

**Міністерство освіти і науки України  
Донецький національний технічний університет  
Автомобільно-дорожній інститут**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
до виконання курсової роботи  
з дисципліни «Техноекологія»  
«Розрахунок барабанних вакуум-фільтрів»  
(для студентів спеціальності 7.04010601)**

**Горлівка 2010**

**Міністерство освіти і науки України  
Донецький національний технічний університет  
Автомобільно-дорожній інститут**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
до виконання курсової роботи  
з дисципліни «Екотехнології»  
«Розрахунок барабанних вакуум-фільтрів»  
(для студентів спеціальності 7.070801)**

Затверджено на засіданні  
кафедри «Екологія та БЖД»  
Протокол № від

Затверджено на засіданні  
методичної комісії  
факультету АД  
Протокол № від

**Горлівка, АДІ ДонНТУ, 2010**

УДК 577.4 (071)

Методичні вказівки до виконання курсової роботи з дисципліни «Екотехнології» «Розрахунок барабанних вакуум-фільтрів» (для студентів спеціальності 7.070801). Укладачі: С.П. Висоцький – Горлівка АДІ ДонНТУ, 2010 р.

Укладачі: С.П. Висоцький, проф.

Відповідальний за випуск: С.П. Висоцький, проф.

## 1. Загальні положення

Розрахунок барабанних секціонованих вакуум-фільтрів із зовнішньою фільтруючою поверхнею виконується з використанням основних рівнянь процесу фільтрації розчинів з осадом. Для практичного застосування цих рівнянь необхідно попереднє визначення деяких постійних величин, що входять до них. Цими величинами є питомий опір осаду й опір фільтруючої перегородки, віднесені до одиниці в'язкості.

У ряді випадків розрахунок фільтра може бути зроблений за більш простими формулами без урахування опору фільтруючої перегородки. Достатня для практичного застосування ступінь точності виходить за умови, коли відхилення товщини осаду, що відповідає барабанному режиму роботи фільтра, що розраховується, від кінцевої товщини, яка одержується в дослідах по визначенню питомого опору осаду, не перевищує у більший бік 50% і в менший 30%. Для розрахунку процесу фільтрації стиснених осадів при різних тисках необхідним є також визначення параметрів рівнянь, що відображають залежність опору опадів від тиску – коефіцієнта опору  $\gamma$  і показника ущільнюємості  $S$ .

Слід також зазначити, що концентрація суспензії значно впливає на величину параметрів процесу фільтрації і результати наступного розрахунку фільтра. Тому щоб уникнути істотних похибок в обчисленнях для розрахунку необхідно приймати значення параметрів, визначених з досвідів із суспензіями, концентрації яких рівні чи мало відрізняються від концентрації суспензій, що підлягають фільтрації в практичних умовах. При необхідності проведення розрахунків для суспензій з різним вмістом твердої фази залежність параметрів  $\gamma_m$ ,  $\rho$  від величини концентрації повинна бути визначена експериментально.

Можливий також чисто емпіричний метод розрахунку барабанних вакуум-фільтрів із завчасно відомою величиною сектора зони фільтрації, якщо всі умови здійснення процесу, що включають концентрацію і температуру фільтруємої суспензії, величини вакууму і тривалість фільтрації на лабораторних і промислових фільтрах цілком збігаються.

У цьому випадку визначення питомого опору осаду та опору фільтруючої перегородки не потрібно.

Нижче у всіх розрахунках прийнята міжнародна система одиниць.

## 2. Попереднє визначення деяких величин, необхідних для розрахунку барабанних вакуум-фільтрів з використанням рівнянь фільтрації

При розрахунках фільтрації необхідно визначити такі величини як об'ємна маса вологого відфільтрованого осаду, відношення обсягу відфільтрованого осаду до обсягу отриманого фільтрату і маса твердої фази, що відкладається при одержанні одиниці об'єму фільтрату. Нижче приводяться розрахункові формули:

а) Об'ємна маса вологого відфільтрованого осаду перед просушкою може бути визначена чи аналітично обчислена за формулою:

$$d_0 = \frac{100 \cdot d_s \cdot d}{100d + (d_s - d)w}, \text{ кг/м}^3 \quad (2.1)$$

де  $d_s$  – щільність твердої фази,  $\text{кг/м}^3$ ;  
 $d$  – щільність рідкої фази при температурі фільтрації,  $\text{кг/м}^3$ ;  
 $w$  – зміст рідкої фази у відфільтрованому осаді, у % до маси.

б) відношення обсягу відфільтрованого осаду до обсягу отриманого фільтрату (величина безрозмірна)

$$u = \frac{\sigma \cdot d}{d_0(100 - (w + \sigma))} \quad (2.2)$$

де  $\sigma$  - вміст твердої фази в суспензії, у % до маси (г).

в) маса твердої фази, що відкладається при одержанні  $1\text{ м}^3$  фільтрату

$$C = \frac{\sigma \cdot d(100 - w)}{100 \cdot [100 - (w + G)]}, \text{ кг/м}^3 \quad (2.3)$$

З деякою похибкою значення «С» і «u» можуть бути знайдені на підставі безпосередніх визначень обсягу і маси одержуваного на фільтрі вологого осаду, а також даних аналізу на вміст у ньому рідкої фази без обчислення за формулами, що включають щільності рідкої і твердої фаз і концентрацію суспензії.

Слід зазначити, що для сильно ущільнених осадів, особливо при високих концентраціях суспензії, відносини обсягу вологого осаду і маси твердих часток, що складають його до обсягу одержуваного фільтрату можуть значно змінюватися за зміною різниці тисків.

г) У випадку розрахунку фільтра, що працює при перепаді тисків, відмінному від того, при якому проводилося визначення констант фільтрації, величина питомого опору може бути знайдена по рівнянню:

$$r_m = r \cdot \rho^s, \text{ м/кг} \quad (2.4)$$

де  $\rho$  - перепад тисків при фільтрації;  
 $s$  – показник ущільнюємості осаду.

Залежність питомого опору осаду від тиску точніше може бути виражена рівняннями з трьома параметрами  $r \cdot (1 + \alpha\rho)^s$ . Однак, у більшості випадків і особливо для розрахунку барабанних вакуум-фільтрів, що працюють в обмеженому діапазоні перепадів тисків, приведена вище проста емпірична формула забезпечує достатню точність.

Опір тканини, віднесений до одиниці в'язкості, може бути знайдений з відношення:

$$\rho_1 = k_r \cdot r_m, \text{ м} \quad (2.5)$$

де  $k_f$  – експериментально отримана величина відношення опору фільтрації перегородки до питомого опору осаду.

Величина  $k_f$  може трохи змінюватися зі зміною тиску фільтрації і концентрації фільтруємої суспензії, тому у випадку прийняття  $k_f = \text{const}$ , значення  $\rho_1$ , що обчислюються за приведеними співвідношеннями – є наближеними. Для умов роботи барабанних вакуум-фільтрів величина похибки звичайно знаходиться в припустимих межах.

### **3. Розрахунок барабанного осередкового вакуум-фільтра з зовнішньою фільтруючою поверхнею на підставі рівняння фільтрації**

При технологічному розрахунку барабанних вакуум-фільтрів із зовнішньою фільтруючою поверхнею визначаються або необхідна поверхня фільтрації по заданій продуктивності, або продуктивність по заданій поверхні фільтрації.

Перший варіант розрахунку застосовуємо для визначення параметрів запроєктованих фільтрів і необхідної їхньої кількості при заданій продуктивності, а також для підбору необхідного числа фільтрів, що випускаються за вже готовими кресленнями.

Слід відзначити, що в останньому випадку деякі параметри існуючих фільтрів можуть бути змінені, наприклад, за рахунок установки нової розподільчої шайби, з метою забезпечення оптимального співвідношення зон.

Другий варіант розрахунку застосовуємо в тих випадках, коли необхідно визначити при оптимальному режимі роботи продуктивність існуючого барабанного вакуум-фільтра з відомою поверхнею фільтрації.

Нижче наведено технологічний розрахунок барабанного фільтра на задану продуктивність з урахуванням і без урахування опору фільтруючої перегородки і зазначені зміни в порядку обчислень для кожного з зазначених вище випадків.

#### **3.1. Розрахунок фільтра з урахуванням опору фільтруючої перегородки**

##### **1-й випадок**

Визначення поверхні фільтрації й інших основних параметрів барабанного фільтра при заданій продуктивності.

##### **Вихідні дані для розрахунку фільтра**

Продуктивність по фільтрату,  $Q$ , м<sup>3</sup>/сек

Різниця тисків при фільтрації,  $P$ , кН/м<sup>2</sup>

Різниця тисків при промиванні,  $P_w$ , кН/м<sup>2</sup>

Середній питомий опір осаду,  $r_m$ , м/кг

Опір фільтруючої тканини, віднесений до одиниці в'язкості,  $P_1$ , м<sup>-1</sup>

Вміст рідкої фази у відфільтрованому осаді (до просушки),  $w$ , %

Вміст рідкої фази у відфільтрованому осаді (після просушки),  $w_1$ , %  
 В'язкість рідкої фази при температурі фільтрації,  $\eta$ , кН/сек/м<sup>2</sup>  
 Товщина шаруючи осаду на фільтрі,  $\delta$   
 Маса твердої фази, що відкладається при одержанні 1 м<sup>3</sup> фільтрату, кг/м<sup>3</sup>  
 Відношення обсягу відфільтрованого осаду до обсягу отриманого фільтрату,  $U$ , безрозмірні.  
 Щільність вологого осаду,  $d_0$ , кг/м<sup>3</sup>  
 Необхідна об'ємна кількість води для промивки на 1 кг вологого осаду,  $L$ , м<sup>3</sup>/кг  
 Середня в'язкість промивного фільтрату,  $\eta_w$ , кН/сек/м<sup>2</sup>  
 Коефіцієнт, що враховує зниження продуктивності фільтра в результаті поступового забивання фільтруючої перегородки,  $K_3$ , безрозмірна  
 Відношення поверхні осаду, зрошуваної форсунками до теоретично необхідної поверхні промивання,  $v$ , безрозмірна  
 Загальне число секцій фільтра,  $n_s$   
 Число секцій, що одночасно знаходяться у зоні просушки,  $n_s$

### Величини, що підлягають визначенню

Тривалість фільтрації,  $Q$ , сек  
 Тривалість промивання осаду на фільтрі,  $Q_w$ , сек.  
 Тривалість просушки осаду,  $Q_s$ , сек  
 Тривалість попередньої просушки осаду,  $Q_s$ , сек.  
 Тривалість перебування елемента фільтруючої поверхні чи осередку барабанного вакуум-фільтра в зоні знімання осаду і в мертвих зонах,  $Q$ , сек.  
 Загальна тривалість робочого циклу,  $Q_t$ , сек  
 Кутова швидкість обертання барабану,  $\omega$ , град/сек  
 Необхідна поверхня фільтрації,  $F_t$ , м<sup>2</sup>  
 Середня швидкість фільтрації, віднесена до загальної тривалості робочого циклу,  $V_t$ , м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>сек  
 Розподіл зон на фільтрі, град  
 Глибина занурення барабана у суспензію, м

## 3.2. Розрахунок фільтра

### 3.2.1. Визначення параметрів процесу фільтрації

$$B = \frac{r \cdot c \cdot r_m}{2 \cdot \rho}, \text{сек/м}^2 \quad (3.1)$$

$$v_0' = \frac{\rho_1}{r_m \cdot C}, \text{м}^3/\text{м}^2 \quad (3.2)$$

Остання величина виражає обсяг фільтрату, що проходить через одиницю поверхні і шару осаду, що відкладається, опір якого дорівнює опору фільтруючої перегородки.

### 3.2.2. Тривалість фільтрації

$$Q = \frac{b_1 \delta_1 (\delta_1 + 2U \cdot V_0')}{U^2}, \text{ сек.} \quad (3.3)$$

### 3.2.3. Теоретично необхідна тривалість промивки

Константа рівняння для тривалості промивки:

$$N_w = \frac{2 \cdot d_0 \cdot r_m \cdot c \cdot r_m}{\rho_w}, \text{ сек/м}^2 \quad (3.4)$$

Обчислена тривалість промивки осаду:

$$Q_w = \frac{N_w \cdot \delta_1 (\delta_1 + U \cdot V_0')}{U}, \text{ сек.} \quad (3.5)$$

### 3.2.4. Тривалість промивки осаду при подачі води з лотків чи форсунок

На барабанних вакуум-фільтрах звичайної конструкції вода для промивання осаду подається з лотків чи форсунок, що зрошує визначену частину поверхні фільтра, що у більшості випадків повинна трохи перевищувати теоретично необхідну для проходження заданого обсягу промивної рідини, оскільки остання не покриває осад безперервним рівномірним шаром. Крім того, при подачі води на занадто вузьку ділянку поверхні в результаті впливу інтенсивних водяних струменів може відбуватися розмивання коржа, що відклалося. Необхідне збільшення поверхні зони у порівнянні з теоретично необхідним враховується коефіцієнтом  $\nu$ , величина якого повинна встановлюватися експериментально.

$$Q_w' = Q_w \cdot \nu, \text{ сек.} \quad (3.6)$$

### 3.2.5. Тривалість просушки осаду

Тривалість просушки осаду за кожен робочий цикл може бути знайдено або проведенням спеціальних дослідів по визначенню оптимального часу просушки осаду, або із співвідношення числа секцій, що одночасно знаходяться в зоні просушки до загального їх числа. При цьому можна користуватися наступним практичним правилом: найменша зона на фільтрі повинна включати від двох до чотирьох секцій.

Тривалість просушки при відомому числі секцій  $n_s'$ , що одночасно знаходяться в зоні просушки, може бути знайдений із відношення:

$$Q_s^n = \frac{(Q + Q_w') \cdot n_s'}{n_s - n_s} \quad (3.7)$$



### 3.2.6. Кути, зайняті секторами знімання осаду і мертвих зон

Величина кутів приймається із конструктивних міркувань і на підставі практичних даних.

Кут, займаний сектором знімання осаду і мертвих зон:

$$\varphi' = \varphi_1' + \varphi_2' = \varphi_1' + \varphi_m + \frac{180}{n_s}, \quad (3.8)$$

де  $\varphi_1'$  - центральний кут, займаний сектором знімання осаду і мертвою зоною до місця занурення барабана в суспензію складає звичайно 45-55°;  $\varphi_m$  - кут сектора мертвої зони від рівня рідини в кориті фільтра до верхньої межі зони всмоктування.

Величина цього кута приймається на фільтрі з урахуванням запобігання прориву повітря через ще не покриту осадом тканину і складає від 2 до 5°. Кут сектора від рівня рідини в кориті фільтра до середини лінії початку всмоктування:

$$\varphi_2' = \varphi_m + \frac{180}{n_s} \quad (3.9)$$

### 3.2.7. Кут, зайнятий зоною попередньої просушки осаду

На барабанному вакуум-фільтрі звичайно існує зона попередньої просушки осаду, межа якої не повністю визначена, якщо тільки не встановлюється спеціальне пристосування для згладжування тріщин з нескінченною стрічкою, що покриває осад.

Розрахунок може проводитись або без виділення зони попередньої просушки при відповідному збільшенні коефіцієнта  $v$ , або з її виділенням.

У цьому випадку потрібно визначення величини кута сектора зони попередньої просушки. Цей кут:

$$\varphi_s' = \frac{180 - \psi}{2} + \alpha_s, \text{ град} \quad (3.10)$$

де  $\psi$  - кут занурення барабана фільтра в суспензію, у град;  
 $\alpha_s$  - кут від горизонтальної вісі барабана фільтра до верхньої межі зони попередньої просушки, величина якого приблизно може бути прийнята рівною 15°.

$$\psi = \varphi + \varphi_2' = \omega \cdot Q + \varphi_2', \quad (3.11)$$

де  $\varphi$  - кут зони фільтрації, град.;  
 $\omega$  - кутова швидкість обертання барабана, град/сек.

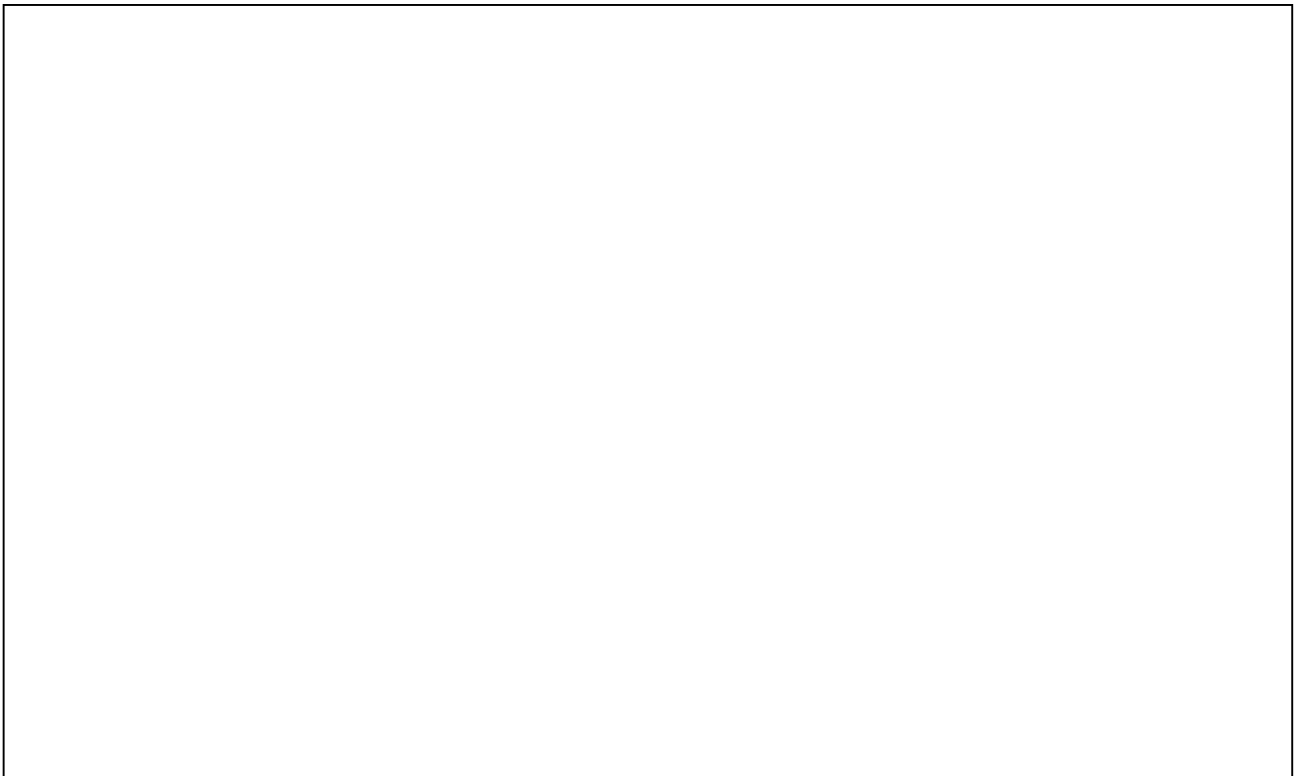
Для величини кутової швидкості можемо записати:

$$\omega = \frac{360 - \varphi_s' - \varphi_1' - \varphi_2'}{Q + Q_w + Q_s}, \text{ град/сек.} \quad (3.12)$$

Підставляючи в це рівняння значення кута  $\varphi_s'$  з рівняння (3.10), одержимо:

$$\omega = \frac{510 - \varphi_2' - 2\varphi_1'}{Q + 2 \cdot (Q_w + Q_s)}, \text{ град/сек.} \quad (3.13)$$

$$\varphi_s' = \frac{180 - \omega Q - \varphi_2'}{2} + 15 \quad (3.14)$$



**Рисунок 1 – Розташування зон на барабанному вакуум-фільтрі з зовнішньою фільтруючою поверхнею**

### **3.2.8. Тривалість попередньої просушки осаду**

$$Q_s' = \varphi_s' \cdot \omega, \text{ сек.} \quad (3.15)$$

### **3.2.9. Тривалість перебування елемента фільтруючої поверхні чи секції барабанного фільтра в зоні знімання осаду й у мертвих зонах**

$$Q' = \varphi' \cdot \omega, \text{ сек.} \quad (3.16)$$

**3.2.10. Загальна тривалість робочого циклу одного оберту барабану**

$$Q_t = Q + Q_s' + Q_w' + Q_s'' + Q', \text{ сек.} \quad (3.17)$$

**3.2.11. Обсяг фільтрату, одержуваного з  $1\text{ м}^2$  за час  $Q$**

$$V' = \frac{\delta_1}{u}, \text{ м}^3/\text{м}^2 \quad (3.18)$$

**3.2.12. Необхідна повна поверхня фільтрації**

$$F_t = \frac{\Theta \cdot Q_t}{k_3 \cdot V'}, \text{ м}^2 \quad (3.19)$$

де  $k_3 = 0,8$  – коефіцієнт, що враховує зниження продуктивності за рахунок поступового забивання, тканини;

**3.2.13. Продуктивність за вологим осадом, що знімається з фільтра**

$$\Theta_0 = \frac{\Theta \cdot u \cdot d_0 \cdot (100 - w)}{(100 - w')}, \text{ кг/сек.} \quad (3.20)$$

**3.2.14. Середня швидкість фільтрації, віднесена до часу власне фільтрації**

$$V_m = \frac{V'}{Q}, \text{ м}^3/\text{м}^2\text{сек} \quad (3.21)$$

**3.2.15. Середня швидкість фільтрації, віднесена до загальної тривалості робочого циклу**

$$V_t = \frac{V'}{Q_t}, \text{ м}^3/\text{м}^2\text{сек} \quad (3.22)$$

**3.2.16. Число обертів барабана фільтра в секунду**

$$\Pi_\omega = \frac{1}{Q_t}, \quad (3.23)$$

**3.2.17. Кут сектора зони фільтрації**

$$\varphi = \omega \cdot Q, \text{ град} \quad (3.24)$$

**3.2.18. Кут сектора зони промивання**

$$\varphi_w = \omega \cdot Q_w', \text{ град} \quad (3.25)$$

### 3.2.19. Кут сектора зони просушки

$$\varphi_s'' = \omega \cdot Q_s'', \text{ град} \quad (3.26)$$

### 3.2.20. Кут сектора занурення барабана в суспензію

$$\psi = \varphi + \varphi_2' \quad (3.27)$$

### 3.2.21. Глибинне занурення барабана

$$H = r_t \cdot \left(1 - \cos \frac{\psi}{2}\right), \quad (3.28)$$

де  $r_t$  – радіус барабана фільтра.

Слід зазначити, що межі двох суміжних зон на фільтрі (рис. 1) не залишаються постійними, а коливаються біля деякої середньої лінії. Зазначене явище відбувається внаслідок того, що кожен осередок чи секція фільтра відразу повідомляється з тією чи іншою зоною і в міру обертання фільтра переміщає її межу доти, доки в цю зону не ввійде наступний осередок. При цьому крайні межі зон можуть перекриватися між собою. Чим більше число осередків, на які розділена поверхня фільтруючого барабана, тим менше амплітуда коливання межі кожної зони.

Знайдені при розрахунках за приведеним вище формулами кути визначають середнє положення зони ліній, що розмежує.

#### 2-й випадок

Визначення продуктивності устанавленого фільтра при оптимальних умовах роботи

#### Вихідні дані для розрахунку

На відміну від попереднього розрахунку у розглянутому випадку відома поверхня фільтрації  $F_t$  і кут занурення барабана в суспензії  $\psi$ .

#### Величини, що підлягають визначенню

Для заданої повної поверхні фільтрації  $F_t$  визначається продуктивність по фільтрату  $Q$ . Інші величини, що підлягають визначенню, ті ж, що й у попередньому розрахунку.

#### Розрахунок фільтра

Розрахунок барабанного вакуум-фільтра в основному виконується аналогічно попередньому за пунктами 1-6, 8-11, 13-21.

Додаткові розрахунки рівняння використовуються лише в пунктах, що приводяться нижче (7 і 12).

7. У зв'язку з тим, що кут занурення барабана відомий, значення кута попередньої просушки може бути знайдене за рівнянням:

$$\varphi_s' = \frac{180 - \psi}{2} + \alpha_s, \text{ град} \quad (3.29)$$

Значення кутової швидкості з урахуванням необхідного часу промивання осаду визначається рівнянням (3.13).

З іншого боку, якщо виходити з існуючого кута сектора зони фільтрації і часу  $Q$ , необхідного для утворення шару осаду заданої товщини.

$$\omega = \frac{\psi - \varphi_2'}{\Theta}, \quad (3.30)$$

Отримані значення порівнюються між собою, і найменше з них приймається для подальшого розрахунку зі зміною величини відповідної зони.

**12. Продуктивність по фільтрату:**

$$Q = k_3 \cdot F_t \frac{V'}{Q_t}, \text{ м}^3/\text{сек} \quad (3.31)$$

#### **4. Приклад технологічного розрахунку барабанного вакуум-фільтра з зовнішньою фільтруючою поверхнею для поділу алюмосилікатної пульпи**

##### **Попередні визначення**

**1.** Об'ємна маса вологого відфільтрованого осаду перед просушкою:

$$d_0 = \frac{100 \cdot d_s \cdot d}{100 \cdot d + (d_s - d) \cdot w}; \quad (4.1)$$

$$d_0 = \frac{100 \cdot 2,37 \cdot 10^3 \cdot 0,99 \cdot 10^3}{100 \cdot 0,99 \cdot 10^3 + (2,37 - 0,99) \cdot 10^3 \cdot 80} = 1,21 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3,$$

де  $d_s = 2,37 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$  – щільність твердої фази;  
 $d = 0,99 \cdot 10^3$  - щільність рідкої фази при температурі фільтрації;  
 $W = 80\%$  - вміст рідкої фази у відфільтрованому осаді.

**2.** Відношення обсягу відфільтрованого осаду до обсягу отриманого фільтрату

$$u = \frac{\sigma \cdot d}{d_0 [100 - (w + \sigma)]}; \quad (4.2)$$

$$u = \frac{3,5 \cdot 0,99 \cdot 10^3}{1,21 \cdot 10^3 [100 - (80 + 3,5)]} = 0,1874,$$

де  $\sigma = 35\%$  - концентрація твердої фази в суспензії.

**3.** Маса твердої фази, що відкладається на фільтрі при одержанні одиниці об'єму фільтрату

$$C = \frac{\sigma \cdot d \cdot (100 - w)}{100 \cdot [100 - (w + \sigma)]} \quad (4.3)$$

$$C = \frac{3,5 \cdot 0,99 \cdot 10^3 \cdot (100 - 80)}{100 \cdot [100 - (80 + 3,5)]} = 42,0 \text{ кг / м}^3$$

### Вихідні дані для розрахунку фільтра

Необхідна продуктивність по фільтрату,  $Q = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{сек}$

Різниця тисків при фільтрації,  $P = 66,81 \text{ кН/м}^2$

Різниця тисків при промиванні,  $P_w = 66,81 \text{ кН/м}^2$

Середній питомий опір осаду,  $r_m = 5,42 \cdot 10^{11} \text{ м/кг}$

Опір фільтруючої тканини, віднесений до одиниці в'язкості,  $\rho = 4,1 \cdot 10^{10} \text{ м}^{-1}$

Вміст рідкої фази у відфільтрованому осаді (до просушки),  $W = 80\%$

Вміст рідкої фази у відфільтрованому осаді (після просушки),  $W' = 77\%$

В'язкість рідкої фази при температурі фільтрації, ( $t = 50^\circ\text{C}$ ),  $\eta = 6 \cdot 10^{-7}$

Товщина шару осаду на фільтрі  $\rho = 7 \cdot 10^{-5} \text{ м}$

Маса твердої фази, що відкладається при одержанні одиниці об'єму фільтрату,  
 $Z = 42,0 \text{ кг/м}^3$

Відношення обсягу відфільтрованого осаду до

Обсягу отриманого фільтрату,  $u = 0,1874$

Щільність вологого осаду,  $d_0 = 1,21 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$

Необхідна об'ємна кількість промивної води на 1 кг вологого осаду,

$L = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{кг}$

Середня в'язкість промивного фільтрату ( $t = 45^\circ$ ),  $\eta_w = 61,89 \cdot 10^{-3} \text{ кНсек/м}^2$

Відношення поверхні осаду, що зрошується форсунками, до теоретично  
 необхідної поверхні зони промивання,  $v = 1,05$

Загальне число секцій фільтра,  $n_s = 24$

Число секцій фільтра, що одночасно знаходяться в зоні просушки,  $n_s'' = 3$

### Розрахунок фільтра

1. Визначення параметрів рівняння фільтрації:

$$B = \frac{\eta \cdot C \cdot r_m}{2 \cdot P}; \quad (4.4)$$

$$B = \frac{6 \cdot 10^{-7} \cdot 42,0 \cdot 5,4 \cdot 10^{11}}{2 \cdot 66,81} = 0,10 \cdot 10^6 \text{ сек / м}^2.$$

$$V_0 = \frac{\rho_1}{r_m \cdot C}; \quad (4.5)$$

$$V_0 = \frac{4,1 \cdot 10^{10}}{5,4 \cdot 10^{11} \cdot 42,0} = 1,8 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 / \text{м}^2.$$

2. Тривалість фільтрації:

$$Q = \frac{B_1 \cdot \rho_1 \cdot (\delta_1 + 2 \cdot u \cdot V_0)}{u^2}; \quad (4.6)$$

$$Q = \frac{0,126 \cdot 10^6 \cdot 7 \cdot 10^{-3} \cdot (7 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 0,1874 \cdot 1,8 \cdot 10^{-3})}{0,1874^2} = 157 \text{ сеч.}$$

3. Теоретично необхідна тривалість промивки. Константа рівняння для тривалості промивки:

$$N_w = \frac{L \cdot d_0 \cdot r_m \cdot C \cdot \eta_w}{\rho_w}; \quad (4.7)$$

$$N_w = \frac{1,5 \cdot 10^{-3} \cdot 1,121 \cdot 10^3 \cdot 5,42 \cdot 10^{11} \cdot 42,0 \cdot 6,19 \cdot 10^{-2}}{66,81} = 0,3549 \cdot 10^6 \text{ сек/м}^2.$$

4. Визначена тривалість промивки осаду

$$Q_w = \frac{N_w \cdot \delta_1 \cdot (\delta_1 + u \cdot V_0)}{u}; \quad (4.8)$$

$$Q_w = \frac{0,35 \cdot 49 \cdot 10^6 \cdot 7 \cdot 10^{-3} \cdot (7 \cdot 10^{-3} + 0,1874 \cdot 1,8 \cdot 10^{-3})}{0,1874} = 96,77 \approx 97 \text{ сек.}$$

5. Тривалість промивки при подачі води з форсунок:

$$Q_w' = v \cdot Q_w; \quad (4.9)$$

$$Q_w' = 1,05 \cdot 96,77 = 101,61 \text{ сек} \approx 102 \text{ сек}$$

6. Тривалість просушки осаду:

$$Q_s'' = \frac{(Q + Q_w') \cdot \eta_s''}{n_s - n_s''}; \quad (4.10)$$

$$Q_s'' = \frac{(157 + 102) \cdot 3}{24 - 3} = 36,91 \approx 37 \text{ сек}$$

7. Величини кутів, займаних секторами знімання осаду і мертвих зон.

З конструктивних міркувань центральний кут, займаний сектором знімання осаду  $\varphi_1$ , приймаємо рівним  $50^\circ$ .

8. Кут сектора від рівня рідини в кориті фільтра до середньої лінії:

$$\varphi' = \varphi_1' + \varphi_2' \quad (4.11)$$

$$\varphi' = 50 + 10,5 = 60,5^\circ$$

9. Кут, займаний сектором попередньої просушки:

$$\varphi_s' = \frac{180 - w \cdot Q - \varphi_2'}{2} + \alpha_3; \quad (4.12)$$

$$\varphi_s' = \frac{180 - 0,918 \cdot 157 - 10,5}{2} \cdot 15^0 = 28,1^0,$$

де

$$w = \frac{510 - \varphi_2' - 2 \cdot \varphi_1'}{Q + 2(Q_w + Q_s)}; \quad (4.13)$$

$$w = \frac{510 - 10,5 - 2 \cdot 50}{157 + 2 \cdot (102 + 37)} = 0,918 \text{град/сек.}$$

10. Тривалість попередньої просушки осаду

$$Q_s' = \varphi_s' / w; \quad (4.14)$$

$$Q_s' = 21,8 / 0,918 = 30,61 \cong 31 \text{сее}$$

11. Тривалість перебування секції фільтра в зоні знімання осаду й у мертвих зонах:

$$Q' = \varphi' / w \quad (4.15)$$

$$Q' = 60,5 / 0,918 = 65,90 \approx 66 \text{сек}$$

12. Загальна тривалість робочого циклу, чи одного оберту барабану:

$$Q_t = Q + Q_s' + Q_w + Q_s'' + Q'; \quad (4.16)$$

$$Q_t = 157 + 31 + 102 + 37 + 66 = 393 \text{сек.}$$

13. Кількість фільтрату, що одержується з  $1 \text{ м}^2$  поверхні за час  $Q$ :

$$V' = \frac{\delta_1}{u}. \quad (4.17)$$

$$V' = \frac{7 \cdot 10^{-3}}{0,1874} = 3,74 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3 / \text{ м}^2$$

14. Необхідна повна поверхня фільтрації:

$$F_t = \frac{Q \cdot Q_t}{0,8 \cdot V'}. \quad (4.18)$$

$$F_t = \frac{1,5 \cdot 10^{-3} \cdot 393}{0,8 \cdot 3,74 \cdot 10^{-2}} = 19,69 \text{ м}^2$$

Приймаємо  $F_t = 20 \text{ м}^2$ .

15. Продуктивність за вологим осадом, що знімається з фільтра, і відповідає заданій продуктивності по фільтрату:

$$Q_0 = \frac{Q_u \cdot d_0 \cdot (100 - w)}{(100 - w')}; \quad (4.19)$$



$$Q_0 = \frac{1,5 \cdot 10^{-3} \cdot 0,1874 \cdot 1,121 \cdot 10^3 \cdot (100 - 80)}{(100 - 77)} = 0,28 \text{ кг / сек.}$$

16. Середня швидкість фільтрації, віднесена власне до тривалості фільтрації:

$$V_m = \frac{V'}{Q}; \quad (4.20)$$

$$V_m = \frac{3,74 \cdot 10^{-2}}{157} = 0,24 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 / \text{сек} \cdot \text{м}^2.$$

17. Число обертів барабану фільтра за секунду:

$$\Pi_w = \frac{1}{Q_t}; \quad (4.21)$$

$$\Pi_w = \frac{1}{393} = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ об / сек.}$$

18. Розподіл зон на поверхні барабана фільтра.

Кут сектора зони фільтрації:

$$\varphi = w \cdot Q; \quad (4.22)$$

$$\varphi = 0,918 \cdot 157 = 144,1^{\circ}.$$

Кут сектора зони промивання:

$$\varphi_w = w \cdot Q_w'; \quad (4.23)$$

$$\varphi_w = 0,918 \cdot 102 = 93,5^{\circ}.$$

Кут сектора зони просушки:

$$\varphi_s'' = w \cdot Q_s'; \quad (4.24)$$

$$\varphi_s'' = 0,918 \cdot 37 = 33,8^{\circ}$$

Отримані значення кутів окремих зон зручно розташувати у вигляді таблиці.

**Таблиця 4.1 – Кути окремих зон**

| Найменування              | Займаний центральний кут |         | %    |
|---------------------------|--------------------------|---------|------|
|                           | позначення               | градуси |      |
| Зона фільтрації           | $\varphi_1$              | 144,1   | 40,0 |
| Зона попередньої просушки | $\varphi_s'$             | 28,1    | 7,8  |
| Зона промивання           | $\varphi_w$              | 93,5    | 25,9 |
| Зона просушки             | $\varphi_s''$            | 33,8    | 9,4  |

| Найменування                               | Займаний центральний кут |         | %     |
|--|--------------------------|---------|-------|
|  | позначення               | градуси |       |
| Кут сектора знімання осаду та мертвої зони | $\varphi$                | 60,5    | 16,9  |
| Усього                                     |                          | 360,0   | 100,0 |

19. Кут сектора занурення барабана у суспензію:

$$\psi = \varphi + \varphi_2' ; \quad (4.25)$$

$$\psi = 144,12 + 10,5 = 154,62^{\circ} .$$

20. Глибина занурення барабана:

$$H = r_t \cdot \left( 1 - \cos \frac{\psi}{2} \right) = 1,3 \cdot \left( 1 - \cos \frac{154,62}{2} \right); \quad (4.26)$$

$$H = 1,3 \cdot (1 - 0,2147) = 1,02 \text{ м} .$$

### 5. Загальні зауваження до розрахунку барабанного секціонованого вакуум-фільтра без урахування опору фільтруючої перегородки

У розглянутому випадку величина питомого опору  $r_m$ , при обробці експериментальних даних повинна обчислюватися за рівняннями, що не враховують опору фільтруючого шару.

Тому отримані значення  $r_m$  будуть трохи вище, ніж знайдені з урахуванням опору фільтруючого шару.

Визначення параметрів процесу фільтрації зводиться до обчислення тільки величини:

$$B_1 = \frac{\eta \cdot C \cdot r_m}{2 \cdot \rho}, \quad (5.1)$$

тому що  $V_0 = 0$ .

Тривалість фільтрації:

$$Q = \frac{B_1 \cdot \delta_1^2}{u^2} \quad (5.2)$$

В іншому випадку, розрахунок виконується аналогічно розрахунку з урахуванням опору фільтруючого шару.

**6. Приклад технологічного розрахунку барабанного вакуум-фільтра без урахування опору фільтруючої перегородки для суспензій алюмосилікатної пульпи**

**Вихідні дані для розрахунку фільтра**

Питомий опір осаду, знайдений без обліку опору фільтруючої перегородки  $r_m = 5,99 \cdot 10^{11}$  м/кг.

Інші вихідні дані приймаються такими ж, як у попередньому розрахунку.

**Розрахунок фільтра**

1. Константа рівняння фільтрації:

$$B_1 = \frac{\eta \cdot C \cdot r_m}{2 \cdot \rho}; \quad (6.1)$$

$$B_1 = \frac{6 \cdot 10^{-7} \cdot 42,0 \cdot 5,99 \cdot 10^{11} \cdot 42}{2 \cdot 66,81} = 0,11 \cdot 10^6 \text{ сек/м}^2.$$

2. Тривалість фільтрації:

$$Q = \frac{B_1 \cdot \delta_1^2}{u^2}; \quad (6.2)$$

$$Q = \frac{1,1 \cdot 10^5 \cdot (7 \cdot 10^{-3})^2}{0,187} = 157,47 \approx 157 \text{ сек.}$$

3. Теоретично необхідна тривалість промивки.  
Константа рівняння для тривалості промивки:

$$N_w = \frac{L \cdot d_0 \cdot r_m \cdot C \cdot \eta_w}{\rho_w} \quad (6.3)$$

$$N_w = \frac{1,5 \cdot 10^{-3} \cdot 1,21 \cdot 10^3 \cdot 6 \cdot 10^{-7} \cdot 42 \cdot 0,61 \cdot 8,87 \cdot 10^{-5}}{66,81} = 0,39 \cdot 10^6.$$

4. Визначена тривалість промивки осаду:

$$Q_w = \frac{N_w \cdot \delta_1 (\delta_1 + u \cdot V_0')}{u}; \quad (6.4)$$

$$Q_w = \frac{3,9 \cdot 10^5 \cdot 7 \cdot 10^{-3} (7 \cdot 10^{-3} + 0,187 \cdot 0)}{0,187} = 108 \text{ сек.}$$

5. Тривалість промивки при подачі води з форсунок:

$$Q_w' = v \cdot Q_w; \quad (6.5)$$

$$Q_w' = 1,05 \cdot 103 = 108 \text{ сек.}$$

6. Тривалість просушки осаду:

$$Q_s^n = \frac{(Q + Q_w') \eta_s^n}{\eta_s - \eta_s}; \quad (6.6)$$

$$Q_s^n = \frac{(157 + 108) \cdot 3}{24 - 3} = 38 \text{сек.}$$

7. Кути, займані секторами знімання осаду і секторами мертвих зон:

$$\varphi' = \varphi_1' + \varphi_2'; \quad (6.7)$$

$$\varphi_2' = \varphi_m + \frac{180}{\eta_s}; \quad (6.8)$$

$$\varphi_2' = 3 + \frac{180}{24} = 10,5^\circ.$$

$\varphi_1'$  приймаємо рівним  $50^\circ$ .

$$\varphi' = 50 + 10,5 = 60,5^\circ.$$

8. Кут, займаний сектором попередньої просушки:

$$\varphi_s' = \frac{180 - \omega \cdot Q - \varphi_2'}{2} + \alpha_s; \quad (6.9)$$

$$\varphi_s' = \frac{180 \cdot 0,889 - 157 - 10,5}{2} + 15^\circ = 30^\circ,$$

де

$$\omega = \frac{510 - \varphi_2' - 2 \cdot \varphi_1'}{Q + 2(Q_w + Q_s)}; \quad (6.10)$$

$$\omega = \frac{510 - 10,5 - 2 \cdot 50}{157 + 2(108 + 38)} = 0,889 \text{град/сек.}$$

9. Тривалість попередньої просушки осаду:

$$Q_s' = \varphi_s' / \omega; \quad (6.11)$$

$$Q_s' = 30 / 0,889 = 34 \text{сек}$$

10. Тривалість перебування в зоні знімання осаду й у мертвих зонах:

$$Q' = \varphi' / \omega. \quad (6.12)$$

$$Q' = 60,5 / 0,889 = 68 \text{сек}$$

11. Тривалість одного оберту барабана:

$$Q_0 = Q + Q_s' + Q_w' + Q_s'' + Q'; \quad (6.13)$$

$$Q_0 = 157 + 34 + 108 + 38 + 68 = 405 \text{сек.}$$

12. Кількість фільтрату, що одержується з  $1 \text{ м}^2$  поверхні за час  $Q$ :

$$V = \frac{\delta}{u}. \quad (6.14)$$

$$V = \frac{7 \cdot 10^{-3}}{0,1874} = 3,74 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 / \text{м}^2$$

13. Необхідна повна поверхня фільтрації:

$$F_t = \frac{Q \cdot Q_t}{0,8 \cdot V}; \quad (6.15)$$

$$F_t = \frac{1,5 \cdot 10^{-3} \cdot 405}{0,8 \cdot 3,74 \cdot 10^{-2}} = 20,3 \text{ м}^2.$$

Приймаємо  $F_t = 20 \text{ м}^2$ .

14. Продуктивність по вологому осаді, який знімається з фільтра, що відповідає заданій продуктивності по фільтрату:

$$Q_0 = \frac{Q_v \cdot d_0 (100 - w)}{(100 - w')}; \quad (6.16)$$

$$Q_0 = \frac{1,5 \cdot 10^{-3} \cdot 0,1874 \cdot 1,21 \cdot 10^3 \cdot (100 - 80)}{(100 - 77)} = 0,28 \text{ кг / сек.}$$

15. Середня швидкість фільтрації, віднесена власне до тривалості фільтрації:

$$\vartheta_m = \frac{V}{Q}; \quad (6.17)$$

$$\vartheta_m = \frac{0,0374}{157} = 0,24 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 / \text{м}^2 \text{ сек.}$$

16. Середня швидкість фільтрації, віднесена до загальної тривалості робочого циклу:

$$\vartheta_t = \frac{V}{Q_t}; \quad (6.18)$$

$$\vartheta_t = \frac{0,0374}{405} = 9,23 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3 / \text{сек.}$$

17. Кут сектора зони фільтрації:

$$\varphi = \omega \cdot Q; \quad (6.19)$$

$$\varphi = 0,889 \cdot 157 = 139,7^0.$$

18. Кут сектора зони промивання:

$$\varphi_w = \omega \cdot Q_w ; \quad (6.20)$$

$$\varphi_w = 0,889 \cdot 108 = 96^0$$

19. Кут сектора зони просушки:

$$\varphi_s'' = \omega \cdot Q_s'' \quad (6.21)$$

$$\varphi_s'' = 0,889 \cdot 38 = 33,8^0$$

**Таблиця 6.1 – Значення кутів окремих зон**

| Найменування                               | Займаний центральний кут |         | %     |
|--|--------------------------|---------|-------|
|  | позначення               | градуси |       |
| Зона фільтрації                            | $\varphi$                | 139,7   | 38,8  |
| Зона попередньої просушки                  | $\varphi_s'$             | 30,0    | 8,3   |
| Зона промивання                            | $\varphi_w$              | 96,0    | 26,6  |
| Зона просушки                              | $\varphi_s''$            | 33,8    | 9,4   |
| Кут сектора знімання осаду та мертвої зони | $\varphi'$               | 60,5    | 16,9  |
| Усього                                     |                          | 360,00  | 100,0 |

20. Кут сектора занурення барабана у суспензію:

$$\varphi = \varphi + \varphi_2' ; \quad (6.22)$$

$$\varphi = 139,7 + 10,5 = 150,2^0$$

21. Глибина занурення барабана:

$$H = r \left( 1 - \cos \frac{\Psi}{2} \right) = 1,3 \left( 1 - \cos \frac{150,2}{2} \right); \quad (6.23)$$

$$H = 1,3(1 - 0,2422) = 0,985 \text{ м.}$$

### **7. Розрахунок барабанного вакуум-фільтра з зовнішньою фільтруючою поверхнею за даними лабораторних дослідів без обчислення констант фільтрації**

Емпіричний метод розрахунку барабанного вакуум-фільтра виходить зі співвідношення:

$$M_s = \frac{k_3 \cdot m_3 \cdot \varphi}{Q \cdot F_1 \cdot 360}, \text{ кг/м}^2 \text{ сек.} \quad (7.1)$$

де  $k_3 = 0,8$  – коефіцієнт, що враховує поступове зниження продуктивності барабанного вакуум-фільтра, що відбувається внаслідок забивання тканини;

$M_s$  - продуктивність промислового вакуум-фільтра по сухому осаду з одиниці поверхні, кг/м<sup>2</sup>сек.;  
 $m_s$  - маса твердої фази, що відклалася на лабораторному фільтрі при одержанні осаду необхідної товщини, кг;  
 $Q$  - час утворення осаду, сек.;  
 $F_1$  - поверхня лабораторної фільтраційної лійки, м<sup>2</sup>;  
 $\varphi$  - кут сектора зони фільтрації на промисловому барабанному вакуум-фільтрі, град.

Якщо поверхня лабораторної фільтрувальної лійки складає, як це звичайно прийнято, 0,01м<sup>2</sup>, то попереднє рівняння можна записати у вигляді:

$$M'_s = 0,222 \frac{m \cdot \varphi}{Q}, \text{ сек.} \quad (7.2)$$

Тривалість одного оберту барабана чи фільтра повна тривалість циклу знаходяться по формулі:

$$Q_t = \frac{Q \cdot 360}{\varphi}, \text{ сек.} \quad (7.3)$$

Повна продуктивність по сухому осаду, що знімається з фільтра, складає:

$$M_s = M'_s \cdot F, \text{ кг/сек.} \quad (7.4)$$

де  $F$  – поверхня промислового фільтра, м<sup>2</sup>.

Виконання розрахунків може бути спрощено застосуванням номограм.

### **Приклад розрахунку фільтра для алюмосилікатної пульпи.**

Нижче приводиться приклад для розрахунку барабанного вакуум-фільтра за емпіричним методом для випадку розподілення алюмосилікатної пульпи.

#### **Вихідні дані**

Поверхня лабораторної фільтрувальної лійки,  $F_1 = 0,01\text{м}^2$ ,

Тривалість фільтрації,  $Q = 157\text{сек.}$

Маса твердої фази, що відклалася на лабораторному фільтрі при одержанні шаруючи осаду бажаної товщини,  $m_s = 157 \cdot 10^{-3}$ , кг.

#### **Розрахунок фільтра**

Потрібно визначити продуктивність барабанного вакуум-фільтра поверхнею 20м<sup>2</sup> зі стандартним кутом сектора зони фільтрації  $\varphi = 144^\circ$ , а також тривалість одного оберту барабану фільтра.

Продуктивність по сухому осаді з одиниці поверхні:

$$M'_s = 0,222 \frac{m_s \cdot \varphi}{Q}; \quad (7.5)$$

$$M'_s = 0,222 \frac{15,7 \cdot 10^{-3} \cdot 144}{157} = 3,2 \cdot 10^{-3} \text{ кг / м}^2\text{сек.}$$

Повна продуктивність по сухому осаді, що знімається з фільтра:

$$M_s = M'_s \cdot F; \quad (7.6)$$

$$M_s = 3,2 \cdot 10^{-3} \cdot 20 = 6,4 \cdot 10^{-2} \text{ кг / сек.}$$

Тривалість одного обороту барабана фільтра:

$$Q_t = \frac{360 \cdot Q}{\varphi}; \quad (7.7)$$

$$Q_t = \frac{360 \cdot 157}{144} = 392 \text{ сек.}$$



## Зміст

|         |   |    |
|---------|---|----|
| 1.      | Загальні положення .....  | 3  |
| 2.      | Попереднє визначення деяких величин, необхідних для розрахунку барабанних вакуум-фільтрів з використанням рівнянь фільтрації .....                  | 3  |
| 3.      | Розрахунок барабанного осередкового вакуум-фільтра з зовнішньою фільтруючою поверхнею на підставі рівняння фільтрації.....                          | 5  |
| 3.1.    | Розрахунок фільтра з урахуванням опору фільтруючої перегородки .....  | 5  |
| 3.2.    | Розрахунок фільтра .....  | 6  |
| 3.2.1.  | Визначення параметрів процесу фільтрації .....  | 6  |
| 3.2.2.  | Тривалість фільтрації .....   | 7  |
| 3.2.3.  | Теоретично необхідна тривалість промивки.....   | 7  |
| 3.2.4.  | Тривалість промивки осаду при подачі води з лотків чи форсунок.....   | 7  |
| 3.2.5.  | Тривалість просушки осаду .....   | 7  |
| 3.2.6.  | Кути, зайняті секторами знімання осаду і мертвих зон.....   | 8  |
| 3.2.7.  | Кут, зайнятий зоною попередньої просушки осаду .....  | 8  |
| 3.2.8.  | Тривалість попередньої просушки осаду .....   | 9  |
| 3.2.9.  | Тривалість перебування елемента фільтруючої поверхні чи секції барабанного фільтра в зоні знімання осаду й у мертвих зонах.....                     | 9  |
| 3.2.10. | Загальна тривалість робочого циклу одного оберту барабану.....  | 10 |
| 3.2.11. | Обсяг фільтрату, одержуваного з $1\text{ м}^2$ за час $Q$ .....   | 10 |
| 3.2.12. | Необхідна повна поверхня фільтрації .....   | 10 |
| 3.2.13. | Продуктивність за вологим осадом, що знімається з фільтра.....  | 10 |
| 3.2.14. | Середня швидкість фільтрації, віднесена до часу власне фільтрації.....  | 10 |
| 3.2.15. | Середня швидкість фільтрації, віднесена до загальної тривалості робочого циклу.....   | 10 |
| 3.2.16. | Число обертів барабана фільтра в секунду .....  | 10 |
| 3.2.17. | Кут сектора зони фільтрації .....   | 10 |
| 3.2.18. | Кут сектора зони промивання .....   | 10 |
| 3.2.19. | Кут сектора зони просушки .....   | 11 |
| 3.2.20. | Кут сектора занурення барабана в суспензію .....  | 11 |
| 3.2.21. | Глибинне занурення барабана .....   | 11 |
| 4.      | Приклад технологічного розрахунку барабанного вакуум-фільтра з зовнішньою фільтруючою поверхнею для поділу алюмосилікатної пульпи .....             | 12 |
| 5.      | Загальні зауваження до розрахунку барабанного секціонованого вакуум-фільтра без урахування опору фільтруючої перегородки .....                      | 17 |
| 6.      | Приклад технологічного розрахунку барабанного вакуум-фільтра без урахування опору фільтруючої перегородки для суспензій алюмосилікатної пульпи..... | 18 |
| 7.      | Розрахунок барабанного вакуум-фільтра з зовнішньою фільтруючою поверхнею за даними лабораторних дослідів без обчислення констант фільтрації.....    | 21 |