

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ
к проведению практических работ по дисциплине
«Расчёт и проектирование систем защиты окружающей среды»**

Донецк
2021

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

КАФЕДРА «ПРИКЛАДНАЯ ЭКОЛОГИЯ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ»

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ
к проведению практических работ по дисциплине
«Расчёт и проектирование систем защиты окружающей среды»**

для обучающихся по направлению подготовки
20.03.01 «Техносферная безопасность»
профиль «Инженерная защита окружающей среды»
всех форм обучения

РАССМОТРЕНО
на заседании кафедры
прикладной экологии и охраны
окружающей среды
Протокол № 7 от 18.02.2021 г.

УТВЕРЖДЕНО
на заседании учебно-издательского
совета ДОННТУ
Протокол № 3 от 10.03.2021 г.

Донецк
2021

УДК 504.06(076)
М54

Составители:

Ганнова Юлия Николаевна – кандидат химических наук, доцент кафедры прикладная экология и охрана окружающей среды ГОУВПО «ДОННТУ»;
Горбатко Сергей Витальевич – кандидат технических наук, доцент кафедры прикладная экология и охрана окружающей среды ГОУВПО «ДОННТУ».

М54 **Методические рекомендации к проведению практических работ по дисциплине «Расчёт и проектирование систем защиты окружающей среды»** : для обучающихся по направлению подготовки 20.03.01 «Техносферная безопасность» профиль «Инженерная защита окружающей среды» всех форм обучения / ГОУВПО «ДОННТУ», Каф. прикладной экологии и охраны окружающей среды; сост.: Ю.Н. Ганнова, С.В. Горбатко. — Донецк : ДОННТУ, 2021. – Систем. требования: Acrobat Reader. – Загл. с титул. экрана.

Методические рекомендации разработаны с целью оказания помощи обучающимся в усвоении теоретического материала и получении практических навыков по дисциплине «Расчёт и проектирование систем защиты окружающей среды», которые содержат задания для решения практических задач по курсу.

УДК 504.06(076)

Содержание

1. Расчет гребкового отстойника.....	5
2. Расчет центрифуги НОГШ.....	7
3 Расчет циклона НИИОГАЗ типа ЦН.....	10
4. Расчет фильтров.....	21
5. Расчет емкостного фильтра периодического действия.....	26
6. Расчет рукавного фильтра.....	29
Перечень рекомендованной литературы	32

1. РАСЧЕТ ГРЕБКОВОГО ОТСТОЙНИКА

В промышленности широко применяют отстойники непрерывного действия с гребковой мешалкой (рис. 1.1). Основные размеры их приведены в таблице 1.1.

Гребковый отстойник представляет из себя цилиндрический сосуд (1) со специальным коническим днищем. Загрязненная жидкость поступает по центральной трубе (2) в нижнюю часть аппарата, а осветленная перетекает в кольцевой лоток (3), откуда и отводится. Частицы осаждаются на дне образуя слой осадка. Осадок перемещается к центру вращающейся мешалкой (4) с гребками и периодически выгружается с помощью специального устройства (5).

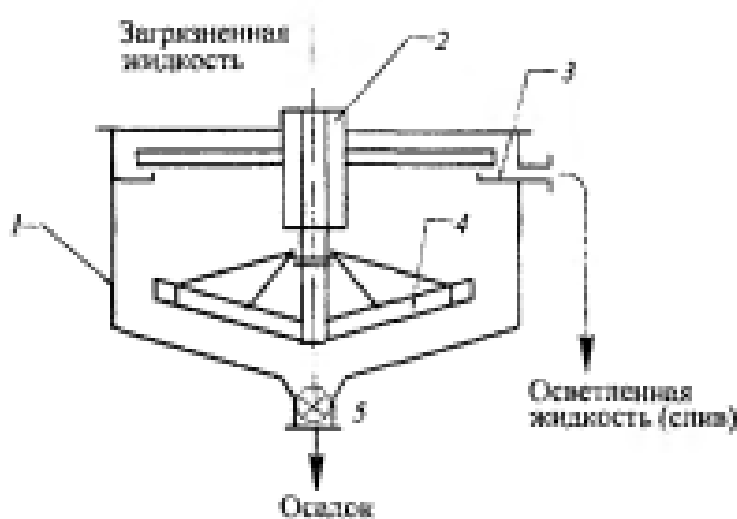


Рисунок 1.1. Схема гребкового отстойника

Таблица 1.1 Основные размеры гребковых отстойников

Диаметр, м	1,80	3,60	6,00	9,00	12,0	15,0	18,0	24,0	30,0
Высота, м	1,80	1,80	3,00	3,60	3,60	3,60	3,60	3,60	3,60
Поверхность, м ²	2,54	10,2	28,2	63,9	113	176,6	254,0	452	706,5

Основной расчетной величиной является поверхность осаждения F , м², которую находят как:

$$F = \frac{V}{w_{oc}} = \frac{G}{\rho_c w_{oc}}$$

где V - объемный расход осветленной жидкости, м³/с; G - массовый расход осветленной жидкости, кг/с; ρ - плотность жидкости, кг/м³; w_{oc} - скорость осаждения частиц м/с.

Поверхность осаждения вычисляется по формуле:

$$F = K \frac{G_{\text{суспензии}}}{\rho_c w_{\text{ос}}} \left(1 - \frac{\bar{x}}{\bar{x}_{\text{ос}}} \right)$$

где К - коэффициент запаса, учитывающий влияние неравномерности отстаивания, вихреобразования и других факторов, проявляющихся в производственных условиях. Ориентировочно принимают $K = 1,3$.

Задание. Рассчитать отстойник для непрерывного осаждения частиц гипса эквивалентным диаметром 36 мкм. Концентрация частиц в растворе составляет $x = 0,008$ масс. дол., в осадке $X_{\text{ос}} = 0,5$ масс. дол. и в осветленной жидкости $X_{\text{осв}} = 0,0001$ масс. дол. Количество обрабатываемой суспензии $300 \text{ м}^3/\text{ч}$; её температура $t = 95 \text{ }^\circ\text{C}$. Плотность воды $\rho = 962 \text{ кг/м}^3$; плотность частиц гипса $\rho_r = 2240 \text{ кг/м}^3$; вязкость воды, $\nu_c = 0,301 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$.

Анализ показал, что частицы гипса имеют продолговатую форму.

Решение.

Критерий Архимеда:

$$Ar = \frac{gd^3}{\nu_c^2} \left(\frac{\rho_r - \rho_c}{\rho_c} \right) = \frac{9,81 \cdot (36 \cdot 10^{-6})^3}{(0,301 \cdot 10^{-6})^2} \cdot \left(\frac{2240 - 962}{962} \right) = 6,7$$

Режим осаждения ламинарный поэтому $\zeta = 24 / Re$.

Находим:

$$\frac{24}{Re} \cdot Re^2 = \frac{4}{3} \cdot 6,7$$

откуда $Re = 0,372$

Из критерия Рейнольдса находим скорость осаждения частиц круглой формы:

$$w_{\text{ос}} = \frac{Re \cdot \mu_c}{d \cdot \rho_c} = \frac{0,372 \cdot 0,3 \cdot 10^{-3}}{36 \cdot 10^{-6} \cdot 962} = 3,22 \cdot 10^{-3} \text{ м/с}$$

С учетом формы частиц: $w'_{\text{ос}} = w_{\text{ос}} \cdot \psi = 3,22 \cdot 10^{-3} \cdot 0,58 = 1,87 \cdot 10^{-3} \text{ м/с}$

Плотность смеси:

$$\rho_{\text{см}} = 1 / \left[\frac{\bar{x}}{\rho_r} + \frac{(1 - \bar{x})}{\rho_c} \right] = 1 / \left[\frac{0,008}{2240} + \frac{(1 - 0,008)}{962} \right] = 971 \text{ кг/м}^3$$

Скорость стесненного осаждения:

$$\varepsilon = 1 - \frac{\bar{x} \rho_{\text{см}}}{\rho_r} = 1 - 0,008 \cdot 971 / 2240 = 0,996$$

Скорость стесненного осаждения:

$$w_{CT} = w'_{OC} \cdot \varepsilon^2 \cdot 10^{-1,82(1-\varepsilon)} = 1,87 \cdot 10^{-3} \cdot 0,996^2 \cdot 10^{-1,82(1-0,996)} = 1,82 \cdot 10^{-3} \text{ м/с}$$

Массовый расход суспензии: $G_{СУСП} = V \rho_{СМ} = \frac{300 \cdot 966}{3600} = 80,5 \text{ кг/с}$

Поверхность осаждения:

$$F = K \frac{G_{СУСП}}{\rho_c w_{OC}} \left(1 - \frac{\bar{x}}{\bar{x}_{OC}} \right) = 1,3 \cdot \frac{80,5}{962 \cdot 1,82 \cdot 10^{-3}} \cdot \left(1 - \frac{0,008}{0,5} \right) \approx 59 \text{ м}^2$$

Обращаясь к таблице 1.1 можно выбрать отстойник диаметром 9 м. При этом запас поверхности составит ~ 8 %.

2. РАСЧЕТ ЦЕНТРИФУГИ НОГШ

Разделение суспензий методом центробежного осаждения подразделяют на центробежное осветление (выделение твердой фазы из слабоконцентрированных суспензий), центробежное сгущение (концентрирование дисперсной фазы в небольшом количестве жидкости), осадительное центрифугирование (разделение средне и высококонцентрированных суспензий).

Центрифуги различаются факторами разделения, режимом работы, способом выгрузки осадка и т.д. Широкое распространение получили осадительные центрифуги непрерывного действия со шнековой выгрузкой осадка (НОГШ). На рис. 2.1 приведена схема НОГШ, а в табл. 2.1 дана техническая характеристика центрифуг.

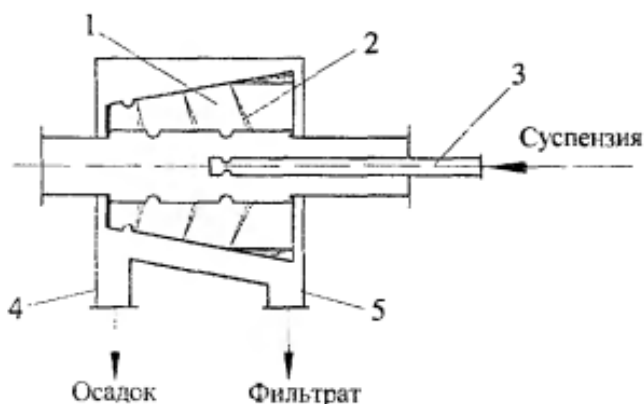


Рисунок 2.1 Схема центрифуги НОГШ

Конический ротор 1 расположен соосно со шнеком 2. Ротор и шнек вращаются в одном направлении, но с различным числом оборотов. В результате чего образующийся осадок перемещается шнеком в узкую часть ротора. Суспензия подается по питающей трубе 3 во внутреннюю полость шнека, откуда через окна обечайки шнека поступает в ротор. Под действием центробежных сил частицы осаждаются на стенках. Под действием центробежных сил частицы осаждаются на стенках окна 4. Осветленная жидкость (фугат) течет самопроизвольно в широкую часть барабана к сливному окну 5.

Таблица 2.1 Техническая характеристика центрифуг НОГШ

Наименование	Марка центрифуги				
	НОГШ-230	НОГШ-325	НОГШ-450	НОГШ-600	НОГШ-800
Наибольший диаметр, мм	230	353	450	600	800
Длина конической части Lк, мм	410	410	483	1000	1000
Число оборотов в минуту n, об/мин	1600	3500	2900	1400	1200
Диаметр сливного порога, мм	170-180	230-280	410-425	420-480	570-720
Длина зоны осаждения, мм	164-197	250-300	500-575	350-525	530-955
Индекс производительности, Σ, м ²	14-16	52	730-675	160-205	375-445

Центрифуги НОГШ предназначены в основном для разделения суспензий с нерастворимой твердой фазой и применяются для обезвоживания кристаллических и зернистых продуктов, а также для осветления суспензий. Такие центрифуги успешно применяются, например, в качестве первой ступени сепарирования при пере работе нефтешлама.

Задача 1. Определить индекс производительности центрифуги НОГШ-800-2 при таком заполнении барабана, когда внутренний радиус кольцевого слоя R₁ = 0,25 м.

Решение. Индекс производительности центрифуги:

$$\Sigma = 4\pi R_1^2 (n/60)^2 (l_k + l_u) = 4 \cdot 3,14 \cdot 0,25^2 \cdot (1200/60)^2 \cdot (1 + 0,3) = 408 \text{ м}^2$$

Показатель эффективности работы центрифуги а определяется по обобщенной зависимости:

$$\alpha = A \cdot Fr_{ц}^x \cdot Re_{ц}^y \cdot \left(\frac{\rho_T - \rho_C}{\rho_C} \right)^z$$

Величины A , x , y , z для осадительных центрифуг с коротким цилиндрическим ротором равны: $A=9$; $x=0,1$; $y=-0,1$; $z=2,04$; для осадительных центрифуг со шнековой выгрузкой осадка: $A=9,52$; $x=0,16$; $y=-0,151$; $z=0,286$. Критерии Фруда и Рейнольдса для жидкости в барабане рассчитываются как:

$$Fr_{ц} = V^2 / \omega^2 R_1^3 L^3; \quad Re_{ц} = V \rho_C / 2\pi R_1 \mu$$

Задача 2. Необходимо осадить частицы гипса ($\rho_T = 2240$ кг/м³) продолговатой формы с диаметром равновеликого шара $d_{ш} = 5$ мкм из воды при температуре 95 °С ($\rho_B = 962$ кг/м³; $\nu_C = 0,301 \cdot 10^{-6}$ м²/с). Концентрация частиц в растворе составляет 0,008 масс. дол. Количество обрабатываемой суспензии в растворе составляет 0,008 масс. дол. Количество обрабатываемой суспензии 12 м³/ч. Для осаждения частиц, предполагается использовать центрифугу НОГШ-800-2. Радиус кольцевого слоя $R_1 = 0,25$ м. Индекс производительности центрифуги $\Sigma = 408$ м².

Решение.

Критерий Архимеда:

$$Ar = \frac{g d_{ш}^3}{\nu_C^2} \cdot \left(\frac{\rho_T - \rho_C}{\rho_C} \right) = \frac{9,81 \cdot (5 \cdot 10^{-6})^3}{(0,301 \cdot 10^{-6})^2} \cdot \left(\frac{2240 - 962}{962} \right) = 0,018$$

Предполагаем ламинарный режим осаждения ($\zeta = 24/Re$). Тогда $\frac{24}{Re} Re^2 = \frac{4}{3} \cdot 0,018$ откуда $Re = 0,001$. Скорость осаждения $w_{ос} = Re \mu / d_{ш} \rho_C = 0,001 \cdot 0,3 \cdot 10^{-3} / 5 \cdot 10^{-6} \cdot 962 = 6,24 \cdot 10^{-5}$ м/с

Скорость осаждения продолговатых части

$$w'_{ос} = w_{ос} \psi = 6,24 \cdot 10^{-5} \cdot 0,58 = 3,6 \cdot 10^{-5} \text{ м/с}$$

Показатель эффективности работы центрифуги:

$$\begin{aligned} \alpha &= A \cdot (V^2 / \omega^2 R_1^3 L^3)^x (V \rho_C / 2\pi R_1 \mu)^y \left[(\rho_T - \rho_C) / \rho_C \right]^z = \\ &= 9,52 \cdot (V^2 / 125,6^2 \cdot 0,25^3 \cdot 1,3^3)^{0,16} \cdot (V \cdot 962 / 2 \cdot 3,14 \cdot 0,25 \cdot 0,3 \cdot 10^{-3})^{-0,151} \times \\ &\times \left[(2240 - 962) / 962 \right]^{0,286} = 0,388 \cdot V^{0,169} \end{aligned}$$

Производительность центрифуги:

$$V = w'_{oc} \sum \alpha = 3,6 \cdot 10^{-5} \cdot 0,388 \cdot 0,419 \cdot V^{0,169}$$

$$V^{0,831} = 5,7 \cdot 10^{-3} : V = 0,0057^{\frac{1}{0,831}} = 0,00203 \text{ м}^3/\text{с} = 7,3 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Количество центрифуг НОГШ-800-2 для обработки 12 м³/ч суспензии Nu=12/7,3=1,64. Принимаем 2 центрифуги.

В центрифугах НОГШ затраты мощности складываются из мощности, сообщаемой осадку и сливу N₁, мощности, затрачиваемой на преодоление сопротивлений N₂ (потерь в редукторе, трение в цапфах и т.д.), а также мощности, затрачиваемой на транспортирование осадка внутри центрифуги N₃.

Потери энергии в редукторе этих центрифуг значительны и изменяются в широких пределах. Поэтому расход энергии в центрифугах НОГШ пока не может быть рассчитан с достаточной точностью и следует ориентироваться на данные каталогов.

Для других типов центрифуг мощность удастся рассчитать с той или иной точностью как сумму слагаемых N₁, N₂, N₃.

3 РАСЧЕТ ЦИКЛОНА НИИОГАЗ ТИПА ЦН

Циклоны ЦН (рис. 3.1) получили широкое распространение на практике. Цилиндрические циклоны относятся к высокопроизводительным аппаратам, а конические - к высокоэффективным.

Запыленный газ поступает в корпус циклона тангенциально по патрубки высотой h и шириной b и вращается в кольцевом зазоре между корпусом и выхлопной трубой. При этом на частицы пыли действуют центробежные силы и они движутся к стенке корпуса. Достигнув стенки, пыль скользит по ней вниз к разгрузочному отверстию и далее в бункер (на рис. не показан). Очищенный газ выходит по трубе из верха циклона.

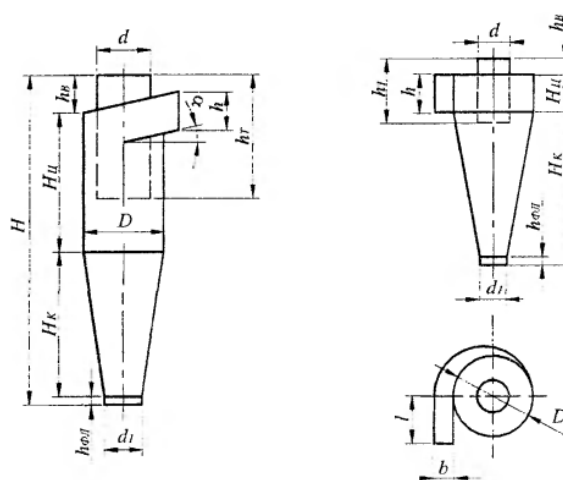


Рисунок 3.1. Схема цилиндрического (а) и конического (б) циклонов НИИОГАЗ

Точный расчет процесса осаждения частиц пыли невозможен из-за сложности аэродинамического профиля движения газа в циклоне. Поэтому в разных методиках вводится ряд допущений.

В методике исходными данными служат: расход газа V_r , м³/с; плотность ρ , кг/м³ и вязкость μ , Па·с газа при рабочих условиях; дисперсный состав пыли, задаваемый двумя параметрами - средним диаметром частиц d_m , м и $lg\sigma$; запыленность газа $c_{вх}$ г/м³; ρ_r плотность частиц кг/м³ и требуемая эффективность очистки η .

Расчет циклонов проводится методом последовательных приближений в следующем порядке:

1. Выбрав тип циклона, по табл. 3.1 определяют оптимальную скорость газа в аппарате $w_{опт}$.
2. Определяют необходимую площадь сечения циклонов:

$$S = V_r / w_{опт}$$

3. Определяют диаметр циклонов, задавая их количество N .

$$D = \sqrt{4S / \pi N}$$

Диаметр циклона округляют до стандартного значения (таблица 3.2).

4. Вычисляют действительную скорость газа в циклоне:

$$w = 4V_r / \pi D^2 N$$

Скорость газа не должна отклоняться от оптимальной более чем на 15 % .

5. По таблице 3.3 принимают коэффициент гидравлического сопротивления и вводят уточняющие поправки:

$$\zeta = K_1 K_2 \zeta_{ц500}^{с,п} + K_3 ,$$

где $\zeta_{ц500}^{с,п}$ - коэффициент сопротивления одиночного циклона диаметром 500 мм; индекс «с» - означает, что циклон работает в гидравлической сети, а «п» - без сети прямо на выхлоп в атмосферу; K_1 - поправочный коэффициент на диаметр циклона (табл. 3.4); K_2 - поправочный коэффициент на запыленность газа (табл. 3.5); K_3 - коэффициент, учитывающий дополнительные потери давления, связанные с компоновкой циклонов в группу (табл. 3.6). Для одиночного циклона $K_3 = 0$.

6. Определяют потери давления в циклоне:

$$\Delta P = \zeta \rho_c w^2 / 2$$

Если потери давления оказались приемлемыми, переходят к расчету полного коэффициента очистки газа.

При этом принимается, что коэффициент очистки в одиночном циклоне и в группе циклонов одинаков. В действительности в группе циклонов он несколько ниже.

7. Приняв по таблице 3.2 два параметра (d_{50}^T и $lg\sigma_{\eta}^T$), характеризующие эффективность выбранного типа циклонов, определяют значение параметра d_{50} при рабочих условиях:

$$d_{50} = d_{50}^T \sqrt{\left(\frac{D}{D_T}\right) \left(\frac{\rho_{\eta T}}{\rho_T}\right) \left(\frac{\mu_c}{\mu_T}\right) \left(\frac{w_T}{w}\right)}$$

8. Определяют параметр x по формуле:

$$x = \frac{lg(d_T/d_{50})}{\sqrt{lg^2 \sigma_{\eta}^T + lg^2 \sigma}}$$

9. По табл. 3.7 определяют значение $\Phi(x)$, которое представляет собой полный коэффициент очистки газа η , выраженный в долях. Полученное значение η сопоставляют с заданным. Если η оказалось меньше, чем требуется, то выбирают другой тип циклонов с большим значением гидравлического сопротивления.

Таблица 3.1 Соотношение размеров (в долях внутреннего диаметра) для циклонов ЦН-11, ЦН-15, ЦН-15У, ЦН-24

Наименование	Тип циклона			
	ЦН-15	ЦН-15У	ЦН-24	ЦН-11
Внутренний диаметр выхлопной трубы, $d_{тр}$	0,59 для всех типов			
Внутренний диаметр пылевыпускаемого отверстия, d_1	0,3-0,4 для всех типов			
Ширина входного патрубка в циклоне (внутренний размер), b	0,2 для всех типов			
Ширина входного патрубка на входе (внутренний размер), b_1	0,26 для всех типов			
Длина входного патрубка, l	0,6 для всех типов			
Диаметр средней линии циклона $D_{ср}$	0,8 для всех типов			
Высота установки фланца, $h_{фл}$	0,1 для всех типов			
Угол наклона крышки и входного патрубка циклона, α	15,00	15,00	24,00	11,00
Высота входного патрубка, h	0,66	0,66	1,11	0,48
Высота выхлопной трубы, $h_{г}$	0,66	0,66	2,11	1,56
Высота цилиндрической части циклона, $H_{ц}$	1,74	1,50	2,11	2,06
Высота конуса циклона, $H_{к}$	2,00	1,50	1,75	2,00

Высота внешней части выхлопной трубы, h_v	0,30	0,30	0,40	0,30
Общая высота циклона, H	4,56	3,31	4,26	4,38

Таблица 3.2 Соотношение размеров (в долях внутреннего диаметра) для циклонов СДК-ЦН-33, СК-ЦН-34, СК-ЦН-34М

Наименование	Тип циклона		
	СДК-ЦН-33	СК-ЦН-34	СК-ЦН-34М
Внутренний диаметр цилиндрической части, D	До 3600 мм		До 4000 мм
Высота цилиндрической части, $H_{ц}$	0,535	0,515	0,400
Высота конической части, $H_{к}$	3,00	2,11	2,60
Внутренний диаметр выхлопной трубы, d	0,334	0,340	0,220
Внутренний диаметр пылевывпускного отверстия, d_1	0,334	0,229	0,180
Ширина выхлопного патрубка, b	0,264	0,214	0,180
Высота внешней части выхлопной трубы, h_v	0,2-0,3	0,2-0,3	0,3
Высота установки фланца, $h_{фл}$	0,1	0,1	0,1
Высота входного патрубка, h	0,535	0,515	0,400
Длина входного патрубка, l	0,6	0,6	0,6
Высота заглубления выхлопной трубы, h_3	0,535	0,515	0,400
Текущий радиус улитки	$D/2 + v\phi/\pi$	$D/2 + v\phi/\pi$	$D/2 + v\phi/\pi$

Таблица 3.3 Рекомендации по компоновке циклонов ЦН в группы

Диаметр циклона, мм	Количество циклонов в группе, шт.						
	Группа прямоугольной компоновки				Группы круговой компоновки		
	2	4	6	8	10	12	14
200	п	п	п	п	-	-	-
300	о	о	о	о	-	-	-
400	п	п	п	п	-	-	-
500	о	о	о	о	-	-	-
600	п	п	п	п	п	п	п
700	о	о	о	о	-	-	-
800	п	п	п	п	п	п	п
900	п	п	п	п	-	-	-
1000	п	п	п	п	п	п	п

1200	п	п	-	-	-	-	-
1400	п	п	-	-	-	-	-
1600	п	п	-	-	-	-	-
1800	п	п	-	-	-	-	-

* - группы, рекомендуемые для преимущественного применения; о- группы ограниченного применения.

Таблица 3.4 Параметры определяющие эффективность циклонов НИИОГАЗ

Параметры	ЦН-24	ЦН-15У	ЦН-15	ЦН-11	СДК-ЦН-33	СК-ЦН-34	СК-ЦН-34М
d_{50}^1	8,50	6,00	4,50	3,65	2,31	1,95	1,13
$\lg \sigma_{\eta}^T$	0,308	0,238	0,352	0,352	0,364	0,308	0,340
$w_{\text{опт}}$, м/с	4,50	3,50	3,50	3,50	2,00	1,70	2,00

* - d_{50}^1 приведенное в таблице соответствует следующим условиям работы циклонов: средняя скорость газа в циклоне $w_{\text{опт}}=3,5$ м/с, диаметр циклона $D_{\Gamma}=0,6$ м; плотность частиц $\rho_{\text{тф}}=1930$ кг/м³; динамическая вязкость газа $\mu_{\Gamma}=22,2 \cdot 10^{-6}$ Па·с.

Таблица 3.5 Значение коэффициентов сопротивления циклонов ($D=500$ мм, $w_{\Gamma}=3$ м/с)

Марка циклона	d/D	Без дополнительных устройств		С выходной улиткой	С отводом 90° R/d=1,5	
		$\zeta_{\text{ц}500}^c$	$\zeta_{\text{ц}500}^n$		$\zeta_{\text{ц}500}^c$	l/d=0,12 $\zeta_{\text{ц}500}^c$
ЦН-11	0,59	245	250	235	245	250
ЦН-15	-	155	163	150	155	160
ЦН-15У	-	165	170	158	165	170
ЦН-24	-	75	80	73	15	80
СДК-ЦН-33	0,33	520	600	500	-	560
СДК-ЦН-34	0,34	1050	1150	-	-	-
СДК-ЦН-34М	0,22	-	2800	-	-	-

Таблица 3.6 Поправочный коэффициент K_2 , учитывающий влияние диаметра циклонов

D, мм	Марка циклона		
	ЦН-11	ЦН-15, ЦН-15У, ЦН-24	СДК-ЦН-33, СК-ЦН-34, СК-ЦН-34М
150	0,94	0,85	1,00

200	0,95	0,90	1,00
300	0,96	0,93	1,00
450	0,99	1,00	1,00
500	1,00	1,00	1,00

Таблица 3.7 Значение поправочных коэффициентов K_2 , для групп циклонов ЦН

Марка циклона	Запыленность 10^3 кг/м ³						
	0	10	20	40	80	120	150
ЦН-11	1	0,96	0,94	0,92	0,90	0,87	0,85
ЦН-15	1	0,93	0,92	0,91	0,90	0,87	0,86
ЦН-15У	1	0,93	0,92	0,91	0,89	0,88	0,87
ЦН-24	1	0,95	0,93	0,92	0,90	0,87	0,86
СДК-ЦН-33	1	0,81	0,785	0,78	0,77	0,76	0,745
СДК-ЦН-34	1	0,98	0,947	0,93	0,915	0,91	0,90
СДК-ЦН-34М	1	0,98	0,970	0,95	-	-	

Таблица 3.8 Значение поправочных коэффициентов K_3 для групп циклонов ЦН

Характеристика группового цикла	K_3
Круговая компоновка, нижний организационный подвод	60
Прямоугольная компоновка, циклонные элементы расположены в одной плоскости. Отвод из общей камеры чистого газа	35
То же, но улиточный отвод из циклонных элементов	28
Прямоугольная компоновка. Свободный подвод потока в общую камеру.	60

Таблица 3.9 Значение нормальной функции распределения

	$\Phi(t; x)$	x	$\Phi(x)$	x	$\Phi(x)$	x	$\Phi(x)$	x	$\Phi(x)$	x	$\Phi(x)$
-2.70	0,0035	-1,42	0,0778	-0,70	0,2420	0,00	0,5000	0,72	0,7642	1,44	0,9551
-2.60	0,0047	-1,40	0,0808	-0,68	0,2483	0,02	0,5080	0,74	0,7703	1,46	0,9279
-2.50	0,0062	-1,38	0,0838	-0,66	0,2546	0,04	0,5160	0,76	0,7764	1,48	0,9306
-2.40	0,0082	-1,36	0,0869	-0,64	0,2611	0,06	0,5239	0,78	0,7823	1,50	0,9332
-2.30	0,0107	-1,34	0,0901	-0,62	0,2676	0,08	0,5319	0,80	0,7881	1,52	0,9357
-2.20	0,0139	-1,32	0,0934	-0,60	0,2743	0,10	0,5398	0,82	0,7939	1,54	0,9382
-2.10	0,0179	-1,30	0,0968	-0,58	0,2810	0,12	0,5478	0,84	0,7995	1,56	0,9406
-2.00	0,0228	-1,28	0,1003	-0,56	0,2877	0,14	0,5557	0,86	0,8051	1,58	0,9429
-1.98	0,0239	-1,26	0,1038	-0,54	0,2946	0,16	0,5636	0,88	0,8106	1,60	0,9452
-1.96	0,0250	-1,24	0,1075	-0,52	0,3015	0,18	0,5714	0,90	0,8159	1,62	0,9474
-1.94	0,0262	-1,22	0,1112	-0,50	0,3085	0,20	0,5793	0,92	0,8212	1,64	0,9495
-1.92	0,0274	-1,20	0,1151	-0,48	0,3156	0,22	0,5871	0,94	0,8264	1,66	0,9515
-1.90	0,0288	-1,18	0,1190	-0,46	0,3228	0,24	0,5948	0,96	0,8315	1,68	0,9535
-1.88	0,0301	-1,16	0,1230	-0,44	0,3300	0,26	0,6026	0,98	0,8365	1,70	0,9554
-1.86	0,0314	-1,14	0,1271	-0,42	0,3372	0,28	0,6103	1,00	0,8413	1,72	0,9573

-1,84	0,0329	-1,12	0,1314	-0,40	0,3446	0,30	0,6179	1,02	0,8461	1,74	0,9591
-1,82	0,0344	-1,10	0,1357	-0,38	0,3520	0,32	0,6255	1,04	0,8508	1,76	0,9608
-1,80	0,0359	-1,08	0,1401	-0,36	0,3594	0,34	0,6331	1,06	0,8554	1,78	0,9625
-1,78	0,0375	-1,06	0,1446	-0,34	0,3669	0,36	0,6406	1,08	0,8599	1,80	0,9641
-1,76	0,0392	-1,04	0,1492	-0,32	0,3745	0,38	0,6480	1,10	0,8643	1,82	0,9656
-1,74	0,0409	-1,02	0,1539	-0,30	0,3821	0,40	0,6554	1,12	0,8686	1,84	0,9671
-1,72	0,0427	-1,00	0,1587	-0,28	0,3897	0,42	0,6628	1,14	0,8729	1,86	0,9686
-1,70	0,0446	-0,98	0,1635	-0,26	0,3974	0,44	0,6700	1,16	0,8770	1,88	0,9699
-1,68	0,0465	-0,96	0,1685	-0,24	0,4052	0,46	0,6772	1,18	0,8810	1,90	0,9713
-1,66	0,0485	-0,94	0,1736	-0,22	0,4129	0,48	0,6844	1,20	0,8849	1,92	0,9726
-1,64	0,0505	-0,90	0,1841	-0,18	0,4286	0,52	0,6985	1,24	0,8925	1,96	0,9750
-1,62	0,0526	-0,88	0,1894	-0,16	0,4364	0,54	0,7054	1,26	0,8962	1,98	0,9761
-1,60	0,0548	-0,86	0,1949	-0,14	0,4443	0,56	0,7123	1,28	0,8997	2,00	0,9772
-1,58	0,0571	-0,84	0,2005	-0,12	0,4522	0,58	0,7190	1,30	0,9032	2,10	0,9821
-1,56	0,0594	-0,82	0,2061	-0,10	0,4602	0,60	0,7257	1,32	0,9066	2,20	0,9861
-1,54	0,0618	-0,80	0,2119	-0,08	0,4681	0,62	0,7324	1,34	0,9099	2,30	0,9893
-1,52	0,0643	-0,78	0,2177	-0,06	0,4761	0,64	0,7389	1,36	0,9131	2,40	0,9918
-1,50	0,0694	-0,76	0,2236	-0,04	0,4840	0,66	0,7454	1,38	0,9162	2,50	0,9938
-1,48	0,0721	-0,74	0,2297	-0,02	0,4920	0,68	0,7517	1,40	0,9192	2,60	0,9953
-1,46	0,0749	-0,72	0,2358	-0,00	0,5000	0,70	0,7580	1,42	0,9222	2,70	0,9965

Задача 1. Подобрать циклон типа ЦН для очистки $V_0=3600 \text{ м}^3/\text{ч}$ воздуха при $t=20^\circ\text{C}$ и давлении $P=1,2 \text{ ат}$ ($\rho_c=1,44 \text{ кг}/\text{м}^3$; $\mu_c=1,8 \cdot 10^{-5} \text{ Па} \cdot \text{с}$) от частиц гипса ($\rho_r=2240 \text{ кг}/\text{м}^3$). Концентрация пыли в воздухе $c_{\text{вх}}=8 \cdot 10^{-3} \text{ кг}/\text{м}^3$. Пыль характеризуется средним диаметром частиц $d_m=20 \text{ мкм}$ и дисперсией $I_g \sigma=0,25$.

Требуемая степень очистки $\eta=90\%$ (0,9).

Решение. Расход газа при рабочих условиях V связан с расходом при нормальных условиях V_0 следующим образом:

$$V = V_0 \frac{P_0 T}{P T_0} = 3600 \cdot \frac{1 \cdot 293}{1,2 \cdot 273} = 3220 \text{ м}^3/\text{ч} \text{ (} 0,894 \text{ м}^3/\text{с)}$$

1. Выбираем циклон ЦН-24. Определяем оптимальную скорость $W_{\text{опт}}=4,5 \text{ м}/\text{с}$ (см. табл.).

2. Площадь сечения циклонов $S=V/w_{\text{опт}}=0,894/4,5=0,2 \text{ м}^2$.

3. Определяем диаметр циклонов, задаваясь их количеством и округляя до стандартного:

$$N=1, D_1 = \sqrt{4S/\pi N} = \sqrt{4 \cdot 0,2/3,14 \cdot 1} = 0,505 \approx 0,5 \text{ м}; \quad N=2, D_2 = 0,357 \approx 0,4 \text{ м};$$

$$N=3, D_3 = 0,291 \approx 0,3 \text{ м}; \quad N=4, D_4 = 0,252 \approx 0,3 \text{ м}; \quad N=5, D_5 = 0,226 \approx 0,2 \text{ м};$$

$$N=6, D_6 = 0,206 \approx 0,2 \text{ м}.$$

4. вычисляем действительную скорость в циклонах и сравниваем её с оптимальной:

$$N = 1; w_1 = 4V / \pi D_1^2 N = 4 \cdot 0,894 / 3,14 \cdot 0,5^2 \cdot 1 = 4,56 \text{ м/с}$$

$$\varepsilon_1 = \left| \frac{w - w_{\text{опт}}}{w_{\text{опт}}} \right| \cdot 100 = \left| \frac{4,56 - 4,5}{4,5} \right| \cdot 100 = 1,3\%$$

$N = 2, w_2 = 3,56 \text{ м/с}, \varepsilon_2 = 21\%; N = 3, w_3 = 4,22 \text{ м/с}, \varepsilon_3 = 6\%; N = 4, w_4 = 3,16 \text{ м/с}, \varepsilon_4 = 30\%.$
 $N = 5, w_5 = 5,7 \text{ м/с}; \varepsilon_5 = 26\%; N = 6, w_6 = 4,75 \text{ м/с}, \varepsilon_6 = 6\%.$

Таким образом, условие 4 выполняется для следующих сочетаний:
 $N=1, D=0,5\text{м}; N=3, D=0,3\text{м}; N=6, D=0,2\text{м};$

Второй вариант не рекомендуется по условиям компоновки.

5. Коэффициент гидравлического сопротивления для одиночного циклона $\zeta_{ц500}^c = 80$ (из табл.3.5); $K_1=1; K_2=0,95;$

$$\zeta = K_1 K_2 \zeta_{ц500}^c + K_3 = 1 \cdot 0,95 \cdot 80 + 0 = 76$$

Коэффициент гидравлического сопротивления для группы из 6 циклонов:

$$\zeta = K_1 K_2 \zeta_{ц500}^c + K_3 = 0,9 \cdot 0,95 \cdot 80 + 60 = 128,4$$

6. Потери давления в одиночном циклоне

$$\Delta P = \zeta \cdot \frac{\rho w^2}{2} = 76 \cdot \frac{1,44 \cdot 4,56^2}{2} = 1137 \text{ Па}$$

Потери давления в группе циклонов:

$$\Delta P = \zeta \cdot \frac{\rho w^2}{2} = 128,4 \cdot \frac{1,44 \cdot 4,75^2}{2} = 2085 \text{ Па}$$

7. Для циклонов ЦН-24 значение $d_{50}^1 = 8,5$ (табл. 1.6)

Значение параметра d_{50}

$$d_{50} = d_{50}^t \sqrt{\left(\frac{D}{D_T} \cdot \left(\frac{\rho_{\text{чп}}}{\rho_T}\right) \cdot (\mu_c / \mu_T) \cdot \left(\frac{\omega_T}{\omega}\right)}\right)}$$

Для одиночного циклона:

$$d_{50} = 8,5 \sqrt{\left(\frac{0,5}{0,6} \cdot \left(\frac{1930}{2240}\right) \cdot (1,8 \cdot 10^{-5} / 2,2 \cdot 10^{-5}) \cdot \left(\frac{3,5}{4,56}\right)\right)} = 5,7 \text{ мкм}$$

Для группы из 6 циклонов:

$$d_{50} = 8,5 \sqrt{\left(\frac{0,2}{0,6} \cdot \left(\frac{1930}{2240}\right) \cdot (1,8 \cdot 10^{-5} / 2,2 \cdot 10^{-5}) \cdot \left(\frac{3,5}{4,56}\right)\right)} = 3,52 \text{ мкм}$$

8. Для циклонов ЦН-24 значение $\lg \sigma_{\eta}^T$ значение параметра x :

$$x = \frac{\lg(d_m/d_{50})}{\sqrt{\lg^2 \cdot \sigma_\eta^T + \lg^2 \cdot \sigma}}$$

для одиночного циклона:

$$x = \frac{\lg(20/5,7)}{\sqrt{0,308^2 + 0,25^2}} = 1,37$$

для группы циклонов:

$$x = \frac{\lg(20/3,52)}{\sqrt{0,308^2 + 0,25^2}} = 1,9$$

9. Коэффициент очистки газа для одиночного циклона $\Phi(x) = \eta = 0,91$; для группы из 6 циклонов $\Phi(x) = 77 = 0,97$.

Видно, что оба варианта обеспечивают требуемую степень очистки газа. Коэффициент очистки газа в группе циклонов оказался выше, чем в одиночном. Однако гидравлическое сопротивление группы из 6 циклонов почти в 2 раза выше, чем одиночного циклона. Кроме того, он сложнее в исполнении.

Батарейный циклон состоит из большого числа циклонных элементов малого диаметра, объединенных в одном корпусе и имеющих общие подвод и отвод газа, а также общий бункер - сборник пыли. В одной общей камере можно поместить до 100 - 120 циклонных элементов.

Для закручивания потока используется винт с лопастями расположенными под углом 25° к горизонту или розетки с лопастями под углом 25° или 30° .

Гидравлическое сопротивление батарейных циклонов можно рассчитать при следующих значениях коэффициентов сопротивления: $\zeta = 90$ для розетки ($a = 25^\circ$); $\zeta = 65$ для розетки ($a = 30^\circ$); $\zeta = 85$ для винта.

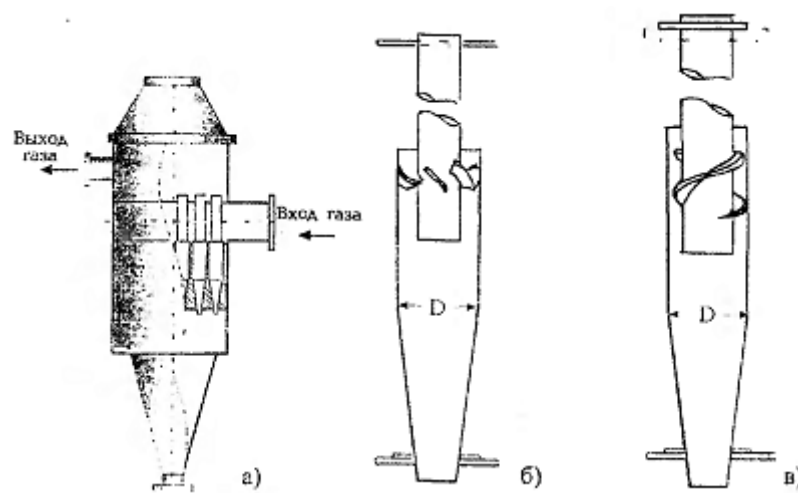


Рисунок 3.2 Общий вид батарейного циклона (а) и элементов с розеткой (б) и винтовыми лопастями (в)

Степень очистки газа в элементе батарейного циклона определяется по тем же зависимостям, что и для одиночного с учетом параметров, представленных в табл. 3.10.

Таблица 3.10 Параметры циклонов

Параметр	Тип			
	«винт» $\alpha=25^\circ$	«розетка» $\alpha=25^\circ$, $D=250\text{мм}$	«розетка» $\alpha=30^\circ$, $D=250\text{мм}$	прямоточный циклон
$d_{кр}^T$, мм	4,5	3,85	5,0	4,0
$lg \sigma^T$	0,46	0,46	0,46	0,525
$W_{опт}$, м/с	3,5-4,5	3,5-4,5	3,5-4,5	11,0-13,0

Обычно батарейные циклоны состоят из элементов диаметром 100, 150 и 250.н.и.

Допустимая запыленность газов для циклонов зависит от их диаметра и для слабослипающихся пылей приведена в табл. 3.11.

Таблица 3.11. Допустимая концентрация слабослипающихся пылей

Диаметр циклона D , мм	800	600	500	400	300	200	100
Концентрация пыли, c_T , кг/м ³	2,5	2,0	1,5	1,2	1,0	0,8	0,6

Для надежной работы циклонов при очистке газов от среднеслипающихся пылей допустимая концентрация частиц в газах должна

быть уменьшена примерно в 4 раза, а при очистке газов от слипающихся пылей - в 8 - 10 раз.

В батарейных циклонах допустимая запыленность ниже (табл. 3.12).

Таблица 3.12 Допустимая концентрация слабослипающихся пылей в батарейных циклонах

Диаметр элемента D, мм	250	150	100
σ_T , кг/м ³ в элементах «Винт»	0,10	0,05	0,025
σ_T , кг/м ³ в элементах «Розетка»	0,075	0,035	0,015

Батарейный циклон рассчитывают в следующей последовательности:

1. Выбирают диаметр циклонного элемента D и определяют расход газа, при котором обеспечиваются оптимальные условия его работы

$$V_{\text{опт}} = \left(\pi D^2 / 4 \right) \cdot w_{\text{опт}}$$

2. Число циклонных элементов, необходимых для оптимальных условий работы, находят как:

$$N_{\text{опт}} = V / V_{\text{опт}}$$

где V - общий расход газа,

3. Подбирают батарейный циклон с ближайшим к $N_{\text{опт}}$ числом N циклонных элементов, желательно таким, чтобы N отличалось от $N_{\text{опт}}$ не более, чем на 10 % и находят действительную скорость:

$$w = Q / N \cdot \left(\pi D^2 / 4 \right)$$

4. Потери давления в батарейном циклоне находят как:

$$\Delta P = \zeta \rho_r w^2 / 2$$

5. Коэффициент очистки газа в элементе батарейного циклона определяют, пользуясь схемой расчета для обычных циклонов и необходимыми для этого значениями d_{50}^T и $\lg \sigma^T$ (табл. 5.12). Коэффициент очистки батарейного циклона оказывается примерно на 10 % ниже, чем одиночного элемента.

4. РАСЧЕТ ФИЛЬТРОВ

Процесс фильтрования состоит из отдельных операций, которые делятся на основные и вспомогательные. К основным операциям относятся собственно фильтрование и промывка осадка. К вспомогательным - подсушка, разгрузка, подготовка фильтра к следующему циклу.

Если поверхность фильтра F , м^2 , а количество фильтрата, получаемое с 1 м^2 поверхности за цикл Q , $\text{м}^3/(\text{м}^2\text{цикл})$, то часовая производительность фильтра составит:

$$Q = \frac{3600 \rho F}{T}$$

где T - продолжительность цикла, с ($T = \tau_{\text{фильтр}} + \tau_{\text{промыв}} + \tau_{\text{всп}}$). При использовании фильтров периодического действия стоимость вспомогательных операций (выполняемых вручную) выше стоимости основных. Поэтому частое чередование основных и вспомогательных операций экономически не выгодно. Оптимальное соотношение в этом случае: $(\tau_{\text{ф}} + \tau_{\text{пром}}) / \tau_{\text{вс}} \approx 6$

В фильтрах непрерывного действия, наоборот, целесообразно часто чередовать основные и вспомогательные операции. т.е. работать короткими циклами.

Расчет барабанного вакуум-фильтра

В химической промышленности широко используются барабанные вакуум-фильтры с наружной фильтрующей поверхностью, которые отличаются высокой скоростью фильтрования, пригодностью для обработки разнообразных суспензий, простотой обслуживания. Оптимальная высота слоя осадка для них составляет 7 - 15 мм .

Схема барабанного вакуум-фильтра представлена на рис. 4.1, а основные параметры таких фильтров приведены в табл. 4.1

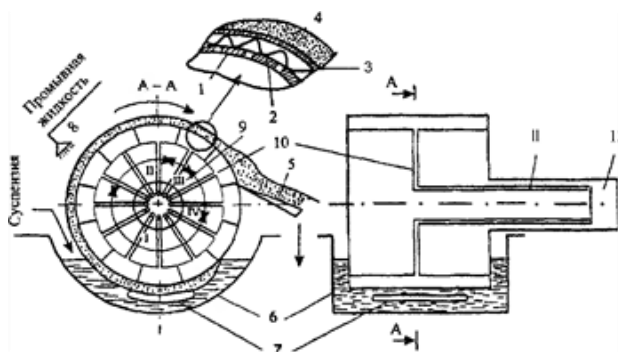


Рисунок 4.1. Схема барабанного вакуум-фильтра с наружной фильтрующей поверхностью

Фильтр имеет вращающийся цилиндрический перфорированный барабан 1, покрытый металлической сеткой 2 и фильтровальной тканью 3. Часть поверхности барабана погружена в корыто 6 с суспензией. С помощью радиальных перегородок барабан разделен на ряд изолированных друг от друга ячеек 9. Ячейки с помощью труб 10, составляющих основу вращающейся части распределительной головки 11, соединяются с различными полостями неподвижной части распределительной головки 12, к которым подведены источники вакуума или сжатого воздуха. При вращении барабана каждая ячейка проходит последовательно несколько зон (I-IV).

I - зона фильтрования и подсушки осадка, где ячейки соединяются с линией вакуума. Благодаря возникающему перепаду давления (с наружной стороны барабана давление атмосферное) фильтрат проходит через фильтровальную ткань 3, сетку 2 и перфорацию барабана 1 внутрь ячейки и по трубе 10 выводится из аппарата. На наружной поверхности фильтровальной ткани при этом формируется осадок 4. При выходе ячеек из суспензии осадок частично подсушивается.

II - зона промывки осадка и его сушки, где ячейки также соединены с линией вакуума. С помощью устройства 8 подается промывная жидкость, которая проходит через осадок и по трубам 10 выводится из аппарата. На участке этой зоны, где промывная жидкость не поступает, осадок высушивается.

III - зона съема осадка. Здесь ячейки соединены с линией сжатого воздуха для разрыхления осадка, что облегчает его удаление. Затем с помощью ножа 5 осадок отделяется от поверхности ткани.

IV - зона регенерации фильтровальной ткани, которая продувается сжатым воздухом и освобождается от оставшихся на ней твердых частиц. Для предотвращения осаждения частиц под действием сил тяжести в корыте 6 находится мешалка 7. Следует отметить также, что ячейки при вращении барабана проходят так называемые "мертвые" зоны, в которых они оказываются отсоединенными от источников, как вакуума, так и избыточного давления. Распределение зон по поверхности для стандартных фильтров общего назначения приведено в табл. 4.1.

При расчете фильтра задаются значениями углов сектора предварительной сушки осадка φ_{co} , зоны съема осадка φ_p , мертвых зон $\Sigma\varphi_m$. Ориентировочная частота вращения барабана, обеспечивающая образование осадка заданной толщины, его промывку и сушку определяется по уравнению

$$n = \frac{360 - (\varphi_{C1} + \varphi_0 + \varphi_p + \sum \varphi_{M_i})}{360 \cdot (\tau_\phi + \tau_{III} + \tau_{C2})}$$

где τ_{ϕ} , $\tau_{\text{пр}}$, $\tau_{\text{с2}}$ - продолжительность фильтрования, промывки и сушки осадка после промывки.

Продолжительность фильтрования рассчитывается как:

$$\tau_{\phi} = \frac{\mu r_{\text{ос}}}{2\Delta P \chi} \cdot h_{\text{ос}}^2 + \frac{\mu R_{\text{фл}}}{\Delta P \chi} \cdot h_{\text{ос}}$$

Время промывки осадка можно определить по соотношению

$$\tau_{\text{пр}} = K \frac{V_{\text{пр}}}{F_{\text{пр}} \Delta P} \mu_{\text{пр}} (r_{\text{ос}} h_{\text{ос}} + R_{\text{фл}}) = K \frac{g_{\text{пр}}}{\Delta P} \mu_{\text{пр}} (r_{\text{ос}} h_{\text{ос}} + R_{\text{фл}}),$$

где $V_{\text{пр}}$, $\mu_{\text{пр}}$ - объем промывной жидкости и ее вязкость; $F_{\text{пр}}$ - поверхность промывки; K - коэффициент запаса ($K = 1,05 + 1,2$).

Таблица 4.1 Основные параметры барабанных вакуум-фильтров общего назначения с наружной фильтрующей поверхностью

Фильтр	F _ф , м'	Z _я , шт.	n, с ⁻¹	Распределение зон поверхности барабана (в угловых градусах)								
				Ф _ф	Ф _с	Ф _{пр} +Ф _{с2}	Ф ₀	Ф _р	Ф _{М1}	Ф _{М2}	Ф _{М3}	Ф _{М4}
БОШЗ-1,75Р	3	16	0,00167-0,0333	107	71	101	19	20	2	5	30	5
БОЗ-1,75К	3	18	0,00167-0,0333-	125	60	99	25	24	4	5	14	4
БО5-1,75 К	5											
БО5-1,75У	5	24	0,00167-0,030	124,5	67	103	20	20	2	5	13,5	5
БО10-2,6У	10	24	0,0217-0,0333	132	59,5	103	20	20	2	5	13,5	5
БО10-2,6Р	10	24	0,00167-0,0333	125	71	93,5	195	18	2	4,5	22,5	4
БО20-2,6У	20	24	0,00217-0,0333	132	59,5	103	20	20	2	5	13,5	5
БО40-3У	40	24	0,0095, 0,0142, 0,0287	135	56,5	103	20	20	2	5	13,5	5

Продолжительность сушки осадка после промывки задают на основе экспериментальных данных.

Продолжительность полного цикла работы фильтра

$$\tau_{\text{ц}}=1/n$$

Требуемую общую поверхность фильтра находят по выражению:

$$F_{об} = V \tau_{ц} / Q_{уд} K_{п}$$

где V - заданная производительность по фильтрату, м³/с; $K_{п}$ - поправочный коэффициент, учитывающий необходимость увеличения поверхности из-за изменения сопротивления ткани при многократной регенерации ($K_{п} = 0,8$); $Q_{уд}$ - удельный объем фильтрата, получаемый с 1 м² фильтровальной ткани за время фильтрования $Q_{уд} = h_{ос} / \chi$

По найденному значению $F_{об}$ из каталога выбирают типоразмер фильтра. Затем проверяют его пригодность. Для этого устанавливают соответствие рассчитанной частоты вращения барабана диапазону частот, указанному в каталоге, и сравнивают рассчитанный и стандартный углы сектора фильтрования. Если частота выходит за рамки указанного диапазона или рассчитанный угол больше стандартного, следует повторно выполнить расчеты, задавшись другой высотой слоя осадка.

После этого по каталогу принимают распределение технологических зон. Частоту вращения барабана принимают меньшей из рассчитанных по зависимостям:

Задача. Подобрать барабанный вакуум-фильтр с наружной фильтрующей поверхностью на производительность по фильтрату 10 м³/ч ($2,78 \cdot 10^{-3}$ м³/с).

Исходные данные: перепад давления при фильтровании и промывке $\Delta P = 60000$ Па; жидкая фаза суспензии и промывная жидкость-вода; температура фильтрования 20 °С ($\mu_c = 1 \cdot 10^{-3}$ Па·с; $\rho_c = 1000$ кг/м³); влажность осадка $w_{ос} = 40\%$ масс.; удельное сопротивление осадка $r_{ос} = 7,73 \cdot 10^{11}$ м⁻²; сопротивление фильтровальной перегородки $R_{фп} = 1,32 \cdot 10^{10}$ м⁻¹; плотность твердой фазы $\rho_T = 2220$ кг/м³; массовая концентрация твердой фазы в суспензии $c_T = 6\%$ масс.; температура промывной воды 53 °С ($\mu = 0,52 \cdot 10^{-3}$ Па·с; $\rho = 987$ кг/м³); расход промывной воды на 1 кг осадка $1 \cdot 10^{-2}$ м³/кг; продолжительность окончательной сушки осадка $\tau_{с2}$ не менее 20с.

Решение. Плотность осадка $\rho_{ос} = 1492$ кг/м³; параметр $\chi = 0,0745$. Принимаем высоту осадка $h_{ос} = 10$ мм = 0,01 м. Продолжительность фильтрования

$$\tau_{ф} = \frac{\mu_c r_{ос}}{2P \chi} \cdot h_{ос}^2 + \frac{\mu_c R_{фп}}{\Delta P \chi} \cdot h_{ос} = \frac{1 \cdot 10^{-3} \cdot 7,73 \cdot 10^{11}}{2 \cdot 60000 \cdot 0,0745} \cdot 0,01^2 + \frac{1 \cdot 10^{-3} \cdot 1,32 \cdot 10^{10}}{60000 \cdot 0,0745} \cdot 0,01 = 38 \text{ с}$$

Расход промывных вод найдем, исходя из удельной массы образовавшегося осадка:

$$Q_{пр} = \rho_{ос} \cdot h_{ос} \cdot 1 \cdot 10^{-2} = 1492 \cdot 0,01 \cdot 1 \cdot 10^{-2} = 0,15 \text{ м}^3/\text{м}^2$$

Принимая $K = 1,1$, определим продолжительность промывки осадка:

$$\tau_{\text{пр}} = K \frac{Q_{\text{пр}}}{\Delta P} \mu_{\text{пр}} (r_{\text{ос}} h_{\text{ос}} + R_{\text{ен}}) = 1,1 \cdot \frac{0,15}{60000} \cdot 0,52 \cdot 10^{-3} \cdot (7,73 \cdot 10^{11} \cdot 0,01 + 1,32 \cdot 10^{10}) = 30 \text{ с}$$

Для определения частоты вращения барабана предварительно зададимся с помощью табл. 4.1 величинами углов, ориентируясь на наиболее типичные значения:

$$\varphi_{\text{с1}} = 59,5^\circ; \varphi_{\text{в}} = 20^\circ; \varphi_{\text{р}} = 20^\circ; \varphi_{\text{м1}} = 2^\circ; \varphi_{\text{м2}} = 5^\circ; \varphi_{\text{м3}} = 13,5^\circ; \varphi_{\text{м4}} = 5^\circ$$

Тогда частота вращения барабана:

$$n = \frac{360 - (\varphi_{\text{с1}} + \varphi_{\text{в}} + \varphi_{\text{р}} + \sum \varphi_{\text{мi}})}{360 \cdot (\tau_{\text{ф}} + \tau_{\text{пр}} + \tau_{\text{с2}})} = \frac{360 - (59,5 + 20 + 20 + 2 + 5 + 13,5 + 5)}{360 \cdot (38 + 30 + 20)} = 7,4 \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1}$$

Полученная частота укладывается в диапазон значений, приведенных в табл. 4.1.

Продолжительность полного цикла работы фильтра:

$$\tau_{\text{ц}} = 1/n = 1/0,0074 = 135 \text{ с}$$

Удельный объем фильтрата

$$Q_{\text{уд}} = h_{\text{ос}} / \chi = 0,01 / 0,0745 = 0,134 \text{ м}^3 / \text{м}^2$$

Общая поверхность фильтрования:

$$F_{\text{об}} = V \tau_{\text{ц}} / Q_{\text{уд}} K_{\text{п}} = 2,78 \cdot 10^{-3} \cdot 135 / 0,134 \cdot 0,8 = 3,5 \text{ м}^2$$

Эту поверхность может обеспечить один фильтр БО5-1,75У. Проверим пригодность выбранного фильтра. Он имеет $\varphi_{\text{ф}} = 124,5^\circ$; $(\varphi_{\text{пр}} + \varphi_{\text{с2}}) = 103^\circ$. Рассчитаем n_1 и n_2 :

$$n_1 = \varphi_{\text{ф}} / (360 \tau_{\text{ф}}) = 124,5 / 360 \cdot 38 = 9,1 \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1};$$

$$n_2 = (\varphi_{\text{пр}} + \varphi_{\text{с2}}) / [360 \cdot (\tau_{\text{пр}} + \tau_{\text{с2}})] = 103 / [360 \cdot (30 + 20)] = 5,7 \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1}$$

Так как $n_1 < n_2$ принимаем частоту вращения барабана $n_1 = n_2 = 5,7 \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1}$. Продолжительность цикла

$$\tau_{ц} = 1/n = 1/5,7 \cdot 10^{-3} = 175 \text{ с}$$

Производительность фильтра:

$$V = S_{уд} F_{\phi} K_n / \tau_{ц} = 0,134 \cdot 5 \cdot 0,8 / 175 = 3,06 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с} = 11 \text{ м}^3/\text{ч},$$

что несколько превышает заданную производительность.

5. РАСЧЕТ ЕМКОСТНОГО ФИЛЬТРА ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ

Такие фильтры представляют собой открытый или закрытый цилиндрический сосуд с ложным дном, являющимся основанием для фильтровальной перегородки (рис. 5.1). Верхняя часть сосуда служит приемником суспензии, нижняя - предназначена для приема фильтрата. В зависимости от конструкции фильтра осадок в виде пасты выгружают вручную или механизированным способом. Порядок расчета емкостного фильтра зависит от режима фильтрации

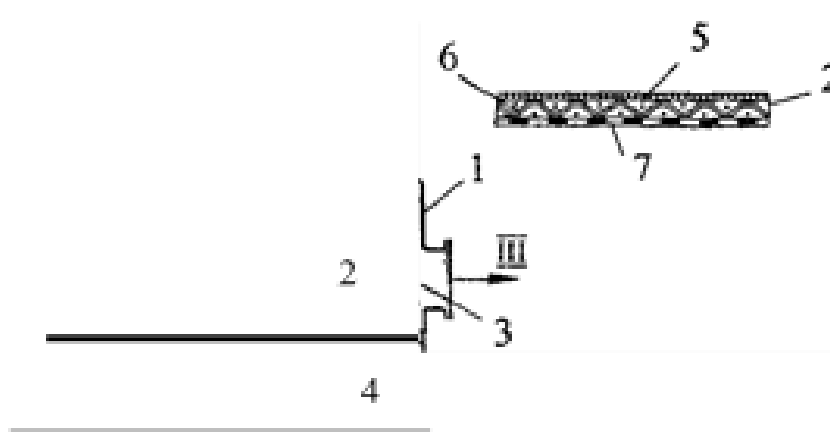


Рисунок 5.1. Схема емкостного фильтра.

1 - корпус; 2 - фильтровальная перегородка; 3 - разгрузочный люк; 4 - сферическое днище; 5 - фильтровальная ткань; 6 - дренажная сетка; 7 - перфорированная пластина.

Потоки: I - суспензия; II - промывная жидкость; III - осадок; IV - фильтрат.

При постоянной движущей силе:

1. Задаются толщиной осадка $h_{ос}$, м.
2. Определяют продолжительность фильтрования $\tau_{ф, в}$.
3. Находят объем фильтрата $Q_{ф}$, м^3 полученного за одну операцию с 1 м^2 поверхности фильтра как:

$$Q_{\phi} = h_{ос} / \chi$$

4. Исходя из расхода промывной жидкости на 1 м³ осадка определяют объем промывной жидкости V_{пр} и время промывки τ_{пр,с}.

5. Оценив время, затрачиваемое на разгрузку и сборку фильтра τ_{вс}, определяют Στ_{1,с}, общую продолжительность одной операции:

$$\Sigma \tau_i = \tau_{\phi} + \tau_{\text{вс}} + \tau_{\text{пр,с}}$$

6. Находят n, оп/сут. число операций в сутки:

$$n = 24 \cdot 3600 / \Sigma \tau$$

7. Рассчитывают Q_{сут}, м³/сут·м³ производительность 1 м³ фильтра в сутки:

$$Q_{\text{сут}} = Q_{\phi} \cdot n$$

8. При заданной производительности по фильтрату V_{сут}, м³/сут. определяют необходимую поверхность фильтра F = V_{сут}/Q_{сут} и подбирают по каталогам фильтр.

При постоянной скорости фильтрации расчет следует вести, ориентируясь на фильтр определенного типа и размера, имеющего поверхность фильтрации F и на поршневой или плунжерный насос с определенной подачей V_н м³/ч. Зная также χ можно найти производительность по фильтрату V = V_н/(1+χ), м³/ч.

Далее:

1. Находят скорость фильтрования, м/с:

$$V/F\tau = V/F \cdot 3600$$

2. Определяют продолжительность фильтрования τ_ф.

3. Рассчитывают толщину осадка как

$$h_{\text{ос}} = V\tau_{\phi}\chi/F \cdot 3600$$

4-6. Находят τ_{пр}, Στ₁ и n также как и для режима ΔP = const .

7. Рассчитывают производительность фильтра за одну операцию, зная производительность насоса V_н :

$$Q_{\phi} = V_{\text{н}}\tau_{\phi}/3600$$

8. Определяют суточную производительность данного фильтра по объему суспензии $V_{\text{сус}}$:

$$V_{\text{сут}} = Q_{\phi} \cdot n$$

Задача. Определить необходимую поверхность фильтра F , м^2 для разделения $V_{\text{с}} = 30 \text{ м}^3/\text{сутки}$ водной суспензии, содержащей 6 % масс. твердых частиц плотностью $\rho_{\text{т}} = 2220 \text{ кг}/\text{м}^3$ при постоянном перепаде давления $\Delta P = 60000 \text{ Н}/\text{м}^2$ и температуре $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ($\mu_{\text{с}} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$; $\rho_{\text{с}} = 1000 \text{ кг}/\text{м}^3$). Соотношение твердой фазы в суспензии и в осадке характеризуется параметром $\chi = 0.0745 \text{ м}^3 \text{ осадка}/\text{м}^3 \text{ фильтрата}$; удельное сопротивление осадка $r_{\text{ос}} = 7,73 \cdot 10^{11} \text{ м}^{-1}$; сопротивление фильтровальной перегородки $R_{\text{фп}} = 1,32 \cdot 10^{10} \text{ м}^{-1}$. Промывка осадка осуществляется водой при температуре $t = 40 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ($\mu = 0,66 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$; $\rho = 992 \text{ кг}/\text{м}^3$) из расчета 8 м^3 воды на 1 м^3 осадка.

Установлено, что продолжительность вспомогательных операций, связанных с выгрузкой осадка и подготовкой фильтра к работе $\tau = 0,3 \text{ ч}$ (1080 с).

Решение. Задаемся толщиной осадка $h_{\text{ос}} = 0,1 \text{ м}$. Продолжительность фильтрования:

$$\tau_{\text{с}} = \frac{\mu r_{\text{ос}} h_{\text{ос}}^2}{2 \Delta P \chi} + \frac{\mu R_{\text{фп}} h_{\text{ос}}}{\Delta P \chi} = \frac{1 \cdot 10^{-3} \cdot 7,73 \cdot 10^{11} \cdot 0,1^2}{2 \cdot 60000 \cdot 0,0745} + \frac{1 \cdot 10^{-3} \cdot 1,32 \cdot 10^{10} \cdot 0,1}{60000 \cdot 0,0745} = 1160 \text{ с}$$

Объем фильтрата, полученного за одну операцию с 1 м^2 поверхности фильтра

$$Q_{\phi} = h_{\text{ос}} / \chi = 0,1 / 0,0745 = 1,34 \text{ м}^3 / \text{опер.}$$

Объем промывной жидкости составляет $V_{\text{пр}} = V_{\text{ос}} \cdot 8 = 0,1 \cdot 8 = 0,8 \text{ м}^3$.
Время промывки:

$$\tau_{\text{пр}} = \frac{V_{\text{пр}} \mu_{\text{пр}} (r_{\text{ос}} h_{\text{ос}} + R_{\text{фп}})}{F \Delta P} = \frac{0,8 \cdot 0,66 \cdot 10^{-3} \cdot (7,73 \cdot 10^{11} \cdot 0,1 + 1,32 \cdot 10^{10})}{1 \cdot 60000} = 796 \text{ с}$$

Общая продолжительность операции

$$\sum \tau_i = \tau_{\text{с}} + \tau_{\text{пр}} + \tau_{\text{ос}} = 1160 + 796 + 1080 = 3036 \text{ с}$$

Число операций в сутки $n = 24 \cdot 3600 / \sum \tau_i = 24 \cdot 3600 / 3036 = 28 \text{ опер.}$
Производительность 1 м^2 фильтра в сутки $Q_{\text{сут}} = Q_{\phi} \cdot n = 1,34 \cdot 28 = 37,5 \text{ м}^3/\text{сут.}$
Количество получаемого фильтрата из 30 м^3 суспензии:

$$V_{\text{сут}} = V_{\text{с}} / (1 + \chi) = 30 / (1 + 0,0745) = 27,9 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Необходимая поверхность фильтрации:

$$F = V_{\text{СУТ}} / \theta_{\text{СУТ}} = 27,9 / 37,5 = 0,74 \text{ м}^2$$

6. РАСЧЕТ РУКАВНОГО ФИЛЬТРА

Тканевые рукавные фильтры применяются для улавливания сухих пылей. Они высокоэффективны, надежны и не требуют больших затрат. Степень улавливания пыли при нормальных условиях работы достигает ~ 98%.

К недостаткам тканевых фильтров относится необходимость довольно частой смены рукавов, которые постепенно теряют свою фильтрующую способность, а также рост сопротивления ткани во время эксплуатации.

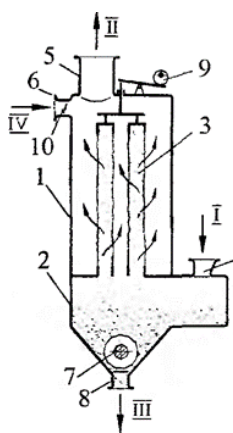


Рисунок 6.1. Схема рукавного фильтра.

1 - корпус; 2 - бункер; 3 - матерчатые рукава; 4 - штуцер для запыленного газа; 5 - штуцер для очищенного газа; 6 - штуцер для подачи воздуха; 7 - шнек; 8 – разгрузочное отверстие; 9 - механизм встряхивания; 10-клапан.
I - запыленный газ; II - очищенный газ; III - пыль; IV - продувочный воздух.

Запыленный газ через штуцер 4 подается в бункер. Далее проходит через ткань рукавов и очищенным отводится через штуцер 5. Пыль оседает на внутренней поверхности рукавов и при помощи встряхивающего механизма 9 сбрасывается в бункер, откуда шнеком 7 подается к отверстию 8, связанному со шлюзовым питателем.

Для регенерации ткани периодически в каждой секции происходит встряхивание рукавов в течение - 30 с. через каждые 3 - 4 минуты. При этом секция отключается от приема пылегазовой смеси путем закрытия клапана (на схеме не показан). В процессе встряхивания открывается клапан 10 для ввода наружного воздуха, который содействует удалению пыли с поверхности рукавов.

Подсос воздуха и подача воздуха для обратной продувки увеличивает нагрузку фильтра по газу на ~ 25 - 30 % ($k= 1,25-1,3$):

$$V_p=k \cdot V$$

При расчете фильтров задаются скоростью газа при прохождении через фильтровальную ткань: для мелкой пыли $w=0,17-0,35$ м/мин; для средней - $0,6-1,0$ м/мин; для крупной пыли - $2,5+3,0$ м/мин. На основании этого определяют необходимую фильтрующую поверхность:

$$F=V_p/60 \cdot w$$

Количество фильтров определяют по формуле:

$$N=F/f$$

где f - фильтрующая поверхность одного фильтра, исключая одну секцию, находящуюся в процессе встряхивания.

Сопrotивление фильтра меняется в процессе фильтрации и регенерации

Ориентировочно его можно определить как:

$$\Delta P=a \cdot w$$

где коэффициент $a=400-450$; w - скорость газа, м/мин.

В табл. 6.1 приведена техническая характеристика фильтров СМЦ-166Б, предназначенных для улавливания пылей среднего и крупного размера.

Таблица 6.1 Техническая характеристика сборок фильтра СМЦ-166Б

Параметры	Число фильтров в сборке			
	1	2	3	4
Площадь фильтрующей поверхности, м ²	30	60	90	120
Температура обеспыливаемых газов, °С	140			
Концентрация пыли в обеспыливаемых газах, кг/м ³	0,05			
Скорость фильтрации, м ³ /(м ² ·мин)	0,08-1,2			
Число рукавов в фильтре, шт	24	48	72	96
Давление сжатого воздуха, кПа	300-600			
Масса без электрооборудования, кг	1000	2000	3000	4000

Задача. При сушке полистирола в аппарате с псевдоожиженным слоем наблюдается унос пыли с отработанным воздухом. Расход воздуха $V=4000$ м³/ч. Концентрация пыли 3 г/м³. Пыль по крупности относится к категории «средняя».

Требуется определить необходимую поверхность фильтрации F , м² гидравлическое сопротивление ΔP , Па, а также подобрать по каталогу фильтр марки СМЦ-1ббБ.

Решение. Нагрузка фильтра по газу с учетом подсоса и продувочного воздуха $V_p = 1,25 \cdot V = 1,25 \cdot 4000 = 5000$ м³/ч. Принимаем скорость газа при прохождении через фильтровальную ткань $w = 1$ м/мин. Поверхность фильтрации $F = V_p / 60 \cdot w = 5000 / 60 \cdot 1 = 83$ м².

Гидравлическое сопротивление фильтра $\Delta P = a \cdot w = 450 \cdot 1 = 450$ Па.

Выбираем сборку с числом фильтров 4 и общей поверхностью 120 м² (3 фильтра в работе, 1 в процессе регенерации). Запас поверхности фильтрации составляет ~ 8 %.

ПЕРЕЧЕНЬ РЕКОМЕНДОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Романков, П. Г. Методы расчета процессов и аппаратов химической технологии (примеры и задачи) : учебное пособие для вузов / П. Г. Романков, В. Ф. Фролов, О. М. Флисюк. — 5-е изд. — Санкт-Петербург : ХИМИЗДАТ, 2020. — 544 с. — ISBN 078-5-93808-349-4. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/97815.htm>

2. Смаль, Д. В. Процессы и аппараты химической технологии. Часть 1 : учебное пособие / Д. В. Смаль, А. В. Черкасов, Ю. Н. Осипов. — Белгород : Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, ЭБС АСВ, 2016. — 77 с. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/80521.html>

3. Процессы и аппараты (основы механики жидкости и газа) : практикум. Учебное пособие / А. Н. Остриков, А. А. Смирных, И. Н. Болгова [и др.]. — Воронеж : Воронежский государственный университет инженерных технологий, 2018. — 232 с. — ISBN 978-5-00032-325-0. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/76435.html>

4. Разинов, А. И. Процессы и аппараты химической технологии : учебное пособие / А. И. Разинов, А. В. Клинов, Г. С. Дьяконов. — Казань : Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2017. — 860 с. — ISBN 978-5-7882-2154-0. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/75637.html>

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ
к проведению практических работ по дисциплине
«Расчёт и проектирование систем защиты окружающей среды»

Составители:

Ганнова Юлия Николаевна – кандидат химических наук, доцент кафедры прикладная экология и охрана окружающей среды ГОУВПО «ДОННТУ»;
Горбатко Сергей Витальевич – кандидат технических наук, доцент кафедры прикладная экология и охрана окружающей среды ГОУВПО «ДОННТУ».

Ответственный за выпуск:

Шаповалов Валерий Васильевич – доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой «Прикладная экология и охрана окружающей среды» ГОУВПО «ДОННТУ».