

Тематики-завдання контрольних робіт для студентів заочної форми навчання

ГІДРОМЕХАНІЧНІ ПРОЦЕСИ ТА АПАРАТИ

1. Розділення рідких і газових неоднорідних систем

Гідромеханічними називаються процеси, швидкість яких визначається законами гідромеханіки. До них належать: розділення газових і рідких неоднорідних систем осадження завислих у них частинок під дією сили тяжіння, інерційних сил, відцентрової сили й сил електричного поля; розділення фільтруванням, мокре розділення газових неоднорідних систем, а також спеціальні види розділення; транспортування рідин і стискання та транспортування газів і парів (у цьому посібнику не розглядаємо); перемішування рідких середовищ і псевдо-зрідження твердого зернистого матеріалу.

Результатом багатьох процесів хімічної технології є утворення неоднорідних рідких або газоподібних сумішей, які надалі підлягають розділенню, або, навпаки, часто з речовин, які знаходяться в різних агрегатних станах, необхідно одержати суміш.

Неоднорідною (гетерогенною) системою називається дисперсна система, яка складається з щонайменше однієї дисперсної фази, розподіленої в рідкому або газоподібному дисперсійному середовищі.

Як бачимо, неоднорідні системи складаються щонайменше з двох фаз: *дисперсної фази*, тобто переривчастої фази, яка містить частинки роздрібненої речовини (твердої, рідкої, газоподібної), і *дисперсійного середовища*, тобто суцільної фази, у якій розподілено частинки дисперсної фази.

Залежно від фізичного стану фаз розрізняють такі бінарні неоднорідні (гетерогенні) системи: пил, дим, туман, суспензію, емульсію й піну.

Пил - це дисперсна система з твердою дисперсною фазою з розмірами частинок 5 мкм і більше й газоподібним дисперсійним середовищем. Ця система утворюється зазвичай при дробленні, подрібненні, змішуванні та транспортуванні твердих матеріалів.

Дим - це дисперсна система з твердою дисперсною фазою з розмірами частинок менше 5 мкм її газоподібним дисперсійним середовищем. Вона утворюється зазвичай при згорянні палива.

Туман - це дисперсна система з рідкою дисперсною фазою з розмірами частинок до 5 мкм і газоподібним дисперсійним середовищем. Вона утворюється при конденсації парів або розпилюванні рідини в газі.

Усі ці системи, дисперсійним середовищем яких є газ, мають загальну назву - *аерозолі* (аерозолі з рідкою дисперсною фазою також називають *спреями*).

Суспензія - це мікрогетерогенна система з твердою дисперсною фазою й рідким дисперсійним середовищем (ДСТУ 2432-94).

Залежно від розмірів частинок твердої дисперсної фази d_T суспензії умовно поділяють на три групи: грубі суспензії ($d_T=100\text{мкм}$), тонкі суспензії ($0,5\text{мкм}=d_T=100,0\text{ мкм}$) і колоїдні розчини ($d_T<0,1\text{мкм}$).

Емульсія - це дисперсна система, утворена двома рідинами, які не змішуються (ДСТУ 2432-94), або рідка неоднорідна система, у якій дисперсна фаза - завислі крапельки однієї або кількох рідин з обмеженою розчинністю в рідкому дисперсійному середовищі (ГОСТ 16887-76).

Розмір частинок дисперсної фази коливається в широких границях, проте емульсії набувають стійкості лише при розмірах частинок дисперсної фази менше 0,4-0,5 мкм або при додаванні в систему стабілізаторів.

Піна - це дисперсна система з газоподібною дисперсною фазою й рідким дисперсійним середовищем.

Для емульсій і пін характерна можливість переходу дисперсної фази в дисперсійне середовище й навпаки. Цей перехід можливий лише за певного масового співвідношення фаз і називається *інверсією фаз*, або просто *інверсією*.

Здебільшого неоднорідні системи містять частинки дисперсної фази, які розрізняються за розмірами. Такі системи називаються *полідисперсними*. Вони характеризуються фракційним, або дисперсним, складом, тобто масовою часткою частинок певного розміру в дисперсній фазі. Бувають також системи, у яких усі частинки близькі за розмірами. їх називають *монодисперсними*.

Більшість неоднорідних систем нестійкі, тому що мають тенденцію до укрупнення частинок дисперсної фази. Укрупнення крапель рідини або бульбашок газу шляхом їх злиття називають *коалесценцією*, а укрупнення твердих частинок внаслідок їх злипання - *коагуляцією*.

1.1. Розділення осадженням під дією сили тяжіння

Осадження під дією сили тяжіння (гравітаційне осадження, відстоювання) застосовують для розділення газових і рідких неоднорідних систем, наприклад, пилу, емульсій, суспензій.

При розділенні газових неоднорідних систем широко розповсюджені пиловловлювачі – апарати для очищення газу від завислих частинок. Найбільш простими серед пиловловлювачів є гравітаційні, тобто сухі механічні пиловловлювачі, в яких відділення завислих частинок від газового потоку здійснюється під дією сили тяжіння.

1.1.1. Розрахунок пилоосаджувальної камери

Багатополична пилоосаджувальна камера (рис.3.1) використовується для начорного очищення гарячих пічних газів від твердих продуктів повного й неповного згоряння палива. Розміри уловлюваних частинок 5–20000 мкм, ступінь очищення 40–70 %.

При розрахунку камери задаються мінімальним розміром осаджуваних частинок d_{\min} , припускаючи, що більші частинки гарантовано осаджуються.

Мета розрахунку – визначення основних розмірів і гідравлічного опору камери.

Позначення вихідних величин

V^0 – об’ємна витрата газу за нормальних умов, м³/год;

t – температура газу, °С;

ρ_r – густина газу, кг/м³;

ν_r – кінематична в’язкість газу, м²/с;

d_{\min} – найменший розмір уловлюваних частинок, м;

ρ_T – густина матеріалу частинок, кг/м³;

ψ_T – коефіцієнт форми частинок.

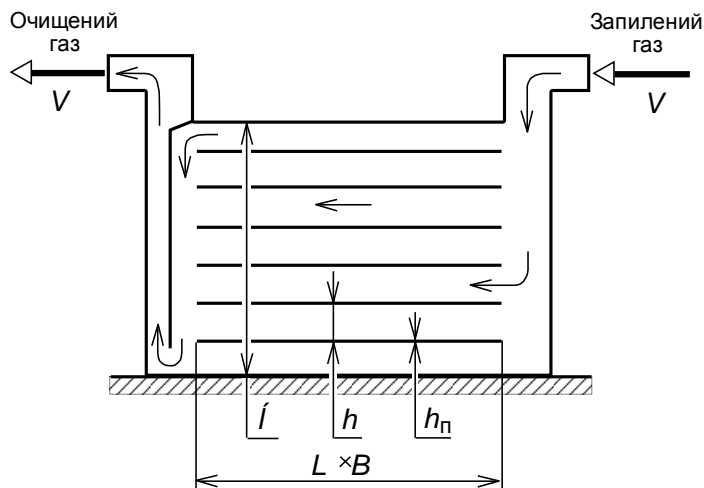


Рис.3.1. Схема багатополичної пилоосаджувальної камери

Порядок розрахунку

1. Значення критерію Архімеда частинок кулястої форми, які осаджуються

$$Ar = \frac{gd_{\min}^3}{\nu_r^2} \left(\frac{\rho_T - \rho_r}{\rho_r} \right),$$

де $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – прискорення вільного падіння.

2. Значення критерію Рейнольдса для частинок кулястої форми, які осаджуються в полі сили тяжіння

$$Re_0 = 0,056 Ar, \quad \text{якщо} \quad Ar \leq 36;$$

$$Re_0 = 0,152 Ar^{0,714}, \quad \text{якщо} \quad 36 < Ar \leq 84\,000;$$

$$Re_0 = 1,740 Ar^{0,5}, \quad \text{якщо} \quad Ar > 84\,000.$$

3. Швидкість осадження частинок кулястої форми, м/с

$$w_0 = Re_0 \nu_r / d_{\min}.$$

4. Швидкість вільного осадження частинок, які мають коефіцієнт форми ψ_T , м/с

$$w_{oc} = \psi_T w_0.$$

5. Об'ємна витрата газу за робочих умов, м³/с

$$V = \frac{V^0}{3600} \left(\frac{t + 273}{273} \right).$$

6. Поверхня осадження (загальна поверхня полиць), м²

$$F_0 = V/w_{oc}.$$

7. Розмірами полиць задаються. Ширина полиці B обирається з інтервалу 1,5...3,0 м; довжина L – з інтервалу 2...3 м; товщина h_n – з інтервалу 10...16 мм.

8. Розрахункова кількість полиць у камері:

$$n' = \frac{F_0}{LB},$$

Дійсною кількістю полиць n є найближче ціле, яке більше, ніж n' .

9. Максимально допустима швидкість газу, при якій завислі частинки не виносяться з камери, м/с

$$w_{max} = 3,6 \sqrt{d_{min} (\rho_T - \rho_G) / \rho_G}.$$

10. Робоча швидкість газу між полицями w приймається рівною (0,2...0,3) w_{max} , м/с

11. Час перебування газу в міжполичному просторі, с

$$\tau = L/w.$$

12. Відстань між полицями, м

$$h = \tau w_{oc}.$$

13. Висота поличної частини камери, м

$$H = n (h + h_n).$$

14. Еквівалентний діаметр каналу прямокутного перерізу міжполичного простору, м

$$d_e = 2h, \quad \text{якщо} \quad h/B \leq 0,1;$$

$$d_e = 2hB/(h+B), \quad \text{якщо} \quad h/B > 0,1.$$

15. Критерій Рейнольдса для потоку газу в міжполичному просторі

$$Re = wd_e/\nu_G.$$

16. Коефіцієнт форми для прямокутного каналу

$$\psi_K = 1,5, \quad \text{якщо} \quad h/B < 0,1;$$

$$\psi_K = 0,83(h/B)^2 - 1,39(h/B) + 1,46, \quad \text{якщо} \quad h/B \geq 0,1.$$

17. Коефіцієнт тертя газу по поверхні полиці

$$\lambda = \frac{64\psi_{\kappa}}{\text{Re}}, \quad \text{якщо} \quad \text{Re} \leq 2300;$$

$$\lambda = \frac{0,3164\psi_{\kappa}}{\text{Re}^{0,75}}, \quad \text{якщо} \quad \text{Re} > 2300.$$

18. Сумарний коефіцієнт місцевих опорів

$$\Sigma\zeta = \zeta_{\text{вх}} + \zeta_{\text{рр}} + 4\zeta_{90^\circ} + \zeta_{180^\circ} + \zeta_{\text{рз}} + \zeta_{\text{вих}},$$

де $\zeta_{\text{вх}} = 0,5$ – коефіцієнт, який враховує вхід газу в апарат;

$\zeta_{\text{рр}} = 1,0$ – коефіцієнт, який враховує раптове розширення газового потоку;

$\zeta_{90^\circ} = 1,0$ – коефіцієнт, який враховує поворот газу на 90° ;

$\zeta_{180^\circ} = 1,5$ – коефіцієнт, який враховує поворот газу на 180° ;

$\zeta_{\text{рз}} = 1,0$ – коефіцієнт, який враховує раптове звуження газового потоку;

$\zeta_{\text{вих}} = 1,0$ – коефіцієнт, який враховує вихід газу з апарата.

19. Гідравлічний опір пилоосаджувальної камери, Па

$$\Delta p = \left(\lambda \frac{L}{d_e} + \Sigma\zeta \right) \frac{\rho_{\Gamma} w^2}{2}.$$

Завдання для розрахунку

За даними табл.1 визначити основні розміри та гідравлічний опір багатополічної пилоосаджувальної камери, призначеної для очищення V^0 газу від завислих твердих частинок. Мінімальний розмір уловлюваних частинок d_{min} , коефіцієнт їх форми ψ_{Γ} , густина матеріалу частинок ρ_{Γ} . Температура газу t , густина ρ_{Γ} , кінематична в'язкість ν_{Γ} .

Таблиця 1. **Варіанти завдань для розрахунку багатополічної пилоосаджувальної камери**

Варіант	V^0 , м ³ /год	t , °С	ρ_{Γ} , кг/м ³	$\nu_{\Gamma} \cdot 10^6$, м ² /с	Варіант	ρ_{Γ} , кг/м ³	d_{min} , мм	ψ_{Γ}
1	3000	300	0,617	45,81	1	2500	0,008	0,77
2	3250	400	0,525	60,38	2	3190	0,020	0,66
3	3500	500	0,457	76,30	3	2600	0,010	0,58
4	3750	600	0,405	93,61	4	2400	0,016	0,51
5	4000	550	0,431	84,96	5	2200	0,015	0,46
6	4250	450	0,491	68,34	6	2650	0,011	0,70

7	4500	350	0,571	53,10	7	2100	0,014	0,48
8	4750	250	0,683	39,31	8	1300	0,012	0,73
9	5000	150	0,849	27,17	9	1500	0,018	0,50
0	5250	100	0,950	21,54	0	2900	0,009	0,65

1.1.2. Розрахунок гравітаційних відстійників

Відстоювання проводять в апаратах, які називають *відстійниками*. Відстійники для згущення суспензій називають *згущувачами*, а для класифікації твердих часток на фракції - *класифікаторами*.

Розрізняють відстійники безперервної, напівбезперервної і періодичної дії. У перших усі процеси протікають безупинно, в останніх - періодично; у відстійниках напівбезперервної дії подача поділюваної суміші і висновок очищеної суцільної фази проводяться безупинно, а видалення згущеної дисперсної фази (осаду, шламу і т.п.) - періодично.

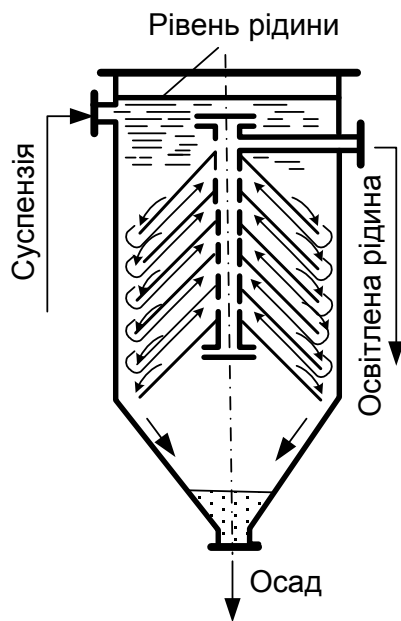


Рис. 2 Відстійник безперервної дії з конічними полками

Нескладні за конструкцією і мають велику поверхню осадження *відстійники безперервної дії з конічними полицями* (рис2). Суспензія, що поступає в апарат розподіляється по каналах між конічними полицями, на поверхні яких осідають тверді частинки. Осад сповзає по похилих полицях, до стінок корпусу і потім переміщується в нижню частину апарата, звідки віддаляється. Освітлена рідина поступає в центральну трубу і виводиться з верхньої частини апарата. Крім великої поверхні осадження до достоїнств відстійників цього типу відносяться відсутність рухомих частин і простота обслуговування. Проте вологість шламу в них більше, ніж у відстійниках з гребковою мішалкою.

На рис.3 показаний *відстійник безперервної дії для поділу емульсій*. Він являє собою горизонтальний резервуар з перфорованою перегородкою 2, що запобігає збурюванню рідини у відстійнику струменем емульсії, що надходить в апарат. Поперечний переріз відстійника вибирають таким, щоб швидкість течії рідини в корпусі 1 апарата не перевищувала декількох міліметрів за секунду і режим течії був ламінарним, що попереджає змішування фаз і поліпшує процес відстоювання.

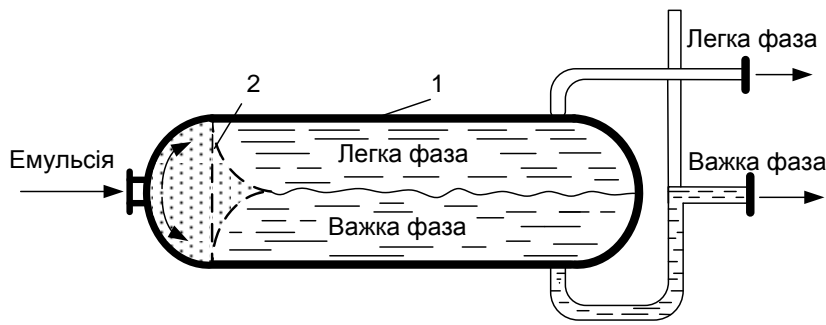


Рис.3. Відстійник безперервної дії для розділення емульсій:
1 – корпус; 2- перфорована перегородка

Легка і важка фази після розшарування виводяться з протилежного боку відстійника. Трубопровід відводу важкої фази з'єднаний з атмосферою для запобігання засифонуванню.

У **гравітаційних відстійниках** виділення дисперсної фази з дисперсійного середовища здійснюється під дією сили тяжіння. Такі відстійники дуже прості за конструкцією, але мають невелику ефективність і продуктивність, тому вони звичайно використовуються переважно для попереднього розділення грубих суспензій.

Найбільшого поширення набули відстійники безперервної дії, в яких злив освітленої рідини та видалення осаду виділеної твердої фази відбувається безперервно.

Широко використовуються одноярусні гребкові відстійники, які являють собою невисокі циліндричні резервуари із злегка конічним днищем (рис.4). Освітлена рідина відбирається з кільцевого жолобу у верхній частині резервуара, а згущена суспензія гребками переміщується до центрального розвантажувального патрубку, через який відкачується насосом. Під час роботи відстійника за його висотою утворюються три різні за структурою середовища зони: перша з висотою h_1 – зона освітленої рідини, друга з висотою h_2 – зона згущення суспензії і третя з висотою h_3 – зона розташування лопатей гребка. Діаметр відстійника коливається від 1,8 до 30,0 м.

У даному відстійнику можна також здійснювати й періодичне відстоювання.

Мета розрахунку – визначення основних розмірів гравітаційних гребкових відстійників безперервної й періодичної дії та їх продуктивностей за потоками.

Позначення вихідних величин

d_{\min} – найменший розмір уловлюваних частинок дисперсної фази, м;

G – маса вихідної суспензії, кг;

$G_{\text{год}}$ – масова витрата вихідної суспензії, кг/год;

n – середнє розведення дисперсної фази в зоні згущення відстійника, (кг рідини)/(кг твердої фази);

\bar{x}_k – масова частка дисперсної фази у згущеній суспензії;

\bar{x}_n – масова частка дисперсної фази у вихідній суспензії;

ρ_p – густина дисперсійного середовища, кг/м³;

- ν_p – кінематична в'язкість дисперсійного середовища, м²/с;
 ψ_T – коефіцієнт форми частинок дисперсної фази;
 ρ_T – густина матеріалу частинок дисперсної фази, кг/м³.

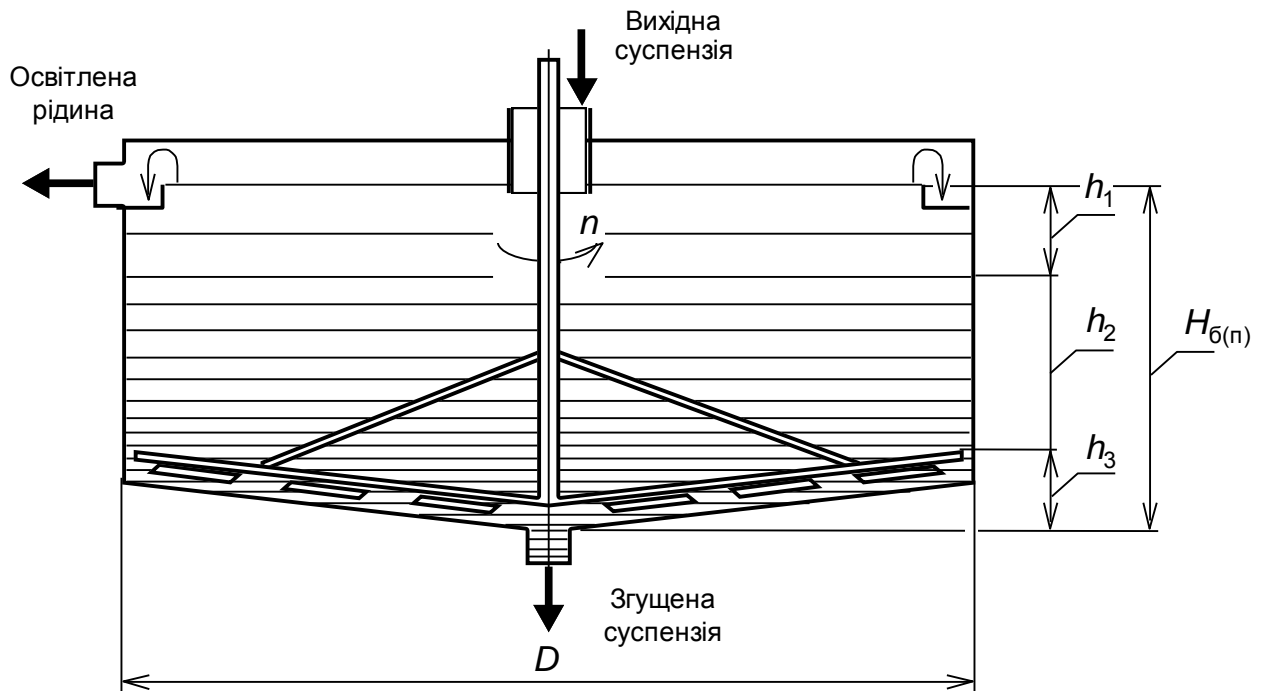


Рис.4. Схема гравітаційного гребкового рідинного відстійника безперервної дії

Порядок розрахунку відстійника безперервної дії

1. Значення критерію Архімеда частинок кулястої форми, які осаджуються

$$Ar = \frac{gd_{\min}^3}{\nu_p^2} \left(\frac{\rho_T - \rho_p}{\rho_p} \right),$$

де $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – прискорення вільного падіння.

2. Значення критерію Рейнольдса для частинок кулястої форми, які осаджуються в полі сили тяжіння

$$\begin{aligned}
 Re_0 &= 0,056Ar, & \text{якщо} & \quad Ar \leq 36; \\
 Re_0 &= 0,152Ar^{0,714}, & \text{якщо} & \quad 36 < Ar \leq 84\,000; \\
 Re_0 &= 1,740Ar^{0,5}, & \text{якщо} & \quad Ar > 84\,000.
 \end{aligned}$$

3. Швидкість осадження частинок кулястої форми, м/с

$$w_0 = Re_0 \nu_p / d_{\min}.$$

4. Швидкість вільного осадження частинок, які мають коефіцієнт форми ψ_T , м/с

$$w_{oc} = \psi_T w_0.$$

5. Об'ємна частка твердої фази у вихідній суспензії, $(\text{м}^3 \text{ твердої фази})/(\text{м}^3 \text{ суспензії})$

$$\tilde{x}_n = \frac{\bar{x}_n \rho_p}{\bar{x}_n \rho_p + (1 - \bar{x}_n) \rho_T}.$$

6. Швидкість стисненого осадження заданих частинок, м/с

$$w_c = w_{oc} \left(-4,5 \tilde{x}_n + \sqrt{20,25 \tilde{x}_n^2 + (1 - \tilde{x}_n)^3} \right).$$

7. Масова витрата дисперсійного середовища, що надходить у складі вихідної суспензії у відстійник, кг/год

$$G_p = G_{\text{год}} (1 - \bar{x}_n).$$

8. Масова витрата дисперсної фази, що надходить у складі вихідної суспензії у відстійник, кг/год

$$G_T = G_{\text{год}} - G_p.$$

9. Об'ємна витрата дисперсійного середовища, що надходить у складі вихідної суспензії у відстійник, $\text{м}^3/\text{год}$

$$V_p = G_p / \rho_p.$$

10. Відносна масова частка дисперсної фази у вихідній суспензії, $(\text{кг твердої фази})/(\text{кг рідини})$

$$\bar{X}_n = \bar{x}_n / (1 - \bar{x}_n).$$

11. Відносна масова частка дисперсної фази у згущеній суспензії, $(\text{кг твердої фази})/(\text{кг рідини})$

$$\bar{X}_k = \bar{x}_k / (1 - \bar{x}_k).$$

12. Площа відстійника, м^2

$$F_0 = \frac{V_p}{3600 w_c} \frac{\bar{X}_k - \bar{X}_n}{\bar{X}_k}.$$

13. Розрахунковий діаметр відстійника, м

$$D' = \sqrt{4F_0 / \pi}.$$

Виконавчий діаметр відстійника D вибирається округленням D' до найближчого з ряду, м: 1,8; 3,6; 6,0; 9,0; 12,0; 15,0; 18,0; 24,0; 30,0.

14. Маса дисперсної фази, що осаджується за одну годину на 1 м^2 поверхні осадження, $(\text{кг твердої фази})/(\text{м}^3 \cdot \text{год})$

$$g_T = \frac{4G_T}{\pi D^2}.$$

15. Відносна густина суспензії в зоні згущення, (кг суспензії)/(кг рідини)

$$\beta = \frac{\rho_T (n+1)}{n \frac{\rho_T}{\rho_p} + 1}.$$

16. Масова частка твердої фази в суспензії в зоні згущення, (кг твердої фази)/(кг суспензії)

$$\bar{x}_{zc} = 1/(1+n).$$

17. Масова концентрація твердої фази в згущеній суспензії, (кг твердої фази)/(м³ суспензії)

$$\bar{c}_{zc} = \beta \rho_p \bar{x}_{zc}.$$

18. Висота зони вільного осадження (освітленої рідини) h_1 обирається з інтервалу 0,45–0,75 м.

19. Висота зони згущення, м

$$h_2 = g_T / \bar{c}_{zc}.$$

20. Висота зони розташування гребка h_3 приймається рівною $0,073D$.

21. Загальна висота безперервного відстійника, м

$$H_6 = h_1 + h_2 + h_3.$$

Порядок розрахунку відстійника періодичної дії

Увага! Пункти 1–13 наведеної вище методики розрахунку відстійника безперервної дії справедливі і для розрахунку відстійника періодичної дії (при цьому замість однієї години слід підставляти час поділу вихідної суспензії).

14. Густина вихідної суспензії, кг/м³

$$\rho_c = \frac{\rho_T \rho_p}{\bar{x}_n \rho_p + (1 - \bar{x}_n) \rho_T}.$$

15. Об'єм вихідної суспензії, м³

$$V = G / \rho_c.$$

16. Висота відстійника періодичної дії, м

$$H_{\Pi} = \frac{4V}{\pi D^2} \cdot$$

17. Час розділення вихідної суспензії, год

$$\tau_0 = \frac{H_{\Pi}}{3600w_c} \cdot$$

Завдання для розрахунку

За даними табл.2. визначити основні розміри гравітаційного гребкового рідинного відстійника безперервної дії для розділення $G_{\text{год}}$ вихідної суспензії та відстійника періодичної дії для розділення G вихідної суспензії. Густина дисперсійного середовища ρ_p , кінематична в'язкість ν_p . Густина матеріалу твердої дисперсної фази ρ_t , мінімальний розмір осаджуваних частинок d_{min} , коефіцієнт форми ψ_t . Масова частка дисперсної фази у вихідній суспензії \bar{x}_{Π} , у згущеній суспензії \bar{x}_k , середнє розведення твердої фази в зоні згущення відстійника n . Порівняти висоту і продуктивність відстійників безперервної і періодичної дії.

Таблиця 2. **Варіанти завдань для розрахунку гравітаційного гребкового рідинного відстійника безперервної дії**

Варіант	$G_{\text{год}}$, т/год	G , т	ρ_p , кг/м ³	$\nu_p \cdot 10^6$, м ² /с	\bar{x}_{Π}	Варіант	ρ_t , кг/м ³	d_{min} , мм	ψ_t	\bar{x}_k	n , кг/кг
1	10	10	1000	1,79	0,05	1	2600	0,020	0,58	0,20	2,0
2	98	98	1000	1,57	0,10	2	2800	0,025	0,66	0,22	2,2
3	20	20	1000	1,31	0,055	3	3000	0,030	0,77	0,24	2,4
4	90	90	998	1,13	0,095	4	2100	0,033	0,70	0,26	2,6
5	30	30	998	1,01	0,06	5	2400	0,040	0,51	0,28	2,8
6	80	80	996	0,81	0,09	6	2300	0,035	0,46	0,30	3,0
7	40	40	997	0,91	0,065	7	2200	0,045	0,65	0,32	3,2
8	70	70	995	0,77	0,085	8	3200	0,043	0,50	0,34	3,4
9	50	50	994	0,69	0,07	9	3400	0,050	0,73	0,36	3,6
0	60	60	992	0,66	0,08	0	2700	0,048	0,48	0,38	3,8

1.2. Розділення осадженням під дією відцентрової сили

1.2.1. Розрахунок циклона

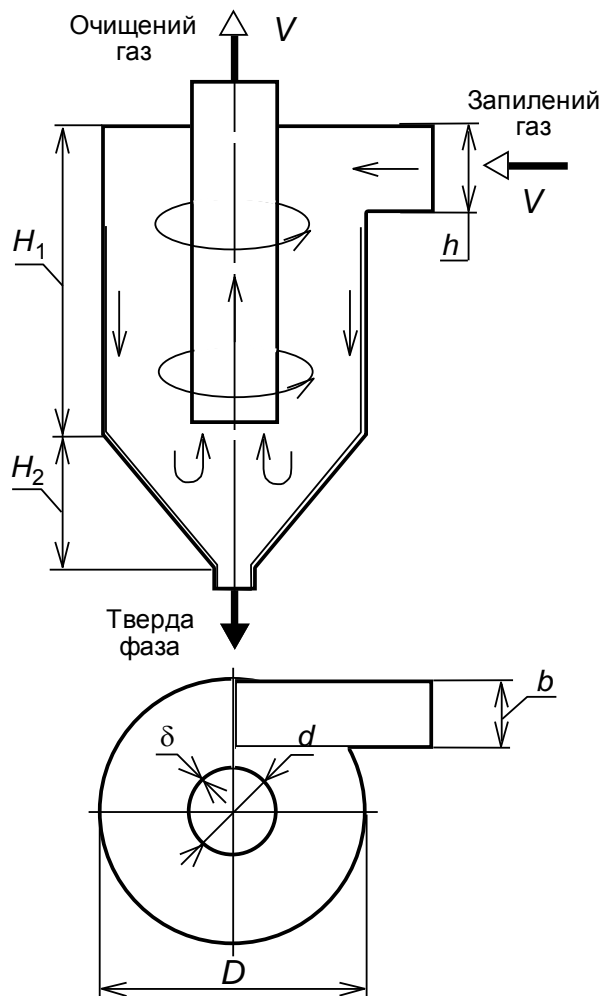


Рис.5. Схема циклона

Циклонним процесом називається осадження під дією відцентрової сили у циклонах – інерційних пилоуловлювачах (рис.5), у яких очищення газу здійснюється під дією відцентрових сил, що виникають у обертовому потоці газу.

Мета розрахунку – визначення основних розмірів і гідравлічного опору циклона.

Позначення вихідних величин

V^0 – об'ємна витрата газу за нормальних умов, $\text{м}^3/\text{год}$;

t – температура газу, $^{\circ}\text{C}$;

ρ_T – густина матеріалу частинок твердої фази, $\text{кг}/\text{м}^3$;

ρ_g – густина газу, $\text{кг}/\text{м}^3$;

ν_g – кінематична в'язкість газу, $\text{м}^2/\text{с}$;

d_{\min} – найменший розмір уловлюваних частинок, м;

ψ_T – коефіцієнт форми частинок.

Порядок розрахунку

1. Об'ємна витрата газу за робочих умов, $\text{м}^3/\text{с}$

$$V = \frac{V^0}{3600} \left(\frac{t + 273}{273} \right).$$

2. Площа поперечного перерізу вхідного патрубку, м^2

$$F_{\text{п}} = V / w_{\text{п}},$$

де $w_{\text{п}} = 20 \text{ м}/\text{с}$ – швидкість проходження газу через вхідний патрубок.

3. Ширина вхідного патрубку, м

$$b = \sqrt{F_{\text{п}} / C_h},$$

де $C_h = h/b$ – конструктивний коефіцієнт, який залежить від конструкції циклона (табл.3).

Таблиця 3. Рекомендовані співвідношення основних розмірів циклонів

Розмір	$f(b)$ для циклонів		
	ЦККБ	ВТИ	НИИОГАЗ
Висота вхідного патрубка h	$2b$	$4b$	$3,14b$
Діаметр циклона D	$5,7b$	$5,9b$	$4,75b$
Зовнішній діаметр центральної труби d	$3,7b$	$3,9b$	$2,75b$
Висота циліндричної частини корпусу H_1	$5,7b$	$4,76b$	$7,6b$
Висота конічної частини корпусу H_2	$4,3b$	$5,05b$	$9,5b$

4. Орієнтовне значення діаметра циклона, м

$$D' = C_D b$$

де $C_D = D/b$ – конструктивний коефіцієнт (див. табл.3).

Орієнтовно виконавчий діаметр D циліндричної частини корпусу циклона вибирається як найближчий до стандартного з ряду, м: 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8; 2,0.

5. Швидкість газу в циклоні w приймається рівною 12–14 м/с:

6. Фактор розділення для циклона

$$K_c = \frac{2w^2}{gD}$$

7. Значення критерію Архімеда частинок кулястої форми, які осаджуються

$$Ar = \frac{gd_{\min}^3}{\nu_{\Gamma}^2} \left(\frac{\rho_{\Gamma} - \rho_{\Gamma}}{\rho_{\Gamma}} \right),$$

де $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – прискорення вільного падіння.

8. Значення критерію Рейнольдса для частинок кулястої форми, які осаджуються в полі відцентрових сил

$$Re_0 = 0,056(Ar K_c), \quad \text{якщо} \quad (Ar K_c) \leq 36;$$

$$Re_0 = 0,152(Ar K_c)^{0,714}, \quad \text{якщо} \quad 36 < (Ar K_c) \leq 84\,000;$$

$$Re_0 = 1,740(Ar K_c)^{0,5}, \quad \text{якщо} \quad (Ar K_c) > 84\,000.$$

9. Швидкість осадження частинок кулястої форми, м/с

$$w_0 = Re_0 \nu_{\Gamma} / d_{\min}$$

10. Швидкість осадження частинок, які мають коефіцієнт форми ψ_{Γ} , м/с

$$w_{oc} = \psi_{\Gamma} w_0$$

11. Швидкість очищеного газу в центральній трубі w_{Γ} приймається рівною 4...8 м/с.

12. Розрахунковий внутрішній діаметр центральної труби, м

$$d'_c = \sqrt{\frac{4V}{\pi w_c}}.$$

Як виконавчий зовнішній діаметр центральної труби d_c вибирають найближчий до розрахункового значення d'_c з ряду, мм: 133; 159; 168; 219; 273; 325; 377; 426; 480; 530; 630; 720; 820; 920; 1020; 1120; 1220; 1320; 1420.

13. Розрахунковий діаметр циклона, м

$$D'' = \frac{d_c}{\left(1 - 10 \frac{w_{oc}}{w}\right)}.$$

Орієнтовний діаметр D_o циклона вибирається як найближчий до стандартного з ряду, м: 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8; 2,0.

14. Відхилення орієнтовного D_o й орієнтовно виконавчого D діаметрів циклона

$$\Delta D = (D_{\max} - D_{\min}) / D_{\max},$$

де $D_{\max} = \max \{D_o; D\}$, а $D_{\min} = \min \{D_o; D\}$.

Якщо $\Delta D \leq 0,1$, то остаточно як виконавчий вибирають орієнтовно виконавчий діаметр циклона D . Якщо $\Delta D > 0,1$, необхідно повторити розрахунки, починаючи з п.6, прийнявши $D = D''$ (можна також змінити діаметр центральної труби d_c , прийнявши інше значення швидкості w_c).

Якщо ΔD достатньо велике (більше 0,3–0,4), необхідно змінити найменший розмір уловлюваних частинок d_{\min} . Якщо $D'' > D$ – значення d_{\min} треба зменшити, якщо $D'' < D$ – збільшити.

15. Висота циліндричної частини корпусу, м

$$H'_1 = \frac{V}{\pi D w_{oc}}.$$

Значення висоти H'_1 округлюють до величини H_1 , кратної 10 мм.

16. Висота конічної частини корпусу, м

$$H'_2 = C_{H_2} b,$$

де C_{H_2} – конструктивний коефіцієнт (див. табл.3).

Значення висоти H'_2 округлюють до величини H_2 , кратної 10 мм.

17. Загальна висота корпусу циклона, м

$$H = H_1 + H_2.$$

18. Гідрравлічний опір циклона, Па

$$\Delta p = \zeta \frac{\rho_{\Gamma} w_{\Pi}^2}{2},$$

де ζ – коефіцієнт опору, який визначається конструкцією циклона (для циклонів ЦККБ $\zeta = 2,5$; для циклонів ВТИ – $6,0$; для циклонів НИИОГАЗ – $7,0$).

Завдання для розрахунку

За даними табл.4 визначити основні розміри та гідравлічний опір циклона для очищення повітря від завислих твердих частинок. Порівняти отримані розміри циклона з рекомендованими. Об'ємна витрата повітря V^0 , температура t , густина ρ_r , кінематична в'язкість ν . Найменший розмір уловлюваних частинок d_{\min} , коефіцієнт форми ψ_T , густина матеріалу ρ_T .

Таблиця 4. Варіанти завдань для розрахунку циклона

Варіант	V^0 , м ³ /год	Тип циклона	ρ_T , кг/м ³	d_{\min} , мм	ψ_T	Варіант	t , °C	ρ_r , кг/м ³	$\nu \cdot 10^6$, м ² /с
1	3500	ЦККБ	1500	0,010	0,66	1	20	1,205	15,06
2	5000	ВТИ	2900	0,018	0,77	2	110	0,922	23,78
3	6000	НИИОГАЗ	1700	0,011	0,46	3	30	1,165	16,00
4	5500	ЦККБ	2700	0,017	0,58	4	100	0,946	23,13
5	4000	ВТИ	1750	0,012	0,70	5	40	1,128	16,96
6	8000	НИИОГАЗ	2500	0,016	0,51	6	90	0,972	22,10
7	4500	ЦККБ	2250	0,013	0,73	7	50	1,093	17,95
8	7500	ВТИ	2100	0,020	0,48	8	80	1,000	21,09
9	5000	НИИОГАЗ	2000	0,015	0,65	9	60	1,060	18,97
0	7000	ЦККБ	2300	0,014	0,50	0	70	1,029	20,02

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии: Учеб. пособие для вузов. – Л.: Химия, 1987. – 576 с.
2. Перри Дж. Справочник инженера-химика: Пер. с англ. – Л.: Химия, 1969. – 964 с.
3. Варгафтик Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. – М.: Наука, 1972. – 720 с.
4. Справочник химика/ Под ред. Б.Н. Никольского: В 3-х т. – М.: Химия, 1971. – 375 с.
5. Зайцев И.Д., Асеев Г.Г. Физико-химические свойства бинарных и многокомпонентных растворов неорганических веществ. – М.: Химия, 1988. – 416 с.