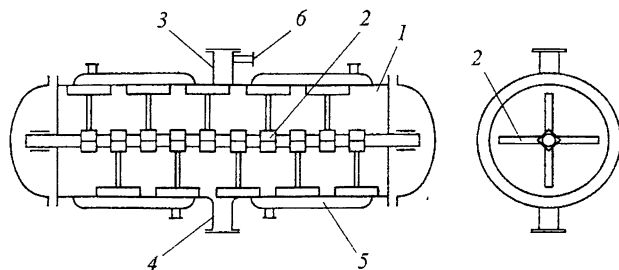


Рис. 10. Вакуум-гребковая сушилка: 1 — корпус; 2 — гребковая мешалка; 3, 4 — загрузочный и разгрузочный люки; 5 — паровая рубашка с патрубками для пара и конденсата; 6 — патрубок для отвода выделяющегося пара

Вал мешалки может быть полым и через него можно также осуществлять нагрев высушиваемого материала. Свободно перекатывающиеся между гребками трубы способствуют разрушению комков и дополнительно перемещивают материал. Разгрузка высушенного материала производится через люк. Патрубок служит для отвода образующихся при сушке паров либо в атмосферу, либо в вакуум-конденсационную систему.

Основные параметры вакуум-гребковых сушилок приведены в приложении (табл. XI).

Барабанные вакуумные сушилки типа ВВС — с вращающимся корпусом — имеют хорошую герметичность, что позволяет использовать их для сушки не-термостойких сыпучих материалов.

Сушилки типа ВВС представляют собой ряд встроенных друг в друга цилиндров, обогреваемых паром низкого давления или водой. Для защиты высушенных материалов от взаимодействия с кислородом воздуха выгрузку и охлаждение материала производят под вакуумом.

Условное обозначение вакуум-барабанных сушилок с вращающимся корпусом складывается следующим образом: В — вакуумная; Б — барабанная; С — сушилка; число — вес загружаемого влажного продукта, кг.

Техническая характеристика вакуум-барабанной сушилки ВВС-500

Количество загружаемого влажного продукта, кг	560
Емкость барабана, м ³	
Полная	1,8
Рабочая	0,8
Остаточное давление в аппарате, мм рт. ст.	1
Давление пара в рубашке, кгс/см ²	0,5—0,9
Температура греющего пара, °С	108
Поверхность теплообмена, м ²	20
Скорость вращения барабана, об/мин	2,5—8

Электродвигатель привода:

мощность, кВт

1,3

число оборотов вала в минуту

500

Габаритные размеры, мм

4435×2380×1685

Вес, кг

5500

Вакуумные сушилки типа ВПБ (рис. 11) представляют собой сварной эксцентрично установленный герметичный барабан с паровой рубашкой и цапфами. Ось барабана наклонена к горизонтали под углом 35° , благодаря чему продукт при вращении барабана интенсивно перемешивается и при этом соприкасается с нагретыми поверхностями аппарата.

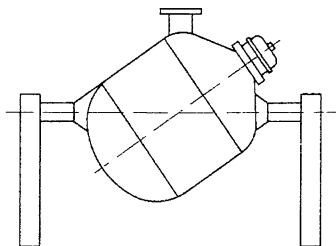


Рис. 11. Вакуум-барабанная сушилка типа ВПБ

Основные параметры сушилок типа ВПБ приведены в приложении (табл. XII).

Для сушки фармацевтических препаратов на конечной стадии производства, а также в тех случаях, когда недопустим контакт высушиваемого продукта с металлическими поверхностями, может быть применена *эмалированная вакуумная сушилка с качающимся барабаном* (рис. 12).

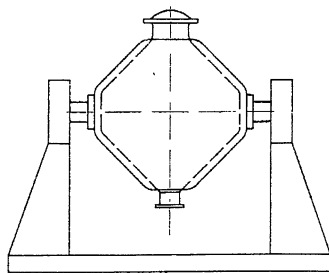


Рис. 12. Эмалированная сушилка

Данная сушилка предназначена для сушки с одновременным перемешиванием агрессивных и токсичных продуктов под вакуумом. Ее можно применять для сушки органических, минеральных кислых, щелочных суспензионных и сыпучих материалов (за исключением фтористой, кремнефтористоводородной и фосфорной кислот), органических и ароматических веществ, пищевых, сыпучих и кристаллизующихся продуктов.

Техническая характеристика эмалированной сушилки

Номинальная емкость, м ³	1
Поверхность теплообмена, м ²	4,4
Рабочее давление в рубашке, кгс/см ²	0,6
Остаточное давление в рабочем объеме барабана, мм рт. ст.	20
Рабочая температура, °С: для кислых сред	200
для щелочных сред	100 (при рН до 12)
Габаритные размеры мм	540×2680×2690
Масса, кг	2000

Пример 5. Рассчитать вакуум-гребковую сушилку для сушки изоксазол-карбоновой кислоты (ИКК) по условиям примера 3. Принять температуру сушки 60 °С.

Решение:

1. Определяем объем высушиваемого материала:

$$V_{\text{мат}} = \frac{G_{\text{мат}}}{\rho} = \frac{208,25}{1000} = 0,21 \text{ м}^3,$$

где ρ — плотность материала, кг/м³.

Принимаем коэффициент заполнения сушилки 0,3.

Тогда объем барабана сушилки составит:

$$V_6 = \frac{0,21}{0,3} = 0,7 \text{ м}^3$$

2. Выбираем вакуум-гребковую сушилку СВГР-1,2 емкостью 1,2 м³.

Поверхность теплообмена сушилки 4 м².

3. Напряжение по влаге для вакуум-гребковой сушилки колеблется в пределах 6—8 кг/м²·ч.

Следовательно, для удаления $\frac{41,14}{1,43} = 28,77$ кг влаги с поверхности 4 м²

необходимо $\frac{28,77}{4 \cdot 8} = 0,9$ ч ≈ 55 мин.

4. Определяем расход пара на нагрев:

$$D = \frac{Q_{\text{исп}} + Q_{\text{н}} + Q_{\text{пот}}}{H_{\text{г.п}} - H_{\text{к}}} = \frac{10799,06 + 67806,2 + 0,05(10799,06 + 67806,2)}{2679 - 419} = 36,52 \text{ кг}$$

Сушилки периодического действия с псевдооживленным слоем. Одним из прогрессивных методов, который может быть предложен для сушки пастообразных и влажных кристаллических препаратов, является метод сушки в полувзвешенном (псевдооживленном) состоянии.

Несмотря на то, что коэффициенты тепло- и массообмена от твердых частиц к газам приблизительно одинаковы для неподвижного и псевдоожигенного слоев, скорость теплоотдачи в псевдоожигенном слое гораздо выше за счет резкого увеличения величины активных поверхностей теплообмена.

Сушильные установки с псевдоожигенным слоем чрезвычайно разнообразны как по конструкции, так и по гидродинамическим и тепловым режимам работ.

Их классифицируют по числу зон (однокамерные и многокамерные), по характеру движения материала (с направленным и ненаправленным движением от места загрузки материала к месту его выгрузки), по использованию теплоносителя (однократное и многократное), по конфигурации сушильной камеры (круглые, прямоугольные и т.д.).

Для сушки небольших количеств различных продуктов применяют периодически действующие сушилки с псевдоожигенным слоем. В этих аппаратах эффективно используют подачу сушильного агента импульсами, вызывающими кратковременное псевдоожигение материала. Таким способом удается достичь равномерной сушки материалов, имеющих тенденцию к слипанию, а также кристаллических материалов без значительного истирания их частиц.

Порционные сушилки для сушки в псевдоожигенном слое представляют собой герметичный шкаф, в нижней части которого устанавливают сосуд с высушиваемым материалом, а в верхней расположены рукавный фильтр и вентилятор. Через перфорированное днище сосуда продувается горячий воздух, засасываемый хвостовым вентилятором. Сушка продукта происходит в псевдоожигенном слое. Поток воздуха, подаваемый в сушилку вентилятором, после подогрева в калорифере и очистки направляется под сетчатое днище резервуара, на котором расположен высушиваемый продукт, приводя его в псевдоожигенное состояние. Отработанный влажный воздух выводится из сушилки через рукавный матерчатый фильтр, предупреждающий унос мелких частиц высушиваемого продукта.

Основным преимуществом сушки в кипящем слое является быстрота сушки (до 1 ч вместо 1 суток). Разница между процессом сушки в порционных сушилках и сушилках полочных состоит в том, что теплоноситель в порционных сушилках не соприкасается с материалом по поверхности, а продувается через него. Поэтому поверхность соприкосновения резко возрастает, т.к. каждая частица высушиваемого продукта, находясь во взвешенном состоянии, обдувается со всех сторон воздухом. Объемный коэффициент теплообмена, отнесенный к слою материала, равен примерно 5—10 кВт/м³·К, в то время как для барабанных сушилок он составляет на весь объем не более 0,5 кВт/м³·К.

Преимуществом сушилок такого рода является также малая занимаемая ими производственная площадь, простота эксплуатации и облегчение операций загрузки и выгрузки. Для обслуживания сушилки СП нужен только один человек.

Сушилки этого типа выпускаются серийно следующих типоразмеров: СП-30, СП-30М, СП-60 и СП-100, где цифры обозначают количество исходного продукта, высушиваемого за одну загрузку (табл. XIII).

Сушилки СП-30М и СП-60 снабжены мешалкой, вал привода которой пропущен через дно сосуда. Мешалка выполнена в виде легкой плоской рамы с прикрепленными к ней длинными вертикальными стержнями, достигающими почти до дна сосуда. Такая конструкция мешалки обеспечивает активное перемешивание материала и препятствует неравномерному распределению теплоносителя по всему сечению аппарата. Кроме того, длинные стержни, помещенные в слой материала и перемещающиеся в нем, способствуют в некоторой степени снижению зарядов статического электричества.

Сушилки изготавливаются из углеродистой стали и никелесодержащей стали марки 12Х18Н10Т.

Сушилки не предназначены для сушки продуктов от растворителей. Электрооборудование сушилки имеет невзрывозащищенное исполнение.

Пример 6. Рассчитать сушилку с псевдооживленным слоем (СП) для сушки изоксазолкарбоновой кислоты (ИКК) по условиям примера 3.

Решение:

1. Определяем загрузку ИКК на одну операцию сушки по формуле:

$$P_a = \frac{G_{\text{вл. мат}}^{\text{сут}}}{\beta} \left(1 + \frac{\sigma}{100} \right)$$

Принимаем резерв мощности $\sigma = 15\%$.

$$P_a = \frac{208,25}{1,43} \left(1 + \frac{15}{100} \right) = 167,47 \text{ кг.}$$

2. Выбираем по каталогу порционную сушилку типа СП-100.

Загрузка продукта	100—200 кг
Продолжительность сушки	20—60 мин
Расход воздуха	4500 м ³ /ч

3. Определяем начальные параметры воздуха (влажность x и энтальпию H) при температуре 20 °С и давлении $\Pi = 1$ кгс/см².

Примем влажность воздуха 80 %.

$$x_0 = \frac{0,622\varphi P_{\text{н.п}}}{(\Pi - \varphi P_{\text{н.п}})} = \frac{0,622 \cdot 0,8 \cdot 0,0238}{1 - 0,8 \cdot 0,0238} = 0,0121 \text{ кг/кг сухого воздуха}$$

$H_0 = (1,01 + 1,97x)_t_0 + 2493x_0 = (1,01 + 1,97 \cdot 0,0121)20 + 2493 \cdot 0,0121 = 50,84 \text{ кДж/кг}$ сухого воздуха.

При нагревании воздуха до 135 °С его влагосодержание остается постоянным (0,0121 кг влаги/кг сухого воздуха), а энтальпия возрастает до:

$$H_1 = (1,01 + 1,97 \cdot 0,0121)135 + 2493 \cdot 0,0121 = 169,73 \text{ кДж/кг.}$$

4. Определяем расход пара в калорифере на нагрев воздуха по формуле:

$$D = \frac{L(H_1 - H_0)}{\eta(H_{г.п} - H_k)}$$

Принимаем $\eta = 0,99$.

Для нагрева используем греющий пар с давлением 5 атм ($t = 151,1 \text{ }^\circ\text{C}$).

$$H_{г.п} = 2754 \text{ кДж/кг}$$

$$H_k = 637,7 \text{ кДж/кг}$$

$$D = \frac{2677,5(169,73 - 50,84)}{0,99(2754 - 637,7)} = 151,94 \text{ кг.}$$

Сушилки с активными гидродинамическими режимами

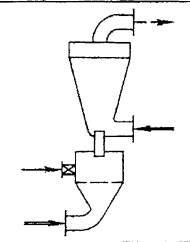
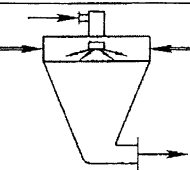
Выбор аппаратов с активным гидродинамическим режимом и их конструкций обусловлен классификацией аппаратов как объектов сушки. Каждый аппарат рассчитан на определенную область применения, охватывающую значительную группу сходных по свойствам высушиваемых материалов (табл. 2).

Таблица 2

Классификация сушилок со взвешенным слоем и их применение в химико-фармацевтической промышленности

(\longrightarrow поток материала, \Rightarrow поток газа, \dashrightarrow смешанные потоки)

Наименование и обозначение аппарата	Схематическое изображение	Характеристика высушиваемых материалов	Высушиваемые препараты
Циклонная сушилка ЦС		Хорошо сыпучие непористые или широкопористые со свободной или слабосвязанной влагой	Кристаллические соли
Одноступенчатая труба-сушилка ТС-1		Сыпучие широкопористые со свободной или слабосвязанной влагой	Синтетические химфармпрепараты, антибиотики, витамины
Двухступенчатая труба-сушилка ТС-2		Сыпучие с переходными порами (до 80 нм) со свободной и связанной влагой	Синтетические химфармпрепараты, фитохимические препараты, антибиотики

Комбинированная циклонная сушилка КЦС		Высоковлажные с переходными порами (до 60 нм) со свободной и связанной влагой	Синтетические химфармпрепараты, фитохимические препараты, антибиотики
Комбинированная аэрофонтанная сушилка КАС		Высоковлажные с переходными порами (до 60 нм) со свободной и связанной влагой, проявляющие адгезионно-когезионные свойства	Синтетические химфармпрепараты, фитохимические препараты, антибиотики
Вихревая сушилка ВС		Тонкопористые дисперсные с размерами пор до 40 нм, содержащие свободную и связанную влагу	Витамины, синтетические химфармпрепараты
Сушилка с виброкипящим слоем ВКС		Плохоожигаемые материалы с размерами пор до 10 нм, содержащие свободную и связанную влагу (размер частиц менее 1 мм)	Некоторые синтетические химфармпрепараты и антибиотики
Сушилка распылительная		Растворы	Антибиотики, кровезаменители, готовые формы и полупродукты витаминов, фитохимические препараты, ферменты

Пневматические сушилки используют обычно для высушивания сыпучих материалов, обладающих незначительной влажностью. В простейшем случае они представляют собой трубу, по которой материал и газ движутся прямоотком, при этом частицы интенсивно омываются потоком нагретого газа и высушиваются (рис. 13).

Высушиваемый материал подается в трубу-сушилку шнековым питателем, где он увлекается потоком воздуха, который нагнетается вентилятором и нагревается в калорифере. Воздух выносит высушенный материал в гравитационную камеру (для предварительного отделения материала от отработанного воздуха) и затем попадает в циклон, где отделяется от частиц материала и выбрасывается в атмосферу.

Количество воздуха, расходуемого на сушку, определяется либо из уравнения теплового баланса, либо условиями пневмотранспорта твердых частиц. На основе практических данных принимают, что 1 кг воздуха перемещает по пневмотранспортной трубе от 8 кг до 20 кг высушиваемого материала.

Движение обеих фаз в прямотоке позволяет избежать перегрева материала при весьма высоких начальных температурах газа. Скорость движения частиц материала в трубах-сушилках выбирают в несколько раз выше скорости витания частиц наиболее крупных фракций высушиваемого материала. Обычно она составляет 10—15 м/с и более, а длина трубы в зоне сушки достигает 20 м, поэтому сушка длится всего несколько секунд. Такое кратковременное пребывание материала в контакте с теплоносителем ограничивает применение этого вида сушилок для сушки материалов, содержащих связанную влагу. Увеличение продолжительности сушки путем последовательного включения нескольких труб создает большое гидравлическое сопротивление, при этом установки становятся очень громоздкими.

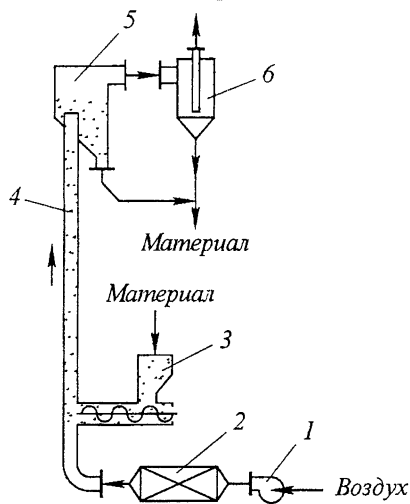


Рис. 13. Пневматическая сушилка:

- 1 — вентилятор;
- 2 — калорифер;
- 3 — шнековый питатель;
- 4 — труба-сушилка;
- 5 — гравитационная камера для предварительного отделения высушиваемого материала от отработанного воздуха;
- 6 — циклон

Расход энергии в пневматических сушилках значителен, причем он снижается с уменьшением размера частиц материала, который не должен превышать 8—10 мм. Для сушки материалов с крупными частицами, а также для удаления из материала связанной влаги пневматические сушилки комбинируют с сушилками других типов. Таким образом, несмотря на компактность и простоту устройства, область применения пневматических сушилок ограничена условиями, указанными выше.

Техническая характеристика двухступенчатой сушильной установки ТС2-600

Производительность по исходному продукту, кг/ч 3980

Температура воздуха, °С

на входе в I ступень

200—300

на входе во II ступень	125
Расход воздуха на сушку, кг/ч	
в I ступени	20000
во II ступени	6500
Габаритные размеры сушилки, мм	
агрегата трубы-сушилки	17900×15500×25500
агрегата для нагрева воздуха	11100×9300×13800
Вес установки, кг	64580

Пневматические сушилки могут быть применены для таких фармацевтических препаратов, как норсульфазол, амидопирин, полупродуктов производства левомицетина, аскорбиновой кислоты и др.

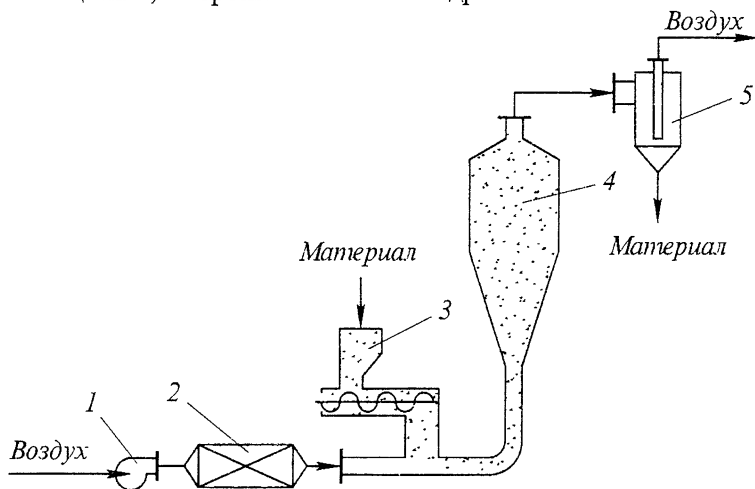


Рис. 14. Аэрофонтанная сушилка: 1 — вентилятор; 2 — калорифер; 3 — шнековый питатель; 4 — камера (рюмка); 5 — циклон

Аэрофонтанные сушилки являются разновидностью пневматических (рис. 14). Они имеют конусообразную форму. Вследствие этого в верхней части камеры происходит резкое снижение скорости газа и более тяжелые частицы при этом оседают, создавая циркулирующую твердой фазы. Частицы с низкой скоростью витания (высохшие) непрерывно уносятся из камеры и отделяются от газа в циклоне. Благодаря вихревому движению теплоносителя время пребывания материала в зоне сушки по сравнению с пневматическими сушилками несколько увеличивается.

Аэрофонтанные сушилки обладают высокой эффективностью, время контакта частичек материала с сушильным агентом мало, что позволяет для сушки нетермостойких материалов использовать высокотемпературные топочные газы.

Аэрофонтанные сушилки используются для сушки норсульфазола, сульфгина, анестезина, сульфадимезина.

Циклонные сушилки относятся к сушильным аппаратам с закрученным потоком сушильного агента. В аппаратах этого типа достигаются высокие скорости движения частиц относительно газа, при сохранении большой поверхности контакта, что позволяет дополнительно интенсифицировать сушку и расширить область применения сушилок со взвешенным слоем.

Наиболее эффективно сушить в завихренном потоке материалы с малым внутренним сопротивлением диффузии влаги или использовать вихревой поток как I ступень сушки, когда интенсивность процесса сушки зависит от условий подвода тепла. Недостаток сушилок с вихревым слоем состоит в том, что их использование затруднительно для высоковлажных материалов.

Циклонная сушилка представляет собой вихревую камеру, в которой имеется центральная труба, опущенная почти до самого низа. В верхнюю часть циклонной камеры тангенциально подается сушильный агент. Влажный материал загружается либо непосредственно в циклонную камеру, либо в поток горячего газа на входе в нее. Затем газозвесь по спиральной траектории движется вниз в кольцевом канале, образованном внутренней поверхностью стенки камеры и наружной поверхностью центральной трубы. Далее она проходит по центральной трубе и покидает сушильную камеру в верхней ее части. «Крутка» потока сохраняется практически по всему сушильному тракту, включая внутреннюю трубу. Высушенный материал осаждается в циклоне-разгрузителе, а отработанный газ направляется в систему пылеочистки.

Техническая характеристика циклонной сушилки ЦС-600

Производительность по сухому продукту, кг/ч	До 1900
Влажность продукта, %:	
начальная	20
конечная	1
Температура воздуха на входе в сушилку, °С	70
Расход, кг/ч:	
воздуха	До 5400
греющего пара	98
ось вращения, об/мин:	
Скорость вращения об/мин:	
шнека узла загрузки	27,6—124
ротора узла выгрузки	7,4—33,5
Диаметр сушильной камеры, мм	600
Вес, кг	6100

Циклонные сушилки применяются для сушки ацетилсалициловой кислоты, сульгина, фенobarбитала и других продуктов химико-фармацевтической промышленности.

Сушилки с вихревым слоем также относятся к сушилкам с закрученным потоком сушильного агента. Отличительной особенностью вихревых

сушилок является то, что закрутка потока в них происходит около горизонтальной оси.

Принцип работы вихревых сушилок сводится к следующему. Сушильный агент из топки поступает в распределительный короб и через узкую щель вводится тангенциально в сушильную камеру. На пути газа установлены направляющие пластины, которые придают винтовое вращение теплоносителю в барабане. Материал, подаваемый питателем, захватывается воздушным потоком и движется вместе с ним по спирали к противоположному концу барабана. Высушенный продукт отделяется в циклоне.

Сушилки этого типа могут применяться для сушки витамина С (аскорбиновая кислота) и полупродуктов его синтеза, витаминов V_1 , V_2 и V_3 , пантотената кальция, никотиновой кислоты, а также сульфаниламидных препаратов, ацетилсалициловой кислоты, фурацилина и ряда других синтетических препаратов и полупродуктов производительностью от 1 до 800 кг/ч.

Однако следует отметить, что при сушке в вихревой сушилке в силу интенсивного гидродинамического режима, при малой прочности кристаллов, происходит заметное измельчение продукта. Когда дальнейшая технология производства затрудняется из-за этого обстоятельства (изменяется внутренняя структура кристалла), предпочтительнее использование аэрофонтанных или циклонных сушилок. Следовательно, вихревые сушилки, несмотря на широкий диапазон применения, не могут обеспечить процесс сушки всех продуктов фармацевтической промышленности.

Основные параметры вихревых сушилок приведены в приложении (табл. XIV).

Сушка в виброкипящем слое. Как уже говорилось выше, проведение сушки в режиме псевдооживления позволяет значительно интенсифицировать процесс. Однако кипящий слой обладает рядом недостатков. Так, при сушке высоковлажных и склонных к слипанию материалов в слое возникает неоднородная структура: появляются газовые пузыри, неустойчивые каналы, свищи, что отрицательно сказывается на процессе сушки. Такие явления в кипящем слое вызваны неравномерным распределением газового потока по сечению сушильного пространства, образованием застойных зон и областей взаимодействия материала с сушильным агентом.

Трудности сушки многих продуктов в псевдооживленном слое привели к разработке новых методов и аппаратов для сушки во взвешенном слое материала. Среди них большой интерес представляет применение вибрационных воздействий, которые позволяют интенсифицировать тепломассообменные процессы за счет турбулизации пограничного слоя контактирующих фаз в гомогенных и гетерогенных процессах. Использование вибрационных колебаний в сушильной технике открывает широкие возможности для создания эффективных сушильных аппаратов, в том числе безуносных.

Учитывая большое разнообразие вибросушилок, различающихся конструкцией рабочего органа, воздействующего на материал, типом привода, способом подвода тепла, целесообразно разделить вибросушилки по конструктивному признаку на два класса: горизонтальные лотковые и вертикальные. По гидродинамике вибросушилки можно разделить на две группы: с режимами виброкипящего и виброаэрокипящего слоев. Режим виброаэрокипящего слоя создается в аппаратах, в которых дисперсный материал псевдоожигается под действием вибрационных воздействий, передаваемых слою материала вибрационными элементами, и под действием гидродинамических сил газового потока, выходящего из пористого днища. Такой режим сушки применяется для крупнозернистых комкующихся материалов широкого гранулометрического состава и тонкодисперсных, склонных к каналообразованию и комкованию материалов. Режим виброкипящего слоя создается в аппаратах, в которых псевдоожигание, перемешивание и направленное перемещение дисперсного материала происходит лишь за счет вибрационных воздействий на него рабочего органа, при этом тепло к материалу можно подводить конвективным, кондуктивным или комбинированным способом.

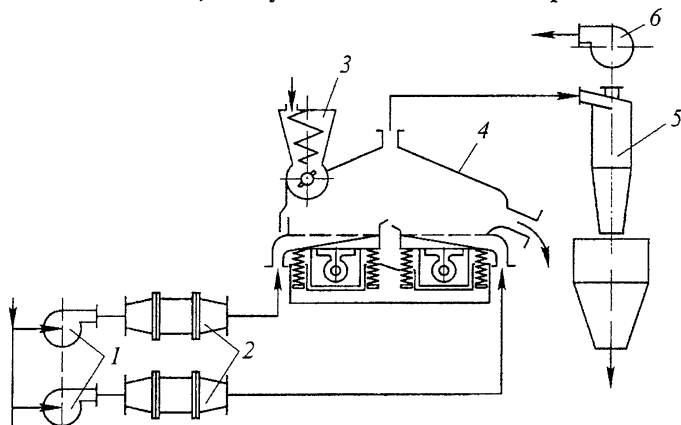


Рис. 15. Установка сушилки с виброкипящим слоем ВКС:
 1 — вентиляторы подающие; 2 — калориферы; 3 — питатель;
 4 — сушилка; 5 — циклон; 6 — вытяжной вентилятор

Сушилка с виброкипящим слоем (ВКС) (рис. 15) состоит из двух лотков, каждый из которых установлен на четырех амортизаторах и имеет индивидуальный вибратор, позволяющий изменять направление и амплитуду вибрации. Воздух подается двумя вентиляторами высокого давления, нагревается в паровых калориферах и двумя потоками поступает под распределительные решетки вибрирующих лотков. Продукт из бункера питателем загружается на поддерживающую решетку в торце первого лотка и, перемещаясь в виброкипящем слое по лотку, пересыпается на второй

лоток, на противоположном торце которого имеется устройство для его выгрузки. Отработанный воздух очищается от пыли в циклоне и вентилятором выбрасывается в атмосферу.

Характерной особенностью сушилок типа ВКС является большое отношение длины аппарата к ширине (не менее 6), что обеспечивает приближение сушилки по гидродинамической модели к аппаратам идеального вытеснения, способствуя равномерности сушки. Возможности ВКС расширяются благодаря наличию вертикального потока теплоносителя, продуваемого сквозь слой материала, и возможности регулировки всех параметров вибрации (угол, частота, амплитуда). Такие сушилки можно рекомендовать для применения в химико-фармацевтической промышленности и промышленности химических реактивов, где имеется масса подлежащих глубокой сушке комкующихся, плохо ожижаемых кристаллических термолабильных материалов, не допускающих измельчения в процессе сушки.

Сушилки с виброкипящим слоем в случае необходимости могут применяться в сочетании с другими типами сушилок в качестве второй или даже третьей ступени комбинированных агрегатов.

Основные параметры сушилок с виброкипящим слоем приведены в приложении (табл. XV).

Распылительные сушилки. В химико-фармацевтической промышленности распылительные сушилки используются главным образом в тех случаях, когда желателен кратковременный контакт продукта с теплоносителем-воздухом и необходимо проводить высушивание непосредственно из раствора. Например, распылительные сушилки применяют для сушки из растворов таких термолабильных продуктов, как экстракты лекарственных растений, ферментные препараты, растворы сахаров, кровезаменителей (белковых гидролизатов, полиглобина, поливинилпирролидина), а также некоторых синтетических лекарственных средств.

Метод распылительной сушки применяется также для обезвоживания растворов некоторых антибиотиков. При использовании этого метода подаваемый на сушку специальными приспособлениями (форсунками и центробежными дисками) раствор распыляется в сушильной камере, через которую проходит газ-теплоноситель. Под распылением подразумевают диспергирование струи жидкости, сопровождающееся образованием большого количества полидисперсных капель. Благодаря развитой поверхности диспергированных частиц (при распылении 1 м³ жидкости до капель средней величины 50 мкм поверхность частиц составляет 120000 м²) происходит интенсивный тепло— и массообмен с агентом сушки, при этом распыленные частицы быстро отдают влагу. Весь процесс сушки занимает всего несколько секунд, причем максимальная температура частиц в процессе испарения влаги в зоне повышенных температур практически не превышает температуры влажного термометра. При сушке распылением можно

изменять в определенных пределах некоторые показатели получаемых порошков: величину частиц, влажность, насыпную массу.

При этом получается готовый продукт, не требующий дальнейшего измельчения. Может быть сокращен и полностью механизирован технологический цикл получения сухого продукта, при этом достигается более высокая производительность, чем, например, при молекулярной сушке, сокращается количество обслуживающего персонала и устраняется контакт его с продуктом.

Для распылительных сушилок характерно большое разнообразие конструкций, что является следствием различных свойств высушиваемых веществ и требований, предъявляемых к готовому продукту.

По способу распыления исходного материала сушилки подразделяются на 2 типа: с центробежным распылением (тип СРЦ) и с форсуночным распылением (тип СРФ). Сушилки типа СРЦ снабжены специальными центробежно-распылительными механизмами с высокооборотными дисками. Сушилки типа СРФ снабжены пневматическими или механическими (высокого давления) форсунками. Применение одной или другой конструкции форсунки зависит от свойств исходного раствора, условий сушки и требований к готовому продукту. Сушилки с механическими форсунками рекомендуются для распыления и сушки тонких эмульсий, истинных и коллоидных растворов и тонкодисперсных суспензий химико-фармацевтических препаратов.

Сушилки комбинированного типа. Выбор аппарата или их сочетания при сушке каждого конкретного материала обусловлен характеристикой его как объекта сушки. В большинстве случаев дисперсные материалы проявляют свойства, характерные для одной из групп, но и иногда и нескольких групп одновременно. В таких случаях следует заказывать соответствующую комбинацию из нескольких типовых аппаратов. Комбинированные сушильные установки пригодны для обработки большой группы продуктов с разнообразными исходными характеристиками. Эта перспектива, естественно, обратила на себя внимание исследователей, работающих в фармацевтической промышленности.

Большинство комбинированных сушилок представляет собой двухступенчатые агрегаты, у которых одна ступень рассчитана на удаление свободной влаги, а вторая — на удаление связанной влаги.

Так, например, разработаны комбинированная циклонная (КЦС) и аэрофонтанная (КАС) сушилки.

КЦС состоит из цилиндрического подсушителя, конической циклонной камеры, вентиляторов для подачи воздуха, электро— или паровых калориферов, улавливающей системы и устройств для санитарной очистки воздуха. Влажный материал загружается питателем в подсушитель, продуваемый нагретым воздухом, подаваемым под сетку, и с помощью мешалки приводится в состояние вихревого «кипения». Частицы продукта быстро подсыхают и становятся более подвижными, легкими, поднимаются в верхнюю часть подсу-

шивателя, откуда с потоком воздуха выносятся в циклонную камеру, где осуществляется их досушка.

Комбинированная аэрофонтанная сушилка представляет собой непрерывно действующий двухступенчатый аппарат, в котором I ступень — подсушиватель, II ступень — аэрофонтанная камера. Влажный продукт питателем подается в подсушиватель, под сетку подается теплоноситель. По мере подсушки частицы материала из I ступени аппарата потоком воздуха уносятся в аэрофонтанную камеру, в которую дополнительно по второму каналу подается поток горячего газа.

Остаточная влажность в аэрофонтанной камере 1—2 %, при влажности исходного продукта 30—60 %.

Сушилка КЦС применяется более широко, чем КАС, благодаря более глубокой сушке (до влажности 0,5—1,0 %). При этом, как показали исследования, активный гидродинамический режим способствует удалению определенных видов связанной влаги (макрокапилляров, полимолекулярной и даже мономолекулярной адсорбции для крупнопористых продуктов). Эти аппараты широко используются для сушки продуктов химико-фармацевтической промышленности, например, в производствах фенобарбитала, сульгина, сульфадимезина.

Основные параметры установок типа КЦС и КАС приведены в приложении (табл. XVI).

РАСЧЕТ И ВЫБОР ТЕПЛООБМЕННИКОВ

Теплообменные аппараты предназначены для проведения процессов теплообмена, при нагревании или охлаждении технологической среды, с целью ее обработки или утилизации теплоты.

Теплообменные аппараты подразделяются в зависимости от формы поверхности, вида теплоносителей, способа передачи теплоты. По способу передачи теплоты их можно классифицировать на поверхностные (рекуперативные), смешительные (контактные) и регенеративные.

Поверхностные теплообменники представляют собой наиболее значительную и важную группу теплообменных аппаратов, используемых в химической технологии. В поверхностных теплообменниках теплоносители разделены стенкой, причем теплота передается через поверхность этой стенки.

По конструкции рекуперативные теплообменные аппараты классифицируют на:

- 1) аппараты, изготовленные из труб (кожухотрубчатые, «труба в трубе»);
- 2) аппараты, поверхность теплообмена которых изготовлена из листового материала (пластинчатые, спиральные);
- 3) аппараты с поверхностью теплообмена, изготовленной из неметаллических материалов.

В смешительных (или контактных) теплообменниках теплообмен происходит при непосредственном соприкосновении теплоносителей. К смешительным теплообменникам относятся, например, градирни.

В регенеративных теплообменниках процесс переноса теплоты от горячего теплоносителя к холодному разделяется во времени на два периода и происходит при попеременном нагревании и охлаждении насадки. Теплообменники этого типа часто применяют для регенерации теплоты отходящих газов.

Определяющим размером теплообменников является поверхность теплообмена. Ее расчет зависит от назначения теплообменника.

Расчет «прямых» теплообменников. «Прямые» теплообменники предназначены для конденсации и охлаждения паров отгоняемой из аппарата жидкости. Соответственно поверхность теплообмена $F_{т/о}$ будет складываться из поверхности охлаждения $F_{охл}$ и поверхности конденсации $F_{конд}$:

$$F_{т/о} = F_{конд} + F_{охл}.$$

Поверхности конденсации и охлаждения рассчитываются по известным методикам:

$$F_{\text{конд}} = \frac{Q_{\text{конд}}}{K' \Delta t'_{\text{ср}} \tau} \text{ м}^2,$$

$$F_{\text{охл}} = \frac{Q_{\text{охл}}}{K'' \Delta t''_{\text{ср}} \tau} \text{ м}^2,$$

где: $Q_{\text{конд}}$ и $Q_{\text{охл}}$ — количество тепла, выделяющееся при конденсации паров жидкости и охлаждении конденсата, Дж;

K' — коэффициент теплопередачи от конденсирующихся паров жидкости к хладагенту, Вт/м²·К;

K'' — коэффициент теплопередачи от охлаждаемой жидкости к хладагенту, Вт/м²·К;

$\Delta t'_{\text{ср}}$ и $\Delta t''_{\text{ср}}$ — средняя разность между температурами теплоносителей, определенная при рассмотрении теплового режима, К;

τ — время процесса, с.

Теплоты конденсации и охлаждения определяют следующим образом:

$$Q_{\text{конд}} = \frac{\sum G_i^{\text{сут}} r_i}{\beta},$$

где: r_i — теплоты парообразования всех компонентов отгоняемой смеси, Дж/кг;

$G_i^{\text{сут}}$ — суточные массы компонентов, кг;

β — число операций в сутки.

$$Q_{\text{охл}} = \frac{\sum G_i^{\text{сут}} c_i (t_{\text{кон}} - t_{\text{нач}})}{\beta},$$

где: c_i — теплоемкости компонентов, Дж/кг·К;

$t_{\text{кон}}$ и $t_{\text{нач}}$ — конечная и начальная температуры, °С.

Полученную величину поверхности теплообмена рекомендуется увеличить на 20 %.

Расчет «обратных» теплообменников. «Обратные» теплообменники предназначены для конденсации паров жидкости в процессе кипения. Сконденсированная жидкость возвращается обратно в аппарат. В этом случае поверхность теплообмена равна поверхности конденсации, так как нет необходимости охлаждать жидкость. В противном случае кроме затрат на ее охлаждение в теплообменнике, необходимо будет затратить тепло на нагрев возвращаемой жидкости в аппарате.

Наибольшую трудность при расчете теплообменников, работающих в «обратном» режиме, представляет определение количества растворителя, испарившегося за время процесса G . Для приближенных расчетов можно задаваться скоростью отгонки растворителя, принимая ее в интервале от 10 л/ч до 300 л/ч. Более точно объем отгона можно определить после составления теплового баланса

аппарата. Для режима кипячения полное уравнение теплового баланса будет выглядеть следующим образом:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_{\text{исп}},$$

Зная поверхность теплообмена $F_{\text{т/о}}$ аппарата и время процесса кипячения τ , можно определить максимальное количество тепла Q_2 , которое может быть передано через эту поверхность. Тогда, определив $Q_{\text{исп}}$ из уравнения:

$$Q_{\text{исп}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 - Q_4 - Q_5 - Q_6,$$

можно найти G :

$$G = \frac{Q_{\text{исп}}}{r}.$$

Если в одном теплообменнике осуществляется несколько режимов, рассчитывается каждый из них и выбирается теплообменник по самому напряженному режиму.

Стальные кожухотрубчатые теплообменные аппараты по ГОСТ 9929-82 изготавливают следующих типов: Н — с неподвижными трубными решетками; К — с температурным компенсатором на кожухе; П — с плавающей головкой; У — с U-образными трубами.

Основные параметры и размеры стальных кожухотрубчатых теплообменных аппаратов, применяемых для теплообмена жидких и газообразных сред при температурах от -60°C до 600°C приведены в табл. XVII.

Использование стальных кожухотрубчатых теплообменников различных типов в химических производствах характеризуется приблизительно следующими данными: Н — 75 %, К — 15 %, У — 3 %, П — остальное.

Теплообменники с неподвижными трубными решетками (тип Н) состоят из кожуха, в котором жестко размещена трубная решетка (рис. 16). В связи с этим исключена возможность взаимных перемещений труб и кожуха, поэтому аппараты этого типа называют еще теплообменниками жесткой конструкции.

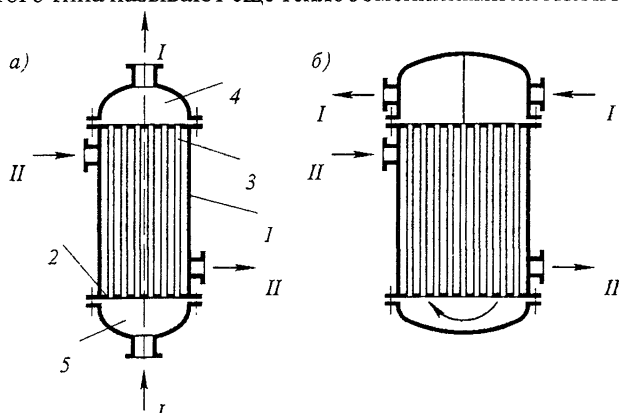


Рис. 16. Кожухотрубчатый теплообменник жесткой конструкции:
 а — одноходовой; б — многоходовой (по трубному пространству);
 1 — кожух; 2 — трубные решетки; 3 — трубы; 4 — крышка; 5 — днище

Один из теплоносителей *I* протекает по трубам, другой *II* — по межтрубному пространству. Теплота от одного теплоносителя к другому передается через поверхность стенок труб. Обычно нагреваемый теплоноситель подается снизу, а охлаждаемый теплоноситель — сверху вниз противотоком. Такое движение теплоносителей способствует более эффективному переносу теплоты, так как при этом происходит совпадение направления движения каждого теплоносителя с направлением, в котором стремится двигаться данный теплоноситель под влиянием изменения его плотности при нагревании или охлаждении.

Теплообменники типа Н отличаются простым устройством и небольшой стоимостью, однако они имеют и недостатки. Во-первых, наружная поверхность труб не может быть очищена от загрязнений механическим способом, а теплоносители могут содержать примеси, способные оседать на поверхности труб в виде накипи, отложений и др. Слой таких отложений имеет малый коэффициент теплопроводности и способен весьма существенно ухудшить теплопередачу в аппарате.

Во-вторых, область применения теплообменных аппаратов типа Н ограничена возникновением в кожухе и трубах аппарата так называемых температурных напряжений. Это явление объясняется тем, что кожух и трубы теплообменника при его работе претерпевают разные температурные деформации, т.к. температура кожуха близка к температуре теплоносителя, циркулирующего в межтрубном пространстве, а температура труб — к температуре теплоносителя с большим коэффициентом теплоотдачи.

Разность температурных удлинений возрастает, если кожух и трубки изготовлены из материалов с различными температурными коэффициентами линейного расширения. Возникающие при этом напряжения в сумме с напряжениями от давления среды в аппарате могут вызывать устойчивые деформации и даже разрушение конструкций. По указанной причине теплообменники типа Н используют при небольшой разности температур (менее 50 °С) кожуха и труб.

Если расчетная разность температур кожуха и труб превышает указанную, используют теплообменные аппараты с частичной (тип К) или полной (тип У или П) компенсацией температурных напряжений.

Теплообменные аппараты типа «труба в трубе» используют главным образом для охлаждения или нагревания в системе жидкость-жидкость, когда расходы теплоносителей невелики и последние не меняют своего агрегатного состояния (рис. 17). Иногда такие теплообменники применяют при высоком давлении для жидких и газообразных сред, например, в качестве конденсаторов в производстве метанола, аммиака и др.

Они представляют собой набор последовательно соединенных элементов, состоящих из двух концентрически расположенных труб. Один теплоноситель движется по внутренним трубам, другой — по кольцевому зазору между внутренними и наружными трубами. Внутренние трубы соединяются с помощью калачей, а наружные — с помощью соединительных патрубков. Длина

элемента теплообменника типа «труба в трубе» обычно составляет 3—6 м, диаметр наружной трубы — 76—159 мм, внутренней — 57—108 мм.

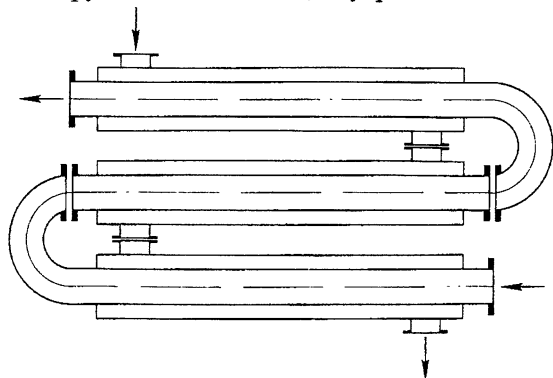


Рис. 17. Двухтрубный теплообменник типа «труба в трубе»

Поскольку сечения внутренней трубы и кольцевого зазора невелики, то в этих теплообменниках достигаются значительные скорости движения теплоносителей (до 3 м/с), что приводит к увеличению коэффициентов теплопередачи и тепловых нагрузок, замедлению отложения накипи и загрязнений на стенках труб. Однако двухтрубные теплообменники более громоздки, чем кожухотрубчатые, на их изготовление требуется больше металла на единицу поверхности теплообмена.

Основные параметры стальных и стальных эмалированных теплообменников типа «труба в трубе» приведены в приложении (табл. XVIII—XIX).

Для процессов теплообмена, протекающих в химически агрессивных средах, в ряде случаев используют теплообменники из неметаллических материалов. Обычно такие материалы (стекло, керамика, тефлон и др.) обладают более низкой, чем у металлов, теплопроводностью. Исключение составляет графит, который для устранения пористости предварительно пропитывают фенолформальдегидными смолами. Пропитанный графит является химически стойким материалом в весьма агрессивных средах (например, в горячей соляной, разбавленной серной, фосфорной кислоте и др.) и отличается высокими коэффициентами теплопроводности, равными 92—116 Вт/м·К.

Типичными теплообменными аппаратами из графита являются **блочные теплообменники** (рис. 18), состоящие из отдельных графитовых блоков, имеющих сквозные вертикальные каналы круглого сечения и перпендикулярные им каналы.

Теплоноситель *I* движется по вертикальным каналам, а теплоноситель *II* — по горизонтальным каналам, проходя последовательно все блоки. Горизонтальные каналы различных блоков сообщаются друг с другом через боковые переточные камеры. Графитовые блоки уплотняются между собой прокладками из резины или тефлона и стягиваются торцовыми крышками на болтах.

Основные параметры блочных графитовых теплообменников приведены в приложении (табл. XX).

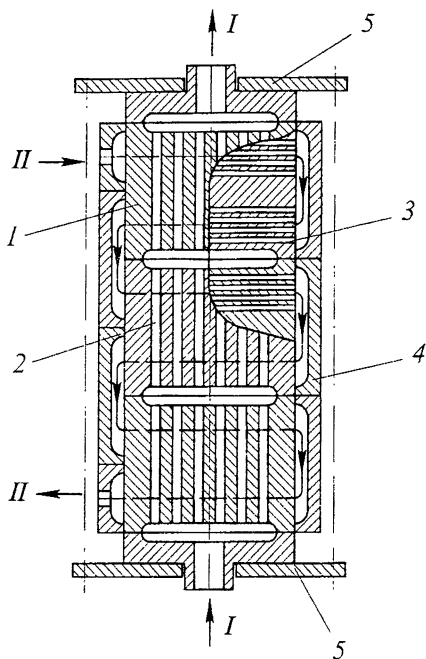


Рис. 18. Блочный графитовый теплообменник:

- 1 — графитовые блоки;
- 2 — вертикальные каналы;
- 3 — горизонтальные каналы;
- 4 — переточные камеры;
- 5 — торцовые крышки

Пример 7. Рассчитать «прямой» теплообменник для конденсации паров азетропа ДХЭ с водой. Суточная масса перегоняемого ДХЭ 493,66 кг. Суточная масса отгоняемой вместе с ДХЭ воды 61,95 кг. Температура перегонки $t_n = 71,6^\circ\text{C}$. Время отгонки 120 мин. Количество операций в сутки принять равным 1,43.

Решение:

1. Определяем количество теплоты, выделяющееся при конденсации паров, по формуле:

$$Q_{\text{конд}} = \frac{\sum G_i^{\text{сут}} r_i}{\beta}$$

Теплота парообразования ДХЭ $r = 317,77$ кДж/кг.

Теплота парообразования воды (при $t = 71,6^\circ\text{C}$) $r = 2329$ кДж/кг·К.

$$Q_{\text{конд}} = \frac{493,66 \cdot 317,77 + 61,95 \cdot 2329}{1,43} = 210595,73 \text{ кДж}$$

2. Определяем количество теплоты, необходимое для охлаждения конденсированных паров до комнатной температуры ($\sim 20^\circ\text{C}$) по формуле:

$$Q_{\text{охл}} = \frac{\sum G_i^{\text{сут}} c_i (t_{\text{кон}} - t_{\text{нач}})}{\beta}$$

Теплоемкость ДХЭ $c = 1,3$ кДж/кг·К. Теплоемкость воды $c = 4,19$ кДж/кг·К.

$$Q_{\text{охл}} = \frac{493,36 \cdot 1,3 + 61,95 \cdot 4,19}{1,43} (71,6 - 20) = 32509,39 \text{ кДж}$$

3. Определяем поверхность конденсации по формуле:

$$F_{\text{конд}} = \frac{Q_{\text{конд}}}{K' \Delta t'_{\text{ср}} \tau}$$

Принимаем $K' = 340$ Вт/м²·К. Время процесса 120 мин.

Начальную температуру охлаждающей воды принимаем $\Theta_1 = 12$ °С, конечную $\Theta_2 = 15$ °С. Средняя разность температур:

$$\Delta t'_{\text{ср}} = \frac{\Theta_2 - \Theta_1}{\ln \frac{t_{\text{п}} - \Theta_1}{t_{\text{п}} - \Theta_2}} = \frac{15 - 12}{\ln \frac{71,6 - 12}{71,6 - 15}} = 58,09$$

$$F_{\text{конд}} = \frac{210595,73 \cdot 10^3}{340 \cdot 58,09 \cdot 120 \cdot 60} = 1,48 \text{ м}^2,$$

где 10^3 — коэффициент перевода кДж в Дж;

60 — коэффициент перевода минут в секунды.

4. Определяем поверхность охлаждения по формуле:

$$F_{\text{охл}} = \frac{Q_{\text{охл}}}{K'' \Delta t''_{\text{ср}} \tau}$$

Принимаем $K'' = 120$ Вт/м²·К.

Начальную температуру охлаждающей воды принимаем $\Theta_1 = 15$ °С, конечную $\Theta_2 = 18$ °С. Начальная температура отгона $t_{\text{н}} = 71,6$ °С, конечная $t_{\text{к}} = 20$ °С.

Средняя разность температур:

$$A = \frac{t_{\text{к}} - \Theta_1}{t_{\text{к}} - \Theta_2} = \frac{20 - 15}{20 - 18} = 2,5$$

$$\Delta t''_{\text{ср}} = \frac{t_{\text{н}} - t_{\text{к}}}{\ln \frac{t_{\text{н}} - \Theta_1}{t_{\text{к}} - \Theta_1}} \cdot \frac{A - 1}{A \ln A} = \frac{71,6 - 20}{\ln \frac{71,6 - 15}{20 - 15}} \cdot \frac{2,5 - 1}{2,5 \ln 2,5} = 13,92$$

$$F_{\text{охл}} = \frac{32509,39 \cdot 10^3}{120 \cdot 13,92 \cdot 120 \cdot 60} = 2,7 \text{ м}^2$$

Суммарная поверхность теплообмена $1,48 + 2,7 = 4,18$ м². С учетом коэффициента запаса 20 %: $4,18 \cdot 1,2 = 5,02$ м².

Выбираем кожухотрубчатый теплообменник типа ТН с поверхностью теплообмена 5,5 м². В трубное пространство пускаем охлаждающую воду, в межтрубное пространство — конденсирующиеся пары.

Пример 8. Рассчитать «обратный» теплообменник, установленный на реакторе гидролиза этилового эфира изоксазолкарбоновой кислоты (ЭЭИКК).

Описание технологического процесса: В реактор Р-16 загружают ДХЭ раствор ЭЭИКК. Подают воду на охлаждение теплообменника Т-17. Реакционную массу в реакторе Р-16 нагревают при перемешивании до температуры $t_{p,m} = 56^\circ\text{C}$ пуском в рубашку реактора горячей воды с температурой 80°C и дают выдержку при кипячении в течение 210 мин. Количество операций в сутки 1,43.

Решение:

1. Определяем количество тепла, затрачиваемого на испарение жидкости.

Если экспериментальные данные о скорости отгонки отсутствуют, можно либо принимать ее, либо исходить из известной поверхности теплообмена. Воспользуемся вторым подходом.

Тепло, передаваемое через стенку, затрачивается на изменение теплосодержания реакционной массы ($Q_4 - Q_1$), на проведение химической реакции (гидролиз ЭЭИКК до натриевой соли изоксазолкарбоновой кислоты) (Q_3), на потери в окружающую среду (Q_6) и на испарение ($Q_{\text{исп}}$). $Q_5 = 0$, т.к. температура реакционной массы на данном режиме не меняется, и следовательно, затраты тепла на нагрев реактора отсутствуют.

$$Q_2 = Q_4 - Q_1 - Q_3 + Q_6 + Q_{\text{исп}}$$

Отсюда:

$$Q_{\text{исп}} = Q_2 - Q_4 + Q_1 + Q_3 - Q_6$$

$$Q_1 = 159530,66 \text{ кДж.}$$

$$Q_4 = 159146,44 \text{ кДж.}$$

$$Q_3 = -39797,48 \text{ кДж.}$$

$$Q_6 = 32462,52 \text{ кДж.}$$

Номинальная поверхность теплообмена по каталогу составляет $4,3 \text{ м}^2$.

Принимаем коэффициент теплопередачи $160,2 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$. Начальная температура греющей воды $\Theta_1 = 80^\circ\text{C}$. Конечную температуру воды принимаем $\Theta_2 = 78^\circ\text{C}$.

Средняя разность температур:

$$\Delta t_{\text{ср}} = \frac{\Theta_1 - \Theta_2}{\ln \frac{\Theta_1 - t_{p,m}}{\Theta_2 - t_{p,m}}} = \frac{80 - 78}{\ln \frac{80 - 56}{78 - 56}} = 22,99 \text{ К}$$

Количество тепла, которое может быть передано через поверхность $4,3 \text{ м}^2$ за время 210 мин:

$$Q_2 = 4,3 \cdot 22,99 \cdot 210 \cdot 60 \cdot 160,2 = 199544831,6 \text{ Дж} = 199544,83 \text{ кДж,}$$

где 60 — коэффициент перевода минут в секунды.

С учетом запаса 20 % $Q_2 = 166287,36 \text{ кДж}$.

$$Q_{\text{исп}} = 199544,83 - 159146,44 + 159530,66 - 39797,48 - 31917,72 = 128213,85 \text{ кДж}$$

2. Определяем поверхность теплообмена «обратного» теплообменника по формуле:

$$F_{т/о} = F_{\text{конд}} = \frac{Q_{\text{конд}}}{K \Delta t_{\text{ср}} \tau}$$

$$Q_{\text{конд}} = Q_{\text{исп}} = 128213,85 \text{ кДж}$$

Принимаем $K = 340 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$. Время процесса 210 мин.

Начальную температуру охлаждающей воды принимаем $12 \text{ }^\circ\text{С}$, конечную $15 \text{ }^\circ\text{С}$.

Средняя разность температур:

$$\Delta t_{\text{ср}} = \frac{15 - 12}{\ln \frac{56 - 12}{56 - 15}} = 42,48 \text{ К}$$

$$F_{т/о} = \frac{128213,85 \cdot 10^3}{340 \cdot 42,48 \cdot 210 \cdot 60} = 0,71 \text{ м}^2$$

С учетом запаса 20 %: $F_{т/о} = 0,71 \cdot 1,2 = 0,85 \text{ м}^2$.

Выбираем кожухотрубчатый теплообменник типа ТН с поверхностью теплообмена 1 м^2 . В трубное пространство пускаем охлаждающую воду, в межтрубное — конденсирующиеся пары.

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ И ДОЗИРОВАНИЯ ЖИДКОСТЕЙ

Оборудование для хранения жидкостей в цехах

Количество жидкости, которое разрешается держать в хранилищах, находящихся в цеховых складских помещениях, зависит от огне- и взрывоопасных свойств жидких веществ. Для неорганических жидких веществ (кислоты, щелочи, растворы солей) допускается хранение их в количестве 1—3-х суточного расхода. При этом следует учесть, что общезаводские склады в большинстве случаев работают в дневную смену и, следовательно, нижний предел запаса емкости прицеховых хранилищ должен быть рассчитан примерно на 1,5 суток.

Органические жидкие вещества можно хранить в цехе в количестве, не превышающем расход таких жидкостей на 1—2 операции. Но для обеспечения пожарной безопасности хранения жидкого органического сырья в цеховых складах следует по возможности избегать.

Для хранения жидкостей и промежуточных продуктов используют преимущественно вертикальные или горизонтальные цилиндрические и прямоугольные резервуары, называемые сборниками.

Выбор типа сборника зависит от способа эвакуации из него жидкости и от ее огне-, взрывоопасных и токсических свойств. Для опорожнения сборников при помощи сжатого воздуха или вакуума требуется аппаратура, рассчитанная на работу под давлением. Хранение огне-, взрывоопасных и токсичных жидкостей допустимо только в герметичных емкостях. Цилиндрические сборники, снабженные сферическим днищем и крышкой, вполне удовлетворяют указанным требованиям, поэтому такие сосуды применяются для хранения огне- и взрывоопасных жидкостей и жидкостей, транспортируемых при помощи сжатого воздуха. Для хранения огне- и взрывоопасных жидкостей, эвакуация которых производится самотеком или при помощи насосов, могут быть использованы прямоугольные резервуары-хранилища.

Сборники применяются не только для хранения жидкого сырья и транспортировки его при помощи сжатого воздуха, но и для проведения некоторых вспомогательных операций (отсасывание фильтратов с нутч-фильтров, сбор дистиллятов на установках, работающих при разрежении, и т.д.). В промышленности применяются горизонтальные (рис. 19) и вертикальные сборники. Вертикальные сборники не отличаются от стальных реакционных аппаратов обычного типа.

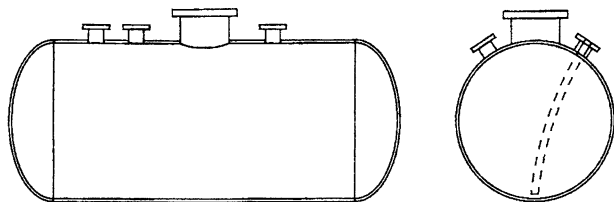


Рис. 19. Горизонтальный сборник

Основным материалом для изготовления сборников является сталь. При хранении в сборниках агрессивных жидкостей сталь покрывают слоем защитного материала (например, эмалируют).

Расчет сборников зависит от их назначения. По этому признаку все сборники условно можно разделить на две группы: сборники-хранилища и технологические сборники. Под хранилищами понимают аппаратуру, предназначенную непосредственно для хранения исходного сырья в цеховых складских помещениях, под технологическими сборниками — аппаратуру, предназначенную для хранения отходов и промежуточных продуктов в интервале между основными и вспомогательными технологическими операциями (сборники фильтра, отгона, промежуточные емкости).

Соответственно с этим, объем сборников-хранилищ рассчитывают по формуле:

$$V_{сб} = \frac{V_{сут} z}{n\varphi} \left(1 + \frac{\sigma}{100}\right),$$

где: $V_{сут}$ — суточный объем хранимой жидкости, м³;

z — коэффициент запаса сырья, кратный суточному (для неорганических продуктов $z = 3$, для органических $z = 1$);

σ — резерв мощности;

n — количество сборников;

φ — коэффициент заполнения сборника.

Сборники, стоящие после основного оборудования (технологические) рассчитывают, исходя из объема соответствующей (одной) операции:

$$V_{сб} = \frac{V_{сут}}{\beta n\varphi} \left(1 + \frac{\sigma}{100}\right),$$

где β — число операций в сутки.

Аппаратура для отмеривания жидкостей

Отмеривание жидкостей в производственных условиях производится периодически (мерниками) или непрерывно с помощью специальных аппаратов и приборов (регуляторы напора, измерители расхода и т.п.).

Мерники могут быть плоскодонными, с коническим дном, с вогнутым дном и плоскими крышками, со сферическими днищами и крышками. Выбор типа мерника определяется требованиями, предъявляемыми к операции отмеривания. К ним относятся: полная эвакуация жидкости из мерника, подача жидкости в аппарат под давлением, необходимость предварительного отстаивания содержимого мерника, повышенная точность отмеривания и т.д.

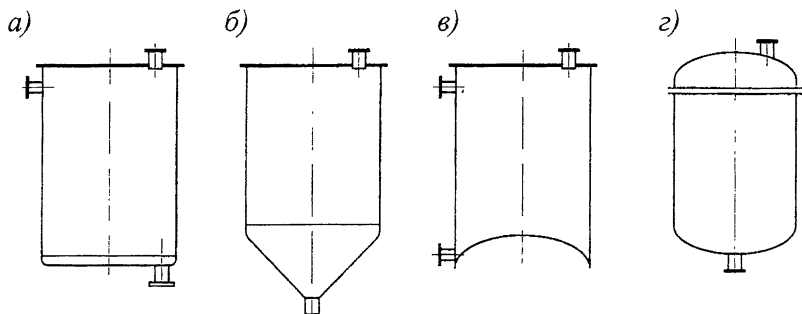


Рис. 20. Основные конструктивные типы мерников:

a — с плоским днищем; *b* — с коническим днищем;

v — с вогнутым днищем; *z* — со сферическими днищем и крышкой

Мерники с плоскими днищами (рис. 20*a*) наиболее дешевые и простые, применяются в тех случаях, когда к операции отмеривания не предъявляется никаких специальных требований. Не рассчитаны на работу под давлением.

Мерники с коническими днищами (рис. 20*б*) предназначены для работы под атмосферным давлением. Применяются если требуется полное удаление жидкости или предварительное ее отстаивание.

Мерники с вогнутыми днищами и плоскими крышками (рис. 20*в*) применяются если требуется полная эвакуация жидкости. Они являются более удобными при монтаже, чем мерники с коническими днищами.

Мерники со сферическими днищами и крышками (рис. 20*г*) служат для отмеривания при разряжении или под давлением.

При помощи мерников измеряют вес или объем жидкости. В первом случае мерники устанавливают на весах, во втором — снабжают измерителями уровня.

В качестве устройств, предназначенных для измерения уровня жидкостей в емкостях различного типа (мерники, сборники и т.д.) используются мерные стекла, смотровые окна, поплавковые измерители, пневматические измерители и т.д.

Мерные стекла с кранами употребляются главным образом для измерения уровня жидкости в аппаратах, работающих без давления. Мерные стекла устанавливают на мерниках в специальных штуцерах при помощи фланцев и болтов. Для защиты от повреждений мерные стекла снабжаются ограждением из полосовой или угловой стали. Около мерного стекла обычно укрепляется рейка с делениями, соответствующими весовым или объемным единицам.

Мерные стекла представляют собой толстостенные стеклянные трубки диаметром 10—38 мм (рис. 21). Краны к мерным стеклам выполняются чаще всего из чугуна, фосфористой бронзы и свинца. При отмеривании соляной кислоты или других высокоагрессивных веществ вместо кранов устанавливают чугунные вентили с резиновыми вкладышами.

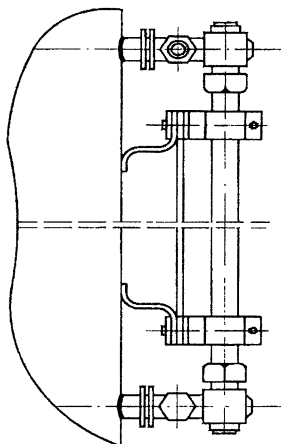
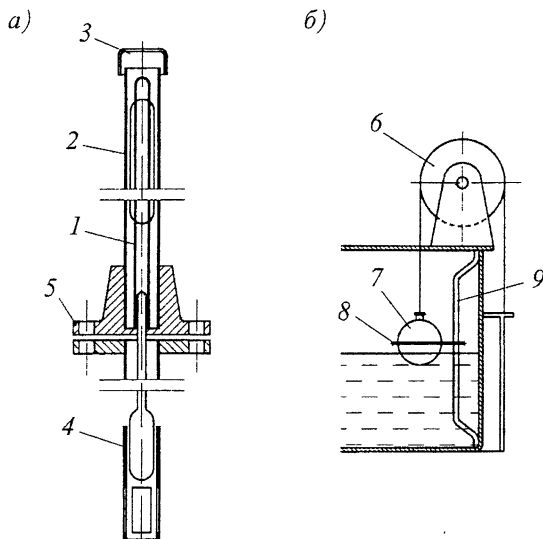


Рис. 21. Мерное стекло с краном

Поплавковые измерители уровня обычно применяются в тех случаях, когда производится отмеривание агрессивных жидкостей или жидкостей, обладающих токсическими или огне- и взрывоопасными свойствами. В этих условиях нежелательно расположение кранов в нижней части мерника. Поплавковые измерители уровня разделяются на гильзовые и грузовые.

Рис. 22. Поплавковые измерители уровня:

- a* — гильзовый поплавок;
- б* — грузовой поплавок;
- 1 — стеклянная трубка;
- 2 — стальная трубка;
- 3 — колпак;
- 4 — направляющая стальная трубка;
- 5 — фланец;
- 6 — блок;
- 7 — полый металлический шар;
- 8 — хомут;
- 9 — направляющая



Гильзовый поплавок (рис. 22а) обычно выдувается из стеклянной трубки. Его нижний расширенный конец погружен в жидкость, находящуюся в мернике, верхний запаянный конец выведен из аппарата через направляющую стеклянную трубку. Трубка находится в стальной трубке с двумя расположенными друг против друга продольными щелями, через которые наблюдают за положением поплавка. К стальной трубке прикрепляется градуированная рейка, каждое деление которой соответствует определенному объему отмериваемой жидкости. На верхнюю часть стальной трубки через пробковое уплотнение навинчен колпак, прижимающий стеклянную трубку книзу, что создает герметичность системы и позволяет пользоваться поплавком при работе аппарата под давлением.

Нижний конец поплавка, находящийся в аппарате, заключен в направляющую стальную трубку. Эта трубка прикреплена при помощи фланца и болтов к штуцеру аппарата. На штуцере аппарата крепится глухой фланец, имеющий небольшое круглое отверстие только в месте прохода через него верхней части поплавка. К фланцу приварен патрубок, в который вставляется трубка, на замазке. Гильзовые поплавки нередко плохо работают из-за перекосов, возникающих вследствие коррозии трубки (на ее стенках отлагаются продукты коррозии, что вызывает уменьшение зазора между гильзой и трубкой).

Определяющим размером мерников является номинальный объем, который определяется по формуле:

$$V_{\text{м}} = \frac{V_{\text{сут}}}{\beta_{\text{пф}}} \left(1 + \frac{\sigma}{100}\right),$$

где $V_{\text{сут}}$ — суточный объем отмериваемой жидкости, м³.

Материалом для изготовления мерника чаще всего служит сталь. Внутреннюю поверхность мерников, предназначенных для дозирования химически активных жидкостей, покрывают слоем защитного материала.

Основные параметры стальных и эмалированных емкостных аппаратов приведены в приложении (табл. XXI—XXX).

ПРИЛОЖЕНИЕ

Основные параметры фильтровального оборудования

Стальные емкостные фильтры (табл. I) изготавливаются и поставляются в соответствии с требованиями ОСТ 26-291-94.

В зависимости от температурного режима технологического процесса фильтры изготавливают без рубашек или с рубашками. Рабочее давление в рубашке до 3 кгс/см², максимальная температура до 130 °С. Остаточное давление в корпусе для вакуумных фильтров — 0,6 кгс/см² (450 мм рт. ст). Фильтры, работающие под давлением, рассчитаны на максимальное рабочее давление до 0,6 МПа (6 кгс/см²).

С учетом условий эксплуатации фильтры изготавливают на подвесных лапах или опорах-стойках. Для облегчения подъема крышек, при разгрузке, фильтры, в зависимости от емкости и размеров, комплектуются механическими механизмами подъема.

Таблица I

Основные параметры емкостных фильтров (рис. I—II)

Обозначение фильтра		Поверхность филь-трации, м ²	Номинальный объем, м ³	Основные размеры, мм						Масса, кг
				D	D ₁	H ₁	H ₂	H	L	
ФЕР	0,4—0,16/0,15	0,4	0,16	700	750	325	530	1240	1125	345
	0,6—0,4/0,38	0,6	0,4	900	1000	510	750	1725	1330	630
	0,8—0,63/0,58	0,8	0,63	1000	1100	600	880	1900	1430	820
ФЭР	0,4—0,16/0,15	0,4	0,16	700	750	440	530	1750	1500	520
	0,6—0,4/0,38	0,6	0,4	900	1000	675	750	2280	1640	905
	0,8—0,63/0,58	0,8	0,63	1000	1100	800	880	2520	1735	1100
ФЭДР	0,2—0,063/0,043	0,2	0,063	500	550	375	220	827	930	270
	0,4—0,16/0,11	0,4	0,16	700	750	500	370	1225	1130	460
	0,6/0,4/0,22	0,6	0,4	900	1000	750	416	1530	1650	780
	0,8—0,63/0,31	0,8	0,63	1000	1100	880	455	1690	1650	945
ФЭД	0,2—0,063/0,043	0,2	0,063	500	—	375	220	827	880	200
	0,4—0,16/0,11	0,4	0,16	700	—	500	370	1225	1082	341
	0,6—0,4/0,22	0,6	0,4	900	—	750	416	1530	1550	630
	0,8—0,63/0,31	0,8	0,63	1000	—	880	455	1690	1550	650

Изготовитель: завод «Старорусхиммаш».

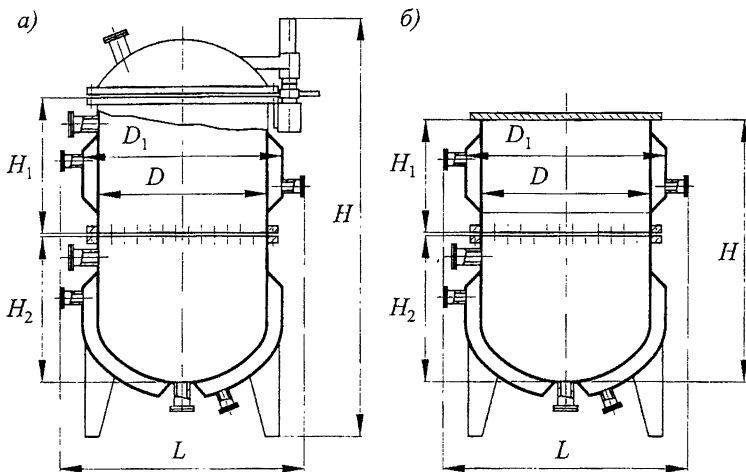


Рис. I. Конструктивное исполнение фильтров стальных емкостных, работающих под вакуумом (нутч-фильтров): *а* – закрытые с рубашкой (ФЕЗР); *б* – открытые с рубашкой (ФЕР)

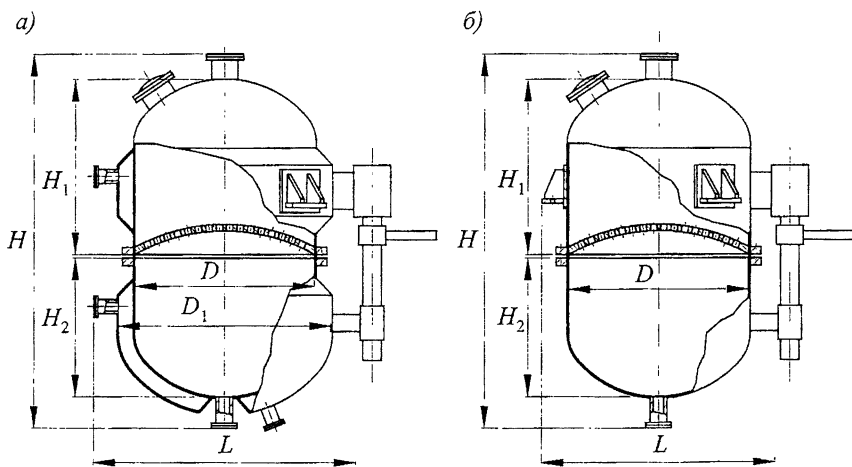


Рис. II. Конструктивное исполнение фильтров стальных емкостных, работающих под давлением (друк-фильтров): *а* – с рубашкой (ФЕдР); *б* – без рубашки (ФЕд)

Обозначение стальных емкостных фильтров складывается следующим образом: Ф – фильтр; Е – емкостной; з – закрытый; Р – с рубашкой; д – под давлением.

Первое число обозначает поверхность фильтрации (m^2); второе число – номинальный объем фильтрата (m^3); третье число – объем сборника фильтрата (m^3). Например: ФЕЗР 0,4—0,16/0,15.

Условное обозначение эмалированных емкостных фильтров (таблицы II—III) складывается следующим образом: Н — вакуумный; Д — работающий под давлением; Ч — чугунный; С — стальной; Э — эмалированный; р — с рубашкой; м — с мешалкой.

Для фильтров с ручной выгрузкой осадка цифры после букв обозначают площадь поверхности фильтрования; цифры после второго тире: первая цифра — тип (1 — фильтр под давлением; 2 — вакуумный фильтр); вторая цифра — исполнение (1 — с ручной выгрузкой осадка). Цифры после второго тире обозначают: первая цифра — класс эмалевого покрытия; вторая — вид эмалевого покрытия по ОСТ 26-01-1. Последние две цифры — порядковый номер модели.

Таблица II

Основные параметры эмалированных емкостных фильтров с ручной выгрузкой осадка (рис. III)

Показатель		Условное обозначение фильтра				
		Друк-фильтры			Нутч-фильтры	
		ДСЭ 0,2-11-12-01	ДСЭ 0,4-11-12-01	ДСЭ 0,8-11-12-01	НЧЭ 0,4-21-12-01	НЧЭ 0,8-21-12-01
Площадь поверхности фильтрования, м ²		0,2	0,4	0,8	0,4	0,8
Условное давление, МПа (кгс/см ²)		0,4 (4)	0,4 (4)	0,4 (4)	—	—
Остаточное давление, кПа (мм рт. ст.)		—	—	—	4 (30)	4 (30)
Объем, м ³		0,063	0,25	1	0,16	0,63
Основные размеры, мм	<i>D</i>	500	700	1000	700	1000
	<i>H</i>	805	1020	1680	1450	1870
	<i>H</i> ₁	360	540	1130	520	600
	<i>H</i> ₂	205	240	315	—	—
	<i>H</i> ₃	230	310	620	530	880
	<i>L</i>	697	915	1256	875	1190
	<i>L</i> ₁	1610	1970	2675	—	—
Масса, кг, не более		285	570	1140	480	1035

Изготовитель: Фастовский завод химического машиностроения «Красный Октябрь».

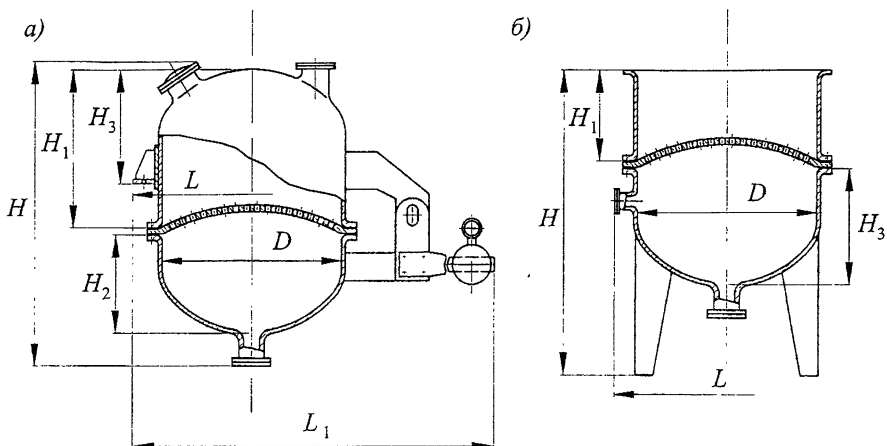


Рис. III. Конструктивное исполнение эмалированных емкостных фильтров с ручной выгрузкой осадка: а – под давлением; б – вакуумный

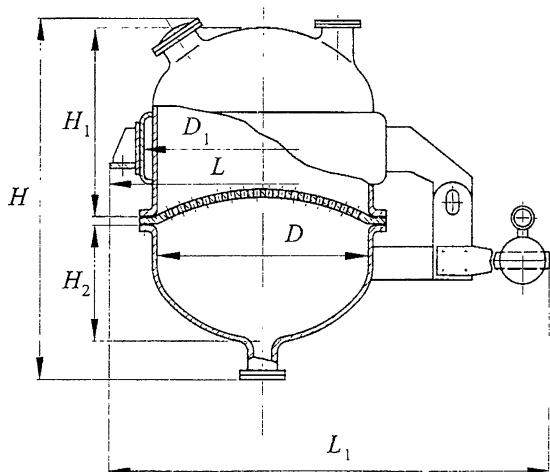


Рис. IV. Конструктивное исполнение эмалированного емкостного фильтра под давлением с рубашкой и ручной выгрузкой осадка

Вакуумный фильтр (рис. IIIб) состоит из приемника суспензии (верхняя часть фильтра) и сборника фильтрата (нижняя часть), между которыми установлена решетка. Приемник суспензии — открытого типа. У фильтра, работающего под давлением (рис. IIIа, рис. IV), приемник суспензии закрытого типа. Сборник фильтрата для удобства эксплуатации выполнен откидным и снабжен противовесом.

Таблица III

Основные параметры эмалированного емкостного фильтра под давлением с рубашкой и ручной выгрузкой осадка (рис. IV)

Показатель	Условное обозначение фильтра			
	ДСЭр 0,2-11-12-01 ДСЭр 0,2-11-02-01 ДСЭрв 0,2-11-12-01 ДСЭрв 0,2-11-02-01	ДСЭр 0,4-11-12-01 ДСЭр 0,4-11-02-01 ДСЭрв 0,4-11-12-01 ДСЭрв 0,4-11-02-01	ДСЭр 0,8-11-12-01 ДСЭр 0,8-11-02-01 ДСЭрв 0,8-11-12-01 ДСЭрв 0,8-11-02-01	
Площадь поверхности фильтрования, м ²	0,2	0,4	0,8	
Объем приемника суспензии, м ³	0,062	0,19	0,82	
Объем сборника фильтрата, м ³	0,032	0,07	0,18	
Условное давление, МПа (кгс/см ²) в корпусе в рубашке	0,4 (4) 0,6 (6)			
Основные размеры, мм	<i>D</i>	500	700	1000
	<i>D</i> ₁	550	800	1100
	<i>H</i>	815	1020	1680
	<i>H</i> ₁	360	540	1130
	<i>H</i> ₂	205	240	315
	<i>L</i>	682	930	1268
	<i>L</i> ₁	1610	2100	2830
Масса, кг, не более	300	610	1250	

Изготовитель: Фастовский завод химического машиностроения «Красный Октябрь».

Таблица IV

Техническая характеристика вакуум-фильтров стальных емкостных герметизированных с разгрузчиком

Техническая характеристика	ЕГр 1-800/300 У	ЕГр 1-800/300 К
Поверхность фильтрования, м ²	1,13	
Скорость вращения вала механизма выгрузки осадка, об/мин	11,8	
Объем приемника, л: суспензии фильтрата	850	
Высота подъема скребков, мм	250	
Мощность электродвигателя, кВт	3	
Число оборотов вала в минуту	960	
Габаритные размеры, мм	2826×1440×2950	
Вес фильтра с приводом, кг	1270	1340

Условное обозначение стального вакуумного фильтра с разгрузчиком складывается следующим образом: Е — емкостной, Г — герметизированный; р — с разгрузчиком;

цифра после букв — поверхность фильтрования (м^2); цифра после тире: в числителе — объем приемника суспензии (л), в знаменателе — объем приемника фильтрата (л); У, К — исполнение фильтра по материалу (У — из углеродистой стали; К — из коррозионностойкой стали).

Таблица V

Техническая характеристика патронных фильтров
с керамическими патронами

Типоразмер фильтра	Поверхность фильтрования, м^2	Объем корпуса, заполняемый суспензией, м^3	Рабочее давление, $\text{кгс}/\text{см}^2$	Диаметр патрона, мм		Количество патронов	Длина патронов, мм	Вес, кг	Габаритные размеры, мм	
				наружный	внутренний					
ПКФ 1Р-У	1	0,17	6	120	70	12	1050	350	1200×700×2100	
ПКФ 1Р-К								250		
ПКФ 1Р-Т										
ПКФ 5А-У	5	0,82				63	1050	1100	1700×1250×2700	800
ПКФ 5А-К										
ПКФ 5А-Т										
ПКФ 10А-У	10	1,35				105	1550	1600	1800×1350×3250	1200
ПКФ 10А-К										
ПКФ 10А-Т										
ПКФ 20А-У	20	4				216	1800	2900	2200×1800×4050	2200
ПКФ 20А-К										
ПКФ 20 А-Т										
ПКФ 40А-У	40	5				432	2550	5600	2450×2100×4600	4300
ПКФ 40А-К										
ПКФ 40А-Т										
ПКФ 80А-У	80	11,4	858	3050	9300	2946×2720×5848	7100			
ПКФ 80А-К										
ПКФ 80А-Т										

Условное обозначение типоразмера фильтра с керамическими патронами складывается следующим образом: П — патронный; К — керамический патрон; Ф — фильтр; цифра после букв — поверхность фильтрования (м^2); Р — с ручным управлением; А — с автоматическим управлением; К, У, Т — исполнение фильтра по материалу (К — коррозионностойкая сталь, У — углеродистая сталь, Т — титановый сплав ВТ1-0).

Основные параметры центрифуг

Таблица VI

Техническая характеристика моделей маятниковых центрифуг

Параметр	Внутренний диаметр, мм	Рабочая высота ротора, мм	Наибольшее число оборотов в минуту	Фактор разделения	Емкость, дм ³	Наибольшая загрузка, кг	Габаритные размеры, мм	Вес, кг
ФМБ-602Н-3	600	350	1450	710	45	90	1400×1080×910	530
ФМБ-602Г-4	600	350	1450	710	45	90	1400×1080×960	600
ФМБ-633Н-2	630	350	1480	770	45	90	1175×1145×1285	1034
ФМБ-802Н-2	800	400	1450	945	80	160	1415×1375×1635	1562
ФМБ-1201Н-3	1200	500	850	480	250	275	2195×1700×1170	1445
ФМБ-1201Г-3								1567
ФМБ-1501Н-3	1500	500	730	450	350	400	2604×2020×1155	2020
ФМД-802Н-4	800	400	1250	700	80	180	1700×1245×1070	830
ФМД-1202-2	1200	500	850	480	250	375	2190×1700×1240	1870

Таблица VII

Техническая характеристика моделей подвесных центрифуг

	Внутренний диаметр, мм	Наибольший фактор разделения	Емкость, дм ³	Наибольшая загрузка, кг	Габаритные размеры, L×B×H, мм	Вес, кг
ФПН-1001У-3	1000	1180	300	320	2000×1380×3240	2770
ФПД-1202К-3	1200	670	300	450	2250×1740×3300	2350

Таблица VIII

Техническая характеристика моделей центрифуг ФГН

Параметр	ФГН-633К-1	ФГН-903К-1	ФГН-1253К-1	ФГН-1801К-2	ФГН-2001К-1
Внутренний диаметр, мм	630	900	1250	1800	2000
Длина барабана, мм	300	400	600	750	910
Рабочая емкость барабана, м ³	0,04	0,125	0,32	0,85	1,25

Продолжение таблицы VIII

Предельная нагрузка, кг	40	140	400	1000	1600
Максимальная частота вращения, с ⁻¹	39,8	25	16,7	12	10
Фактор разделения	2000	1130	710	520	400
Площадь поверхности фильтрации, м ²	0,59	1,12	2,35	4,24	5,72
Габаритные размеры центрифуги (L×B×H), мм	2415×1840×1570	3180×2350×2100	4500×3150×3975	3530×4560×4200	4200×4660×4550
Толщина слоя осадка, мм	До 70	До 100	От 50 до 150	От 140 до 240	От 140 до 240
Толщина срезаемого слоя, мм	До 65	До 95	От 50 до 150	От 240 до 10	От 240 до 10

Основные параметры сушильного оборудования

Таблица IX

Техническая характеристика вакуумных сушильных шкафов

Характеристика	Обозначение		
	ШСВ-4,5 ШСВ-4,5К	ШСВ-16 ШСВ-16К	ШСВ-33 ШСВ-33К
Поверхность загрузки, м ²	4,5	16	33
Поверхность нагрева, м ²	10	32,5	77
Остаточное давление в аппарате, мм рт. ст.	20	20	40
Давление пара в плитах, кгс/см ²	4	4	2
Количество плит	10	12	14
Габаритные размеры, мм	1185×1410×2050	1800×1710×2270	2600×2820×2740
Масса, кг	До 846	До 2130	До 6200

Условное обозначение сушилки складывается следующим образом: Ш — шкаф; С — сушильный; В — вакуумный; цифра после букв — поверхность загрузки, м²; К — кислотостойкая сталь.

Детали шкафов с индексом К, соприкасающиеся с продуктом, изготовлены из стали 12Х18Н10Т, остальные — из углеродистой стали. Шкафы без индекса К изготовлены из углеродистой стали.

Таблица X

Техническая характеристика полочных атмосферных сушилок

Характеристика	Обозначение	
	СП-10	СП-32
Количество противней	10	32
Поверхность теплообмена противней, м ²	4	19,2
Количество калориферов	1	2

Продолжение таблицы X

Давление пара, кгс/см ²	3	3
Электродвигатель вентилятора: мощность, кВт	0,6	1,7
число оборотов вала в минуту	1410	1420
Габаритные размеры, мм	1530×880×2195	2600×1100×2492
Вес, кг	650	1400

Условное обозначение полочных сушилок складывается следующим образом:
С -- сушилка; П — полочная; число – количество полок.

Материал деталей, соприкасающихся с продуктом — нержавеющая сталь 12Х18Н10Т, остальные детали изготавливают из углеродистой стали.

Таблица XI

Техническая характеристика вакуум-гребковых сушилок

Характеристика	Обозначение					
	СВГР-0,2	СВГР-1,2	СВГР-1,5	СВГР-4	СВГР-4к*	СВГР-4В
Емкость аппарата полная, м ³	0,2	1,2	1,5	4,5	4,5	4,5
Давление пара в рубашке, кгс/см ²	6	4	3	5	5	5
Остаточное давление в корпусе, мм рт. ст.	40	40	40	40	40	100
Поверхность теплообмена, м ²	1,5	4	5,25	14	14/5,4**	14
Время вращения мешалки в одном направлении, мин	5	1--10	1--10	1--10	1--10	
Скорость вращения мешалки, об/мин	2	6	7,5	6,3	6,3	6,3
Мощность электродвигателя, кВт	1,7	7,5	4,8	13	13	13
Число оборотов вала в минуту	930	1500	750	970	970	1000
Габаритные размеры, мм	2400×1267×860	2970×1310×2970	4060×1410×3120	6735×2030×2700	7185×2030×2700	7040×2170×2576
Вес, кг	630	3230	3370	8550	8680	9600

*Сушилка с обогреваемым паром ротором.

**В числителе – поверхность теплообмена корпуса, м²; в знаменателе – поверхность теплообмена ротора, м².

Условное обозначение вакуум-гребковых сушилок складывается следующим образом: С – сушилка; В – вакуумная; Г – гребковая; Р – реверсивная; цифра – объем сушилки, м³; буква В после цифры – взрывозащищенное исполнение.

Детали сушилок, соприкасающиеся с продуктом, изготовлены из стали 12Х18Н10Т и двухслойной стали с плакирующим слоем 12Х18Н10Т, остальные детали – из углеродистой стали и чугуна.

Таблица XII

Техническая характеристика вакуумных сушилок типа ВПБ

Характеристика	Обозначение	
	ВПБ-6	ВПБ-10
Емкость барабана, м ³		
Рабочая	3,15	5
полная	6,3	10
Наибольший весзагружаемого продукта, кг	2300	3800
Поверхность нагрева, м ²	18	До 55
Скорость вращения барабана, м ²	2	2
Рабочее давление в сушилке (остаточное), мм. рт. ст.	1	0,1
Рабочее давление в паровой рубашке, кгс/см ²	10	10
Электродвигатель привода:		
мощность, кВт	5,5	5,5
число оборотов вала в минуту	1450	1450
Габаритные размеры, мм	5365×2680×3400	6325×2750×3800
Вес, кг	8990	11925

Таблица XIII

Техническая характеристика сушилок типа СП

Тип сушилки	СП-30	СП-30М	СП-60	СП-100
Загрузка продукта, кг	30—60	30—60	80—100	100—200
Продолжительность сушки, мин.	20—60	20—60	20—60	20—60
Расход пара, кг/ч	80	80	135	200
Расход воздуха, м ³ /ч	1400	1400	2500	4500
Потребляемая мощность, кВт	4	4,5	11,5	17
Габаритные размеры, мм	1780×1030×2295	1780×1030×2295	1306×2236×2736	1730×1854×2980
Масса установки, кг	800	800	1610	2000

Таблица XIV

Основные характеристики типовых установок вихревых сушилок

Типоразмер установки	Расход воздуха, кг/ч	Количество подводимого тепла, ккал/ч	Количество испаряемой влаги, кг/ч	Размер сушильной камеры, мм	
				диаметр	высота
ВС-480	650	25000	до 25	480	150
ВС-800	6000	175000	до 180	800	250
ВС-800М	2000	40000	до 45	800	250
ВС-1000	12000	230000	до 250	1000	400
ВС-1100	9000	150000	до 150	1100	450

Техническая характеристика сушилок с виброкипящим слоем

Наименование показателей	Типоразмер аппарата			
	ВКС-0,14	ВКС-0,6	ВКС-2,6	ВКС-8,0
Площадь газораспределительной решетки, м ²	0,14	0,6	2,6	8,0
Габариты, мм				
длина	1500	3200	4000	6900
ширина	900	1200	1200	1900
высота	2300	2600	1150	2160
Параметры вибрации:				
амплитуда, мм	0,5—0,6	1—2,0	1—1,5	0,5—1,0
частота, раз/с	145	145	300	300
угол вибрации, град	45—90	45—90	80	80
Количество испаренной влаги, кг	До 10	До 20	До 100	До 400

Таблица XVI

Основные характеристики типовых установок КЦС и КАС

Типоразмер установки	Расход воздуха, кг/ч		Количество		Размеры, мм			
	общий	в подсушивателе	подводного тепла, ккал/ч	испаряемой влаги, кг/ч	сушилки		подсушивателя	
					диаметр	высота	диаметр	высота
КЦС-300	600	300	13000	15	300	1500	150	600
КЦС-500	2500	1250	54000	55	500	2500	273	1000
КЦС-600	3000	1500	65000	70	600	3000	300	1200
КЦС-800	5000	3000	110000	120	800	4000	400	1600
КЦС-1000	11000	3500	240000	250	1000	5000	500	2000
КАС-300	600	300	13000	15	300	1500	150	600
КАС-1100	6000	3500	130000	150	1100	4500	500	2000
КАС-1400	15000	8000	320000	350	1400	5600	700	2800

Основные параметры теплообменников

Таблица XVII

Площадь поверхности теплообмена в аппаратах типов ТН и ТК

D	d _в	z	Площадь поверхности теплообмена F, м ² , при длине труб l, мм						
			1000	1500	2000	3000	4000	6000	9000
159	20	1	1,0	2,0	2,5	3,5	—	—	—
	25		1,0	1,5	2,0	3,0	—	—	—
273	20	1	4,0	5,5	7,5	11	—	—	—
	25		3,0	5,0	6,5	10	—	—	—

Продолжение таблицы XVII

325	20	1	—	8,5	11	17	23	—	—
	25	1		7,0	9,5	14	19		
2		2	—	6,0	8,0	12	16	—	—
	400			20	1	—	22		
2		2	—	21	31		41	62	
	25			1	—	17	26	35	52
2		2	—	15		23	31	47	
	600			20	1	—	49	73	98
2		46	70		93		140		
4		42	63		84		127		
6		43	64		86		129		
25		1	40	61	81		122		
		2	38	57	76		144		
4	6	—	32	49	65	98			
			34	51	68	102			
800	20	1	—	91	138	184	276	416	
		2		88	132	177	266	400	
		4		82	124	165	248	373	
		6		81	123	164	246	371	
	25	1		74	112	150	226	339	
		2		70	106	142	212	320	
		4		64	96	128	193	290	
		6		62	93	125	187	282	

Трубы гладкие с толщиной стенки 2 мм.

D – диаметр кожуха теплообменника, мм.

d_n – наружный диаметр труб, мм.

z – количество ходов в трубном пространстве теплообменника.

Таблица XVIII

Основные характеристики однопоточных и двухпоточных теплообменников типа «труба в трубе»

Диаметр теплообменных труб, мм	Число параллельных потоков	Количество труб в одном аппарате	Площадь поверхности теплообмена (m^2) при длине труб, м						Диаметр труб кожуха, мм
			1,5	3,0	4,5	6,0	9,0	12,0	
25×3	1	1	0,12	0,24	0,36	0,48	—	—	57×4
	1	2	0,24	0,48	0,72	0,96	—	—	
	2	4	0,48	0,96	1,44	1,92	—	—	
38×3,5	1	1	0,18	0,36	0,54	0,72	—	—	57×4
	1	2	0,36	0,72	1,08	1,44	—	—	76×4
	2	4	0,72	1,44	2,16	2,88	—	—	89×5
48×4	1	1	0,23	0,45	0,68	0,90	—	—	76×4
	1	2	0,46	0,9	1,36	1,80	—	—	89×5
	2	4	0,92	1,80	2,72	3,60	—	—	108×4

Продолжение таблицы XVIII

57×4	1	1	0,27	0,54	0,81	1,08	—	—	89×5
	1	2	0,54	1,08	1,62	2,16	—	—	108×4
	2	4	1,08	2,16	3,24	4,32	—	—	108×4
76×4	1	1	—	—	—	1,43	2,14	2,86	108×4
		2	—	—	2,14	2,86	4,28	—	133×4
89×5	1	1	—	—	—	1,68	2,52	3,36	133×4
		2	—	—	2,52	3,36	5,04	—	159×4,5
108×4	1	1	—	—	—	2,03	3,05	4,06	159×4,5
		2	—	—	3,05	4,06	6,10	—	219×6
133×4	1	1	—	—	—	2,50	3,75	5,0	219×6
		2	—	—	3,76	5,0	7,50	—	
159×4,5	1	1	—	—	—	3,0	4,50	6,0	219×6
		2	—	—	4,5	6,0	9,0	—	

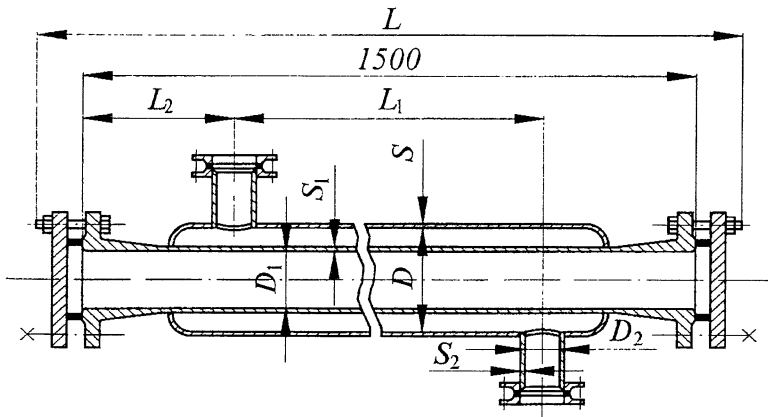


Рис. V. Теплообменник типа «труба в трубе» стальной эмалированный

Таблица XIX

Основные характеристики стальных эмалированных теплообменников типа «труба в трубе» (рис. V)

Показатель	Условное обозначение теплообменника		
	СЭт 0,25-12-01	СЭт 0,4-12-01	СЭт 1,0-12-01
Площадь поверхности теплообмена	0,25	0,4	1
Остаточное давление в корпусе, кПа (мм рт. ст.)	4 (30)	4 (30)	4 (30)
Условное давление в корпусе и рубашке, МПа (кгс/см ²)	0,6 (6)	0,6 (6)	0,6 (6)
Основные размеры, мм	D	82	150
	D ₁	45	92

Продолжение таблицы XVIII

Основные размеры, мм	D_2	40	69	69
	L	1575	1580	1590
	L_1	1240	1100	1000
	L_2	130	200	250
	S	4	4	4
	S_1	6	8	6
	S_2	2,5	3,5	3,5
Масса, кг		35	75	125

Таблица XX

Основные параметры блочных графитовых теплообменников

Поверхность теплообмена, м ²	Высота в сборе	Число блоков, шт.	Каналы			Общая масса (масса металла), кг
			вертикальные		горизонтальные	
			диаметр, мм	число, шт. (для 2-ходовых)		
1,8	790	1	28	54	126	289 (216)
2,0	790	1	18	96	126	294 (216)
2,5	790	1	12	190	162	294 (216)
3,6	1140	2	28	54	126	420 (300)
4,0	1140	2	18	96	126	430 (300)
5,0	1140	2	12	190	162	430 (300)
5,4	1490	3	28	54	126	525 (358)
6,0	1490	3	18	96	126	540 (358)
7,2	1840	4	28	54	126	656 (443)
7,5	1490	3	12	190	162	540 (358)
8,0	1840	4	18	96	126	676 (443)
9,0	2195	5	28	54	126	786 (547)
10,0	1845	4	12	190	162	676 (443)
10,0	2195	5	18	96	126	811 (547)
10,8	2545	6	28	54	126	919 (613)
12,0	2545	6	18	98	126	949 (613)
12,5	2195	5	12	190	162	811 (547)
15,0	2545	6	12	190	162	949 (613)

Размер блоков 350×350×350 мм. Высота в сборе — см. таблицу; ширина — 480 мм, длина — 570 мм.

Горизонтальные каналы — для неагрессивного (инертного) теплоносителя (пар, вода, рассол), вертикальные — для агрессивного теплоносителя (пар из реакционной массы, агрессивная реакционная масса и т.п.).

Рабочее давление — до 3 кгс/см². Рабочая температура — до 150 °С.

Материал — графит, пропитанный фенолформальдегидной смолой. Собран из блоков, которые крепятся с помощью боковых чугунных плит и стяжек.

Кроме прямоугольных блоков применяют также цилиндрические блоки, в которых горизонтальные каналы располагаются радиально.

Основные параметры стальных емкостных аппаратов

Аппараты стальные емкостные вертикальные объемом до $0,63 \text{ м}^3$ с рубашками и без рубашек регламентированы ГОСТ 12.1.007.76. Они предназначены для приема, хранения и выдачи нейтральных или агрессивных взрыво- и пожароопасных сред с 1—4 классом опасности. Температура среды — от $-20 \text{ }^\circ\text{C}$ до $200 \text{ }^\circ\text{C}$. Давление в аппарате — не более $0,6 \text{ МПа}$ (6 кгс/см^2), остаточное давление — не менее 20 мм рт.ст.

Условное обозначение аппаратов складывается следующим образом:

	X	XX	-X	-X	-X	-X	-X
В — вертикальный	ЭЭ — с двумя эллиптическими днищами		2 — неразъемный	3 — с рубашкой; 1 — без рубашки	Объем (0,01; 0,025; 0,04; 0,063; 0,1; 0,16; 0,25; 0,63)	0,6 — давление в аппарате	У — низколегированная сталь; К — коррозионностойкая сталь

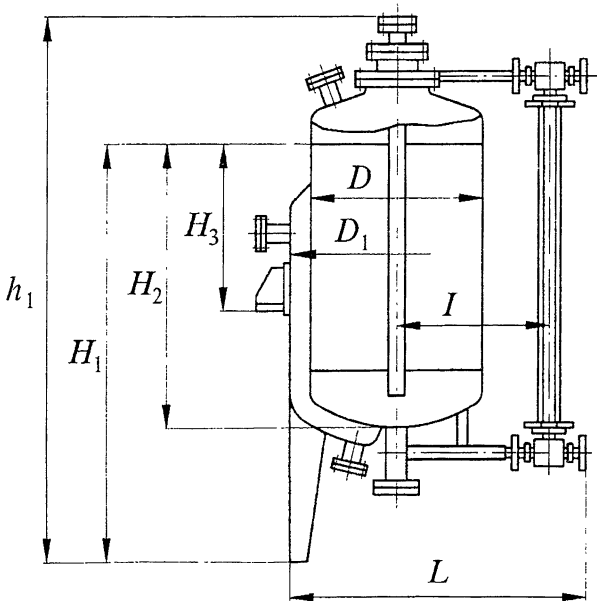


Рис. VI. Аппарат вертикальный без рубашки и с рубашкой объемом до $0,63 \text{ м}^3$

Основные параметры аппаратов стальных вертикальных
объемом до 0,63 м³ (рис. VI)

Объем, м ³	Обозначение аппарата	Основные размеры, мм								
		D	D ₁	h ₁	H ₁	H ₂	H ₃	L	I	Масса, кг
0,01	ВЭЭ2-1-0,01-0,6У	250	—	625	1055		58	605	271	43
	ВЭЭ2-1-0,01-0,6К									
0,025	ВЭЭ2-1-0,025-0,6У	300	—	785	510	304	150	630	270	50,5
	ВЭЭ2-1-0,025-0,6К									
	ВЭЭ2-3-0,025-0,6У									
	ВЭЭ2-3-0,025-0,6К									
0,04	ВЭЭ2-1-0,04-0,6У	350	—	850	575	367	170	700	300	65
	ВЭЭ2-1-0,04-0,6К									
	ВЭЭ2-3-0,04-0,6У									
	ВЭЭ2-3-0,04-0,6К									
0,063	ВЭЭ2-1-0,063-0,6У	400	—	1160	700	445	200	715	300	95
	ВЭЭ2-1-0,063-0,6К									
	ВЭЭ2-3-0,063-0,6У									
	ВЭЭ2-3-0,063-0,6К									
0,1	ВЭЭ2-1-0,1-0,6У	400	—	1455	995	740	250	715	300	110
	ВЭЭ2-1-0,1-0,6К									
	ВЭЭ2-3-0,1-0,6У									
	ВЭЭ2-3-0,1-0,6К									
0,16	ВЭЭ2-1-0,16-0,6У	500	—	1490	1015	750	350	915	328	160
	ВЭЭ2-1-0,16-0,6К									
	ВЭЭ2-3-0,16-0,6У									
	ВЭЭ2-3-0,16-0,6К									
0,25	ВЭЭ2-1-0,25-0,6У	700	—	1390	860	570	320	1120	595	235
	ВЭЭ2-1-0,25-0,6К									
	ВЭЭ2-3-0,25-0,6У									
	ВЭЭ2-3-0,25-0,6К									
0,63	ВЭЭ2-1-0,63-0,6У	800	—	1970	1405	1125	350	1105	580	350
	ВЭЭ2-1-0,63-0,6К									
	ВЭЭ2-3-0,63-0,6У									
	ВЭЭ2-3-0,63-0,6К									

Аппараты стальные емкостные объемом от 1 до 25 м³ предназначены для приема, хранения и выдачи жидких и газообразных веществ, нейтральных или агрессивных с 1—4 классом опасности (ГОСТ 12.1.007-76) и взрывопожароопасных сред.

Рабочая температура в корпусе аппарата от -40 °С до 200 °С, в рубашке — от -20 °С до 200 °С.

Условное давление 0,6; 1,0; 1,6 МПа.

Уплотнительная поверхность фланцевых соединений аппаратов, штуцеров и люков — шип-паз. Уплотнительная поверхность фланцевых соединений штуцеров теплоносителей — гладкая.

Условное обозначение аппаратов складывается следующим образом:

	X	XX	-X	-X	-X	-X
В — вертикальный						
ЭЭ — с двумя эллиптическими днищами						
1 — цельносварной; 2 — разъемный						
1 — без рубашки; 3 — с рубашкой						
Объем (1; 2; 3,2; 5; 6,3; 10; 16; 25)						
0,6; 1,0; 1,6 — давление в аппарате						

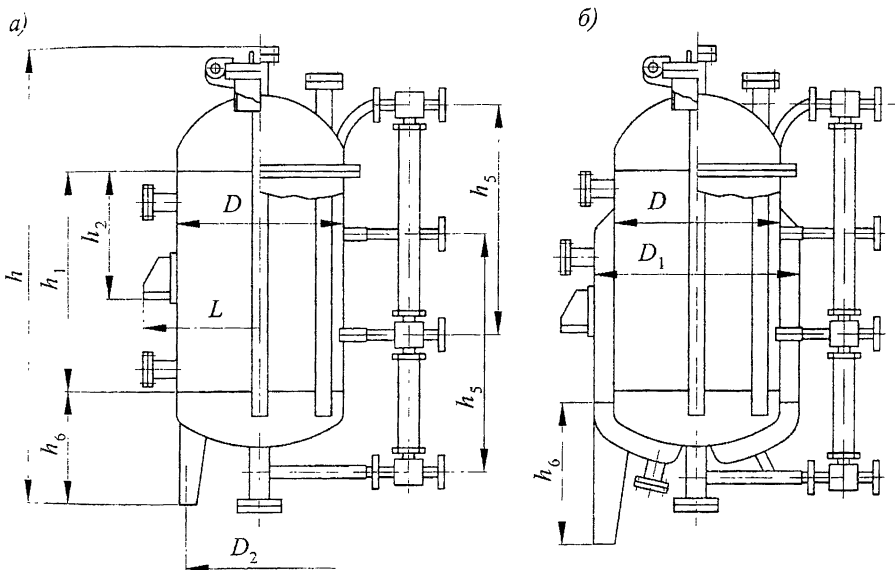


Рис. VII. Аппараты разъемные и цельносварные: а — без рубашки; б — с рубашками

Таблица XXII

Основные параметры вертикальных стальных аппаратов без рубашки объемом от 1 до 25 м³ (рис. VIIa)

Объем, м ³	Обозначение аппарата	Основные размеры, мм							Масса, кг	
		D	h	h ₁	h ₂	h ₅	h ₆	D ₂		L
1	ВЭЭ1-1-1-0,6	1000	1730	900	350	1520	410	920	1310	460
	ВЭЭ1-1-1-1,0		1795				495			
	ВЭЭ2-1-1-1,0		1700	835	435		520			590
	ВЭЭ1-1-1-1,6		1795	900	350		410			590

2	ВЭЭ1-1-2-0,6	1200	2225	1250	350	1100	500	1100	1506	675		
	ВЭЭ2-1-2-0,6		2235	1280			520			840		
	ВЭЭ1-1-2-1,0		2285	1250			500			730		
	ВЭЭ2-1-2-1,0		2265	1295			520			1035		
	ВЭЭ1-1-2-1,6		2330	1250			520			945		
3,2	ВЭЭ1-1-3,2-0,6	1400	2750	1600	350	1300	570	1260	1710	920		
	ВЭЭ2-1-3,2-0,6		2660	1585	520		560			1130		
	ВЭЭ1-1-3,2-1,0		2770	1600	350		570			1005		
	ВЭЭ2-1-3,2-1,0		2690	1595	520		565			1375		
	ВЭЭ1-1-3,2-1,6		2770	1600	350		570			1285		
5	ВЭЭ1-1-5-0,6	1600	3495	1800	500	1520	660	1410	2000	1270		
	ВЭЭ1-1-5-1,0								2015	1665		
	ВЭЭ1-1-5-1,6		3455						675	2060		
6,3	ВЭЭ1-1-6,3-0,6	1600	4275	2500	500	1300	745	1410	2000	1695		
	ВЭЭ1-1-6,3-1,0		4280						735	2010	2000	
	ВЭЭ1-1-6,3-1,6		4295						755	2025	2510	
10	ВЭЭ-1-1-10-0,6	2000	4530	2500	500	1520	915	1810	2500	2470		
	ВЭЭ1-1-10-1,0										2505	2890
	ВЭЭ1-1-10-1,6											3790
16	ВЭЭ1-1-16-0,6	2000	6730	4500	750	1300	1115	1810	2624	4090		
	ВЭЭ1-1-16-1,0											4280
	ВЭЭ1-1-16-1,6											5790
25	ВЭЭ1-1-25-0,6	2400	6970	4500	750	1520	1180	2210	3240	5220		
	ВЭЭ1-1-25-1,0										1300	6270
	ВЭЭ1-1-25-1,6											8170

Таблица XXIII

Основные параметры вертикальных стальных аппаратов с рубашкой объемом от 1 до 25 м³ (рис. VIIб)

Объем, м ³	Обозначение аппарата	Основные размеры, мм								Масса, кг
		D	D ₁	h	h ₁	h ₂	h ₆	D ₂	L	
1	ВЭЭ1-3-1-1,0	1000	1110	1855	900	580	450	1000	1410	850
	ВЭЭ2-3-1-1,0			1735	835	450				1045
2	ВЭЭ1-3-2-1,0	1200	1300	2350	1250	850	530	1200	1608	1315
	ВЭЭ2-3-2-1,0			2345	1295	860			510	1610
3,2	ВЭЭ1-3-3,2-1,0	1400	1500	2860	1600	1000	620	1360	1810	2025
	ВЭЭ2-3-3,2-1,0			2660	1445	895				2275
5	ВЭЭ1-3-5-1,0	1600	1700	3610	1800	900	750	1510	2110	3145
6,3	ВЭЭ1-3-6,3-1,0	1600	1700	4315	2500	1000	750	1510	2194	4130
10	ВЭЭ1-3-10-1,0	2000	2200	4565	2500	1150	935	2010	2724	6500

Для изготовления аппаратов используются следующие материалы: Ст3сп5; 09Г2С; 16ГС; 12Х18Н10Т; 10Х17Н13М2Т; 10Х17Н13М3Т.

Основные параметры эмалированных сборников

Эмалированные сборники предназначены для хранения и переработки жидких химических коррозионных сред (неорганических и органических кислот, их солей, щелочных и нейтральных жидких и газообразных сред) при различной температуре в зависимости от вида и концентрации среды.

Условное обозначение аппаратов складывается следующим образом: С — стальной; Э — эмалированный; Ч — чугунный; р — с рубашкой; н — с нижним спуском продукта, в — взрывобезопасное исполнение.

После буквенного обозначения приведены: номинальный объем (m^3); тип изделия (0 — чугунные с эллиптическим днищем и сферической крышкой; 1 — стальные с эллиптическим днищем и эллиптической крышкой; 2 — стальные с эллиптическим днищем и эллиптической крышкой; 3 — стальные с двумя эллиптическими днищами; 4 — стальные с эллиптическим днищем и сферической крышкой); вариант исполнения (1 — вертикальное; 2 — горизонтальное).

Цифры после второго тире обозначают: класс покрытия (0 — высший; 1 — первый); вид покрытия (0 — кислотостойкое эмалевое; 1 — универсальное стеклокристаллическое; 2 — универсальное стеклоэмалевое).

Покрытие 0 — кислотостойкое эмалевое — предназначено для оборудования, эксплуатируемого в пищевой промышленности. Покрытие 1 — универсальное стеклокристаллическое — для химического оборудования, эксплуатируемого в кислых, щелочных и нейтральных средах. Покрытие допускает повышенный по сравнению со стеклоэмалевым покрытием перепад температур и обладает более высокой механической прочностью. Покрытие 2 — универсальное стеклоэмалевое — предназначено для химического оборудования, эксплуатируемого в кислых, щелочных и нейтральных средах.

Последние две цифры после третьего тире обозначают номер модели.

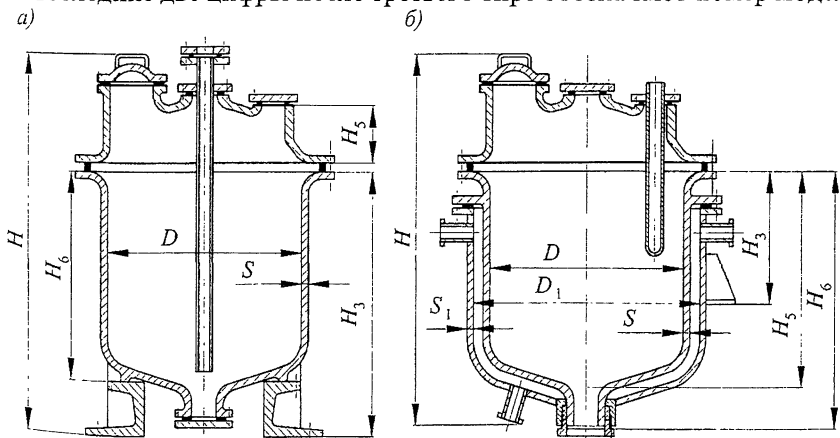


Рис. VIII. Чугунные эмалированные сборники: а — с трубой передавливания (тип ЧЭ); б — с нижним спуском и рубашкой (тип ЧЭрн)

Основные параметры чугунных эмалированных сборников (рис. VIII)

Условное обозначение сборника	Объем, м ³	Показатели									
		Основные размеры							F _{г,об} , м ²	Масса, кг	
		D	D ₁	H	H ₃	H ₅	H ₆	S			S ₁
ЧЭн 0,4-0-12-01	0,4	900	—	1220	895	142	750	21	—	—	753
ЧЭ 0,4-0-12-01				1260							760
ЧЭрн 0,4-0-12-01				1000							1270
ЧЭн 0,63-0-12-01	0,63	1000	—	1400	1055	150	880	23	—	—	1025
ЧЭ 0,63-0-12-01				1435							1035
ЧЭрн 0,63-0-12-01				1100							1425
ЧЭн 1,25-0-12-01	1,25	1200	—	1830	1460	200	1300	21	—	—	1525
ЧЭ 1,25-0-12-01				1880							1535
ЧЭрн 1,25-0-12-01				1300							1970
ЧЭн 2,0-0-12-01	2	1400	—	2090	1690	227	1530	24	—	—	2190
ЧЭ 2,0-0-12-01				2140							2200
ЧЭрн 2,0-0-12-01				1500							2235

Примечание. Остаточное давление в корпусе 40 кПа (300 мм рт. ст.). Условное давление в корпусе 0,3 МПа (3 кгс/см²), в рубашке 0,6 МПа (6 кгс/см²).

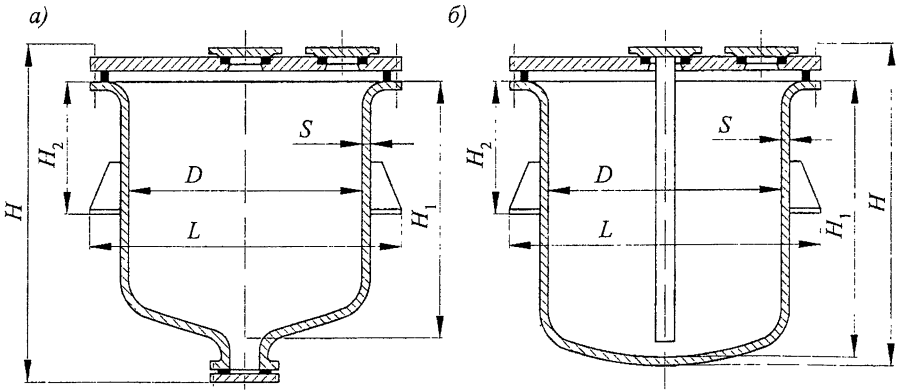


Рис. IX. Стальные эмалированные сборники без рубашки объемом 0,01—0,16 м³: а — с нижним спуском продукта (тип СЭнв); б — с трубой переадавливания (тип СЭв)

Основные параметры стальных эмалированных сборников без рубашки объемом 0,01—0,16 м³ (рис. IX)

Условное обозначение сборника	Показатели									
	Объем, м ³	Остаточное давление, кПа	Условное давление, МПа	Основные размеры, мм						Масса, кг
				<i>D</i>	<i>H</i>	<i>H</i> ₁	<i>H</i> ₂	<i>L</i>	<i>S</i>	
СЭнв 0,010-1-12-01	0,010	4	0,6	250	360	220	175	418	3,9	45
СЭв 0,010-1-02-01					320					40
СЭнв 0,025-1-12-01	0,025	4	0,6	350	450	300	220	520	5	75
СЭв 0,025-1-02-01					390					70
СЭнв 0,040-1-12-01	0,04	4	0,6	400	515	360	270	590	5	95
СЭв 0,040-1-02-01					450					90
СЭнв 0,063-1-12-01	0,063	4	0,6	500	515	360	270	692	6	130
СЭв 0,063-1-02-01					450					125
СЭнв 0,100-1-12-01	0,1	4	0,6	500	705	550	360	692	6	140
СЭв 0,100-1-02-01					640					135
СЭнв 0,160-1-12-01	0,16	4	0,6	600	755	600	400	812	6	190
СЭв 0,160-1-02-01					705					185

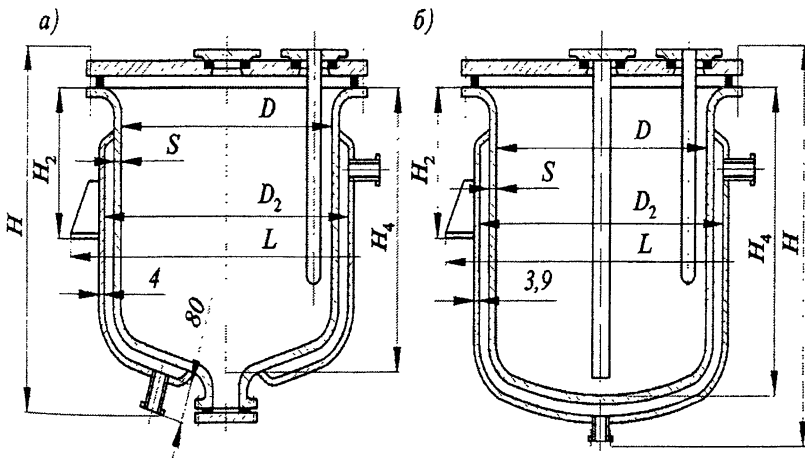


Рис. X. Стальные эмалированные сборники с рубашкой объемом 0,01—0,16 м³:
 а — с нижним спуском продукта (тип СЭрнв);
 б — с трубой передавливания (тип СЭрв)

Основные параметры стальных эмалированных сборников
с рубашкой объемом 0,01—0,16 м³ (рис. X)

Условное обозначение сборника	Показатели										
	Объем, м ³	Остаточное давление, кПа	Условное давление, МПа	Основные размеры, мм						Масса, кг	
				D	D_1	H	H_2	H_4	L		S
СЭрнв 0,010-1-02-01	0,010	4	0,6	250	300	425	175	220	468	3,9	60
СЭрв 0,010-1-02-01		4	0,6			435					55
СЭрнв 0,025-1-02-01	0,025	4	0,6	350	400	505	220	300	568	5	100
СЭрв 0,025-1-02-01		4	0,6			525					95
СЭрнв 0,040-1-02-01	0,04	4	0,6	400	450	505	270	360	638	5	125
СЭрв 0,040-1-02-01		4	0,6			585					120
СЭрнв 0,063-1-02-01	0,063	4	0,6	500	550	565	270	360	738	6	156
СЭрв 0,025-1-02-01		4	0,6			585					160
СЭрнв 0,100-1-02-01	0,1	4	0,6	500	550	755	360	550	738	6	195
СЭрв 0,100-1-02-01		4	0,6			775					180
СЭрнв 0,160-1-02-01	0,16	4	0,6	600	650	805	400	600	858	6	245
СЭрв 0,160-1-02-01		4	0,6			825					240

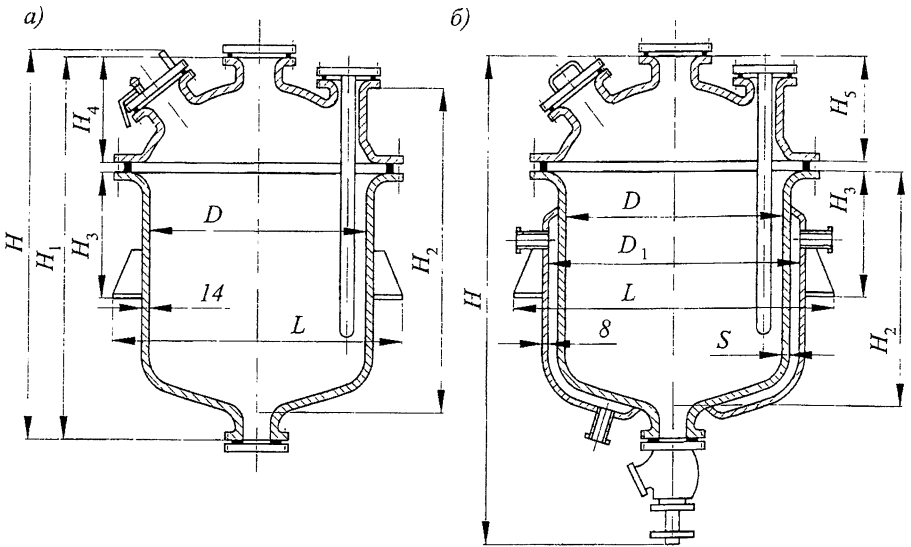


Рис. XI. Стальные эмалированные сборники объемом 0,63—1,6 м³:
а — без рубашки; б — с рубашкой

Таблица XXVII

Основные параметры стальных эмалированных сборников без рубашки
объемом 0,63—1,6 м³ (рис. XIa)

Условное обозначение сборника	Показатели									
	Объем, м ³	Условное давление, МПа	Основные размеры, мм							Масса, кг
			D	H	H ₁	H ₂	H ₃	H ₄	L	
СЭн 0,63-2-12 СЭн 0,63-2-02	0,63	0,16	900	1450	1355	1185	450	385	1160	600
СЭнв 0,63-2-12 СЭнв 0,63-2-02		0,6								
СЭн 1,0-2-12 СЭн 1,0-2-02	1	0,16	1000	1770	1677	1485	450	425	1260	770
СЭнв 1,0-2-12 СЭнв 1,0-2-02		0,6								
СЭн 1,6-2-12 СЭн 1,6-2-02	1,6	0,16	1200	1960	1870	1670	600	475	1460	1125
СЭнв 1,6-2-12 СЭнв 1,6-2-02		0,6								

Примечание. Остаточное давление в корпусе 4 кПа.

Таблица XXVIII

Основные параметры стальных эмалированных сборников с рубашкой
объемом 0,63—1,6 м³ (рис. XIб)

Условное обозначение сборника	Показатели										
	Объем, м ³	Основные размеры, мм								F _{т.о.} , м ²	Масса, кг
		D	D ₁	H	H ₂	H ₃	H ₅	L	S		
СЭрнв 0,63-2-02 СЭрнв 0,63-2-12	0,63	900	1004	1750	870	550	385	1325	12	2,2	820
СЭрнв 1,0-2-02 СЭрнв 1,0-2-12	1	1000	1104	2100	1140	600	425	1450	12	3,45	1150
СЭрнв 1,6-2-02 СЭрнв 1,6-2-12	1,6	1200	1304	2290	1280	700	475	1820	14	4,73	1550

Примечание. Остаточное давление в корпусе: 4 кПа (30 мм рт. ст.). Условное давление в корпусе 0,6 МПа (6 кгс/см²), в рубашке 1 МПа (10 кгс/см²).

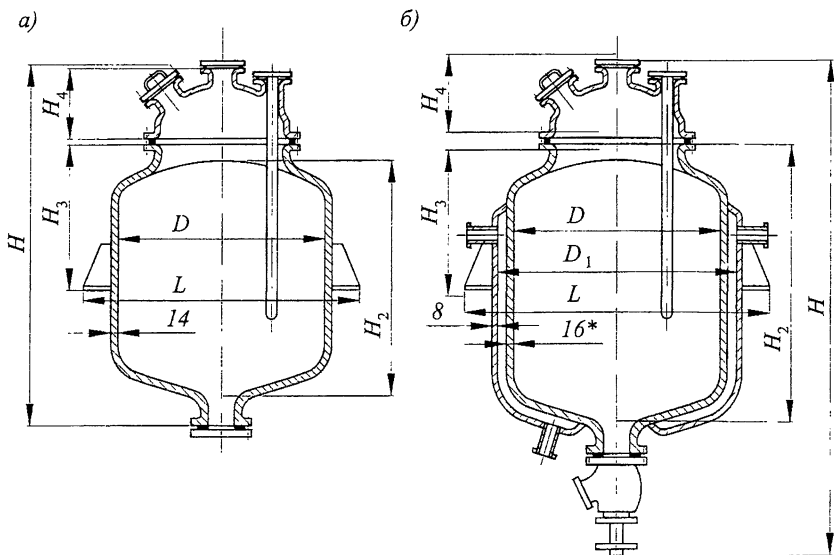


Рис. XII. Стальные эмалированные сборники объемом 2,5—6,3 м³:
 а – без рубашки (тип СЭн и СЭнв); б – с рубашкой (тип СЭрнв)
 (*для сборников СЭрнв объемом 2,5 м³ $S = 14$ мм)

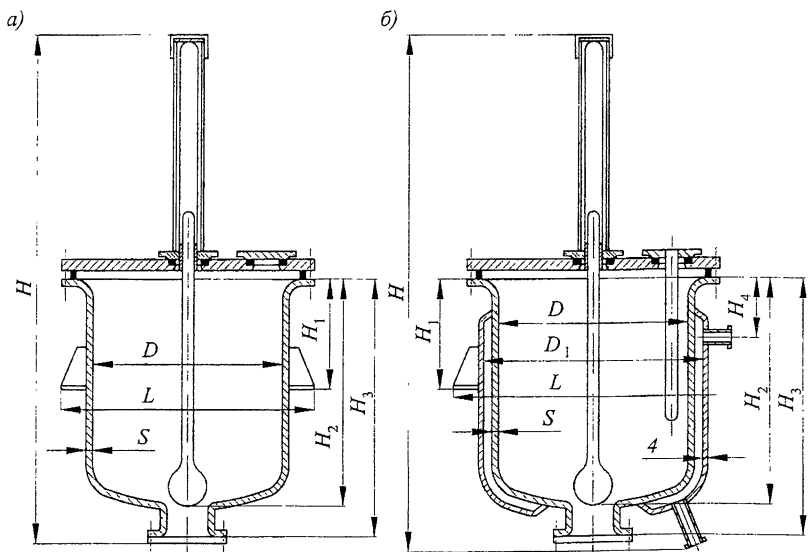


рис. XIII. Стальные эмалированные сборники объемом 0,01—0,16 м³ с
 поплавковым измерителем уровня: а – без рубашки (тип СЭнв); б – с рубашкой
 (тип СЭрнв)

Основные параметры стальных эмалированных сборников
объемом 2,5—6,3 м³ (рис. XII)

Условное обозначение сборника	Показатели																	
	Объем, м ³	Условное давление, МПа*	Основные размеры, мм						F _{пол} , м ²	Масса, кг								
			D	D ₁	H	H ₂	H ₃	H ₄			L							
СЭн 2,5-31-12 СЭн 2,5-31-02	2,5	0,16	1400	—	2545	1880	1020	385	1780	—	1610							
СЭнв 2,5-31-12 СЭнв 2,5-31-02		0,6																
СЭрнв 2,5-31-02		0,6										1504	2875	1930	1220	1900	6,7	2000
СЭрнв 2,5-31-12																		
СЭн 4,0-31-12 СЭн 4,0-31-02	4	0,16	1600	—	2960	2280	1240	385	1980	—	2175							
СЭнв 4,0-31-12 СЭнв 4,0-31-02		0,6																
СЭрнв 4,0-31-02		0,6										1704	3290	2350	1350	2115	9,77	2880
СЭрнв 4,0-31-12																		
СЭн 6,3-31-12 СЭн 6,3-31-02	6,3	0,16	1800	—	3490	2800	1520	385	2260	—	2745							
СЭнв 6,3-31-12 СЭнв 6,3-31-02		0,6																
СЭрнв 6,3-31-02		0,6										2004	3820	2890	1530	2505	13,8	4150
СЭрнв 6,3-31-12																		

*Условное давление в корпусе. Остаточное давление в корпусе 4 кПа (30 мм рт.ст.). Условное давление в рубашке 0,6 МПа (6 кгс/см²).

Таблица XXX

Основные параметры стальных эмалированных сборников
объемом 0,01—0,16 м³ с поплавковым измерителем уровня (рис. XIII)

Условное обозначение сборника	Показатели										
	Объем, м ³	Основные размеры, мм								Масса, кг	
		D	D ₁	H	H ₁	H ₂	H ₃	L	S		H ₄
СЭнв 0,010-1-02-02	0,010	250	—	580	175	220	260	418	3,9	—	40
СЭрнв 0,010-1-02-02			300	725				468		110	
СЭнв 0,025-1-02-02	0,025	350	—	740	220	300	340	520	5	—	60
СЭрнв 0,025-1-02-02			400	885				568		140	

Окончание таблицы XXX

СЭнв 0,040-1-02-02	0,04	400	—	860	270	360	400	590	5	—	75
СЭрнв 0,040-1-02-02			450	1005				638		140	110
СЭнв 0,063-1-02-02	0,063	500	—	860	270	360	400	692	6	—	105
СЭрнв 0,063-1-02-02			550	1005				738		140	145
СЭнв 0,100-1-02-02	0,1	500	—	1240	360	550	590	692	6	—	120
СЭрнв 0,100-1-02-02			550	1005				738		160	175
СЭнв 0,160-1-02-02	0,16	600	—	1340	400	600	640	812	6	—	155
СЭрнв 0,160-1-02-02			650	1475				858		190	220

Примечание. Остаточное давление в корпусе 4 кПа (30 мм рт. ст.). Условное давление в корпусе и рубашке 0,07 МПа (0,7 кгс/см²).

СОДЕРЖАНИЕ

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ ГЕТЕРОГЕННЫХ СИСТЕМ	3
Расчет и выбор фильтров	3
Расчет и выбор центрифуг	12
СУШИЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ	21
Расчет и выбор сушильного оборудования	21
Сушилки периодического действия	26
Сушилки с активными гидродинамическими режимами	35
РАСЧЕТ И ВЫБОР ТЕПЛООБМЕННИКОВ	44
ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ И ДОЗИРОВАНИЯ ЖИДКОСТЕЙ	53
Оборудование для хранения жидкостей в цехах	53
ПРИЛОЖЕНИЕ	58