

## Лекція. Камери реакцій

1. Призначення, область використання та класифікація камер реакцій.
2. Вибір типу камер реакції.
3. Використання критерія Кемпа та градієнта швидкості для оцінки ефективності роботи камери.

### **Камери пластівцеутворення**

Після змішування оброблюваної води з реагентами починається утворення пластівців (при коагулюванні і зм'якшенні). Цей процес йде більш успішно при рівномірному і повільному перемішуванні води, при якому створюються оптимальні умови для агрегації дрібних пластівців у великі. Разом з тим перемішування не повинне відбуватися з великою інтенсивністю (як у змішувачах), тому що це може привести до роздроблення уже утворених пластівців. Для створення найкращих умов протікання процесу пластівцеутворення перед вертикальними чи горизонтальними відстійниками влаштовують спеціальні споруди називаємими камерами пластівцеутворення.

Перед освітлювачами зі зваженим осадом пристрій камери пластівцеутворення не потрібен, тому що пластівці утворюються досить швидко в нижній частині освітлювачів при контакті з раніше накопиченим тут осадом. У практиці водопідготовки знайшли застосування камери пластівцеутворення різних типів.

Водоворотна камера пластівцеутворення являє собою циліндр, розташований звичайно в центрі вертикального відстійника (рис. 17а).

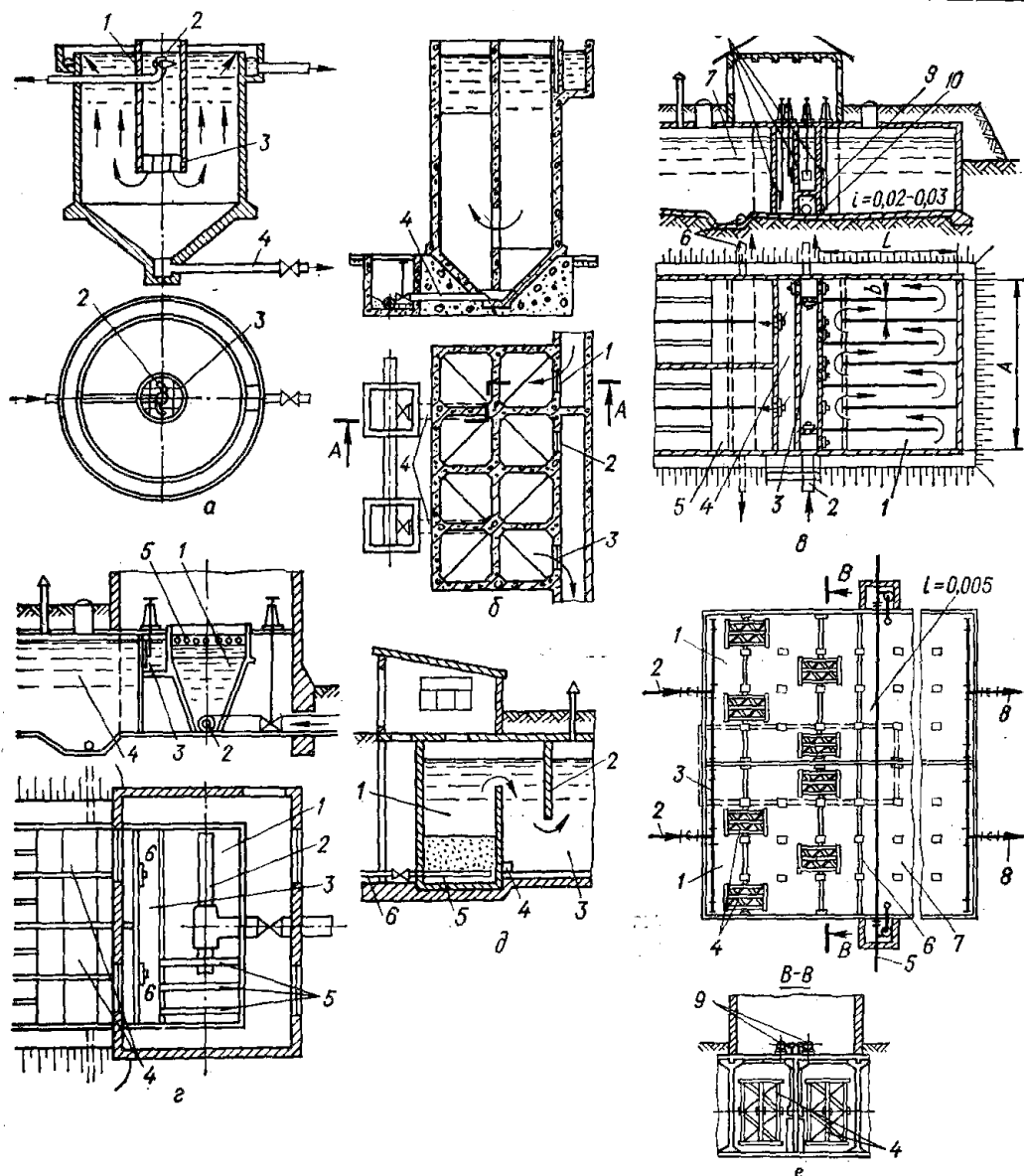


Рисунок 17 – Камери пластівцеутворення

а – вертикальний відстійник з водоворотною камерою пластівцеутворення: 1 – камера пластівцеутворення; 2 – сопла; 3 – гаситель; 4 – трубопровід для скиду осаду; б – перегородчата камера пластівцеутворення з вертикальним рухом води: 1 – подача води; 2 – відвід води з першої половини камери; 3 – відвід води; 4 – скид осаду; в – перегородчата камера пластівцеутворення з горизонтальним рухом води суміщена з горизонтальним відстійником: 1 – камера пластівцеутворення; 2 – підвід води; 3 – відвідний канал; 4 – розподільчий канал; 5 – канал для зливу осаду з відстійників; 6 – трубопровід для вилучення осаду з відстійника; 7 – відстійники; 8 – шибер для пропуску води; 9, 10 – канал і трубопровід для скиду осаду; г – вертикальна (вихрова) камера пластівцеутворення суміщена з горизонтальним відстійником: 1 – камера пластівцеутворення; 2 – розподільчий трубопровід з щільовими прорізами; 3 – розподільчий канал; 4 – відстійники; 5 – збірний жолоб з затопленими отворами; 6 – шибер; д – вертикальна камера пластівцеутворення, вбудована в горизонтальний відстійник: 1 – камера пластівцеутворення; 2 – відбійна стінка; 3 – горизонтальний відстійник; 4 – скид осаду; 5 – збірні жолоби з затопленими отворами; 6 – шибер; е – лопастна камера пластівцеутворення: 1 – камера пластівцеутворення; 2 – подача води; 3 – дірчасті труби; 4 – мішалка; 5 – переливні труби; 6 – дірчаста перегородка; 7 – відстійник; 8 – відвід води; 9 – електродвигуни.

Введення води, змішаної з реагентами, влаштовано у верхній частині камери, по трубі 2, що розташована усередині камери у вигляді нерухомого сегнерова колеса. Виходячи зі значною швидкістю із соплів, вода здобуває обертальний рух уздовж периферії камери. Одержане при цьому рівномірне перемішування створює сприятливі умови для формування пластівців. Гаситель з обертального руху води - це диски по  $h=0.8\text{ м}$  і  $0,5\times 0,5\text{ м}$ .

Швидкість виходу води із соплів  $V_c$  приймають рівною 2-3 м/с і по ній визначають діаметр отвору сопла. Втрату напору в соплі розраховують по формулі:

$$h = 0.06 V_c^2, \text{ м}$$

Площу водоворотної камери в плані визначають по формулі :

$$f_1 = q t / 60 H N ,$$

де  $q$  — витрата води на водоочисній станції,  $\text{м}^3/\text{год}$ ;

$t$  — тривалість перебування води в камері в хв., прийнято  $t=15-20$  хв.;

$H$  — висота камери, прийнята 90% висоти зони осадження вертикального відстійника;

$N$  — число камер реакцій пластівцеутворення рівне числу вертикальних відстійників.

Перегородчаті камери пластівцеутворення застосовують для більш великих станцій. Вони являють собою прямокутні резервуари, розділені перегородками таким чином, що утворюють проходи для води в горизонтальному або вертикальному напрямку (рис. 17 б, в).

Вода в перегородчатій камері пластівцеутворення з горизонтальним рухом води (рис. 17 в) протікає по ряду послідовно з'єднаних коридорів. Перемішування води досягається завдяки наявності поворотів і достатньої швидкості руху води в коридорах. Однак швидкість руху води не повинна бути зайво високою, щоб не відбувалося руйнування вже утворених пластівців.

Воду можна пропускати послідовно через усі коридори чи камери або тільки через частину їх, відкриваючи проміжні шибери. Звичайно взимку при низькій температурі води, коли укрупнення пластівців відбувається повільно, воду пропускають через усі коридори, влітку ж при швидкому формуванні пластівців - тільки через частину коридорів (наприклад, тільки через 50 чи 75% коридорів), щоб уникнути роздріблення сформованих пластівців в останніх коридорах. Деяка частина найбільш важкого осаду може випадати в камері. Для випуску цього осаду у водостік служать отвори, перекриті шиберами.

Бажано виконувати камери з послідовно зменшуваною по русі води швидкістю, тому що це сприяє кращому формуванню пластівців. У першому коридорі рекомендується приймати швидкість руху води 0,2-0,3 м/с, потім у кожному наступному коридорі швидкість повинна поступово зменшуватися для того, щоб в останньому коридорі вона складала 0,1м/с. У таких камерах приходится приймати кожен наступний коридор трохи ширше попереднього.

Тривалість перебування води в перегородчатих камерах приймають близько 20 хв. для каламутних вод і до 30 хв. для вод з високою кольоровістю. Для очищення і ремонту камери обслуговуючим персоналом ширина коридору повинна бути не менш 0,7 м. У камері повинно бути 8-10 поворотів потоку.

Для запобігання руйнування сформованих в камері пластівців потрібно максимально скорочувати довжину трубопроводів і каналів між камерами і відстійниками, при цьому швидкість руху води в цих комунікаціях повинна бути не більш 0,1 м/с. Краще здійснювати безпосереднє примикання камер пластівцеутворення до відстійників з переходом води з кожної камери у свій відстійник. При примиканні камери пластівцеутворення до відстійника висота камери виходить з конструктивних розумінь приблизно рівна висоті відстійника. Тому що площа поперечного переріза коридору визначається витратою води і розрахунковою швидкістю її руху, а висота камери приймається по висоті відстійника, при витраті води на одну камеру менш 1200-1500 м<sup>3</sup>/год ширина коридору виходить менше припустимої (менше 0,7м.). У цьому випадку приходится влаштовувати двоповерхову камеру з

послідовним рухом води спочатку по коридорах одного, а потім іншого поверху або застосовувати перегородчасту камеру з вертикальним рухом води (рис. 17 б).

Усі розрахункові дані для перегородчастої камери з вертикальним рухом води приймаються такими ж, як для перегородчатих камер з горизонтальним рухом води.

Камера пластівцеутворення вихрового типу системи Тетеркіна (рис. 17 г) являє собою розширюючийся догори конічний чи пірамідальний резервуар, у який вода надходить знизу.

На (рис. 17 г) показана вихрова камера пластівцеутворення зі збором води жолобами з затопленими отворами. При русі води знизу нагору з поступово зменшуваною швидкістю бічні шари води підсосується в основний потік. В результаті цього у вихровій камері пластівцеутворення у всьому обсязі води утворюються ряд вихрів, що сприяють гарному її перемішуванню. При русі води догори відбувається укрупнення пластівців, що внаслідок зменшення швидкості руху води не руйнуються. Збір води у верхній частині камери може здійснюватися для камер діаметром до 1,5-2 м затопленою лійкою, а для камер більшого розміру затопленою дірчастою трубою чи жолобом із затопленими отворами. Пристрої для збору і відводу води з вихрових камер повинні забезпечувати збереження пластівців, що утворилися. Труднощі здійснення такого збору води є деяким недоліком вихрових камер пластівцеутворення. Цей недолік усувається при пристрої вихрової камери в горизонтальний відстійник.

Нижче наводяться основні дані для розрахунку вихрових камер пластівцеутворення.

Кут між похилими стінками вихрової камери приймається в межах 50-70°. Загальний обсяг камери розраховується на тривалість перебування в ній води 6-10 хв. швидкість висхідного потоку води на рівні збірної пристрою повинна бути; при освітленні і знебарвленні води 4-5 мм/с, при зм'якшенні води вапнуванням до 8мм/с.

Швидкість входу води в звужену частину камери приймають рівній 0,7-1,2м/с (велику швидкість приймають при зм'якшенні води).

Втрати напору у вихровій камері можна приймати рівними 20-50мм.вод.ст. на 1м робочої висоти камери.

Пристрої для транспортування води з камер пластівцеутворення у відстійники повинні бути виконані таким чином, щоб не відбувалося руйнування вже сформованих пластівців. Для цього швидкість руху води в лотках і трубах повинна бути не більш 0,1 м/с. Краще застосовувати вбудовані у відстійники камери з безпосереднім переходом води з камери пластівцеутворення у відстійник.

У закордонній практиці застосовують камери пластівцеутворення з механічним перемішуванням води (рис. 17 е).

Переважає поширення одержали камери пластівцеутворення з лопастними мішалками, що мають горизонтальні або вертикальні осі обертання.

Тривалість перебування води в механічних камерах приймають рівній 20-40 хв. (велику тривалість приймають при зм'якшенні води вапном чи содою).

Утворення пластівців у механічних камерах відбувається завдяки наявності градієнтів швидкостей руху води, що обумовлює зіткнення часток, що рухаються і їхню агломерацію. Однак градієнти швидкостей не повинні бути надмірно великими, щоб не відбувалося руйнування пластівців. Бажано, щоб мішалки, що знаходяться ближче до входу води в камеру, оберталися з більшою швидкістю, чим на виході, тому що великі пластівці руйнуються легше. Робота механічних камер пластівцеутворення досліджена Кемпом. Ним запропонований навіть критерій роботи камер з лопастними мішалками:

$$G = 10 \sqrt{\frac{W}{\mu}}, \text{ с}^{-1},$$

де  $W$  - енергія, затрачувана на перемішування води, віднесена до одиниці об'єму води в камері пластівцеутворення в  $\text{кг} \cdot \text{м} / \text{м}^3 \cdot \text{с}$ ;

$\mu$  - абсолютна в'язкість води в  $\text{пз}$  ( $\text{г} \cdot \text{с} / \text{см}^2$ ).

Згідно Кемпу, швидкість формування пластівців пропорційна величині  $G$ : чим більша величина цього критерію, тим менше потрібно часу для формування пластівців. Однак дуже велика величина  $G$  може привести до руйнування пластівців. Оскільки необхідний час перебування води в камері пластівцеутворення  $T$  (в секундах) також залежить від процесу формування пластівців, Кемп вводить безрозмірний критерій даного процесу  $GT$ , що

характеризує роботу, затрачувану на перемішування води в камері пластівцеутворення.

Величина  $G$  при лопастних мішалках повинна знаходитися в межах  $25-65\text{с}^{-1}$ , а безрозмірний критерій  $GT$  повинний бути в межах  $40000-210000$  (при  $t \text{ води}=10^\circ\text{C}$ ).

На практиці лінійну швидкість лопастей приймають від  $18-75\text{ см/с}$ . В середньому лінійна швидкість води  $V_1=1/4V_{\text{лопасти}}$ .

Різниця швидкостей руху лопасті і води:

$$\Delta V = V - V_1 = 4V_1 - V_1 = 3V_1, \quad \Delta V / V = 3V_1 / 4V_1 = 0.75$$

.

Загальна площа лопастей в даній вертикальній площині не повинна перевищувати  $15-20\%$  площі поперечного перерізу камери, інакше може виникнути обертання всієї маси води без потрібних градієнтів швидкостей.

Потужність, необхідна для перемішування у воді однієї лопасті, визначається по формулі:

$$N = 51 C_D A V^3 \quad \text{кг}\cdot\text{м/с}.$$

де  $C_D$  - коефіцієнт опору води; він залежить від відношення довжини лопасті  $L$  до її ширини  $b$  і дорівнює: при  $L/b=5 \rightarrow 1,2$ ; при  $L/b=\infty \rightarrow 1,9$ ; при  $L/b=20 \rightarrow 1,5$ ;

$A$  - площа лопасті в  $\text{м}^2$ ;

$V$  - швидкість руху лопасті щодо води в  $\text{м/с}$ .

*Приклад.* Запроектовано механічну камеру пластівцеутворення з обертаними лопастями на горизонтальній осі. Перевірити правильність вибору розмірів і розрахункових параметрів камери (рис. 18 ).

Витрата води  $Q=0,438\text{ м}^3/\text{с}$ . Температура води  $+10^\circ\text{C}$ . Довжина камери  $L=18\text{ м}$ , ширина  $B=13,5\text{ м}$ , глибина  $H=4,2\text{ м}$ . Тривалість перебування води в камері:

$$T = L B H / Q = 18 \cdot 13.5 \cdot 4.2 / 0.438 = 2330 \text{ с. чи } 39 \text{ хв.}$$

У камері є чотири горизонтальні осі з чотирма лопастевими мішалками (m) на кожній осі. Кожна мішалка має чотири лопасті (p) - по дві з кожної сторони осі. Одна лопасть має радіус обертання  $R_1=1,8$  м., друга  $R_2=1,35$  м.

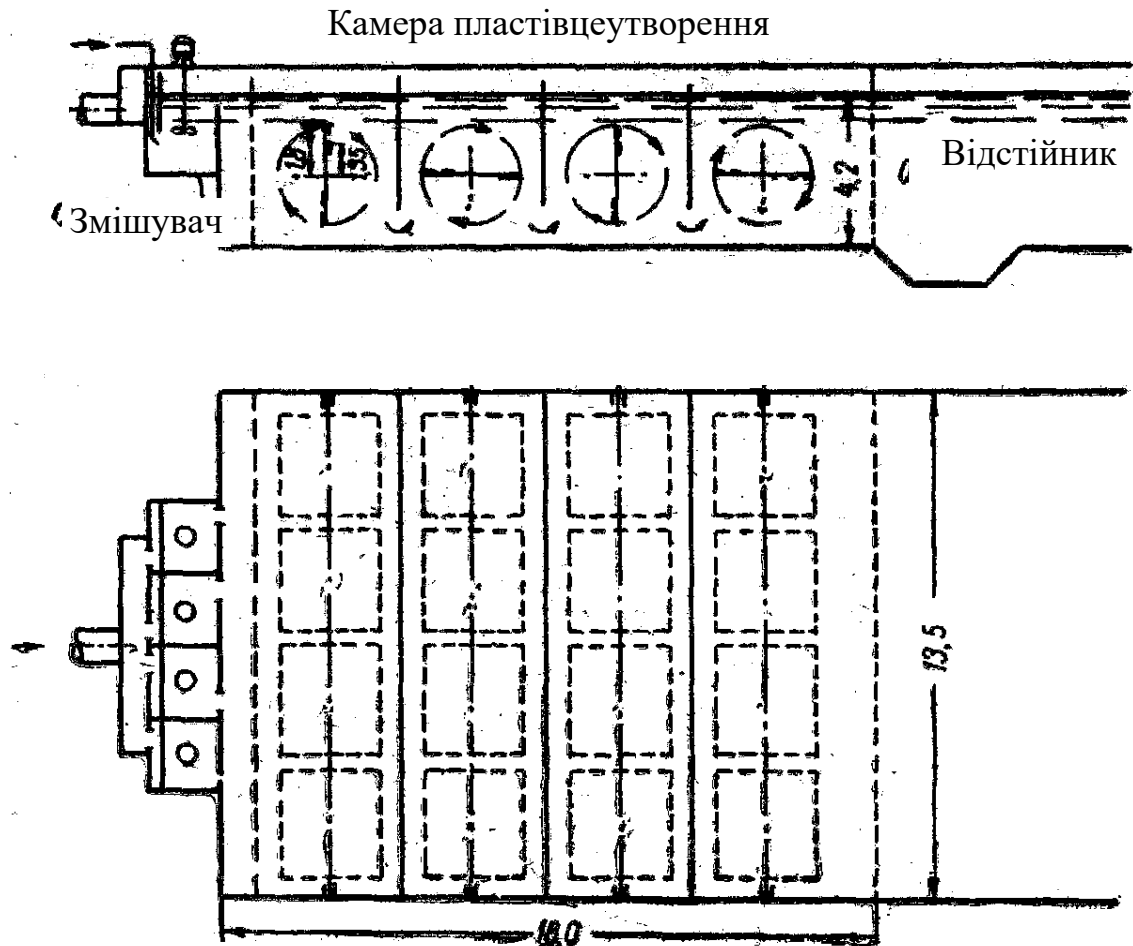


Рисунок 18 - Схема механічної камери пластівцеутворення  
(до прикладу)

Розміри лопасті: довжина  $L=3$  м., ширина  $b=0,15$  м. Швидкість обертання лопасті  $n=3$  об/хв. Потрібно визначити:

- 1) правильність прийнятої площі лопастей стосовно площі поперечного перерізу камери;
- 2) потужність для обертання лопастей;
- 3) відповідність критеріїв  $G$  і  $G_T$  рекомендованим величинам.

Площа поперечного перерізу камери:



$$F = B H = 3.5 \cdot 4.2 = 56.7 \text{ м}^2$$

Площа лопастей, що знаходяться в поперечному перерізі камери:

$$f = L b m p = 3 \cdot 0.15 \cdot 4 \cdot 4 = 7.2 \text{ м}^2$$

Відношення площі лопастей до площі поперечного перерізу камери:

$$f/F \cdot 100 = 7,2/56,7 \cdot 100 = 12,7\%$$

тобто менш граничної величини 15-20%.

Відносна швидкість руху лопастей з радіусами обертання:

А)  $R_1=1,8$  м. з урахуванням формули:

$$\Delta V / V = 3V' / 4V' = 0.75$$

$$V_1 = n 2\pi R_1 (\Delta V / V)/60 = 3 \cdot 2 \cdot 3.14 \cdot 1.8 \cdot 0.75 / 60 = 0.43 \text{ м/с.}$$

В)  $R_2=1,35$  м.

$$V_2 = n 2\pi R_2 (\Delta V / V)/60 = 3 \cdot 2 \cdot 3.14 \cdot 1.35 \cdot 0.75 / 60 = 0.32 \text{ м/с.}$$

Загальна площа лопастей у камері пластівцеутворення з урахуванням наявності чотирьох осей з мішалками дорівнює:

$\Delta f = 4 \cdot 7.2 = 28,8 \text{ м}^2$  (з них лопасті з загальною площею  $A=14,4\text{м}^2$  знаходяться на відстані 1,8 м. від осі обертання і лопаті з загальною площею 14,4 м на відстані 1,35 м.).

Витрата потужності для обертання мішалок відповідно до формули Кемпа:

$$N = 51 C_D A V_3 , \text{ кг}\cdot\text{м/с.}$$

де  $C_D$  - коефіцієнт опору води; він залежить від відношення довжини лопаті  $L$  до її ширини  $b$  і дорівнює: при  $L/b=20$  - 1,5;

$A$  - площа лопастей в  $\text{м}^2$ ;

$V$  - швидкість руху лопаті щодо води в  $\text{м/с.}$

Без обліку механічних втрат в приводі дорівнює:

$$N = 51 C_D A (V_1^3 + V_2^3) ,$$

$$N = 51 \cdot 1,5 \cdot 14,4 (0,43^3 + 0,32^3) = 123 \text{ кг}\cdot\text{м/с або } 1,2\text{кВт} .$$

Питома витрата потужності на 1 м<sup>3</sup> ємності камери пластівцеутворення:

$$W = N / L B H = 123 / (18 \cdot 13,5 \cdot 4,2) = 0,12 \text{ кг}\cdot\text{м/м}^3\cdot\text{с}.$$

Величина  $G$  відповідно до формули :

$$G = \sqrt{W/\mu} , \text{ с}^{-1} ,$$

де  $\mu$  - абсолютна в'язкість води в Г·с/см<sup>2</sup> дорівнює:

$$\text{Ошибка! Ошибка связи.} = 30,4 \text{ с}^{-1}.$$

Величина  $\mu$  при  $t=10^\circ$  дорівнює 0,013 пз.

Величина  $G$  знаходиться в межах, що рекомендуються, (25-65 с<sup>-1</sup>).

Безрозмірний критерій  $GT$  при тривалості перебування води в камері 39 хв. дорівнює:

$$GT = 30,4 \cdot 39 \cdot 60 = 71000.$$

Отже, і цей критерій знаходиться в межах, що рекомендуються, (40000-210000).

### Питання для самоконтролю

1. Камера утворення пластівців.
2. Що таке флотація?
3. У чому полягає суттєва перевага флотації перед відстоюванням?
4. Які оптимальні розміри частинок, які видаляють при флотації?
5. Що таке пінна флотація?