

Практичне заняття № 2

РОЗРАХУНОК АПАРАТІВ ДЛЯ ВІДСТОЮВАННЯ ПУЛЬП

Відстоювання застосовують у промисловості для згущення пульп або класифікації за фракціями часточок твердої фази суміші. Конструктивно згущувачі та класифікатори виготовляють аналогічно, але при розрахунку згущувачів ґрунтуються на швидкості осадження найдрібніших частинок суміші, які необхідно відділити на даній стадії.

У промисловості широко застосовуються згущувачі безперервної дії з гребковою мішалкою (табл. 1).

Таблиця 1 – Основні розміри згущувачів безперервної дії з гребковою мішалкою

Діаметр, м	1,8	3,6	4,0	6,0	9,0	12,0	15,0	18,0	24,0	30,0
Висота, м	1,8	1,8	2,5	3,0	3,6	3,5	3,6	3,2	3,6	3,6
Поверхня, м ²	2,54	10,2	12,0	28,2	63,9	113	176,6	254	452	706,5

Інженерний розрахунок згущувача, відстійника або прояснювача складається з визначення площі осадження чи діаметра апарата, а також його висоти.

При розрахунку згущувачів основною розрахунковою величиною є поверхня осадження F_{oc} (м²), яку визначають за формулою:

$$F_{oc} = K_3 \cdot \frac{G_{cm}}{\rho_{ocv} \cdot \omega_{cm}} \cdot \left[\frac{x_{oc} - x_{cm}}{x_{oc} - x_{ocv}} \right], \quad (1)$$

де K_3 – коефіцієнт запасу поверхні, який враховує нерівномірність розподілення вихідної суміші з усієї площі осадження, вихроутворення та інші фактори, які виявляються у виробничих умовах (звичайно $K_3 = 1,3 \dots 1,35$);

G_{cm} – масова витрата вихідної суміші, кг/с;

ρ_{ocv} – густина прояснювальної рідини, кг/м³;

ω_{cm} – швидкість стиснутого осадження частинок суміші, м/с;

x_{cm} , x_{oc} , x_{ocv} – вміст твердих частинок відповідно у вихідній суміші, осаді та прояснювальній рідині, частка.

Якщо $x_{осв} = 0$, то для практичного застосування використовується формула:

$$F_{ос} = \frac{1,33 \cdot G_{см} \cdot (1 - x_{см}/x_{ос})}{\rho_{осв} \cdot \omega_{см}} \quad (2)$$

Швидкість стиснутого осадження суміші, яка складається з частинок, наближено можна розрахувати за швидкістю вільного осадження частинок в залежності від об'ємної частки рідини у суміші за формулами:

при $\varepsilon \leq 0,7$

$$\omega_{см} = 0,123 \cdot \omega_{ос} \cdot \psi \cdot \frac{\varepsilon^3}{1 - \varepsilon}, \quad (3)$$

при $\varepsilon > 0,7$

$$\omega_{см} = \omega_{ос} \cdot \psi \cdot \varepsilon^2 \cdot 10^{-1,82 \cdot (1 - \varepsilon)}, \quad (4)$$

де $\omega_{ос}$ – швидкість вільного осадження частинок, м/с;

ε – об'ємна частка рідини в суміші;

ψ – коефіцієнт форми частинок, який визначається за дослідними даними (зокрема, для округлих частинок $\psi = 0,77$; кутастих – 0,66; довгастих – 0,58; пластинчатих – 0,43; кулястих – 1).

Для визначення об'ємної частки рідини в суміші ε застосовують співвідношення:

$$\varepsilon = 1 - x_{см} \cdot \rho_{см} / \rho_{тв}, \quad (5)$$

де $\rho_{см}$, $\rho_{тв}$ – густина відповідно суміші та твердої фази, кг/м³.

Густину суміші $\rho_{см}$ (кг/м³) можна визначити за формулою:

$$\rho_{см} = \frac{1}{\frac{x_{см}}{\rho_{тв}} + \frac{1 - x_{см}}{\rho_{ж}}}, \quad (6)$$

де $\rho_{ж}$ – густина чистої рідини, кг/м³.

Швидкість вільного осадження часточок ω_{oc} (м/с) розраховують за формулою:

$$\omega_{oc} = \frac{\mu_{cm} \cdot Re}{d \cdot \rho_{жс}}, \quad (7)$$

де μ_{cm} – динамічна в'язкість суміші, Па·с;

Re – критерій Рейнольдса при осадженні частинки;

d – діаметр частинки, м.

Величину μ_{cm} можна визначити в залежності від об'ємної концентрації твердої фази у суміші за формулами:

при $\varphi \leq 0,1$

$$\mu_{cm} = \mu_c \cdot (1 + 2,5 \cdot \varphi), \quad (8)$$

при $\varphi > 0,1$

$$\mu_{cm} = \mu_c \cdot (1 + 4,5 \cdot \varphi), \quad (9)$$

де φ – об'ємна концентрація твердої фази у суміші, частки;

μ_c – динамічна в'язкість чистої рідини, Па·с.

Значення критерію Рейнольдса Re враховують в залежності від режиму осадження, який визначається за допомогою критерію Архімеда:

$$Ar = \frac{d^3 \cdot (\rho_{тв} - \rho_{жс}) \cdot \rho_{жс} \cdot g}{\mu_c^2}, \quad (10)$$

при $Ar \leq 36$

$$Re = Ar/18 = 0,056 \cdot Ar, \quad (11)$$

при $36 < Ar \leq 8,3 \cdot 10^4$

$$Re = 0,152 \cdot Ar^{0,715}, \quad (12)$$

при $Ar > 8,3 \cdot 10^4$

$$Re = 1,74 \cdot \sqrt{Ar}. \quad (13)$$

Приклад 1. Розрахувати згущувач для згущення водної пульпи за такими

даними: витрата пульпи $G_{cm} = 19000$ кг/год;

вміст твердих часточок у пульпі $x_{cm} = 0,1$,

в осаді $x_{oc} = 0,5$,

у прояснювальній рідині $x_{ocv} = 0,0001$;

часточки мають округлу форму;

мінімальний розмір часточок, які необхідно відділити $d = 35$ мкм; щільність

часточок $\rho_{тв} = 2600$ кг/м³;

осадження відбувається за температури 5 °С;

об'ємна концентрація твердої фази в пульпі $\varphi = 0,08$.

Розв'язання

Визначаємо величину критерію Архімеда за формулою (10):

$$Ar = \frac{(35 \cdot 10^{-6})^3 \cdot (2600 - 1000) \cdot 1000 \cdot 9,81}{(1,519 \cdot 10^{-3})^2} = 0,29,$$

де $\mu_c = 1,519 \cdot 10^{-3}$ Па·с (див. табл. А.1, Додаток А).

Оскільки $Ar < 36$, визначаємо Re за формулою (11):

$$Re = 0,29/18 = 0,0161.$$

Розраховуємо μ_{cm} , використовуючи формулу (8):

$$\mu_{cm} = 1,519 \cdot 10^{-3} \cdot (1 + 2,5 \cdot 0,08) = 1,8228 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}.$$

Швидкість вільного осадження часточок відповідно до рівняння (7) складає:

$$\omega_{oc} = \frac{1,8228 \cdot 10^{-3} \cdot 0,0161}{35 \cdot 10^{-6} \cdot 1000} = 8,38 \cdot 10^{-4} \text{ м/с}.$$

Визначаємо густину пульпи за формулою (6):

$$\rho_{cm} = \frac{1}{\frac{0,1}{2600} + \frac{1-0,1}{1000}} = 1065,6 \text{ кг/м}^3.$$

За формулою (5) визначаємо величину ε :

$$\varepsilon = 1 - 0,1 \cdot 1065,6 / 2600 = 0,959 .$$

Оскільки $\varepsilon > 0,7$, то для розрахунку швидкості стиснутого осадження використовуємо формулу (4):

$$\omega_{cm} = 8,38 \cdot 10^{-4} \cdot 0,77 \cdot 0,959^2 \cdot 10^{-1,82 \cdot (1-0,959)} = 5 \cdot 10^{-4} \text{ м/с}.$$

За формулою (1) визначаємо поверхню осадження, прийнявши $K_3 = 1,33$ та враховуючи, що густина прояснювальної рідини дорівнює густині чистої рідини:

$$F_{oc} = 1,33 \cdot \frac{19000}{3600 \cdot 1000 \cdot 5 \cdot 10^{-4}} \cdot \frac{0,5 - 0,1}{0,5 - 0,0001} = 11,23 \text{ м}^2,$$

звідки $D = \sqrt{4 \cdot 11,23 / \pi} = 3,78 \text{ м}.$

За наведеними у табл.1 даними обираємо згущувач з діаметром 4,0 м, висотою 2,5 м, поверхнею осадження 12,0 м².

Відповідь: Для згущення 19000 кг/год водної пульпи с мінімальним розміром часточок 35 мкм потрібно використовувати згущувач з поверхню осадження 12,0 м², діаметром 4,0 м , висотою 2,5 м,

Завдання для самостійної роботи

Завдання 1. Розрахувати згущувач для згущення G_{cm} кг/год водної пульпи (табл. 2), якщо вміст твердих часточок у пульпі x_{cm} , в осаді x_{oc} , у прояснювальній рідині $x_{ocв}$; часточки мають форму, вказану в табл. 2; мінімальний розмір часточок, які необхідно відокремити, d мкм; щільність часточок $\rho_{тв}$ кг/м³; осадження відбувається за температури t °С; об'ємна концентрація твердої фази в пульпі φ .

Таблиця 2 – Вихідні дані для розрахунку згущувача

Ва- рі- ант	d , мм	$\rho_{\text{пл}}$, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	Форма часточок	t , °C	φ	$x_{\text{пл}}$	$x_{\text{ос}}$	$x_{\text{оспл}}$	$G_{\text{пл}}$, т/год.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	35	2650	куляста	3	0,02	0,25	0,70	0,0001	80
2	40	2600	округла	4	0,03	0,28	0,71	0,0001	45
3	30	2710	кутаста	5	0,04	0,24	0,70	0,0001	52
4	20	2200	довгаста	6	0,05	0,26	0,70	0,0001	23
5	20	1400	пластинчата	7	0,06	0,27	0,70	0,0001	4
6	10	7560	куляста	8	0,07	0,23	0,75	0,0002	40
7	10	8500	округла	9	0,08	0,22	0,72	0,0001	38
8	40	2700	кутаста	10	0,09	0,21	0,70	0,0001	50
9	15	11400	довгаста	11	0,10	0,20	0,75	0,0002	25
10	15	8800	пластинчата	12	0,11	0,25	0,70	0,0002	28
11	50	7560	округла	13	0,12	0,22	0,74	0,0002	100
12	100	8500	довгаста	14	0,13	0,07	0,88	0,0002	300
13	350	2710	пластинчата	15	0,14	0,08	0,30	0,0001	80
14	20	2650	пластинчата	16	0,15	0,08	0,26	0,0001	56
15	28	2200	округла	17	0,16	0,17	0,54	0,0002	92
16	24	1400	куляста	18	0,17	0,18	0,61	0,0001	24
17	10	8800	кутаста	19	0,18	0,24	0,73	0,0001	30
18	20	2710	округла	20	0,19	0,21	0,76	0,0002	46
19	26	8500	довгаста	2	0,02	0,06	0,62	0,0001	55
20	18	2710	куляста	3	0,03	0,26	0,64	0,0001	47
21	25	2200	кутаста	4	0,04	0,10	0,50	0,0004	10
22	24	7560	пластинчата	5	0,05	0,09	0,54	0,0001	75
23	44	1400	довгаста	6	0,06	0,12	0,60	0,0001	14
24	20	8800	кутаста	7	0,07	0,07	0,31	0,0002	63
25	22	8500	пластинчата	8	0,08	0,09	0,41	0,0001	50
26	30	2200	округла	9	0,09	0,08	0,40	0,0002	62
27	10	2600	куляста	10	0,10	0,07	0,44	0,0001	16

ДОДАТОК А
ДОВІДКОВІ МАТЕРІАЛИ

Таблиця А.1 – Динамічний коефіцієнт в'язкості води

t, °C	μ , мПа·с						
0	1,792	13	1,203	26	0,8737	39	0,6685
1	1,731	14	1,171	27	0,8545	40	0,6560
2	1,673	15	1,140	28	0,8360	41	0,6439
3	1,619	16	1,111	29	0,8180	42	0,6321
4	1,567	17	1,083	30	0,8007	43	0,6207
5	1,519	18	1,056	31	0,7840	44	0,6097
6	1,473	19	1,030	32	0,7679	45	0,5988
7	1,428	20	1,005	33	0,7523	46	0,5883
8	1,386	21	0,9810	34	0,7371	47	0,5782
9	1,346	22	0,9579	35	0,7225	48	0,5683
10	1,308	23	0,9358	36	0,7085	49	0,5588
11	1,271	24	0,9142	37	0,6947	50	0,5494
12	1,236	25	0,8937	38	0,6814	51	0,5404