

676
В.26

15

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра химической технологии древесины

М.И.Ведерникова
Л.Г.Старцева

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ
НЕПРЕРЫВНОДЕЙСТВУЮЩЕЙ
ФИЛЬТРОВАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ**

Руководство к курсовому и дипломному проектированию для студентов специальностей 240100, 280200, 240502 дневной и очной форм обучения

ЕКАТЕРИНБУРГ
2008

Печатается по рекомендации методической комиссии инженерно-экологического факультета.

Протокол №3 от 13 декабря 2007 г.

ВЫБОР СХЕМЫ ФИЛЬТРОВАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Промышленные фильтры для жидкостей предназначены для полного или частичного разделения суспензий на жидкую фазу - фильтрат и твердую фазу - осадок, методом фильтрования через пористую фильтрующую перегородку. Кроме фильтрования, на большинстве фильтров производится также промывка и обезвоживание осадка (путем продувания через осадок воздуха, горячего газа, перегретого пара или механическим отжимом).

В целлюлозно-бумажном производстве принцип фильтрования используют при очистке оборотной воды от мелких древесных волокон, на круглосеточной отливной машине (аналог барабанного вакуум-фильтра), при формовании бумажного полотна, а также на сеточной части плоскосеточных бумагоделательных машин (аналог ленточного вакуум-фильтра) перед сушкой бумаги.

Классификация фильтровальных установок

По способу компоновки оборудования – индивидуальная, групповая и общая.

По способу размещения по высоте – на одном, двух и более этажах.

По расположению в плане – тупиковая (однорядная, многорядная) и закольцованная.

По способу отвода фильтрата из ресивера – с откачкой центробежными насосами, с отводом через барометрические трубы и гидрозатвор или комбинированная.

По принципу работы – с постоянным или дифференцированным вакуумом в зонах фильтрования и просушки осадка на вакуум-фильтре.

Выбор схем компоновки и размещения фильтровальных установок должен обосновываться технико-экономическим расчетом.

Индивидуальным схемам следует отдавать предпочтение при одиночной установке или малом количестве (2-3) вакуум-фильтров, в этом случае улучшаются эксплуатационные показатели каждого фильтра, обеспечиваются наилучшие технологические показатели их работы в заданных режимах, создаются предпосылки для автоматизации, контроля и регулирования процессов, осуществляемых на фильтрах, установки отличаются компактностью. Фильтровальные установки, кроме вакуум-фильтров включают в себя еще и вспомогательное оборудование.

Принципиальная схема установки барабанного вакуум-фильтра на двух этажах с отдельным отводом основного и промывного фильтратов приведена на рис.1. При установке дискового вакуум-фильтра отсутствует промывка осадка, а для ленточного вакуум-фильтра - отдувка осадка.

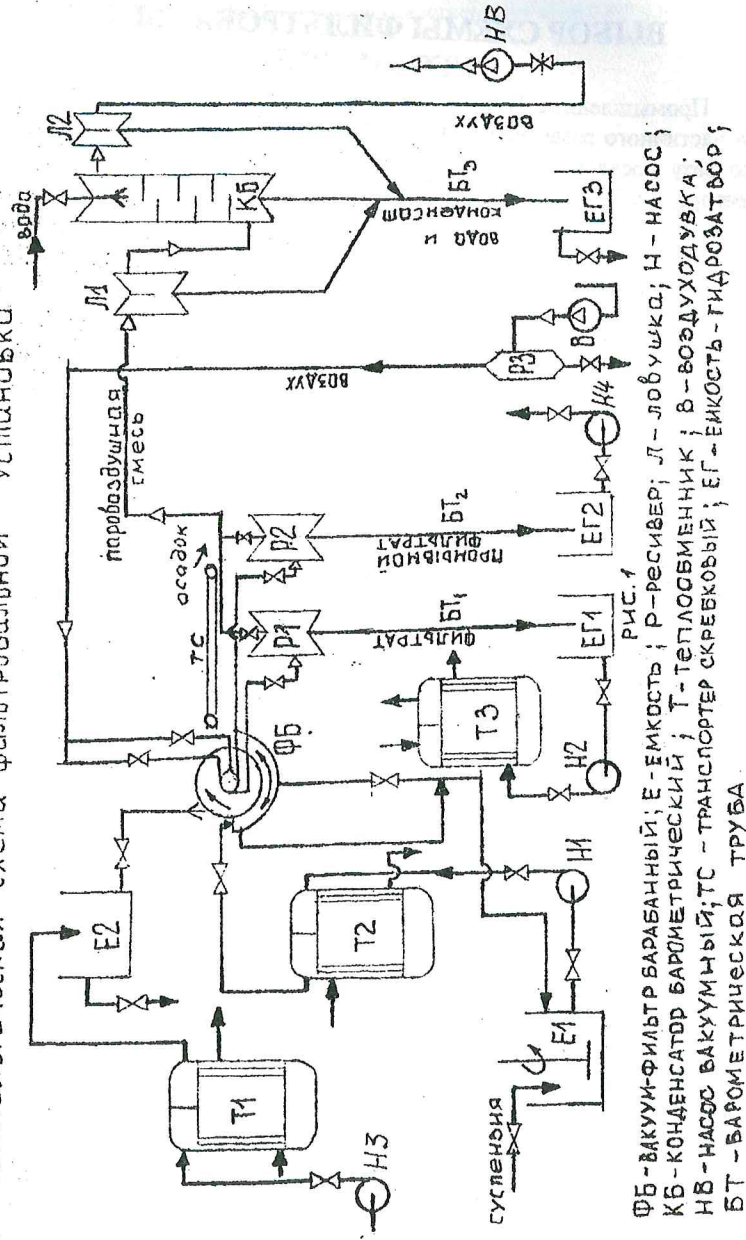
Рецензент канд. техн. наук А.К.Жвирблите

Редактор Давлятова Т.В.

Подписано в печать 04.09.2000	Формат 60x84 1/16	Переиздание
Плоская печать	Печ.л. 2,56	Тираж 20 экз.
Заказ 317	Поз. 68	Цена 8,8р.

Редакционно-издательский отдел УГЛТУ
Отдел оперативной полиграфии УГЛТУ

Технологическая схема фильтровальной установки



Суспензия из емкости E_1 (рис.1*) центробежным насосом H_1 подается в корыто барабанного вакуум-фильтра $ФБ$, установленного на втором этаже. На фильтре суспензия разделяется на осадок, поступающий на транспортер $ТС$, и фильтрат, отводимый в ресивер P_1 . Далее самотеком фильтрат поступает в емкость- гидрозатвор $ЕГ_1$ и на дальнейшую переработку (нагрев или охлаждение).

Осадок можно удалять с фильтрующей ткани обратной отдувкой, скребками, валиками, сходящим полотном или шнурами, смывать водой, подаваемой снаружи или изнутри фильтрующего элемента. После удаления осадка фильтрующую ткань регенерируют, удаляя из ее пор и с поверхности частицы твердой фазы. Регенерацию можно осуществлять продувкой воздухом, паром, двухсторонней промывкой горячей водой или слабым раствором кислот и щелочей, иногда используют вибрационное поле.

Воздух для отдувки осадка и регенерации ткани подается воздуходувкой B , перед которой установлен ресивер $Р_3$ для отделения воды и масла, и выравнивания давления воздуха. Промывная вода подогревается в теплообменнике T_1 и поступает на промывку осадка из емкости постоянного уровня E_2 . Промывной фильтрат отсасывается в ресивер P_2 и самотеком поступает в емкость - гидрозатвор $ЕГ_2$. Отсасываемый из ресивера воздух содержит жидкость в виде мелких брызг, которые перед вакуум-насосом $НВ$ отделяются от воздуха в ловушках $Л_1, Л_2$. При фильтрации суспензии с температурой выше 60° устанавливается конденсатор смешения $КБ$ для конденсации паров, охлаждения воздуха и снижения производительности вакуум-насоса. Высота установки ресиверов, ловушек и конденсатора должна обеспечить свободный сток жидкости из вакуумного пространства через емкость - гидравлический затвор $ЕГ$.

Работоспособность фильтровальной установки с вакуум-фильтрами существенно зависит от правильного размещения аппаратов по высоте помещения и в плане.

Краткая характеристика основных вакуум-фильтров

В химической технологии наиболее широко используют вакуум-фильтры (барабанный, дисковый, ленточный).

Дисковые вакуум-фильтры предназначены для разделения нейт-

* Рисунки оформлены в соответствии с требованиями, предъявляемыми к курсовому и дипломному проектированию.

ральных и щелочных суспензий температурой 95° с частицами твердой фазы более или менее однородной крупности. Суспензия не должна быть легколетучей, ядовитой или взрывоопасной. Осадок на фильтре не промывается. Фильтры применяют в крупнотоннажных производствах: Конструкции и принцип работы фильтров см. [1-3].

Фильтры выпускаются двух типов: общего назначения ДОО (открытые и с шатровой крышей) и для трудно фильтруемых суспензий – ДТО, поверхностью от 16 до 250 м². Основные параметры дисковых фильтров приведены в табл. 1 и 2, а технические характеристики – в каталоге [3].

Таблица 1

Основные параметры дисковых вакуум-фильтров типа ДОО исполнения I

Тип	F, м ²	D, мм	Z	n·10 ³ , с ⁻¹	n _м , с ⁻¹	N, кВт	N _м , кВт
ДОО16-2,5-1К	16	2500	2	3-21	0,76	1,1	3
ДОО32-2,5-1У	32		4			2,2	
ДОО50-2,5-1К	50		6			2,2	
ДОО63-2,5-1К	63		9			4,75	
ДОО160-3,75-1У	160	3750	9			8	5,5
ДОО250-3,75-1У	250		14			11	

Примечания. 1. F - поверхность фильтрования; D - диаметр диска; Z - количество дисков; n, n_м - частота вращения дисков и мешалки; N, N_м - мощность электродвигателей привода дисков и мешалки. 2. Число секторов Z_с=12; углы зон: φ_ф=104° - фильтрования; φ_с=166° - просушки; φ_о=7° - отдувки осадка; φ_р=30° - регенерации. 3. Вакуум - 0,085 МПа

Барабанные вакуум-фильтры: конструкции и принцип работы см. [1-3]. Барабанные вакуум-фильтры в соответствии с ГОСТ 5748-79Е изготавливают с поверхностью фильтрования от 0,25 до 100 м². Основные параметры барабанных фильтров приведены в табл. 2 и 3, а технические характеристики – в каталоге [3]. На рис.2 показана схема распределения технологических зон на поверхности барабана.

Ленточные вакуум-фильтры предназначены для разделения быстро осаждающихся суспензий с твердой фазой неоднородной крупности. На этих фильтрах можно производить многократную прямоточную или про тивоточную промывку осадка (но отдувки осадка нет). Фильтры выпускаются двух типов: ЛОН – с ножевым съемом осадка для агрессивных суспензий, температурой до 85°, и ЛОП – со съемом осадка сходящим полотном для трудно фильтрующихся суспензий, поверхностью от 1,8 до 60 м². Основные параметры ленточных фильтров приведены в табл. 4, а технические характеристики – в каталоге [3]. Расшифровка условных обозначений вакуум-фильтров приведена в табл.5.

Схема распределения технологических зон на поверхности барабана

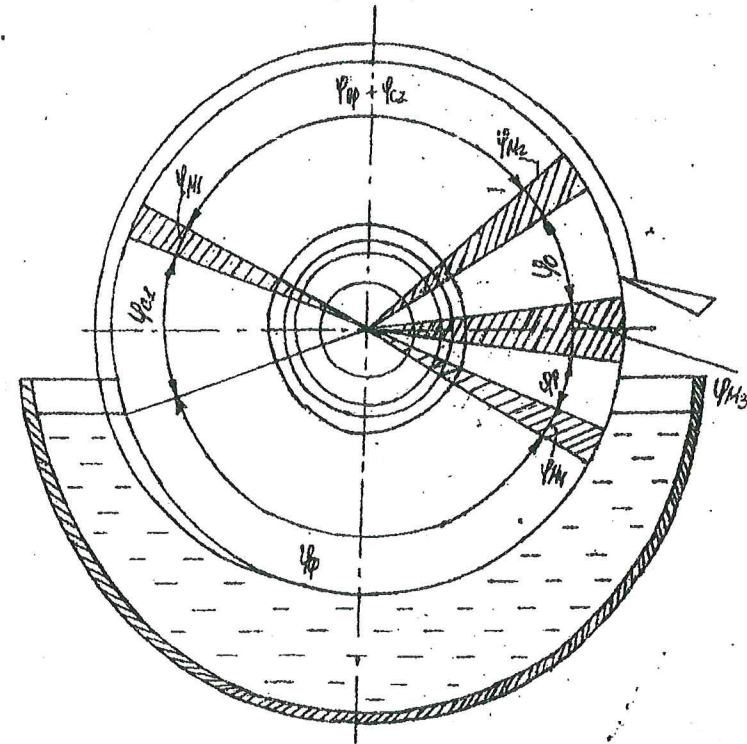


Рис. 2

Углы технологических зон:
 φ_ф - фильтрования; φ_п - предварительной сушки осадка; (φ_р + φ_с) - промывки и окончательной сушки; φ_о - отдувки перед снятием осадка; φ_р - регенерации; φ_{нп}, φ_{нн}, φ_{нз}, φ_{нр} - мойные зоны

Стандартные диаметры штуцеров фильтров, мм

Таблица 2

Тип фильтра	Подача суспензии, перелив из корыта	Отвод фильтра	Отвод промывного фильтра	Подача воздуха на отдувку и регенерацию	Подача воды на промывку	Отсос паров и газов	Слив
Барабанные вакуум-фильтры							
БОН1-1-1К	50	40	40	15	20	100	
БОН5-1,8-1Г							50
БОН10-1,8-1Г	125	80	80	50	50	150	
БОН20-2,4-1К							
БОН30-2,4-1К	150	150	150	65	60	150	150
БОН40-3-15	200	200	200	50	50	500	150
БОН80-3,75-5У	200	300	200	100	150	500	200
Дисковые вакуум-фильтры							
ДОО16-2,5-1К							
ДОО32-2,5-1У							
ДОО50-2,5-1К	150	125		150			200
ДОО63-2,5-1К							
ДОО160-3,75-1У							
ДОО250-3,75-1У	200	200		150			200

Основные параметры барабанных вакуум-фильтров типа БОН с наружной фильтрующей поверхностью

Таблица 3

Тип	F, м ²	D ₁ , мм	L ₃ , мм	n·10 ³ , с ⁻¹	N, кВт	N _м , кВт	Распределение углов зон (в градусах)					
							φ	φ _ф	φ _{с1}	φ _{пр+φс2}	φ _б	
БОН1-1-1К	1	1000	370	2-40	0,55	0,55	138	124	61	105	20	18,5
БОН5-1,8-1Г	5		970		0,8	1						
БОН10-1,8-1Г	10	1800	1870		1,7	1,1	130	125	38,5	112	17,5	26
БОН20-2,4-1К	20		2770		1,7	2,36						
БОН30-2,4-1К	30	2400	4120	1,6-16	2,2	3,0	130	123,5	65,5	103	20,5	25,5
БОН40-3-15	40	3000	4400				138	128	57	103	17	15
БОН80-3,75-5У	80	3750	6800		4,2	4,0	120	100	76	104,5	19,5	17,5

Примечания. 1. F - поверхность фильтрования; D - диаметр барабана; L₃ - длина барабана; n - частота вращения барабана; φ - угол погружения барабана в суспензию; φ_ф - угол фильтрования; φ_{с1} - угол сушки; φ_{пр+φс2} - угол промывки и сушки послепромывки; φ_б - угол отдувки осадка; φ_р - угол регенерации. 2. Вакуум - 0,085 МПа

Таблица 4

Основные параметры ленточных вакуум-фильтров

Фильтр	$F, \text{ м}^2$	$b, \text{ мм}$	$l, \text{ мм}$	$w, \text{ м/с}$	$N, \text{ кВт}$	d_1	d_2
ЛОН1,8-1У	1,8	500	3380	0,013-0,08	2,36	200	80
ЛОН1,8-1К							
ЛОН1,8-1Т							
ЛОН4-1У	4	500	5600	0,025-0,15	5,5	200	80
ЛОН4-1К							
ЛОН4-1Т							
ЛОП10-1У	10	1580	5430	0,073-0,146	6,3	250	100
ЛОП12-1У							
ЛОП12-1К							
ЛОП15-1У	15	1580	6880	0,016-0,237	11	250	100
ЛОП15-1К							
ЛОП30-1У	30	1580	8880	0,073-0,146	23,1	250	100

Примечания. 1. F - поверхность фильтрования; b - ширина ленты; l - длина рабочей части ленты; w - скорость движения ленты; N - мощность электродвигателя привода барабана. 2. Диаметры штуцеров: d_1 - подача суспензии, перелив из корыта; d_2 - отвод фильтрата. 3. Вакуум - 0,05 МПа

Пример условного обозначения: Фильтр БОН80-3,75-5У,
где Б - барабанный фильтр; О - общее назначение; Н - ножевой съем осадка; поверхность фильтрования - 80 м^2 ; диаметр барабана - 3,75 м; исполнение 5; У - углеродистая сталь.

Пример условного обозначения: Фильтр ДОО32-2,5-1К,
где Д - дисковый фильтр; О - общее назначение; О - съем осадка, осуществляется отдувкой; поверхность фильтрования - 32 м^2 ; диаметр дисков - 2,5 м; исполнение 1 (негерметизированное); К - коррозионностойкая сталь.

Пример условного обозначения: Фильтр ЛОН1,8-1Т,
где Л - ленточный фильтр; О - общее назначение; Н - ножевой съем осадка; поверхность фильтрования - $1,8 \text{ м}^2$; исполнение 1; Т - титан.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ВАКУУМ-ФИЛЬТРА

Основными задачами при курсовом проектировании являются расчет требуемой поверхности фильтрования F , подбор по каталогам стандартного фильтра и определение числа фильтров, обеспечивающих заданную производительность.

Таблица 5

Условные обозначения вакуум-фильтров

Наименование	Тип фильтра		Исполнение фильтра (1-негерметизированное)	Диаметр барабана, м	Исполнение фильтра (1-негерметизированное, 5-с шаровой крышкой)	Материал основных деталей (У-углеродистая сталь, К-коррозионностойкая сталь, Т-титан, Г-углеродистая сталь, гуммированная резиной (только для барабанных фильтров), П-с деталями из пластмассы)
	Б- барабанный	Л- ленточный				
Назначение	О- общее, Т- для труднофильтруемых (Л- легкофильтруемых) суспензий, В- для суспензий с волокнистой твердой фазой					
Способ съема осадка	Н- ножевой, П- сходящим полотном					
Цифры после букв	Площадь поверхности фильтрования, м^2					
Цифры после первого тире	Диаметр барабана, м					
Цифра после второго тире	Исполнение фильтра (1-негерметизированное, 5-с шаровой крышкой)					
Последняя буква	Материал основных деталей (У-углеродистая сталь, К-коррозионностойкая сталь, Т-титан, Г-углеродистая сталь, гуммированная резиной (только для барабанных фильтров), П-с деталями из пластмассы)					

Движущая сила процесса фильтрации ΔP – это разность давлений над поверхностью осадка P_1 и свободной поверхностью фильтрующей перегородки P_2 :

$$\Delta P = P_1 - P_2 \quad (1)$$

$$\Delta P = P_{\text{разр}} + h_c \rho_c g, \quad (2)$$

где $P_{\text{разр}}$ – разрежение, создаваемое вакуум-насосом, Па; h_c – высота слоя суспензии над поверхностью осадка, м (для барабанного и дискового фильтров – высота слоя суспензии в корыте); ρ_c – плотность суспензии, кг/м³.

Для ускорения процесса целесообразно фильтровать горячие суспензии. Однако над горячим фильтратом очень большая упругость пара и в условиях вакуум-фильтрации значительное повышение температуры не позволяет иметь глубокий вакуум, т. к. предельное абсолютное давление не может быть меньше упругости пара над фильтратом.

При горячем фильтровании перед вакуум-насосом устанавливают конденсатор, который создает дополнительный вакуум за счет конденсации паров (вакуум-насос в этом случае будет откачивать только воздух).

Материальный баланс составляется для определения производительности фильтра по осадку, фильтрату или суспензии в кг/с.

Уравнения материального баланса:

для всей системы (по потоку): $\bar{G}_c = \bar{G}_{oc} + \bar{G}_\phi$ (3)

для твердой фазы: $\bar{G}_m = \bar{G}_c \bar{X}_c = \bar{G}_{oc} \bar{X}_{oc}$
или $\bar{G}_c \bar{X}_c = \bar{G}_{oc} (1 - \bar{w})$. (4)

Совместное решение уравнений (3) и (4) дает выражение, связывающее между собой все фазы, участвующие при фильтровании:

$$\frac{\bar{G}_c}{(\bar{X}_{oc} - \bar{X}_\phi)} = \frac{\bar{G}_{oc}}{(\bar{X}_c - \bar{X}_\phi)} = \frac{\bar{G}_\phi}{(\bar{X}_{oc} - \bar{X}_c)} \quad (5)$$

Количество твердого вещества, содержащегося в суспензии:
 $\bar{G}_m = \bar{G}_c \bar{X}_c$. (6)

Количество жидкой фазы в суспензии: $\bar{G}_{жс} = \bar{G}_c - \bar{G}_m$. (7)

Количество осадка: $\bar{G}_{oc} = \bar{G}_c \bar{X}_c / \bar{X}_{oc}$. (8)

Количество твердой фазы в осадке: $\bar{G}_m = \bar{G}_{oc} \bar{X}_{oc}$. (9)

Количество жидкой фазы в осадке: $\bar{G}_{жс} = \bar{G}_{oc} - \bar{G}_m$. (10)

Количество фильтрата: $\bar{G}_\phi = \bar{G}_c - \bar{G}_{oc}$. (11)

Объемная производительность по фазам, м³/с:

для суспензии $V_c = \bar{G}_c / \rho_c$ (12)

для фильтрата $V_\phi = \bar{G}_\phi / \rho_\phi$ (13)

для влажного осадка $V_{oc} = \bar{G}_{oc} / \rho_{oc}$ (14)

для твердой фазы $V_m = \bar{G}_m / \rho_m$. (15)

Объемный расход промывной жидкости: $V_{np} = LV_{oc}$. (16)

Плотности фаз:

суспензии $\rho_c = \bar{X}_c / \rho_m + (1 - \bar{X}_c) / \rho_\phi$ (17)

влажного осадка $\rho_{oc} = \bar{X}_{oc} / \rho_m + (1 - \bar{X}_{oc}) / \rho_\phi$. (18)

Влажность осадка: $\bar{w}_{oc} = 1 - \bar{X}_{oc}$ (19)

$\bar{w}_{oc} = \varepsilon \rho_\phi / [\varepsilon \rho_\phi + (1 - \varepsilon) \rho_m]$. (20)

Выбор толщины слоя осадка на фильтре зависит от типа аппарата, характера и удельного сопротивления и способа его съема. Значения минимальной толщины слоя осадка приведены в табл.6.

Таблица 6

Минимальная толщина слоя осадка h_{oc} , мм, для вакуум-фильтров

Тип вакуум-фильтра	Физическое состояние осадка			
	Зернистый, рассыпчатый	Прочный, маловлажный	Непрочный, влажный	Липкий
Барабанный	8	5	8	10
Дисковый	10	8	10	12
Ленточный	6	4	8	-

Расчет поверхности фильтрования

Соотношение объемов осадка и фильтрата, м³/м³: $U = V_{oc} / V_\phi$. (21)

Удельная производительность фильтра, м³/м²: $q = h_{oc} / U$. (22)

Продолжительность фильтрования при $\Delta P = \text{const}$:
 $\tau = q U \mu_\phi \gamma_{oc} / 2 \Delta P + q \mu_\phi R_{\phi n} / \Delta P$. (23)

Продолжительность промывки несжимаемого осадка:
 $\tau_{np} = L U q \mu_{np} \gamma_{oc} U q + R_{\phi n} / \Delta P$. (24)

При расчете τ_{np} принимаем, что скорость фильтрования равна скорости промывки при конечной толщине слоя осадка h_{oc} .

Продолжительность полного цикла фильтрования T, c :
 $T = \tau + \tau_{np} + \tau_{сст}$. (25)

Продолжительность вспомогательных операций:
 $\tau_{всп} = \tau_0 + \tau_p + \tau_m$. (26)

Принимаем долю поверхности фильтра, предназначенной для фильтрования, за 0,3 – 0,4; для промывки – за 0,3; остальные – для сушки, отдувки, регенерации и мертвые зоны (см. рис.2). Далее упрощенно из

пропорции находим продолжительность полного цикла фильтрования T , зная продолжительность фильтрования и промывки ($\tau + \tau_{пр}$):

$$T = (\tau + \tau_{пр}) / 0,7. \quad (27)$$

Поверхность фильтрования, m^2 : $F = V_{\phi} T / q. \quad (28)$

Выбор вакуум-фильтра и комплектующего оборудования

По рассчитанной поверхности фильтрования F выбираем стандартный фильтр по каталогу [3], выписываем техническую характеристику фильтра, диаметры штуцеров и основные параметры – по табл. 1-4.

Определяем продолжительность вспомогательных операций:

$$\tau_{всп} = T - (\tau + \tau_{пр}) \quad (29)$$

для мертвых зон $(\phi_{м1} + \phi_{м2} + \phi_{м3} + \phi_{м4}) / 360. \quad (30)$

Углы вспомогательных зон ($\phi_0, \phi_p, \phi_{м1}$) приведены в табл. 1 и 3.

Продолжительность вспомогательных операций:

отдувка осадка $\tau_0 = \frac{\tau_{всп} (\phi_0 / 360)}{0,3} \quad (31)$

регенерация ткани $\tau_p = \frac{\tau_{всп} (\phi_p / 360)}{0,3} \quad (32)$

мертвые зоны $\tau_m = \frac{\tau_{всп} (\sum \phi_{мi} / 360)}{0,3} \quad (33)$

сушка осадка $\tau_c = \tau_{всп} - (\tau_0 + \tau_p + \tau_m). \quad (34)$

Рекомендованная комплектация вакуум-фильтров ресиверами, ловушками, конденсаторами, вакуум-насосами, воздуходушками приведена в табл. 10 [3].

РАСЧЕТ И ВЫБОР ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

К вспомогательному оборудованию относятся: ресиверы, ловушка, конденсатор, система трубопроводов и воздухопроводов, вакуум-насос, воздуходушка, насосы для подачи суспензии и откачки фильтрата, теплообменники.

Вакуум-насос

Для выбора вакуум-насоса необходимо определить общий расход воздуха, который включает в себя:

полезный расход воздуха, просасываемого через слой осадка;
расход на вакуумирование ячеек в начале каждого цикла в ячейковых фильтрах;

подсосы воздуха:

- из-за несовершенства уплотнений между соседними ячейками;
- из-за растрескивания осадка и разрыва фильтровальной ткани;
- из-за обнажения части поверхности зоны фильтрования при понижении уровня суспензии в корыте фильтра ниже допустимого;
- при отделении от фильтрующей поверхности части осадка в начале или в конце зоны просушки;
- подсосы воздуха в элементах вакуумной установки.

Расчет вакуум-насоса и воздуходушки проводят с некоторыми допущениями по нормативным данным.

Общий расход воздуха для вакуум-фильтра

Производительность вакуум-насоса: $V_{в} = U_{в} F, \quad (35)$

где $U_{в}$ – удельный расход воздуха, $m^3/(m^2 \cdot c)$; принимают по табл. 7.

Вакуум-насосы выбирают по производительности $V_{в}$ и по табл. 8.

Мощность электродвигателя вакуум-насоса, кВт: $N_{уд} = N_{уд}^n \cdot V_{в}, \quad (36)$

где $N_{уд}^n$ – удельная мощность, кВт·с/ m^3 , см. табл. 8.

Электродвигатели выбирают по табл. 9.

Таблица 7

Удельный расход воздуха для вакуум-фильтров, $U_{в}, m^3/(m^2 \cdot c)$

Тип вакуум-фильтра	Производительность вакуум-фильтра по сухому осадку, кг/($m^2 \cdot ч$)		
	<200	200-800	>800
Барабанный	0,005-0,013	0,013-0,025	0,025-0,05
Дисковый	0,008-0,017	0,017-0,025	0,025-0,041
Ленточный	-	0,017-0,033	0,033-0,083

Примечание. В табл. 7 расход воздуха указан при степени разрежения 70% от барометрического давления при температуре 20 °C

Воздуходувка

Для отдувки осадка от фильтрующей перегородки и регенерации ткани применяют воздуходушку.

Объемный расход сжатого воздуха для вакуум-фильтра (производительность воздуходушки): $V_0 = U_0 F, \quad (37)$

где U_0 – удельный расход сжатого воздуха, $m^3/(m^2 \cdot c)$, см. табл. 10.

Таблица 8

Водокольцевые вакуум-насосы и воздуходувки					
Вакуум-насосы			Воздуходувки		
Тип	$V_{в}, \text{ м}^3/\text{с}$	$N_{\text{уд}}, \text{ кВт}\cdot\text{с}/\text{м}^3$	Тип	$V_{0}, \text{ м}^3/\text{с}$	$N_{\text{уд}}, \text{ кВт}\cdot\text{с}/\text{м}^3$
ВВН 1-0,75	0,0125	120	ВК-0,75	0,0125	150
ВВН 2-0,75	0,0113	138			
ВВН 1-1,5	0,025	108	ВК-1,5	0,025	120
ВВН 2-1,5	0,0225	120			
ВВН 1-3	0,050	99	ВК-3	0,05	114
ВВН 2-3	0,045	110			
ВВН 1-6	0,10	96	ВК-6	0,10	114
ВВН 2-6	0,09	105			
ВВН 1-12	0,20	93	ВК-12	0,20	111
ВВН 2-12	0,18	102			
ВВН 1-25	0,417	84	ВК-25	0,417	108
ВВН 2-25	0,375	96			
ВВН 1-50	0,833	90	ВК-50	0,833	108
ВВН 2-50	0,750	96			
ВВН 1-150	2,50	90	ВК-150	2,5	108
ВВН 2-150	2,25	96			
ВВН 1-300	5,0	90	ВК-300	5,0	108
ВВН 2-300	4,5	108			

Примечание. Вакуум-насосы в исполнении ВВН-1 создают вакуумы 0,06 МПа, а в исполнении ВВН-2 - 0,08 МПа

Меньшее значение V_0 следует принимать для плотных фильтровальных перегородок, большее – для менее плотных перегородок (сеток).

Воздуходувку выбирают по производительности V_0 и по табл. 7.

Ресиверы и ловушки

Ресивер (рис.3) предназначен для разделения паровоздушной смеси на воздух и жидкость. Ресиверы устанавливают на линии отвода фильтрата и промывного фильтрата из фильтра. Сжатый воздух подают в фильтр также через ресивер для выравнивания давления газа. Ресивер (см. рис. 3, а) разделен по ходу потока вертикальной перегородкой, не доходящей до дна, на две неравные зоны рис. 3: разделяющую 1 и очищающую 2. Отношение площадей поперечного сечения разделяющей и очищающей зон 1:4.

В ресиверах современной конструкции (см. рис.3, б) воздушножидкостная смесь вводится в аппарат тангенциально, поток закручивается и разделение воздуха от жидкости происходит под действием центробежной силы.

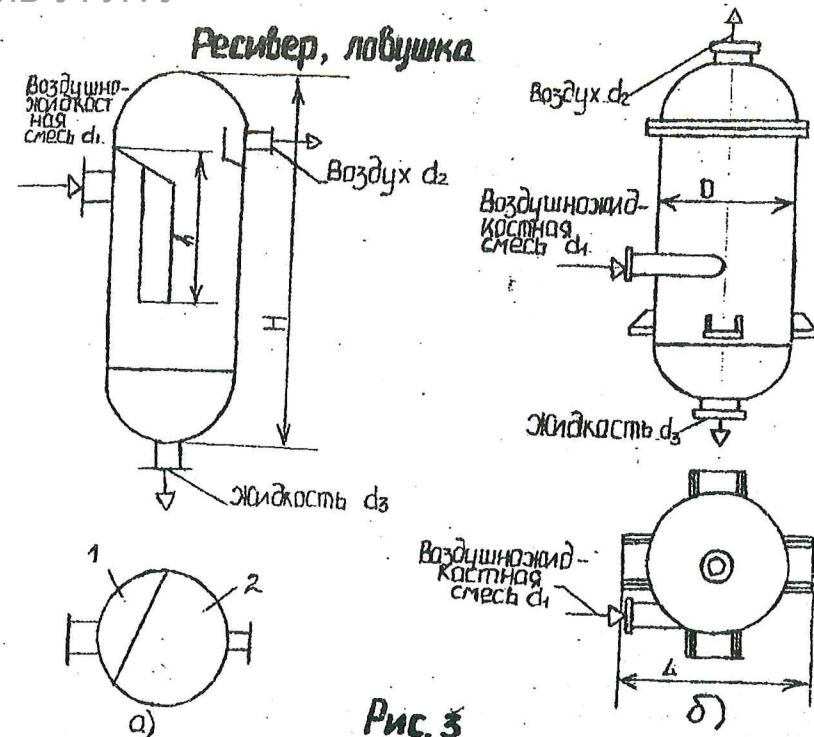


Рис. 3

а - ресивер с перегородкой; б - ресивер с тангенциальным вводом смеси

Конденсатор

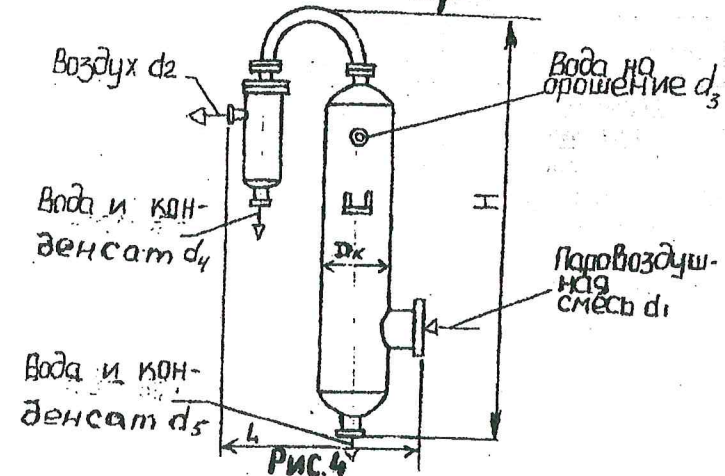


Рис. 4

Таблица 9

Технические характеристики электродвигателей серии А02

n=50 c ⁻¹		n=25 c ⁻¹		n=16,6 c ⁻¹		n=12,5 c ⁻¹	
Тип	N, кВт	Тип	N, кВт	Тип	N, кВт	Тип	N, кВт
A02-11-2	0,8	A02-11-4	0,6	A02-11-6	0,4	A02-41-8	2,2
A02-12-2	1,1	A02-12-4	0,8	A02-12-6	0,6	A02-42-8	3,0
A02-21-2	1,5	A02-21-4	1,1	A02-21-6	0,8	A02-51-8	4,0
A02-22-2	2,2	A02-22-4	1,5	A02-22-6	1,1	A02-52-8	5,5
A02-31-2	3,0	A02-31-4	2,2	A02-31-6	1,5	A02-61-8	7,5
A02-32-2	4,0	A02-32-4	3,0	A02-32-6	2,2	A02-62-8	10
A02-41-2	5,5	A02-41-4	4,0	A02-41-6	3,0	A02-71-8	13
A02-42-2	7,5	A02-42-4	5,5	A02-42-6	4,0	A02-72-8	17
A02-51-2	10	A02-51-4	7,5	A02-51-6	5,5	A02-81-8	22
A02-52-2	13	A02-52-4	10	A02-52-6	7,5	A02-82-8	30
A02-62-2	17	A02-61-4	13	A02-61-6	10	A02-91-8	40
A02-71-2	22	A02-62-4	17	A02-62-6	13	A02-92-8	55
A02-72-2	30	A02-71-4	22	A02-71-6	17		
A02-81-2	40	A02-72-4	30	A02-72-6	22		
A02-82-2	55	A02-81-4	40	A02-81-6	30		
A02-91-2	75	A02-82-4	55	A02-82-6	40		
A02-92-2	100	A02-91-4	75	A02-91-6	55		
		A02-92-4	100	A02-92-6	75		

Таблица 10

Нормы расхода сжатого воздуха

Тип вакуум-филтра	Удельный расход сжатого воздуха $U_0, м^3/(м^2 \cdot с)$	
	Обычная отдувка	Импульсная отдувка
Барабанный	0,003-0,007	0,001-0,003
Дисковый	0,007-0,0131	0,003-0,007

При разделении на вакуум-филтрах суспензий температурой выше 60°C в ресивер поступает горячий филтрат в смеси с воздухом. За счет понижения температуры в ресивере происходит самоиспарение жидкой фазы. Количество образующихся паров определяется по нормам расхода пара.

Производительность по паровоздушной смеси, м³/с:

$$V_{пв} = V_v + V_{п} \quad (39)$$

$$V_{п} = U_0 F, \quad (40)$$

где V_v – производительность по воздуху, м³/с, см. формулу (35); U_0 – удельный расход пара; м³/(м²·с) см. табл. 11.

Таблица 11

Нормы удельного расхода пара при разделении горячих суспензий

Тип вакуум-филтра	Удельный расход пара при t=60-70°C, $U_п, м^3/(м^2 \cdot с)$	
	Обычная отдувка	Импульсная отдувка
Барабанный	0,05	0,05
Дисковый	0,02	--
Ленточный	0,05	0,05

При наличии зоны горячей промывки осадка и отдельного ресивера для промывного филтрата, объем пара увеличивается в два раза, т. е.

$$V_{п} = 2U_п F.$$

Диаметр ресивера: $D = [\beta (V_v + V_{п}) / (0,785 w_v)]^{0,5}, \quad (41)$

где β – коэффициент запаса; $\beta=1,25$; w_v – скорость воздуха в очищающей зоне, м/с. Принимается до 1 м/с для холодного и до 3 м/с для горячего воздуха и пара.

В соответствии с найденным диаметром по табл. 12 и 13 выбирают ресивер ближайший большего объема и выписывают размеры.

Таблица 12

Основные размеры ресиверов и ловушек, мм

Емкость ресивера, $V, м^3$	D	H	h	Диаметры штуцеров				d_3
				при $t_0 < 55$		при $t_0 > 55$		
				d_1	d_2	d_1	d_2	
0,4	700	1200	550	80	50	100	80	50
1,0	900	1700	650	100	80	175	150	70
1,6	1000	2300	900	150	100	225	200	100
2,5	1200	2600	900	175	125	300	250	100
4,0	1400	3000	1100	200	150	400	300	125

Обозначения. 1. Габаритная высота - H. 2. Диаметры ресивера (D) и штуцеров: d_1 – воздушножидкостной смеси; d_2 – воздуха; d_3 – жидкости

Ловушка должна иметь внутреннюю перегородку и отражатель перед выходом воздуха (см. рис. 3, а).

Ловушку рассчитывают также как и ресивер, но принимают по табл. 12, 13 ближайший меньший размер по сравнению с выбранным ресивером или такого же размера, если к филтру устанавливаются по два ресивера.

Таблица 13

Основные размеры ресиверов и ловушек с тангенциальным вводом воздушножидкостной смеси, мм

Объем, м ³	D	H	d ₁	d ₂	d ₃	L
0,63	700	2005	200	200	65	620
1,25	1000	2030	200	200	80	915
2	1200	2284	200	200	100	1115
3,15	1400	2583	300	300	125	1165
4	1600	2640	350	350	150	1420
5,6	1800	2785	350	350	200	1670

Обозначения. 1. Диаметры: D - ресивера; d₁ - воздушножидкостная смесь; d₂ - воздух; d₃ - жидкость. 2. Габаритные размеры (H, L)

Барометрический конденсатор смещения

Конденсатор выбирают по производительности, в зависимости от количества поступающей в конденсатор паровоздушной смеси, образующейся в фильтре при разделении суспензий с температурой выше 60°C.

По производительности паровоздушной смеси см. формулы (39, 40) и по табл. 14 выбирают тип и основные размеры конденсатора.

Привести эскиз конденсатора в соответствии с рис. 4, указать его размеры.

Таблица 14

Основные размеры барометрических конденсаторов, мм

Тип	Производительность V _{пв} , м ³ /с	D _к	H	L	d ₁	d ₂	d ₃	d ₄	d ₅
КБ-5	1,4	325	2100	863	175	100	70	50	50
КБ-15	4,2	600	3325	1415	300	150	125	50	70
КБ-35	9,7	700	4250	1778	400	200	150	70	100

Обозначения. 1. Габаритные размеры (H, L). 2. Диаметры конденсатора (D_к) и штуцеров: d₁ - паровоздушной смеси; d₂ - воздуха; d₃ - воды на орошение; d₄ и d₅ - воды и конденсата

Расход охлаждающей воды на конденсацию пара, кг/с:

$$W_k = V_{пв} \rho_n r / c_{н2о} (t_2 - t_1), \quad (42)$$

где ρ_п - плотность пара, кг/м³; r - удельная теплота конденсации, кДж/кг; c_{н2о} = 4,19 кДж/(кг·К) - удельная теплоемкость воды; t₁, t₂, t_п - температура, °C, соответственно: t₁ - воды на входе в конденсатор (см. задание); t₂ = (t_п - 3) - на выходе из конденсатора; t_п - паров, t_п, ρ_п и r определяют по абсолютному давлению P_а и по табл. LVII [4].

Диаметр конденсатора, м: $D_k = (V_{пв} / 0,785 w_b)^{0,5}$, (43)

где w_к - скорость паровоздушной смеси в свободном сечении 12-15 м/с.

По табл. 14 выбирают стандартный диаметр конденсатора.

Диаметр барометрической трубы d_{тр} определяют по уравнению расхода: $V_{н2о} = (V_{пв} \rho_{пв} + W_k) / \rho_{н2о} = 0,785 d_{тр}^2 w_{н2о}$, (44)

где ρ_{н2о} см. табл. IV [4]; w_{н2о} - скорость воды в барометрической трубе, w_{н2о} = 0,5-1,0 м/с.

Высота барометрической трубы (от конденсатора до уровня воды в емкости - гидрозатворе): $H_{тр} = P_{разр} / g \rho_{н2о} + 0,7$, (45)

где 0,7 м. - высота компенсирующая потери на трение, местные сопротивления, создание скорости течения воды и колебания вакуума в конденсаторе.

При отводе фильтрата и промывного фильтрата через барометрические трубы, высота последних принимается равной высоте барометрической трубы конденсатора.

Емкости

Размеры емкостей определяют из условий запаса жидкостей на смену, т.е. на 8 часов, τ = 8·3600 = 28,8·10³ с. Емкости заполняют жидкостью на 80%, поэтому объем емкости будет равен:

$$V = V_{ж} \tau / 0,8 \quad (46)$$

Минимальный объем емкости рассчитывают из условия 5-10 - минутной работы насоса в случае прекращения подачи жидкости (аварии), чтобы аппаратчик успел отключить аппараты. Объем емкостей не принимать более 10 м³ с целью экономии площади цеха.

Емкости выбирают по ГОСТ 9931-79 или по табл. 15, 16.

Таблица 15

Горизонтальные или вертикальные емкости с двумя выпуклыми сварными днищами ГОСТ 9931-79 (см. рис. 5)

V, м ³	D _в , мм	L (H), мм	l (h), мм	V, м ³	D _в , мм	L (H), мм	l (h), мм
0,1	400	875	625	3,2	1400	2250	1500
0,16	500	925	625	4,0	1600	2250	1400
0,25	600	1000	650	5,0	1800	2380	1400
0,40	700	1200	800	6,3	1800	2780	1800
0,63	800	1350	900	8,0	2000	2880	1800
1,00	900	1750	1250	10,0	2200	2980	1800
1,25	1000	1800	1250	12,5	2200	3780	2600
1,6	1200	1650	1000	16,0	2400	3930	2650
2,0	1200	2050	1400	20,0	2600	4180	2800
2,5	1400	1850	1400	25,0	2200	7180	6000

Таблица 16

Вертикальные емкости с выпуклым дном и съемной крышкой
(см. рис. 5) ГОСТ 9931-79

V, м ³	D _{вн} , мм	H, мм	V, м ³	D _{вн} , мм	H, мм	V, м ³	D _{вн} , мм	H, мм
0,10	400	825	1,60	1200	1575	8,00	2200	2290
0,16	500	850	2,00	1400	1475	10,0	2200	2840
0,25	600	975	2,50	1400	1775	12,5	2400	3040
0,40	700	1100	3,20	1600	1675	16,0	2600	3190
0,63	800	1325	4,00	1800	1740	20,0	2800	3540
1,00	900	1650	5,00	1800	2000	25,0	3000	3790
1,25	1000	2275	6,30	2000	2140	32,0	3000	4790

Емкость для суспензии. В этой емкости непрерывно готовят суспензию за счет перемешивания, поэтому при расчете и выборе емкости необходимо учитывать наличие мешалки. Номинальный объем емкостей для суспензии не должен превышать 10 м³ (возрастают энергозатраты на перемешивание суспензии).

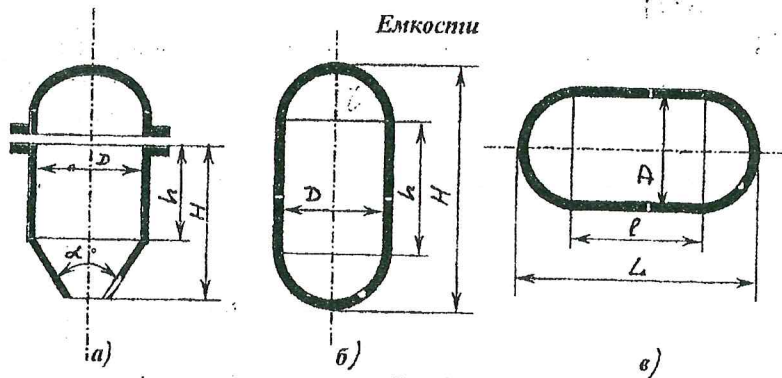


Рис. 5

а) вертикальная с крышкой; б) вертикальная; в) горизонтальная

Емкость-гидрозатвор ЕГЗ барометрического конденсатора. Объем емкости-гидрозатвора ЕГЗ: $V_r = V_{н\text{г}\text{о}} \tau / 0,8$, (47)
где $V_{н\text{г}\text{о}}$ см. формулу (44).

Объем емкости выбирают в пределах 0,4 – 1,25 м³ по табл. 15.

Гидрозатвор устанавливают с целью создания однонаправленного движения воздуха в конденсаторе. Глубина погружения барометрической трубы в емкость (воду) – 500 мм.

Технологический расчет мешалки

Перемешивание применяется для приготовления суспензий, смесей, а также для интенсификации тепло- и массообменных процессов, химических и биологических реакций. Основные характеристики процесса перемешивания – расход энергии, эффективность и интенсивность перемешивания. Наиболее распространенным способом перемешивания является механическое перемешивание при помощи лопастных, якорных, рамных, турбинных или пропеллерных мешалок. Основные конструктивные параметры и условия работы этих мешалок приведены в табл. 17 и на рис. 6.

Диаметр мешалки (диаметр окружности, ометаемой кромками лопастей мешалки) d_m предварительно определяют по соотношению D/d_m , указанному в табл. 17, а окончательно выбирают по табл. 18.

Число оборотов мешалки. Скорость вращения мешалки выбирают с учетом назначения процесса перемешивания, типа и конструкции мешалки. В табл. 17 в зависимости от условий работы мешалки приведены значения окружной скорости мешалки (w , м/с), которая пропорциональна величине nd_m , т.е. можно записать: $w = \pi n d_m$. (48)

По табл. 17 выбирают окружную скорость w и по формуле (48) определяют число оборотов мешалки n . Окончательно число оборотов мешалки устанавливают при выборе привода перемешивающего устройства.

Мощность N , потребляемую мешалкой (Вт) при установленном режиме, определяют по уравнению: $N = K_N \rho_c n^3 d_m^5$, (49)
где ρ_c – плотность суспензии, кг/м³; n – число оборотов мешалки, с⁻¹; d_m – диаметр мешалки, м; K_N – критерий мощности.

Зависимость $K_N = f(Re_n)$ для различных типов мешалок приведена на рис. VII [4].

Режим перемешивания определяют по формуле:

$$Re_n = \rho_c n d_m^2 / \mu_c, \quad (50)$$

где Re_n – критерий Re (центробежный); μ_c – динамическая вязкость суспензии, Па·с.

Мощность привода мешалки $N_{пр}$ рекомендуется рассчитывать по формуле: $N_{пр} = B K_n K_y \Sigma K_i N / \eta$, (51)
где K_n – коэффициент ($K_n = 1$ – для аппаратов с перегородками; $K_n = 1,25$ – без перегородок); $K_y = (H_m/D)^{0,5}$ – коэффициент высоты уровня жидкости в аппарате; K_r – коэффициент, учитывающий наличие в сосуде внутренних устройств ($K_r = 1, 1-1,2$ – при наличии гильзы для термомпары, трубы передавливания или уровнемера; $K_r = 2$ – при змеевике, размещенном вдоль стенки сосуда); η – КПД привода мешалки с учетом потерь на трение в уплотнениях вала мешалки ($\eta = 0,8-0,9$); B – коэффициент запаса на возможные перегрузки, принимается в зависимости от величины N по табл. 19.

Типы мешалок

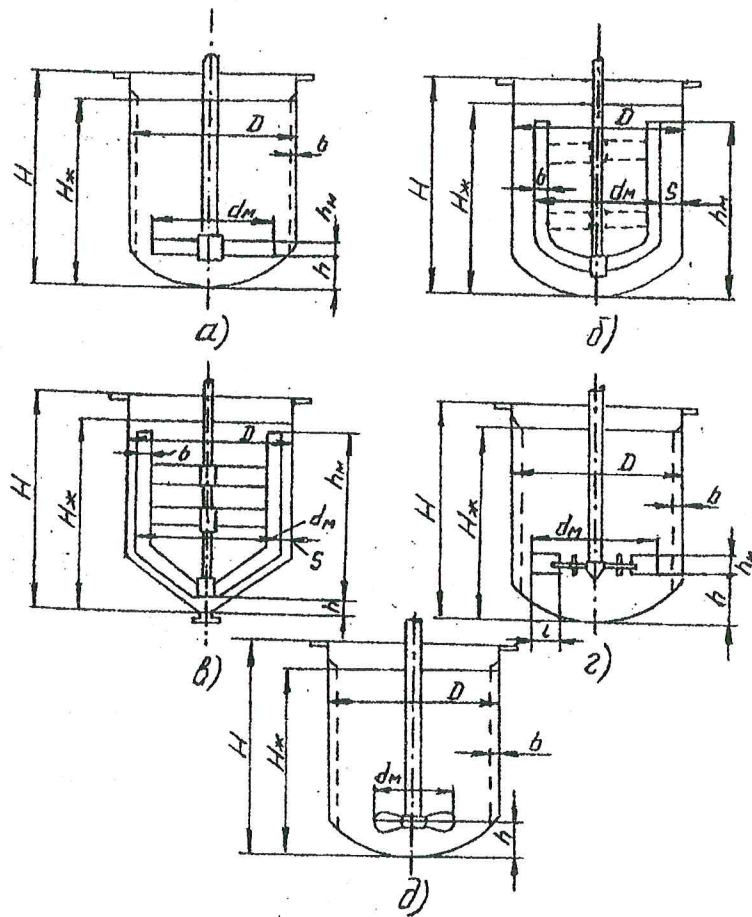


Рис. 6

а) лопастная ; б) якорная ; в) рамная ;
г) турбинная ; д) трёхлопастная (пропеллерная)

Таблица 17

Основные параметры и условия работы перемешивающих устройств

Тип мешалки	Основные параметры	Условия работы
Лопастная	$D/d_M = 1,4 \div 1,7$ $h_M/d_M = 0,1$ $h/d_M = 0,4 \div 1,0$ $b/d_M = 0,1$ $\xi_M = 0,86$	Перемешивание взаимнорастворимых жидкостей, взвешивание твердых и волокнистых частиц в жидкости, взмучивание легких осадков, медленное растворение кристаллических и волокнистых веществ; $w = 1,5 \div 5$ м/с при $\mu \leq 0,5$ Па·с; $w = 1,5 \div 3,2$ м/с при $\mu = 0,5 \div 3$ Па·с
Якорная	$D/d_M = 1,05 \div 1,30$ $h_M/d_M = 0,8 \div 1$ $S/d_M = 0,01 \div 0,06$ $\xi_M = 1,2$	Перемешивание вязких и тяжелых жидкостей, интенсификация теплообменных процессов, предотвращение выпадения осадка на стенках и днище, суспендирование в вязких средах: $w = 0,5 \div 4$ м/с при $\mu \leq 10$ Па·с
Рамная	$D/d_M = 1,05 \div 1,30$ $b/d_M = 0,07$ $h_M/d_M = 0,9 \div 1,0$ $h/d_M = 0,01 \div 0,06$ $S/d_M = 0,01 \div 0,06$ $\xi_M = 1,28$	
Турбинная	$D/d_M = 3 \div 4$ $b/d_M = 0,1$ $h_M/d_M = 0,2$ $h/d_M = 0,4 \div 1,0$ $l/d_M = 0,25$ $\xi_M = 8,4$	Взвешивание и растворение твердых кристаллических частиц (с массовым содержанием до 80%) и волокнистых (с массовым содержанием до 5%); эмульгирование жидкостей с большой разностью плотностей, диспергирование газа в жидкости; перемешивание ньютоновских жидкостей $w = 2,5 \div 10$ м/с при $\mu \leq 10$ Па·с $w = 2,5 \div 7$ м/с при $\mu = 10 \div 40$ Па·с
Трёхлопастная (пропеллерная)	$D/d_M = 3 \div 4$ $b/d_M = 0,1$ $h/d_M = 0,4 \div 1,0$ $\xi_M = 0,56$	Взвешивание твердых (с массовым содержанием до 50%) и волокнистых частиц; взмучивание шламов; эмульгирование жидкостей; интенсификация теплообмена; $w = 3,8 \div 16$ м/с при $\mu \leq 0,1$ Па·с; $w = 3,8 \div 10$ м/с при $\mu = 0,1 \div 4$ Па·с

Таблица 18

Диаметры стандартизованных мешалок

Тип мешалки	Диаметр мешалки d_m , мм
Лопастная; трехлопастная; турбинная	80;100;125;160;180;200;220;250;280;320;360;400;450;500;560;630;710;800;900;1000;1120;1250;1400;1600;1800;2000;2240;2500
Якорная; рамная	200;220;250;280;300;320;360;400;450;500;530;580;600;630;710;750;800;850;900;950;1000;1060;1120;1180;1250;1320;1400;1500;1600;1700;1800;1900;2000;2120;2240;2360;2500;2650;2800;3000;3150;3350;3550;3750;4000;4250;4500;4500;4750

Таблица 19

Коэффициент запаса мощности

N, кВт	<1	1-5	5-50	>50
β	2-1,5	1,5-1,2	1,2-1,15	1,1

Выбор привода мешалки. Вертикальный привод механической мешалки (рис.7) принимают по табл. 20, 21 или [5]. Привод выбирают по числу оборотов мешалки n и по рассчитанной мощности привода $N_{пр}$.

Выбор электродвигателя к приводу. Электродвигатель к приводу мешалки выбирают по мощности N , указанной в принятом приводе, по табл. 20.

Пример условного обозначения привода: Привод ВО-II 8/4,5-25, где ВО – вид редуктора (см. рис.7); типоразмер привода –II; мощность привода – 8 кВт; частота вращения выходного вала редуктора – $4,5 \text{ с}^{-1}$; частота вращения вала электродвигателя – 25 с^{-1} .

В табл.21 приведены типоразмеры приводов.

Система трубопроводов и воздухопроводов

Трубопроводы фильтровальной установки: подача суспензии, фильтрата, промывной жидкости, охлаждающей воды, греющего пара и конденсата. Расчет диаметров трубопроводов и воздухопроводов приведен в методиках [6,7], а объемный расход суспензии, фильтрата, воды, пара и воздуха приведен в табл. 22.

Таблица 20

Приводы вертикальных перемешивающих устройств

$n, \text{с}^{-1}$	Основные параметры приводов
6,6(6,3)	ВО-I 4/6,6-25; ВО-I 4,5/6,6-25; ВО-II 7/6,6-25; ВО-II 10/6,3-25; ВО-II 11/6,3-25; ВО-II 14/6,3-25; ВО-III 20/6,3-25; ВО-III 28/6,3-25; ВО-IV 32/6,3-25; ВО-IV 40/6,3-25
4,5	ВО-I 1,7/4,5-25; ВО-I 2,8/4,5-25; ВО-I 3/4,5-16,6; ВО-II 8/4,5-25; ВО-II 10/4,5-25; ВО-II 14/4,5-25; ВО-III 20/4,5-25; ВО-IV 25/4,5-25; ВО-V 28/4,5-25; ВО-V 32/4,5-25; ВО-V 40/4,5-25
3,0	ВО-I 1,7/3-16,6; ВО-II 4,5/3-25; ВО-II 6/3-25; ВО-II 7/3-25; ВО-III 8/3-25; ВО-III 15/3-16,6; ВО-IV 20/3-25; ВО-V 25/3-25; ВО-V 28/3-25; ВО-VI 40/3-25
2,0(1,8)	BD-II 2,8/1,8-25; ВО-II 4/2-16,6; ВО-II 6/2-25; ВО-III 6/3-16,6; BD-III 10/1,8-25; BD-IV 14/1,8-25; ВО-IV 15/2-16,6; ВО-V 20/2-16,6; BD-V 28/1,8-25; ВО-VI 32/2-16,6
1,75	BD-III 6/1,75-16,6; BD-III 8/1,75-16,6; BD-IV 11/1,75-16,6; BD-V 20/1,75-16,6; BD-VI 40/1,75-16,6
0,9	BD-I 0,6/0,9-25; BD-I 1/0,9-25
0,8	BD-II 1,7/0,8-25; BD-II 2,8/0,8-25; BD-III 4/0,8-25; BD-III 4,5/0,8-25; BD-IV 7/0,8-25; BD-IV 8/0,8-25; BD-V 10/0,8-25; BD-V 11/0,8-25; BD-V 14/0,8-25; BD-V 20/0,8-25; BD-VI 28/0,8-25; BD-VII 40/0,8-25
0,53	BD-II 0,6/0,53-25; BD-II 1/0,53-25; BD-III 3/0,53-16,6; BD-III 2,8/0,53-25; BD-III 4/0,53-25; BD-IV 4,5/0,53-25; BD-IV 6/0,53-16,6; BD-V 7/0,53-25; BD-V 8/0,53-25; BD-VI 14/0,53-25; BD-VI 15/0,53-25; BD-VII 25/0,53-25; BD-VII 28/0,53-25
0,4	BD-II 0,6/0,4-25; BD-II 1/0,4-25
0,35	BD-III 1,7/0,35-25; BD-IV 2,8/0,35-25; BD-IV 3/0,35-25; BD-V 4/0,35-25; BD-V 4,5/0,35-25; BD-V 6/0,35-16,6; BD-V 7/0,35-25; BD-VI 8/0,35-25; BD-VI 10/0,35-25; BD-VI 11/0,35-16,6; BD-VI 14/0,35-25; BD-VII 20/0,35-25; BD-VII 28/0,35-25
0,2	BD-III 1/0,22-25; BD-IV 1,7/0,22-25; BD-V 28/0,22-25; BD-V 3/0,22-16,6; BD-V 4,5/0,22-25; BD-VI 6/0,22-16,6; BD-VII 15/0,22-16,6
Обозначения. n - частота вращения мешалки; ВО и BD - виды вертикальных цилиндрических редукторов; (I-VII) - типоразмеры привода	

Привод вертикальных
перемешивающих устройств

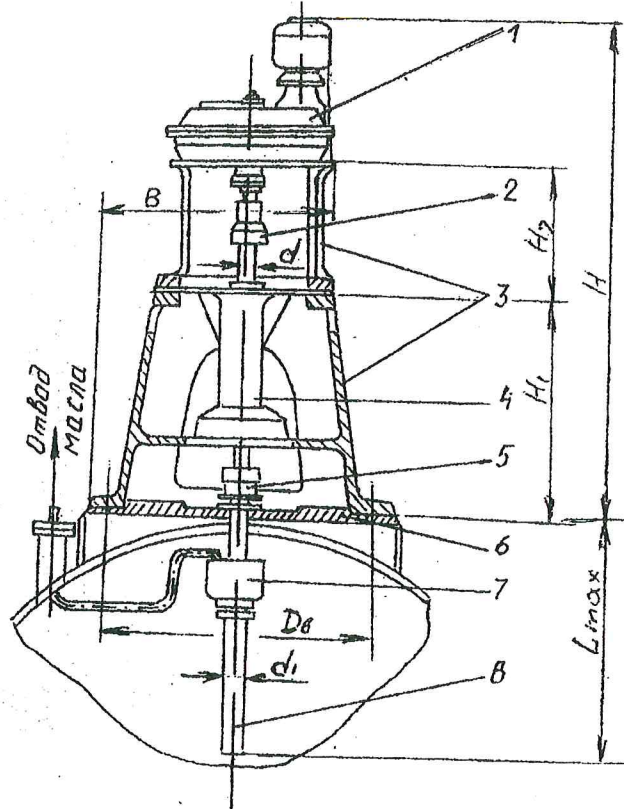


Рис. 7

1-редуктор вида ВД или ВД; 2-муфта зубчатая; 3-стойка (с надеткой); 4-стакан; 5-сальник или уплотнение торцевое, или затвор гидравлический; 6-опора; 7-маслоуловитель; 8-вал перемешивающего устройства

Таблица 21

Габаритные размеры приводов вертикальных перемешивающих устройств (см. рис. 7)

Габарит	Размеры, мм							
	$D=d_1$	B	H	D_b	d_1	H	L_{max}	H_1
I	30	380	1425	280	50	350	2400	500
II	40	405	1605					
III	50	705	2080	610	65	470	2700	650
IV	65	705	2170					
V	80	850						
VI	95	940		720	80	470	3000	750
VII	110	1080						

Стоимость трубопроводов составляет значительную часть общей стоимости оборудования фильтровальной установки, поэтому правильно-му выбору диаметров трубопроводов необходимо уделять особое внимание. При проектировании трубопроводов следует сокращать количество фланцевых соединений и арматуры.

Таблица 22

Объемные расходы жидкостей, пара и воздуха

Назначение трубопровода или воздухо-вода	Объемный расход, $V, \text{ м}^3/\text{с}$
Подача суспензии	V_c см. формулу (12)
Подача фильтрата	V_ϕ см. формулу (13)
Подача промывной жидкости	V_{mp} см. формулу (16)
Подача греющего пара на подогреватель суспензии, фильтрата или промывной жидкости	$V_n = D_n / \rho_n$; ρ_n см. табл. LVII [4]; D_n - расход пара, см. расчет подогревателя [8]
Подача охлаждающей воды на холодильник	$V_{\text{вод}} = W / \rho_{\text{вод}}$; W - расход воды, см. расчет холодильника [8]
Подача воздуха к вакуум-наосу	V_v см. формулу (35)
Подача сжатого воздуха на отдувку осадка и регенерацию	V_o см. формулу (37)
Подача паровоздушной смеси на конденсатор	$V_{\text{пв}}$ см. формулу (39)
Подача воды на конденсатор	W_k см. формулу (42)

Насосы

Порядок расчета и выбора насосов приведен в методиках [6,7].

Необходимо рассчитать насосы : для подачи суспензии на фильтр, фильтрата в емкость и промывной жидкости на фильтр.

Теплообменники

В соответствии с заданием подогреватели, холодильники и конденсаторы рассчитать, используя методику [8].

Технико-экономические показатели

Расчет технико-экономических показателей включает удельные расходы пара, охлаждающей воды, электроэнергии и сжатого воздуха на 1 кг продукта (фильтрата или осадка).

Удельные расходы, кг/кг :

$$\text{греющего пара} \quad d = \sum D_i / \bar{G}_\phi \quad (52)$$

$$\text{охлаждающей воды} \quad W_{уд} = \sum W_i / \bar{G}_\phi \quad (53)$$

$$\text{электроэнергии} \quad N_{уд} = \sum N_i / \bar{G}_\phi \quad (54)$$

$$\text{сжатого воздуха, м}^3/\text{кг} \quad v = V_o / \bar{G}_\phi \quad (55)$$

ПРИМЕРЫ РАСЧЕТОВ ВАКУУМ-ФИЛЬТРА И ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Расчет барабанного вакуум-фильтра

Расчитать и подобрать по каталогу барабанный вакуум-фильтр с наружной фильтрующей поверхностью.

Параметры суспензии

Расход $\bar{G}_c = 16,67 \text{ кг/с}$

Концентрация $x_c = 0,2 \text{ масс. доли}$

Температура $t_{сж} = 60^\circ\text{C}$.

Параметры фильтрата

Фильтрат - это вода

Температура $t_{ср} = 55^\circ\text{C}$

Плотность $\rho_{ср} = \rho_{\text{H}_2\text{O}} = 985 \text{ кг/м}^3 \text{ табл. IV [4]}$

Динамическая вязкость $\mu_\phi = \mu_{\text{H}_2\text{O}} = 0,506 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с табл. VI [4]}$.

Параметры осадка

Осадок мелкозернистый рассыпчатый, несжимаемый.

Порозность $\epsilon = 0,3$

Удельное сопротивление $\gamma_{ос} = 7 \cdot 10^{13} \text{ м}^{-2}$.

Параметры промывной воды

Удельный расход $L = 1,8 \text{ м}^3/\text{м}^3 \text{ осадка}$

Температура $t_{пр} = 60^\circ\text{C}$

Плотность $\rho_{пр} = \rho_{\text{H}_2\text{O}} = 983 \text{ кг/м}^3 \text{ табл. IV [4]}$

Динамическая вязкость $\mu_{пр} = \mu_{\text{H}_2\text{O}} = 0,469 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с табл. VI [4]}$.

Параметры твердой фазы

Плотность $\rho_m = 2600 \text{ кг/м}^3$.

Условия работы фильтра

Фильтр непрерывнодействующий

Сопротивление фильтрующей перегородки $R_{фл} = 6 \cdot 10^9 \text{ м}^{-1}$.

Движущая сила процесса вакуум-фильтрации

В начале расчета принимаем $\Delta P = P_{разр}$. Величина вакуума (разрежения) $P_{разр}$ расходуется на преодоление сопротивления слоя осадка и фильтрующей перегородки, упругости паров при горячем фильтровании и подсосов воздуха. Так, *сопротивление несжимаемых осадков* по опытным данным равно:

зернистый $0,007-0,015 \text{ МПа}$

мелкозернистый $0,035-0,050 \text{ МПа}$

микрозернистый $0,085-0,092 \text{ МПа}$.

Упругости паров воды по табл. LVI [4]:

55° $0,016 \text{ МПа}$

60° $0,02 \text{ МПа}$

70° $0,03 \text{ МПа}$

80° $0,048 \text{ МПа}$

90° $0,071 \text{ МПа}$.

Принимаем вакуум для преодоления сопротивления мелкозернистого осадка $0,04 \text{ МПа}$, упругость паров при $t_c = 60^\circ\text{C}$ - $0,02 \text{ МПа}$ и подсосов воздуха - $0,01 \text{ МПа}$. Тогда движущая сила процесса фильтрования будет равна сумме: $\Delta P = 0,04 + 0,02 + 0,01 = 0,07 \text{ МПа}$.

После выбора фильтра по каталогу проводят уточненный расчет ΔP .

Материальный баланс

Влажность осадка: $\omega_{ос} = \epsilon \rho_\phi / [\epsilon \rho_\phi + (1 - \epsilon) \rho_m] = 0,3 \cdot 985 / [0,3 \cdot 985 + (1 - 0,3) \cdot 2600] = 0,14$.

Концентрация осадка: $x_{ос} = 1 - \omega_{ос} = 1 - 0,14 = 0,86$.

Плотность фаз :

суспензии $\rho_c = 1 / [x_c / \rho_m + (1 - x_c) / \rho_\phi] = 1 / [0,2 / 2600 + (1 - 0,2) / 985] = 1125 \text{ кг/м}^3$;
влажного осадка $\rho_{ос} = 1 / [x_{ос} / \rho_m + (1 - x_{ос}) / \rho_\phi] = 1 / [0,86 / 2600 + (1 - 0,86) \cdot 985] = 2115 \text{ кг/м}^3$.

Количество твердого вещества, содержащегося в суспензии:

$$\bar{G}_m = \bar{G}_c x_c = 60 \cdot 10^3 \cdot 0,2 / 3600 = 3,33 \text{ кг/с}.$$

Количество осадка: $\bar{G}_{ос} = \bar{G}_m / x_{ос} = 3,33 / 0,86 = 3,87 \text{ кг/с}$.

Количество фильтрата: $\bar{G}_\phi = \bar{G}_c - \bar{G}_{ос} = 16,67 - 3,87 = 12,8 \text{ кг/с}$.

Количество твердой фазы в осадке: $\bar{G}_m = \bar{G}_{ос} x_{ос} = 3,87 \cdot 0,86 = 3,33 \text{ кг/с}$.

Количество воды в суспензии: $\bar{G}_{\text{H}_2\text{O}} = \bar{G}_c - \bar{G}_m = 16,67 - 3,33 = 13,34 \text{ кг/с}$.

Количество воды в осадке: $\bar{G}^{oc}_{H_2O} = \bar{G}_{oc} - \bar{G}_m = 3,87 - 3,33 = 0,54$ кг/с.

Составляем таблицу материального баланса (табл. 23).

Объемная производительность по фазам:

для суспензии $V_c = \bar{G}_c / \rho_c = 16,67 / 1125 = 0,0148$ м³/с;

для фильтрата $V_f = \bar{G}_f / \rho_f = 12,8 / 985 = 0,013$ м³/с;

для влажного осадка $V_{oc} = \bar{G}_{oc} / \rho_{oc} = 3,87 / 2115 = 0,0018$ м³/с;

для твердой фазы $V_m = \bar{G}_m / \rho_m = 3,33 / 2600 = 1,28 \cdot 10^{-3}$ м³/с.

Таблица 23

Материальный баланс процесса фильтрования

Приход, кг/с		Расход, кг/с	
С суспензией	$\bar{G}_c = 16,67$	С осадком	$\bar{G}_{oc} = 3,87$
в том числе:		в том числе:	
твердая фаза	$\bar{G}_m = 3,33$	твердая фаза	$\bar{G}_m = 3,33$
жидкая фаза	$\bar{G}^{oc}_{H_2O} = 0,54$	жидкая фаза	$\bar{G}^{oc}_{H_2O} = 0,54$
		С фильтратом	$\bar{G}_f = 12,8$
Всего	16,67	Всего	16,67

Объемный и массовый расход промывной воды:

$V_{np} = L V_{oc} = 1,8 \cdot 0,0018 = 3,24 \cdot 10^{-3}$ м³/с;

$\bar{G}_{np} = V_{np} \cdot \rho_{H_2O} = 3,25 \cdot 10^{-3} \cdot 983 = 3,185$ кг/с.

Результаты расчетов материального баланса заносим в табл. 24.

Таблица 24

Результаты расчетов материального баланса

Наименование	Концентрация, х, масс. доли		Массовая производительность, \bar{G} , кг/с		Объемная производительность, $V \cdot 10^3$, м ³ /с	
	x_c	x_f	\bar{G}_c	\bar{G}_f	V_c	V_f
Суспензия	0,2		16,67		14,8	
Фильтрат	0		12,8		13,0	
Осадок	0,86		3,87		1,8	
Твердая фаза	1		3,33		1,28	
Промывная вода		0		3,185		3,24

Расчет поверхности фильтрования

Толщину слоя осадка на фильтре принимаем по табл. 6 для зернистого рассыпчатого осадка: $h_{oc} = 8 \cdot 10^{-3}$ м.

Соотношение объемов осадка и фильтрата:

$U = V_{oc} / V_f = 0,0018 / 0,013 = 0,138$ м³/м³.

Удельная производительность фильтра:

$q = h_{oc} / U = 8 \cdot 10^{-3} / 0,138 = 0,058$ м³/м².

Продолжительность фильтрования при $\Delta P = \text{const}$:

$$\tau = q^2 U \mu \phi_{oc} / 2 \Delta P + q \mu \phi_{R_{fm}} / \Delta P = [(0,058^2 \cdot 0,138 \cdot 0,506 \cdot 10^{-3} \cdot 7 \cdot 10^{13}) / 2 \cdot 0,07 \cdot 10^6 + (0,058 \cdot 0,506 \cdot 10^{-3} \cdot 6 \cdot 10^9) / 0,07 \cdot 10^6] = 120 \text{ с.}$$

Продолжительность промывки несжимаемого осадка:

$$\tau_{np} = L U q \mu_{np} (\rho_{oc} U q + R_{fm}) / \Delta P = [1,8 \cdot 0,138 \cdot 0,058 \cdot 0,469 \cdot 10^{-3} \cdot (7 \cdot 10^{13} \cdot 0,138 \cdot 0,058 + 6 \cdot 10^9)] / 0,07 \cdot 10^6 = 55 \text{ с.}$$

Продолжительность полного цикла фильтрования, принимая долю поверхности фильтра, предназначенной для фильтрования за 0,4; для промывки осадка - 0,3:

$$T = (\tau + \tau_{np}) / 0,7 = (120 + 55) / 0,7 = 250 \text{ с.}$$

Поверхность фильтрования: $F = V_f T / q = 0,013 \cdot 250 / 0,058 = 56$ м².

Выбор барабанного вакуум-фильтра. По рассчитанной поверхности фильтрования $F = 56$ м² и каталогу [3] выбираем 2 барабанных вакуум-фильтра с наружной фильтрующей поверхностью 30 м² типа БОН-30-2,4-1К. Выписываем параметры фильтра (см. табл. 2, 3) Привести схемы распределения технологических зон (см. рис. 2) и фильтровальной установки с групповой компоновкой фильтров (рис.8).

Техническая характеристика фильтра типа БОН-30-2,4-1К

Поверхность фильтрования	30 м ²
Размеры барабаны, мм	
диаметр	2400
длина	4120
Угол погружения барабана в суспензию	130°
Углы зон:	
фильтрования	123,5°
I просушки	65,5°
промывки и II просушки	103°
отдувки	20,5°
регенерации	25,5°
Вакуум	0,085 МПа.
Частота вращения барабана	0,0016-0,016 с ⁻¹
Число двойных качаний мешалки	18 кач/мин
Мощность электродвигателей привода, кВт	
барабана	2,36
мешалки	3,0
Габаритные размеры, мм	6200×3200×3300
Масса фильтра с приводами	7250 кг.

Схема фильтровальной установки с групповой компановкой фильтров

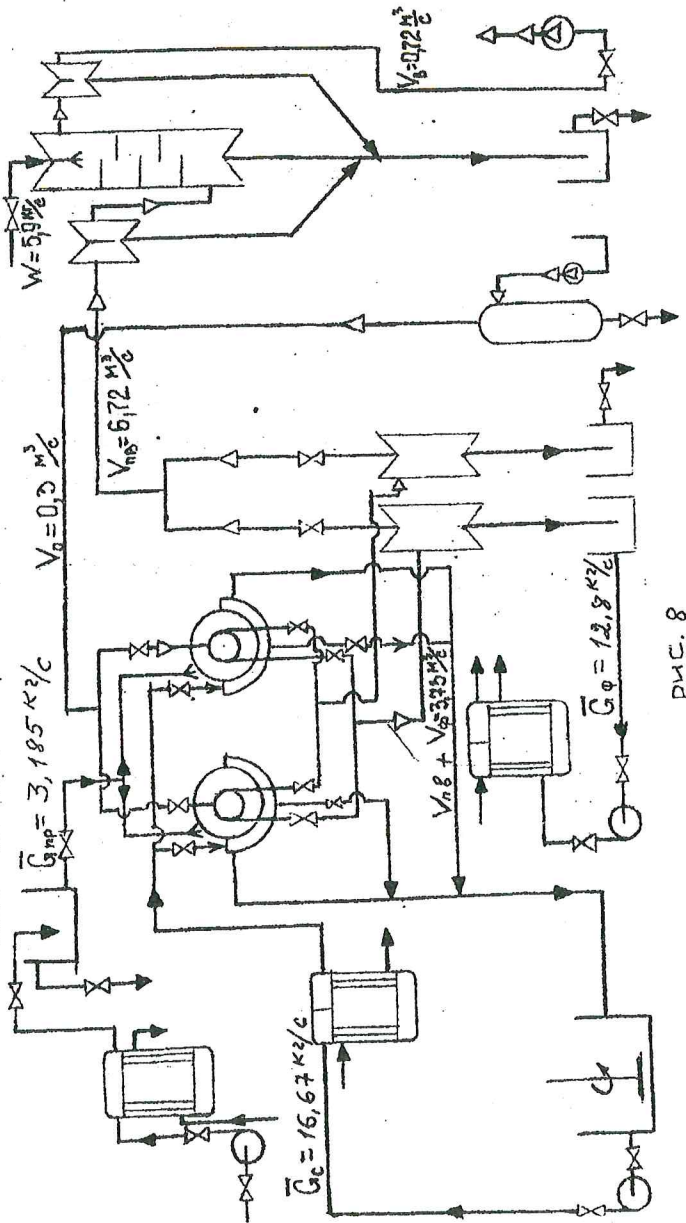


Рис. 8

Стандартные диаметры штуцеров фильтра
БОИ 30-2,4-1К (табл.2), мм:

Подача суспензии и перелив из корыта	150
Отвод фильтрата	150
Отвод промывного фильтрата	150
Подача воздуха на отдувку и на регенерацию	65
Подача воды на промывку	60
Отсос паров и газов	150
Слив суспензии из корыта	150

Уточняем движущую силу процесса фильтрации:

$$\Delta P = P_{разр} + h \rho g = 0,7 \cdot 10^3 + 0,84 \cdot 1125 \cdot 9,81 = 0,79 \cdot 10^3 \text{ Па} = 0,079 \text{ МПа,}$$

где $h = 0,7D/2 = 0,7 \cdot 2,4/2 = 0,84 \text{ м}$; D- диаметр барабана, м.

Пересчет фильтра не производим, так как фильтр рассчитан и выбран с запасом. Привести схему фильтровальной установки.

Расчет и выбор вспомогательного оборудования

Вакуум - насос. Производительность вакуум - насоса:

$V_v = v_v F = 0,012 \cdot 60 = 0,72 \text{ м}^3/\text{с}$, при удельном расходе воздуха $v_v = 0,012 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$, принятому по табл. 7 и по $G_v/f = 3,33 \cdot 3600/60 = 199,8 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$.

Выбор вакуум - насоса. По $V_v = 0,72 \text{ м}^3/\text{с}$ и по табл. 8 выбираем вакуум - насос типа ВВН 2-50, создающего вакуум 0,08 МПа, с производительностью $V_v = 0,75 \text{ м}^3/\text{с}$.

Мощность электродвигателя вакуум - насоса:

$N_B = N_{уд} V_v = 96 \cdot 0,72 = 69 \text{ кВт}$ при удельной мощности $N_{уд} = 96 \text{ кВт} \cdot \text{с}/\text{м}^3$, принятой по табл. 9 и по $V_v = 0,72 \text{ м}^3/\text{с}$.

Принимаем электродвигатель по табл. 9 типа А02-91-2, $N = 75 \text{ кВт}$, $\eta_{дв} = 0,89$.

Воздуходувка. Производительность воздуходувки:

$V_0 = v_0 F = 0,005 \cdot 60 = 0,3 \text{ м}^3/\text{с}$ при удельном расходе сжатого воздуха $v_0 = 0,005 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$, принятому по табл. 10. Тип воздуходувки выбираем по производительности $V_0 = 0,3 \text{ м}^3/\text{с}$ и по табл. 8. Принимаем воздуходувку типа ВК-25 производительностью $V_0 = 0,417 \text{ м}^3/\text{с}$.

Мощность электродвигателя воздуходувки:

$$N_0 = N_{уд}^0 \cdot V_0 = 108 \cdot 0,3 = 32,4 \text{ кВт,}$$

где $N_{уд}^0 = 108 \text{ (кВт} \cdot \text{с)}/\text{м}^3$ по табл. 8 и по $V_0 = 0,3 \text{ м}^3/\text{с}$.

Выбираем электродвигатель по $N_0 = 32,4 \text{ кВт}$ и по табл. 9 типа А02-81-2 $N_0 = 40 \text{ кВт}$, $\eta_{дв} = 0,89$.

Ресиверы и ловушки

Ресивер для фильтрата

Производительность по паровоздушной смеси :

$$V_{\text{пв}}=V_{\text{в}}+V_{\text{п}}=0,72+3=3,72 \text{ м}^3/\text{с},$$

где $V_{\text{п}}=v_{\text{п}}F=0,05 \cdot 60=3 \text{ м}^3/\text{с}$ при горячем фильтровании, принимая $v_{\text{п}}=0,05 \text{ м}^2/(\text{м}^2\text{с})$ по табл. 11.

Диаметр ресивера:

$D=[\beta(V_{\text{в}}+V_{\text{п}})/0,785w_{\text{в}}]^{0,5}=(1,25 \cdot 3,72/0,785 \cdot 3)^{0,5}=1,4 \text{ м}$, где $\beta=1,25$; $w_{\text{в}}=3$ для горячего фильтрования. По $D=1,4 \text{ м}$ и по табл. 12 выбираем ресивер ближайший большего объема $V=4 \text{ м}^3$; $D=1,4 \text{ м}$; $h=1,1 \text{ м}$. Привести эскиз ресивера в соответствии с рис.3, указать основные размеры (см. табл. 12 и 13).

Ресивер для промывного фильтра

Производительность по паровоздушной смеси:

$$V_{\text{пв}}=V_{\text{в}}+V_{\text{п}}=0,72+3=3,72 \text{ м}^3/\text{с}, \text{ т.к. } V_{\text{п}}=v_{\text{п}}F=0,05 \cdot 60=3 \text{ м}^3/\text{с},$$

где $v_{\text{п}}=0,05 \text{ м}^2/(\text{м}^2\text{с})$ при горячей промывке осадка ($t=60^\circ\text{C}$) по табл. 11.

Ресивер для промывного фильтра принимаем тех же размеров, что и для зоны фильтрования: $V=4 \text{ м}^3$, $D=1,4 \text{ м}$; $h=1,1 \text{ м}$; 1 шт.

Ресивер - водоотделитель для воздухоудвки

$$\text{Диаметр ресивера: } D=(\beta V_0 / 0,785w_{\text{в}})^{0,5}=(1,25 \cdot 0,3/0,785 \cdot 1)^{0,5}=0,69 \text{ м}.$$

Принимаем: $w_{\text{в}}=1 \text{ м/с}$ для холодного воздуха; $\beta=1,25$. Выбираем ресивер по табл. 12, 13 и по $D=0,69 \text{ м}$. **Принимаем ресивер - водоотделитель** $V_0=0,4 \text{ м}^3$, $D=0,7 \text{ м}$, $h=0,55 \text{ м}$, 1 шт.

Ловушку перед барометрическим конденсатором принимаем по рассчитанному диаметру ресивера $D=1,4 \text{ м}$ и по табл. 12 ближайшего меньшего размера по сравнению с выбранным ресивером или такого же размера, если к фильтру устанавливают по два ресивера. **Принимаем ловушку** $V=2,5 \text{ м}^3$, $D=1,2 \text{ м}$, $h=0,9 \text{ м}$.

Ловушка после конденсатора не рассчитывается, т.к. она входит в комплект последнего.

Барометрический конденсатор смешения

Параметры пара

Температура	$t_{\text{п}}=60^\circ\text{C}$
Абсолютное давление	$P_{\text{а}}=0,2 \cdot 10^5 \text{ Па}$ табл. LV11 [4]
Плотность	$\rho_{\text{п}}=0,130 \text{ кг/м}^3$ табл. LV1 [4]
Удельная теплота парообразования	$r=2357 \text{ кДж/кг}$ табл. LV1 [4].

Параметры охлаждающей воды

Температура	
на входе	$t_1=20^\circ\text{C}$ по заданию
на выходе	$t_2=t_{\text{п}}-3=60-3=57^\circ\text{C}$
Теплоемкость при $t_{\text{ср}}=(t_1+t_2)/2$	$C_{\text{н,о}}=4,19 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{K)}$ рис. X1 [4]
Плотность по $t_{\text{ср}}=38,5^\circ\text{C}$	$\rho_{\text{н,о}}=993 \text{ кг/м}^3$ табл. 1V [4].

В барометрический конденсатор поступает паровоздушная смесь. Объем отсасываемого воздуха из ресиверов равен $V_{\text{в}}=0,72 \text{ м}^3/\text{с}$. Ресиверы фильтра и промывного фильтра работают периодически, а испарение паров воды из фильтратов происходит непрерывно, поэтому объем паров равен сумме $V_{\text{п}}=3+3=6 \text{ м}^3/\text{с}$.

Производительность по паровоздушной смеси:

$$V_{\text{пв}}=V_{\text{в}}+2V_{\text{п}}=0,72+2 \cdot 3=6,72 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Конденсатор выбираем по объему паровоздушной смеси $V_{\text{пв}}=6,72 \text{ м}^3/\text{с}$ и по табл. 14. **Принимаем конденсатор** КБ-35 $V_{\text{пв}}=9,7 \text{ м}^3/\text{с}$.

Расход охлаждающей воды на конденсацию пара:

$$W_{\text{к}}=V_{\text{п}} \cdot \rho_{\text{п}} r / C_{\text{н,о}}(t_2-t_1)=6 \cdot 0,13 \cdot 2357 / 4,19(57-20)=11,85 \text{ кг/с}.$$

Диаметр конденсатора:

$$D_{\text{к}}=(V_{\text{пв}}/0,785w_{\text{к}})^{0,5}=(6,72/0,785 \cdot 13,5)^{0,5}=0,796 \text{ м}$$
 при $w_{\text{к}}=13,5 \text{ м/с}$.

Принимаем стандартный $D_{\text{к}}=0,8 \text{ м}$ по табл. 14.

Количество воды и конденсата, стекающего по барометрической трубе в емкость - гидрозатвор:

$$W_{\text{к}}=W_{\text{к}}+V_{\text{п}}\rho_{\text{п}}=11,85+0,6 \cdot 0,13=11,93 \text{ кг/с}, \text{ а объемный расход воды}$$

$$V_{\text{к}}=W_{\text{к}}/\rho_{\text{н,о}}=11,93/993=12 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}.$$

Диаметр барометрической трубы:

$$d_3=(V_{\text{к}}/0,785w_{\text{н,о}})^{0,5}=(12 \cdot 10^{-3}/0,785 \cdot 0,7)^{0,5}=0,148 \text{ м}, \text{ где скорость воды в трубе } w_{\text{н,о}}=0,7 \text{ м/с}.$$

Принимаем диаметр барометрической трубы $\varnothing 159 \times 4,5 \text{ мм}$ по табл. 8 [6].

Высота барометрической трубы:

$$H_{\text{тр}}=P_{\text{разр}}/g\rho_{\text{н,о}}+0,7=0,7 \cdot 10^6/9,8 \cdot 993+0,7=7,89 \text{ м}. \text{ Принимаем } H_{\text{тр}}=8 \text{ м}.$$

Высоту барометрических труб при отводе фильтра и промывного фильтра из ресиверов принимаем также $H_{\text{тр}}=8 \text{ м}$.

Привести рисунок конденсатора, указать размеры (рис. 4).

Сравнение результатов расчетов вспомогательного оборудования с рекомендуемой комплектацией вакуум - фильтров ресиверами, ловушками, конденсаторами, вакуум - насосами и воздухоудвками приведены в табл.25.

Емкости. Расчет и выбор емкостей приведены в табл. 26

Механическая мешалка

Параметры суспензии

Суспензия - это вода со взвешенными твердыми частицами.

Концентрация суспензии $\bar{x}_{\text{с}}=0,2 \text{ масс. доли}$

Температура $t_{\text{сн}}=30^\circ\text{C}$

Динамическая вязкость воды $\mu_{\text{н,о}}=0,8 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$ табл. V1 [4].

Выбор типа мешалки проводим по условиям ее работы по табл. 17 с учетом концентрации и вязкости суспензии.

Таблица 25

Сравнение результатов расчетов с рекомендуемой комплектацией оборудования

Наименование	V, м ³	n, шт.	Наименование	тип	n, шт.
Ресивер:			Конденсатор:		
по расчету	4	2	по расчету	КБ-5	1
по табл.10 [3]	4	2	по табл.10 [3]	КБ-35	1
Ловушка:			Вакуум-насос:		
по расчету	2,5	1	по расчету	ВВН2-50	1
по табл.10 [3]	2,0	1	по табл.10 [3]	ВВН1-50	1
			Воздуходувка:		
			по расчету	ВК-25	1
			по табл.10 [3]	ВК-25	1

Динамическая вязкость суспензии при x_c до 0,3 масс. доли:
 $\mu_c = 0,59 \mu_{нч} / (0,77 - \varphi)^2 = 0,59 \cdot 0,8 \cdot 10^{-3} / (0,77 - 0,086)^2 = 1,01 \cdot 10^{-3}$ Па·с при
 объемной доле твердой фазы в суспензии $\varphi = V_f / V_c = 0,00128 / 0,0148 = 0,086$.

При $x_c < 0,1$ масс. доли $\mu_c = \mu_{нч} (1 + 2,5\varphi)$.

Принимаем трехлопастную пропеллерную мешалку, основные параметры которой:

$D/d_m = 3-4$; $h/d_m = 0,4-1,0$; $b/d_m = 0,1$ в соответствии с рис. 6 и табл. 17.

Диаметр мешалки:

Емкость суспензии $V = 8$ м³; $D_s = 2,2$ (см. табл. 26).

Диаметр мешалки из соотношения $D/d_m = D_s/3 = 2,2/3 = 0,73$ м.

Выбираем стандартный диаметр мешалки по табл. 18: $d_m = 0,71$ м, тогда $D/d_m = 2,2/0,71 = 3,1$, что укладывается в пределы $D/d_m = 3-4$.

Число оборотов мешалки:

$n = w / \pi d_m = 6,7 / 3,14 \cdot 0,71 = 3$ с⁻¹ при окружной скорости мешалки $w = 6,7$ м/с по табл. 17 и по $\mu_c = 1,01 \cdot 10^{-3}$ Па·с.

Режим перемешивания:

$Re_n = \rho_c n d_m^2 / \mu_c = 1125 \cdot 3 \cdot 0,71^2 / 1,01 \cdot 10^{-3} = 1,7 \cdot 10^6$.

Критерий мощности определяем по зависимости $K_N = f(Re_n)$ по рис. V11 [4]. Для трехлопастной пропеллерной мешалки при $D/d_m = 3,1$; $b/d_m = 0,1$ по кривой № 15 по $Re = 1,7 \cdot 10^6$: $K_N = 0,9$.

Мощность, потребляемая мешалкой:

$N = K_{Np} \rho_c n^3 d_m^5 = 0,9 \cdot 1125 \cdot 3^3 \cdot 0,71^5 = 4921$ Вт.

Мощность привода мешалки:

$N_{np} = \beta K_N K_{\Sigma} K_{\eta} N / \eta = 1,2 \cdot 1 \cdot 1,02 \cdot 1 \cdot 4,92 / 0,8 = 7,53$ кВт,

где $\beta = 1,2$ по табл. 19, $K_N = 1$ для емкости с перегородками (перегородки предотвращают образование воронки вокруг вала мешалки и увеличивают

турбулентность жидкости); $K_{\eta} = (H/D_s)^{0,5} = (2,29/2,2)^{0,5} = 1,02$ при $H = 2,29$ м; $D_s = 2,2$ м по табл. 26 $\Sigma K_i = 1$; $\eta = 0,8$.

Вертикальный привод пропеллерной мешалки выбираем по $n = 3$ с⁻¹, $N_{np} = 7,53$ кВт и по табл. 20, 21.

Принимаем вертикальный привод типа ВО-III 8/3-25, $N_{np} = 8$ кВт, $n = 3$ с⁻¹, $n_{дв} = 25$ с⁻¹ число оборотов электродвигателя.

Принимаем электродвигатель по табл. 9, по $n_{дв} = 25$ с⁻¹ и $N_{np} = 8$ кВт, типа АО2-52-4, $N_{дв} = 10$ кВт, $n_{дв} = 25$ с⁻¹. Привести эскиз вертикального привода мешалки в соответствии с рис. 7, указать основные размеры.

Трубопроводы и воздухопроводы

Расчет и выбор диаметров трубопроводов и воздухопроводов приведен в табл. 27. Скорость жидкостей и пара принимают по табл. 7 [6], а воздуха по табл. 9 [6]. Диаметр труб и воздухопроводов рассчитывают по уравнению расхода: $V = 0,785 d^2 w$. Принимают диаметры труб по присоединительным диаметрам штуцеров по табл. 2 (фильтры), по табл. 12, 13 (ресиверы, ловушки) и по табл. 14 (барометрические конденсаторы), а затем из уравнения расхода определяют действительную скорость движения жидкости или воздуха. Стандартные диаметры труб принимают по табл. 8 [6], а диаметры воздухопроводов – по табл. 2 [6].

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ

Удельный расход электроэнергии:

$N_{уд} = \Sigma N_i / G_{\phi} = (2,36 + 3 + 8 + 5,6 + 3,5 + 3 + 40 + 75) / 12,8 = 11$ кДж/кг,

где $N_1 = 2,36$ кВт – привод барабана фильтра; $N_2 = 3,0$ кВт – привод мешалки фильтра; $N_3 = 8,0$ кВт – привод мешалки в емкости суспензии.

Электродвигатели:

$N_4 = 5,6$ кВт – насос подачи суспензии [7];

$N_5 = 3,5$ кВт – насос подачи фильтрата на охлаждение [7];

$N_6 = 3,0$ кВт – насос подачи промывной воды;

$N_7 = 40$ кВт – воздуходувка;

$N_8 = 75$ кВт – вакуум-насос.

Удельный расход сжатого воздуха:

$v = V_{\phi} / G_{\phi} = 0,3 / 12,8 = 0,023$ кг/кг.

Удельный расход греющего пара:

$d_{гр} = \Sigma D / G_{\phi} = (0,95 + 0,18) / 12,8 = 0,09$ кг/кг, 0,95 кг/с – расход пара на подогрев суспензии, 0,18 кг/с – расход пара на подогрев промывной воды.

Удельный расход охлаждающей воды:

$d_{H_2O} = G_w / G_{\phi} = 20 / 12,8 = 1,6$ кг/кг, где $G_w = 20$ кг/с – расход воды на охлаждение фильтрата.

Таблица 26

Расчет и выбор емкостей

Назначение емкости	Расчетный объем емкости	Емкости по ГОСТ 9931-79 и по табл. 15,16	
		Номинальный объем, м ³	L или H, мм
Емкость для суспензии (вертикальная с выпуклым днищем)	$V = V_c \tau / 0,8$ Принимаем $V = 8 \text{ м}^3$. Запас емкости $\tau = 0,8 V / V_c = 0,8 \cdot 8 / (0,0148 \cdot 60) = 7$ мин	8	2200
Емкость - гидрозатвор для фильтра (горизонтальная сварная)	$V = V_{\phi} \tau / 0,8 = 0,013 \cdot 60 \cdot 10 / 0,8 = 9,75 \text{ м}^3$ при $\tau = 10$ мин	10	2200
Емкость - гидрозатвор для промывного фильтра (горизонтальная сварная)	$V = V_{\text{пр}} \tau / 0,8 = 3,24 \cdot 10^{-3} \cdot 30 \cdot 60 / 0,8 = 7,29 \text{ м}^3$ при $\tau = 30$ мин	8	2200
Напорный бак для промывной воды (вертикальный сварной)	$V = V_{\text{пр}} \tau / 0,8 = 3,24 \cdot 10^{-3} \cdot 10 \cdot 60 / 0,8 = 2,43 \text{ м}^3$ при $\tau = 10$ мин	2,5	1400
Емкость - гидрозатвор для конденсатора (вертикальная сварная)	$V = V_{\text{пр}} \tau / 0,8 = 12 \cdot 10^{-3} \cdot 5 \cdot 60 / 0,8 = 2,43 \text{ м}^3$ при $\tau = 5$ мин	5,0	1800

40

Таблица 27

Наименование	Объемный расход, V, м ³ /с	Скорость, w, м/с	Расчет диаметров трубопроводов		
			Диаметр трубопровода, мм	Расчетный	
СУСПЕНЗИЯ					
Подача суспензии в корыто	$V_c = 14,8 \cdot 10^{-3}$	0,8-0,3	$d = (V_c / 0,785 w)^{0,5} = (14,8 \cdot 10^{-3} / 0,785 \cdot 1)^{0,5} = 0,138 \text{ м}$. Принимаем $d = 150 \text{ мм}$ по табл. 2; $w_d = V_c / 0,785 d^2 = 14,8 \cdot 10^{-3} / 0,785 \cdot 0,15^2 = 0,84 \text{ м/с}$	$\text{Ø} 159 \times 4,5$	
Слив и перелив суспензии из корыта	Принимаем без расчета по табл. 2		$d = 150 \text{ мм}$	$\text{Ø} 159 \times 4,5$	
ФИЛЬТРАТ					
Подача смеси (фильтрат, пары и воздух) в ресивер	$V_{\phi} = 13 \cdot 10^{-3}$ $V_{\text{пр}} = 3,72$	20-40 при $P = 0,05 - 0,1 \text{ МПа}$	$d = [(V_{\phi} + V_{\text{пр}}) / 0,785 w]^{0,5} = [(0,013 + 3,72) / 0,785 \cdot 30]^{0,5} = 0,398 \text{ м}$. Принимаем $d = 400 \text{ мм}$ по табл. 12; $w_d = 29,6 \text{ м/с}$	$\text{Ø} 426 \times 13$	
Отвод фильтра из ресивера	$V_{\phi} = 13 \cdot 10^{-3}$	0,5-1,0	$d = (V_{\phi} / 0,785 w)^{0,5} = (13 \cdot 10^{-3} / 0,785 \cdot 1)^{0,5} = 0,128 \text{ м}$. Принимаем $d = 125 \text{ мм}$ по табл. 12; $w_d = 1,06 \text{ м/с}$	$\text{Ø} 133 \times 4$	
Отвод фильтра из емкости гидрозатвора	$V_{\phi} = 13 \cdot 10^{-3}$	0,8-3,0	$d = (V_{\phi} / 0,785 w)^{0,5} = (13 \cdot 10^{-3} / 0,785 \cdot 1,7)^{0,5} = 0,099 \text{ м}$. Принимаем $d = 100 \text{ мм}$; $w_d = 1,65 \text{ м/с}$	$\text{Ø} 108 \times 4$	
ПРОМЫВНАЯ ВОДА					
Подача промывной воды в напорную емкость	$V_{\text{пр}} = 3,24 \cdot 10^{-3}$	0,8-3,0	$d = (V_{\text{пр}} / 0,785 w)^{0,5} = (3,24 \cdot 10^{-3} / 0,785 \cdot 1,2)^{0,5} = 0,058 \text{ м}$. Принимаем $d = 60 \text{ мм}$ по табл. 2; $w_d = 1,15 \text{ м/с}$	$\text{Ø} 64 \times 2$	

41

Наименование	Объемный расход, V , м ³ /с	Скорость, w , м/с	Диаметр трубопровода, мм		По ГОСТ 301-44
			Расчетный	По ГОСТ 301-44	
ПРОМЫВНАЯ ВОДА					
Принимаем без расчета по табл. 2 $d=60$ мм					
Подача промывной воды на фильтр					$\varnothing 64 \times 2$
Подача смеси (промывная вода, пары и воздух) в ресивер	$V_{np}=3,24 \cdot 10^{-3}$ $V_{пв}=3,72$	20-40 при $P=0,05-0,1$ МПа	$d=[(V_{np}+V_{пв})/0,785w]^{0,5} =$ $=[(0,00324+3,72)/0,785 \cdot 30]^{0,5} = 0,398$ м. Принимаем $d=400$ мм по табл. 12; $w_d=29,6$ м/с		$\varnothing 426 \times 13$
Отвод промывного фильтра из ресивера	$V_{np}=3,24 \cdot 10^{-3}$	0,3-1,0	$d=(V_{np}/0,785w)^{0,5} = (3,24 \cdot 10^{-3}/0,785 \cdot 0,3)^{0,5} = 0,177$ м. Принимаем $d=125$ мм по табл. 12; $w_d=0,26$ м/с		$\varnothing 133 \times 4,5$
ВОЗДУХ					
Подача воздуха на отдувку и регенерацию	$V_0=0,3$	4-15	$d=(V_0/0,785w)^{0,5} = (0,3/0,785 \cdot 18)^{0,5} = 0,146$ м. Принимаем $d=150$ мм по табл. 12 при $t < 55^\circ\text{C}$; $w_d=17$ м/с		$\varnothing 159 \times 4,5$
Отвод воздуха от ловушки к вакуум-насосу	$V_0=0,72$	15-25	$d=(V_0/0,785w)^{0,5} = (0,72/0,785 \cdot 25)^{0,5} = 0,192$ м. Принимаем $d=200$ мм по табл. 14; $w_d=23$ м/с		$\varnothing 219 \times 9$

Наименование	Объемный расход, V , м ³ /с	Скорость, w , м/с	Диаметр трубопровода, мм		По ГОСТ 301-44
			Расчетный	По ГОСТ 301-44	
ПАРОВОДУШНАЯ СМЕСЬ					
Окончание табл. 27					
Подача пароводушной смеси в конденсатор и ловушку	$V_{пв}=6,72$	40-60 при $P=0,02-0,05$ МПа	$d=(V_{пв}/0,785w)^{0,5} = (6,72/0,785 \cdot 55)^{0,5} = 0,395$ м. Принимаем $d=400$ мм по табл. 14; $w_d=53,5$ м/с		$\varnothing 426 \times 13$
ВОДА					
Подача воды на орошение конденсатора	$V = W/\rho_{н\text{ч}\text{о}} = 5,93$	0,8-2,0	$d=(V/0,785w)^{0,5} = (5,93/0,785 \cdot 0,8)^{0,5} = 0,097$ м. Принимаем $d=100$ мм по табл. 14; $w_d=0,76$ м/с		$\varnothing 108 \times 4$
Подача воды на холодильник фильтра	$V=0,02$	0,8-2,0	$d=(V/0,785w)^{0,5} = (0,02/0,785 \cdot 1)^{0,5} = 0,16$ м. Принимаем $d=200$ мм по ГОСТ 15121-79; $w_d=0,64$ м/с		$\varnothing 219 \times 9$
ВОДЯНОЙ ПАР					
Подача пара в подогреватель суспензии	$V_{пв}=0,95$ $V=D/\rho_{п}$; $\rho_{п}$ по табл. LVII(4), по $P=0,2$ МПа	15-25	$d=(V_{пв}/0,785w)^{0,5} = (0,95/0,785 \cdot 15)^{0,5} = 0,284$ м. Принимаем $d=300$ мм по ГОСТ 15121-79; $w_d=13,4$ м/с		$\varnothing 325 \times 12$
Подача пара в подогреватель промывной воды	$V_{пв}=0,18$ при $P=0,2$ МПа	15-25	$d=(V_{пв}/0,785w)^{0,5} = (0,18/0,785 \cdot 15)^{0,5} = 0,124$ м. Принимаем $d=200$ мм по ГОСТ 15121-79; $w_d=5,7$ м/с		$\varnothing 219 \times 9$

Список литературы

1. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. М.: Химия, 1973. 754с.
2. Плановский А.Н., Рамм В.М., Каган С.З. Процессы и аппараты химической технологии. М.: Химия, 1968. 847с.
3. Фильтры для жидкостей: Каталог. М.: ЦИНТИхимнефтемаш, 1989. 143с.
4. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. Л.: Химия, 1987. 560с.
5. Лашинский А.А., Толчинский А.Р. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры. Л.: Машиностроение, 1970. 752с.
6. Ведерникова М.И. Гидравлические расчеты. Ч.1. Расчет и выбор насосов и вентиляторов. Екатеринбург, 2000. 40с.
7. Старцева Л.Г., Ведерникова М.И. Гидравлические расчеты. Ч.II. Примеры расчетов и выбора насосов и вентиляторов. Екатеринбург, 2000. 44с.
8. Орлов В.П. Примерный расчет кожухотрубчатых теплообменников. Екатеринбург, 2000. 46 с.

Содержание

Выбор схемы фильтровальной установки	3
Краткая характеристика основных вакуум – фильтров	5
Технологический расчет вакуум-фильтров	10
Движущая сила процесса фильтрования	12
Материальный баланс процесса фильтрования	12
Расчет поверхности фильтрования	13
Выбор вакуум-фильтра и комплектующего оборудования	14
Расчет и выбор вспомогательного оборудования	15
Вакуум – насос	15
Воздуходувка	15
Ресиверы и ловушки	16
Барометрический конденсатор смешения	20
Емкости	21
Технологический расчет мешалки	23
Система трубопроводов и воздуходувов	26
Насосы	30
Теплообменники	30
Технико-экономические показатели	30
Примеры расчетов вакуум фильтра и вспомогательного оборудования	30
Список литературы	44