

## Контрольная работа № 1

### 1. ОСАЖДЕНИЕ

**Задача.** Рассчитать отстойник непрерывного действия для осаждения твёрдых частиц водной суспензии. Диаметр наименьших частиц, подлежащих осаждению,  $d_{ч}$ , мкм. Производительность отстойника по суспензии,  $G_c$ , кг/ч. Концентрация суспензии  $x_c$ . Плотность частиц  $\rho_{ч}$ , кг/м<sup>3</sup>. Температура суспензии  $t$ , °С. Влажность осадка  $U$ .

Определить производительность отстойника по осветлённой жидкости  $G_{осв}$ , производительность по твердой фазе  $G_{т.ф}$ , площадь осаждения  $F_{ос}$ , диаметр отстойника  $D$ , общую высоту отстойника  $H$ , объёмную производительность  $V_{осв}$ . Представить схему отстойника непрерывного действия и описание принципа его работы.

#### Варианты

№ варианта	$d_{ч}$ , мкм	$G_c$ , кг/ч	$x_c$	$\rho_{ч}$ , кг/м <sup>3</sup>	$t$ , °С	$U$
1	80	30000	0,05	1300	30	0,7
2	75	30000	0,055	1275	40	0,6
3	70	25000	0,06	1250	25	0,65
4	65	25000	0,065	1225	45	0,7
5	60	20000	0,07	1200	20	0,6
6	55	20000	0,075	1175	30	0,65
7	50	15000	0,08	1150	40	0,7
8	45	15000	0,085	1175	35	0,6
9	40	10000	0,09	1150	40	0,65
10	35	10000	0,095	1175	45	0,6

#### Расчётные формулы

1. Скорость осаждения шарообразных частиц для ламинарного режима ( $Re \leq 2$ ;  $\xi = \frac{24}{Re}$ )

$$\omega_{oc} = g d_n^2 \frac{(\rho_n - \rho_c)}{18 \mu_c}, \quad (1.1)$$

где  $d_n$  – эквивалентный диаметр частицы, м;  $\rho_n$  – плотность частицы, кг/м<sup>3</sup>;  $\mu_c$  – коэффициент динамической вязкости среды, Па·с.

Если плотности смешиваемых компонентов отличаются более чем на 30 %, то плотность смеси по формуле

$$\rho_c = \rho_n \varphi + \rho_{ж} (1 - \varphi). \quad (1.2)$$

Динамическая вязкость смеси:

а) если  $\varphi \leq 0,1$ , то  $\mu_c = \mu_{ж} (1 + 2,5\varphi); \quad (1.3)$

б) если  $\varphi > 0,1$ , то  $\mu_c = \frac{0,59 \mu_{ж}}{(0,77 - \varphi)^2}. \quad (1.4)$

Объёмная доля твёрдой фазы в суспензии

$$\varphi = \frac{x_c \rho_{ж}}{\rho_n}. \quad (1.5)$$

2. Проверить режим осаждения, т. е. провести перерасчёт числа Рейнольдса

$$Re = \frac{\omega_{oc} d_n \rho_c}{\mu_c}. \quad (1.6)$$

Если число Рейнольдса больше двух ( $Re > 2$ ), то необходимо провести перерасчёт скорости осаждения

$$\omega_{oc} = \sqrt{\frac{4g d_n (\rho_n - \rho_c)}{3\xi \rho_c}}, \quad (1.7)$$

где  $\xi$  – коэффициент сопротивления среды.

Для переходного режима ( $2 < Re \leq 500$ )

$$\xi = \frac{18,5}{Re^{0,6}}. \quad (1.8)$$

4

Для турбулентного режима ( $Re > 500$ )

$$\xi = 0,44. \quad (1.9)$$

3. Скорость стеснённого осаждения

$$\omega_{oc}^* = \lambda \omega_{oc}, \quad (1.10)$$

где  $\lambda$  – поправочный коэффициент, учитывающий объёмную концентрацию  $\varphi$  (в долях),

$$\lambda = \frac{(1 - \varphi)^2}{(1 + 2,5\varphi + 7,35\varphi^2)}. \quad (1.11)$$

4. Массовая производительность по осветлённой жидкости

$$G_{осн} = G_c - G_{ос}, \quad (1.12)$$

где  $G_c$  – производительность по суспензии;  $G_{ос}$  – производительность отстойника по стеснённой суспензии.

Производительность по твёрдой фазе, поступающей с суспензией

$$G_{т.ф} = G_c x_c. \quad (1.13)$$

Количество получаемого из суспензии влажного осадка

$$G_{ос} = \frac{G_{т.ф}}{1 - U}, \quad (1.14)$$

где  $U$  – влажность осадка.

5. Объёмная производительность отстойника по осветлённой жидкости

$$V_{осн} = F \omega_{oc}^*, \quad (1.15)$$

где  $F$  – площадь осаждения отстойника, м<sup>2</sup>

5

$$F = 1,3 G_c \frac{(1 - x_c)}{\rho_c \omega_{oc}}. \quad (1.16)$$

6. Чтобы устранить перемешивание жидкости у свободной поверхности, высоту зоны свободного осаждения в отстойнике принимают равной  $h_1 = 0,45 \dots 0,75$  м, при этом наибольшее значение выбирают для более концентрированных суспензий.

Высота зоны осаждения, м

$$h_2 = \frac{m_{т.ф}}{\rho_{ос}}, \quad (1.17)$$

где  $m_{т.ф}$  – масса твёрдой фазы, осаждающейся в единицу времени ( $\tau = 1$  ч) на единице свободной поверхности отстойника, кг

$$m_{т.ф} = \frac{G_c x_c \tau}{F}. \quad (1.18)$$

Высоту зоны расположения лопастей мешалки определяют исходя из наклона лопастей, равного приблизительно 0,146 м на 1 м длины.

Высота этой зоны

$$h_3 = 0,146 \frac{D}{2} = 0,073 D, \quad (1.19)$$

где  $D$  – диаметр отстойника, м

$$D = \sqrt{\frac{4F_{ос}}{\pi}}. \quad (1.20)$$

Общая высота отстойника, м

$$H = h_1 + h_2 + h_3. \quad (1.21)$$

6

## 2. ПЕРЕМЕШИВАНИЕ

**Задача.** Определить мощность электродвигателя и частоту вращения мешалки (диаметр  $d_n$  и ширина  $b$ ), установленной в аппарате диаметром  $D$  для перемешивания жидкости слоем  $H$  с твёрдыми частицами, если плотность жидкости  $\rho_{ж} = 1000$  кг/м<sup>3</sup>, а её вязкость  $\mu_{ж} = 0,001$  Па·с. Массовое содержание твёрдой фазы в жидкости  $x_{т.ф}$ , эквивалентный диаметр твёрдых частиц  $d_n = 1$  мм и их плотность  $\rho_{т.ч} = 1500$  кг/м<sup>3</sup>.

Аппарат имеет шероховатые внутренние стенки и гильзу для термометра. Шаг винта лопасти пропеллерной мешалки  $S$ . Количество перемещений жидкости через диффузор  $m$ . Угол подъёма винтовой линии  $\Theta$ .

### Варианты

№ варианта	$d_n$ , м	$b$ , м	$D$ , м	$H$ , м	$x_{т.ф}$	$S$ , м	$m$	$\Theta$ , °	Тип мешалки
1	1,0	0,1	1,5	1,2	0,18	–	–	–	Лопастная
2	1,0	0,13	1,0	1,0	0,2	–	–	–	Лопастная
3	0,5	–	1,5	0,8	0,22	0,3	10	25	Пропеллерная
4	0,33	–	1,0	1,1	0,15	0,33	12	30	Пропеллерная в диффузоре
5	1,0	0,15	2,0	0,9	0,1	–	–	–	Лопастная в аппарате со змеевиком
6	1,0	0,1	1,1	1,0	0,2	–	–	–	Якорная
7	0,35	–	1,3	1,3	0,18	0,33	8	35	Пропеллерная в диффузоре
8	0,95	0,15	1,0	0,9	0,15	–	–	–	Якорная
9	0,75	0,1	1,5	0,8	0,15	–	–	–	Лопастная в аппарате со змеевиком
10	0,6	–	1,7	1,0	0,25	0,3	5	40	Пропеллерная

7

### Расчётные формулы

1. Плотность перемешиваемых компонентов суспензии  $\rho_c$ , кг/м<sup>3</sup>

$$\rho_c = \frac{1}{\frac{x_{т.ф}}{\rho_{т.ч}} + \frac{1-x_{т.ф}}{\rho_{ж}}}, \quad (2.1)$$

где  $\rho_{т.ч}$  – плотность твёрдых частиц, кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_{ж}$  – плотность жидкости, кг/м<sup>3</sup>;  $x_{т.ф}$  – массовое содержание твёрдой фазы в жидкости.

2. Объёмная доля твёрдой фазы в суспензии

$$\varphi = \frac{\rho_c}{\rho_{ж}} x_{т.ф}. \quad (2.2)$$

3. Динамическая вязкость смеси:

а) если  $\varphi \leq 0,1$ , то  $\mu_c = \mu_{ж}(1 + 2,5\varphi)$ ; (2.3)

б) если  $\varphi > 0,1$ , то  $\mu_c = \frac{0,59\mu_{ж}}{(0,77 - \varphi)^2}$ . (2.4)

4. Частота вращения мешалки, об/с:

а) для лопастной и якорной мешалок

$$n = C \sqrt{\frac{(\rho_{т.ч} - \rho_{ж}) K_1}{\rho_c} \left( \frac{D^x}{d_m^y} \right)}, \quad (2.5)$$

где  $d_m$  – эквивалентный диаметр твёрдой частицы, м;  $D$  – диаметр аппарата, м;  $d_m$  – диаметр мешалки, м;  $C, x, y$  – постоянные (прил., табл. 1);

б) для пропеллерной и турбинной мешалок

$$n = \frac{\omega_0}{S \cos^2 \Theta}, \quad (2.6)$$

где  $\omega_0$  – осевая скорость перемешивания суспензии, м/с;  $S$  – шаг

8

винта пропеллерной или турбинной мешалки, м;  $\Theta$  – угол подъёма винтовой линии, °.

Осевая скорость перемешивания суспензии

$$\omega_0 = \frac{mV}{60F_{0,в}}, \quad (2.7)$$

где  $m$  – количество перемещений жидкости через диффузор;  $V$  – объём аппарата, м<sup>3</sup>;  $F_{0,в}$  – поверхность, отмечаемая винтом, м<sup>2</sup>.

Объём аппарата

$$V = \frac{\pi D^2 H}{4}. \quad (2.8)$$

Поверхность, отмечаемая винтом,

$$F_{0,в} = 0,8 \frac{\pi d_m^2}{4}. \quad (2.9)$$

5. Критерий Рейнольдса для мешалки,

$$Re_{cm} = \frac{n \rho_c d_m}{\mu_c}. \quad (2.10)$$

6. По полученному значению  $Re_m$  из графика (прил. рис. 1)  $K_N = f(Re_m)$ , находим значение коэффициента мощности  $K_N$  для модельной мешалки.

Величина  $K_N$ , полученная из рис. 1, справедлива только для мешалок геометрически подобных модельным мешалкам. При отклонении от этого условия расход энергии на перемешивание изменяется, поэтому при отсутствии геометрического подобия мешалок значение  $K_N$  умножают на поправочные коэффициенты:

$$f_D = \left( \frac{D}{\alpha d_m} \right)^a; \quad (2.11)$$

9

$$f_h = \left( \frac{H}{D} \right)^h; \quad (2.12)$$

$$f_b = \left( \frac{b}{\beta d_m} \right)^k; \quad (2.13)$$

$$f_s = \left( \frac{S}{d_m} \right)^p, \quad (2.14)$$

где  $\alpha$  – отношение  $\frac{D}{d}$  для модельной мешалки;  $\beta$  – отношение  $\frac{b}{d}$  для модельной мешалки. Значения коэффициентов  $a, h, k, p$  приведены в (прил., табл. 3). Тогда

$$K_{N_1} = K_N f_D f_h f_b f_s; \quad (2.15)$$

7. Мощность, потребляемая мешалкой в рабочий период, Вт:

а) для лопастной и якорной мешалок

$$N_P = K_{N_1} d_m^5 n^3 \rho_c, \quad (2.16)$$

б) для пропеллерной и турбинной мешалок

$$N_P = 0,02 \sin^3 \Theta \cos \Theta K_{N_1} d_m^5 n^3 \rho_c. \quad (2.17)$$

Если высота слоя жидкости в аппарате отлична от его диаметра, то поправочный множитель

$$f_H = \sqrt{\frac{H}{D}}. \quad (2.18)$$

Шероховатость внутренних стенок аппарата, наличие в нём змеевика и гильзы для термометра учитываются следующими поправочными коэффициентами:

$f_{ш} = 1,1 \dots 1,2$  – для шероховатых стенок;

10

$f_z = 2 \dots 3$  – при наличии змеевика вдоль вертикальных стенок или у дна аппарата;

$f_r = 1,1$  – при наличии гильзы для термометра.

8. При коэффициенте  $f_n = 1,3$ , учитывающем пусковой момент и КПД передачи  $\eta = 0,8 \dots 0,85$ , необходимая мощность электродвигателя мешалки, кВт

$$N_{дв} = \frac{1,3 N_P f_H f_{ш} f_z f_r}{1000 \eta}. \quad (2.19)$$

11

### 3. ФИЛЬТРОВАНИЕ

**Задача.** Определить необходимую поверхность фильтрования водной суспензии, содержащей  $x_c$  твёрдой фазы. Влажность осадка  $U$ . Производительность фильтра по фильтрату  $V_\phi$ . Перепад давления на фильтре  $\Delta P$ . Удельное сопротивление несжимаемого осадка  $r_0$ , сопротивление фильтровальной перегородки  $R_{п1}$ , плотность твёрдой фазы  $\rho_{т.ф}$ . Осадок промывают используя  $1,5 \text{ м}^3$  воды на  $1 \text{ м}^3$  осадка. Динамическая вязкость промывных вод  $\mu_{пр}$ , а динамическая вязкость фильтрата  $\mu_\phi$ . Плотность жидкости  $\rho_{ж} = 1000 \text{ кг/м}^3$ .

#### Варианты

№ варианта	$x_c$	$U$	$V_\phi$ , м <sup>3</sup> /ч	$\Delta P \cdot 10^{-5}$ , Па	$r_0 \cdot 10^{-12}$ , м <sup>-2</sup>	$R_{п1} \cdot 10^{-10}$ , м <sup>-1</sup>	$\rho_{т.ф}$ , кг/м <sup>3</sup>	$\mu_{пр}$ , Па·с	$\mu_\phi$ , Па·с
1	0,05	0,45	5	0,7	19	2	2000	0,0004	0,0006
2	0,05	0,40	7	1,0	18	2	1700	0,0005	0,0007
3	0,07	0,50	9	1,5	16	1	1600	0,0003	0,0006
4	0,09	0,45	10	2,0	14	9	1300	0,0005	0,0008
5	0,11	0,35	11	2,5	12	7	1400	0,0003	0,0004
6	0,10	0,40	8	0,8	15	6	2100	0,0004	0,0007
7	0,06	0,45	6	1,2	13	3	1800	0,0003	0,0005
8	0,08	0,50	7	1,4	17	5	1500	0,0004	0,0006
9	0,07	0,35	9	0,9	11	8	1900	0,0006	0,0008
10	0,12	0,40	5	1,1	19	4	1400	0,0003	0,0004

#### Расчётные формулы

1. Количество получаемого фильтрата, кг/с

$$G_\phi = V_\phi \rho_\phi, \quad (3.1)$$

12

где  $V_\phi$  – объёмная производительность по фильтрату, м<sup>3</sup>/с;  $\rho_\phi$  – плотность фильтрата, кг/м<sup>3</sup>

$$\rho_\phi = \frac{1}{\frac{x_c}{\rho_{т.ф}} + \frac{1-x_c}{\rho_{ж}}}, \quad (3.2)$$

где  $\rho_{т.ф}$  – плотность твёрдых частиц, кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_{ж}$  – плотность жидкости (воды) при 20°C, кг/м<sup>3</sup>;  $x_c$  – содержание твёрдой фазы.

2. Массовый расход суспензии  $G_c$ , кг/с

$$G_c = \frac{G_\phi}{1 - \frac{x_c}{1-U}}, \quad (3.3)$$

где  $U$  – влажность осадка.

3. Количество твёрдой фазы, поступающей с суспензией  $G_{т.ф}$ , кг/с

$$G_{т.ф} = G_c x_c. \quad (3.4)$$

4. Количество получаемого из суспензии влажного осадка  $G_{ос}$ , кг/с

$$G_{ос} = \frac{G_{т.ф}}{1-U}. \quad (3.5)$$

5. Плотность влажного осадка  $\rho_{ос}$ , кг/м<sup>3</sup>

$$\rho_{ос} = \rho_{т.ф} U + \rho_{ж} (1-U). \quad (3.6)$$

6. Количество влажного осадка, приходящегося на 1 м<sup>3</sup> получаемого фильтрата, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>

13

$$x_{ос} = \frac{G_{ос}}{\rho_{ос} \cdot V_\phi}. \quad (3.7)$$

7. Удельная производительность фильтра за 1 цикл, м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>

$$v = \frac{h_{ос}}{x_{ос}}, \quad (3.8)$$

где  $h_{ос}$  – высота слоя осадка, м. Для барабанного вакуум-фильтра высоту слоя осадка принимают  $h_{ос} = 10 \dots 12$  мм.

8. Продолжительность фильтрования  $\tau$  (с) при  $\Delta P = \text{const}$

$$\tau_\phi = \frac{\mu_\phi r_{ос} x_{ос} v^2}{2\Delta P} + \frac{\mu_\phi R_{пер} v}{\Delta P}, \quad (3.9)$$

где  $\mu_\phi$  – динамическая вязкость фильтрата, Па·с;  $r_{ос}$  – удельное сопротивление осадка, м<sup>-2</sup>;  $R_{пер}$  – сопротивление фильтровальной перегородки, м<sup>-1</sup>;  $\Delta P$  – перепад давления в секции фильтрации, Па.

9. Удельное сопротивление осадка при промывке, м<sup>-2</sup>

$$r_{пром} = \frac{\mu_{пр} r_{ос}}{\mu_\phi}, \quad (3.10)$$

где  $\mu_{пр}$  – динамическая вязкость промывных вод, Па·с.

10. Продолжительность промывки  $\tau_{пр}$ , с

$$\tau_{пр} = \frac{W x_{ос} \mu_{пр} (r_{пр} x_{ос} v + R_{пер})}{\Delta P_{пр}}, \quad (3.11)$$

где  $W$  – расход воды на 1 м<sup>3</sup> осадка, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>.

11. Примем общее число секций в барабане  $m = 18$ , из которых в зоне фильтрования находится 6 секций ( $m_\phi = 6$ ) и в зоне промывки

14

3 секции ( $m_{пр} = 3$ ). Продолжительность полного цикла фильтрования для барабанного вакуум-фильтра непрерывного действия  $T$ , с

$$T = (\tau_\phi + \tau_{пр}) \frac{m}{m_\phi + m_{пр}}. \quad (3.12)$$

12. Необходимая площадь фильтрования  $F$ , м<sup>2</sup>

$$F = \frac{V_\phi T}{v}. \quad (3.13)$$

13. Частота вращения барабана  $n$ , об/мин

$$n = \frac{60}{T}. \quad (3.14)$$

14. Степень погружения барабана в суспензию  $\phi$

$$\phi = \frac{\tau_\phi}{T}. \quad (3.15)$$

15