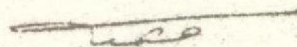


Автореферат,  
Д 86

Одеська державна академія харчових технологій

Дхем Муссааб



УДК 664.013:628.33

# ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ПРОЦЕСІВ ФІЛЬТРУВАННЯ СТІЧНИХ ВОД ХАРЧОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

Спеціальність 05.18.12 - процеси та апарати харчових виробництв

## АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Одеса - 1998

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Одеській державній академії харчових технологій  
Міністерства освіти України

Науковий керівник: - доктор технічних наук, професор

Остапчук Микола Васильович, Одеська державна академія харчових технологій, професор кафедри процесів та апаратів

Офіційні опоненти: - доктор технічних наук, професор

Дударев Іван Романович, Одеський сільськогосподарський інститут, завідувачий кафедрою механізації та автоматизації сільськогосподарських виробництв;

кандидат технічних наук, доцент

Фортученко Людмила Олександрівна, Одеська державна академія харчових технологій, доцент кафедри технології молока та сушіння харчових продуктів.

Український державний університет харчових технологій, кафедра процесів та апаратів харчових виробництв, Міністерство освіти України, м. Київ

Захист відбудеться «26» листопада 1998 р. о 13<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 41.088.01 при Одеській державній академії харчових технологій за адресою: 270039, м.Одеса, вул.Канатна, 112.

a  
l

Одеської державної  
вул.Канатна,

пенко Л.М.

V. 10 17312

ОДАХТ  
Бібліотека

ОНАХТ 28.07.11

Інтенсифікація проце



v017312

## Загальна характеристика роботи

Актуальність теми. Стічні води харчових підприємств містять значну кількість домішок, які значно перевищують припустимі норми при викиді їх у каналізацію, водойми та при повторному використанні. Значну частку домішок складають зважені частки речовин органічного і неорганічного походження. Деякі з цих зважених речовин утворюються в результаті хімічної та біохімічної обробки стічних вод.

Для очищення води від цих домішок використовують відстоювання і фільтрування. Відстоювання використовують для вилучення найбільш великих частинок, а фільтрування - для вилучення більш мілких. При цьому використовують різні види фільтруючих перегородок - насипні фільтри (гравійні, пісчані т.і.), решітки, сита та інші фільтруючі матеріали.

У відповідності з існуючими теоретичними уявленнями продуктивність фільтрів пропорційна різниці тисків до та після фільтруючої перегородки, діаметрові капілярів, кількості капілярів, площі поверхні фільтра і часу фільтрування та обернено пропорційна товщині фільтруючої перегородки і в'язкості дисперсійного середовища.

Ці закономірності засновані на відомому рівнянні Пуазейля для визначення швидкості (продуктивності) фільтрування. Звідсіля витікають основні напрямки інтенсифікації процесів фільтрування: збільшення рушійної сили процесу, тобто різниці тисків, збільшення діаметра капілярів осадку, зменшення в'язкості середовища і довжини капілярів (товщина осадка). Природньо, що зміна форми і стану поверхні частинок також може суттєво впливати на структуру осадка (перегородки) та його опір.

Проте ці питання комплексно для стічних вод харчових підприємств не розв'язувались, достатньо не аналізувались та вимагають спеціальних досліджень.

Оскільки фільтруючою перегородкою в більшості випадків є сам осадок, то його властивості визначають і хід самого процесу фільтрування. Властивості осадка в значній мірі визначаються властивостями зважених частинок (розміри, форма, стан поверхні, тощо), тобто ці властивості можуть бути визначальними при здійсненні процесу фільтрування.

За літературними даними коагулювання стічних вод покращує структуру осадка, зменшує його опір, збільшує проникливість, покращує прозорість фільтрата.

Викладене дозволяє заключити що інтенсифікація процесу фільтрування стічної води за допомогою зміни структури осадка викори-

станням коагулянтів і флокулянтів є актуальною проблемою, розв'язання якої може значно підвищити продуктивність процесу фільтрування і поліпшити якість фільтрата.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота відповідає основному науковому напрямку роботи кафедри «Процеси та апарати» ОДАХТ «Вдосконалення процесів та апаратів» та загальному національному напрямку наукових досліджень по охороні навколишнього середовища і зменшення промислових викидів.

Мета і задачі дослідження. У зв'язку з цим основною метою дослідження поставили пошук та встановлення способів інтенсифікації процесів фільтрування стічних вод харчових підприємств шляхом зміни властивостей зважених частинок.

Для досягнення цієї мети треба розв'язати такі задачі:

- уточнення складу забруднень у стічних водах і визначення властивостей частинок, що впливають на структуру осадка;
- пошук та встановлення способу інтенсифікації процесів фільтрування стосовно складу забруднень стічних вод млинів;
- визначення кінетичних закономірностей процесу фільтрування в залежності від властивостей частинок твердої фази;
- спрямована зміна властивостей частинок для поліпшення структури осадка шляхом їх коагуляції і флокуляції;
- визначення режимів фільтрування коагульованих стічних вод;
- визначення оптимального співвідношення між процесами осадження частинок та наступним фільтруванням;
- розробка рекомендацій по вдосконаленню режимів фільтрування і фільтруючих апаратів для очищення стічних вод харчових підприємств.

Основними методичними заходами досліджень процесу фільтрування прийняли відомі в літературі методи. Головною задачею експериментів поставили визначення фільтруючих властивостей осадка, який утворюється при коагулюванні зважених частинок.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в установленні кінетичних закономірностей фільтрування коагульованих стічних вод млинів, режимів фільтрування, конструктивних характеристик фільтрувальних установок підвищеної продуктивності при покращенні якості фільтрата.

Практичне значення одержаних результатів полягає в розробці рекомендацій по вибору режимів фільтрування коагульованих стічних вод, що забезпечують підвищення продуктивності процесу фільтрування і якості фільтрата.

Особистий внесок здобувача в сумісних працях полягає в науковому

обґрунтуванні та експериментальному визначенні констант фільтрування і розробці рекомендацій по вдосконаленню режимів фільтрування. Дві роботи опубліковано самостійно.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертації доповідали на наукових конференціях ОДАХТ та міжнародних конференціях в 1994, 1995, 1996, 1997 роках і опубліковані в тезах цих наукових конференцій.

Публікації. Основні положення роботи надруковано в 6-ти публікаціях, у тому числі в трьох статтях: в галузевому журналі, збірниках наукових праць ОДАХТ, матеріалах міжнародної конференції країн СНД та тезах наукових конференцій ОДАХТ (1996).

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається із вступу, 4-х розділів, висновків, викладена на 118 сторінках машинописного тексту, містить 22 таблиці (6 стор.) і 19 рисунків (6 стор.), список використаних джерел із 107 найменувань, в числі яких 8 іноземних.

## Зміст роботи

У вступі обґрунтовано актуальність роботи та показано її значення для зменшення викидів у навколишнє середовище.

В першому розділі показано, що забруднені стічні води млинів уявляють собою складну полідисперсну багатокомпонентну систему, що знаходиться в істино розчиненому колоїдному і зваженому стані. Після виходу з мийної машини вода має брудно-зелений колір і характерний запах зерна силою до одного бала. Прозорість за шрифтом Спелена складає 1,6...9,0 см і залежить від міри забруднення зерна і питомих витрат води, що використана для його миття. Через 5...6 годин вода трохи світліє і в ній з'являється різких запах гнилого зерна до 4-х балів. Основними забрудненнями стічних вод млинів є зважені частинки речовин переважно органічного походження. Мінеральні частинки складають біля 30% від загальної кількості зваженої маси. Сухий залишок на (50...90)% складається з мінеральних речовин. Жорсткість води складає 2,85 мг-екв/л. Окисленість води значно перевищує 5 ПК<sub>5</sub>, що вказує на труднощі використання біохімічного способу для її очищення.

Найбільш важко відокремлюємі в практиці водоочищення частинки (розміром менше  $25 \cdot 10^{-5}$  м) складають (18...25)%. В стічній воді після миття зерна містяться також мілкі і биті зерна, частинки оболонки, полови, насіння бур'янів, пісок, тощо. Розмір частинок забруднень змінюється від  $1 \cdot 10^{-7}$  до  $3 \cdot 10^{-3}$  м. Проте гідравлічна крупність, тобто характеристика, що необхідна для розрахунку розмірів фільтрів і відстійників не завжди

визначалась, що не дозволяє виконувати достатньо обгрунтовано розрахунки та вибір ефективних засобів очищення.

В основу всіх наступних теоретичних залежностей покладено відоме рівняння Анрі Дарсі (1856 р.), що встановлює пропорційну залежність швидкості течії рідини в порах від перепаду тиску:

$$v_{\phi} = -K \text{grad} P, \quad (1)$$

де  $K$  - коефіцієнт пропорційності (фільтрації);  $v_{\phi}$  - швидкість течії рідини, м/с;  $P$  - тиск, Па.

З цього рівняння виходять всі останні положення, що враховують режими течії, властивості рідини та осадку, характеристики шпаристої перегородки т.і.

Швидкість фільтрування можна визначити за виразом:

$$v_{\phi} = \frac{dV}{F d\tau} \quad (2)$$

де  $V$  - об'єм фільтрата, м<sup>3</sup>,  $F$  - площа поверхні фільтрування, м<sup>2</sup>;  $\tau$  - час фільтрування, с.

При ламінарній течії рідини в капілярах швидкість фільтрування визначають за виразом:

$$v_{\phi} = \frac{dv}{F d\tau} = \frac{\Delta P}{\mu(R_{oc} - R_n)}, \text{ м/с}, \quad (3)$$

де  $R_{oc}$ ,  $R_n$  - опір осадка і перегородки, Па;  $\Delta P$  - різниця тисків по обидві сторони перегородки, Па;  $\mu$  - динамічна в'язкість рідини, Па·с.

Опір осадка пропорційний його висоті, тобто:

$$R_{oc} = r_o h_o = r_o x_o \frac{V}{F}, \quad (4)$$

де  $r_o$  - питомий опір шару осадка, 1/м<sup>2</sup>;  $h_o$  - висота осадка, м;  $x_o$  - відношення об'єма осадка до об'єму фільтрата, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>.

Продуктивність фільтра визначається за формулою:

$$G = \frac{\Delta P d^4 \alpha}{32 \mu l} r \cdot F \cdot z, \quad (5)$$

де  $d$  - діаметр капілярів, м;  $l$  - довжина капіляра, м;  $z$  - кількість капілярів, од.;  $\alpha$  -  $\pi/4$  (коефіцієнт).

Ця формула заснована на відомому рівнянні Пуазейля для визначення швидкості фільтрування:

$$v_{\phi} = \frac{\Delta P d^4}{32 \mu l} \quad (6)$$

Природньо, що зміна форми і стану поверхні частинок також може суттєво впливати на структуру осадка (перегородки) та його опір. Проте,

ці основні рівняння значно змінюються за видом і формою в залежності від режимів фільтрування: при постійній швидкості, при постійному тиску, з закупоркою капілярів, стискаємих або нестискаємих осадок і т.і. При визначенні властивостей осадка ці рівняння можуть бути уточнені.

З наведених співвідношень неважко встановити, що цими рівняннями можна користуватися тільки в тому випадку, коли відомі всі величини (сталі), що входять в ці рівняння, тобто довжина і діаметр капілярів, їх кількість, коефіцієнт фільтрації  $K$ , коефіцієнт форми частинок, величина криволінійності капілярів та інші характеристики, які визначаються експериментальними методами. Найбільш досконалою, з нашої точки зору, є методика визначення кінетики фільтрування на основі визначення коефіцієнта фільтрації  $K$ .

В практиці досліджень прийнято характеризувати зважені частинки їх гідравлічною крупністю, тобто розподілом швидкості осадження, яка є узагальненою характеристикою частинок у їхній сукупності. Очевидно, ці два положення повинні бути покладені в основу експериментальних досліджень.

Оскільки основною метою досліджень поставили встановлення способів інтенсифікації процесів фільтрування зміною властивостей зважених частинок, то ці два засоби повністю визначили задачі досліджень.

У другому розділі викладено методику досліджень. У відповідності з метою та задачами досліджень за об'єкти досліджень взяли оброблені коагулянтами і флокулянтами стічні води, які утворюються при митті зерна у виробничих та штучних (модельних) умовах та підлягають очищенню фільтруванням.

Оскільки аналітичне визначення складу забруднення і кінетики процесу фільтрування неможливе, склали план експериментальних досліджень, який включає не тільки визначення складу забруднень, але і вибір доз коагулянтів і флокулянтів, термін їх дії на процес утворення пластівців, вибір фільтруючих перегородок та визначення характеристик процесу фільтрування коагульованих та флокульованих стічних вод. Кожен розділ експериментальних досліджень включає найменування визначених параметрів, методи і засоби вимірювань.

В якості коагулянта використали бентонітну глину Асканського родовища, а в якості флокулянта - гель поліакріламіда (ПАА).

В третьому розділі викладено результати досліджень по встановленню кінетики і режимів фільтрування мийних вод млинів. На млині потужністю 200 т зерна на добу при нормі споживання води  $1,75 \text{ м}^3/\text{т}$  утворюється  $350 \text{ м}^3/\text{добу}$  або біля  $15 \text{ м}^3/\text{год}$  стічної води з концентрацією забруднень  $(1...10) \text{ г}/\text{дм}^3$  і крупністю зважених частинок від  $(1,0...5,0) \cdot 10^{-3} \text{ м}$

до  $1 \cdot 10^{-8}$  м при припустимій нормі забруднень  $0,5$  г/дм<sup>3</sup>.

Витрати забруднень при їх початковій вологості 15% складають від  $0,1$  до  $1\%$ , тобто  $(0,015 \dots 0,15)$  м<sup>3</sup>/год.

Модельний розчин, одержаний миттям пшениці з початковою концентрацією частинок  $C_0 = 5$  г/дм<sup>3</sup>, фільтрували на фільтрі з насипним навантаженням висотою  $100$  і  $200$  мм при тиску  $10$  кПа ( $1$  м стовпа води). В результаті дослідів установили, що при фільтруванні через фільтр з таким шаром завантаження і еквівалентному діаметрі частинок  $d_s = (1,5 \dots 2,5) \cdot 10^{-3}$  м протягом  $15$  хвилин затримуються тільки порівняно крупні частинки, від  $0,1 \cdot 10^{-3}$  до  $5 \cdot 10^{-3}$  мм. Частинки менших розмірів «проскочують» через фільтр з таким завантаженням (залишок на фільтрі  $1000 \dots 1500$  мг/дм<sup>3</sup>).

Насипне завантаження піску із середнім діаметром частинок  $0,5$  мм майже повністю очищає воду від зважених частинок протягом  $15$  хвилин (залишок не перевищує  $2 \dots 3$  мг/дм<sup>3</sup>). Питоме завантаження на  $1$  м<sup>2</sup> фільтруючої поверхні склало  $1,0$  м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>·год. Тоді площа фільтра для витрат рідини  $15$  м<sup>3</sup>/год складає  $15$  м<sup>2</sup>.

В результаті досліджень показано, що рекомендуємі способи очищення мийної води дуже неефективні, споруди для очищення громіздкі і дорогі. Крім того, якщо врахувати, що на регенерацію очисних споруд витрачається не менше ніж  $30\%$  робочого часу, то ці обставини ще більше ускладнюють експлуатацію таких споруд.

З метою підвищення ефективності процесу очищення мийну воду коагулювали бентонітом. Попередніми дослідями встановили, що оптимальна доза бентоніта складає  $1/6$  від початкової концентрації забруднень. Основною метою коагулювання поставили збільшення гідравлічного радіуса частинок до прийнятої у виробничих умовах швидкості осадження  $v_0$  і складає для часу осадження  $\tau = 15$  хвилин і висоти осадження  $h = 0,15$  м:

$$v_0 = h / \tau = 0,15 / 15 \cdot 60 \approx 1,7 \cdot 10^{-4} \text{ м/с.}$$

Розміри цих частинок визначили розрахунками за формулою для всієї маси осівших частинок, тобто  $Q = m$

$$r = \sqrt{\frac{9 \mu m}{2g(\rho - \rho_*) \cdot Q \cdot \tau}} = \sqrt{\frac{9 \cdot 1 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 9,8(1300 - 1000) \cdot 900}} = 0,4 \cdot 10^{-4} \text{ м,} \quad (7)$$

З цією метою провели дослідження розподілу швидкості осадження (гідравлічного радіуса) коагульованих і некоагульованих стічних вод, результати якого представлені на рис.1 і 2 у вигляді інтегральних і диференціальних кривих.

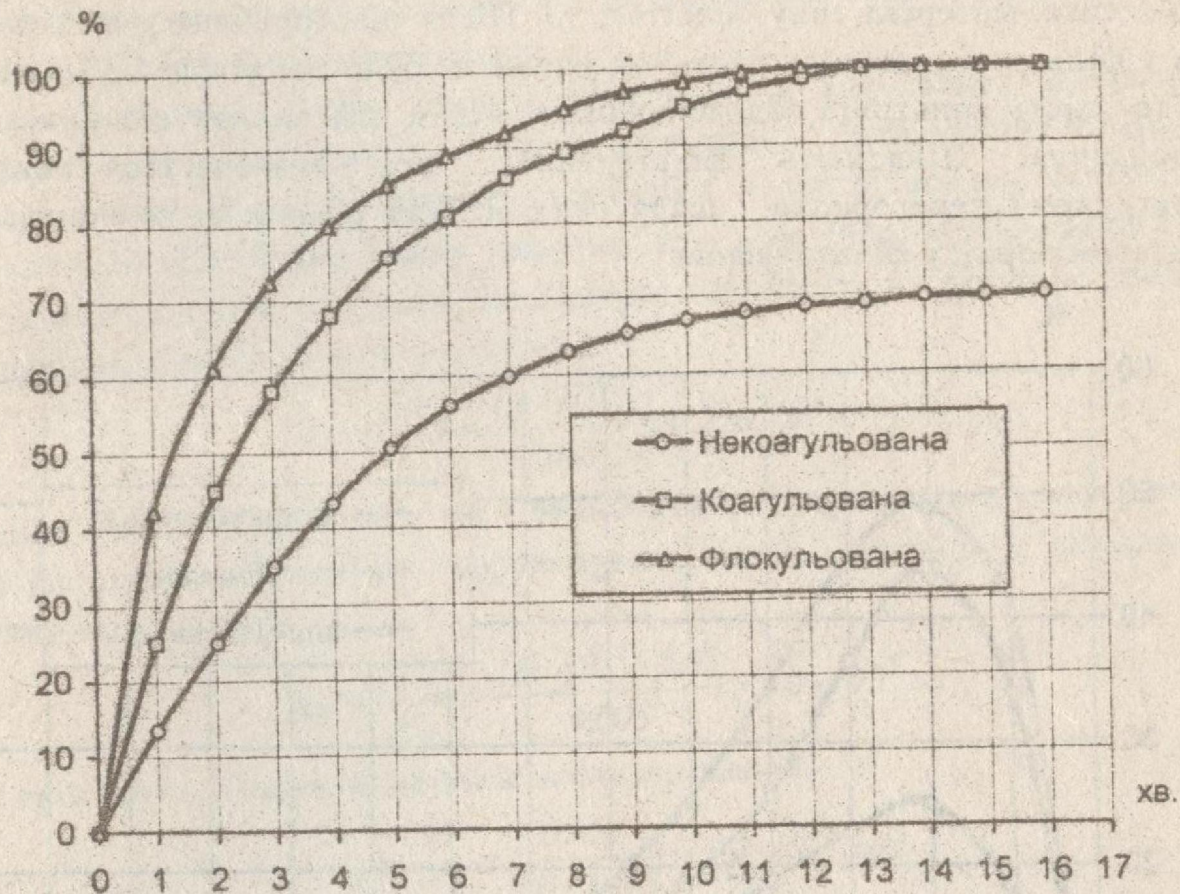


Рис. 1. Порівняльні інтегральні характеристики забруднень.

З графіків можна встановити, що зважені частинки в некоагульованих стічних водах осідають протягом 15 хвилин не більш ніж на 70%, а коагульовані - майже повністю. Більш ефективно осідають частинки в флокульованих стічних водах ПАА або вапном.

В коагульованій стічній воді протягом (10...15) хв. утворюється осадок, який складає не більше (10...20)% від загального об'єму очищуємі суспензії. При відведенні води з осадку декантацією в ньому практично не знайдено зважених частинок (1...5) мг/дм<sup>3</sup>. Враховуючи те, що при коагуляції 95,9% бактерій зв'язується осадком, вода з такими показниками може скидатися в каналізацію в будь-які водоймища, оскільки санітарні норми це дозволяють.

Осадок, який уявляє собою в основному рихлі пластівці і містить значну кількість води, повинен підлягати більш ретельній очистці більш ефективними способами, в т.ч. і фільтруванням.

В четвертому розділі викладено визначення конструктивних параметрів фільтрів і економічної ефективності очищення відстою стічних вод фільтруванням.

Для дослідів по фільтруванню осадка, який складає (10...20)% від загальних витрат води, використали різні види фільтруючих перегородок: насипні, металеві штамповані сита з прямокутними отворами, металот-

канні сита. матеріал типу бельтінг, т.і. Після фільтрування у всіх випадках у фільтраті зважених частинок майже не було (не більш 1...3 мг/дм<sup>3</sup>), тобто якість фільтрата задовольняла вимогам для викиду стічних вод у водоймища. Швидкість фільтрування, яка визначається опором фільтруючої перегородки і шару осадка, була різною та зменшувалась протягом періоду фільтрування.

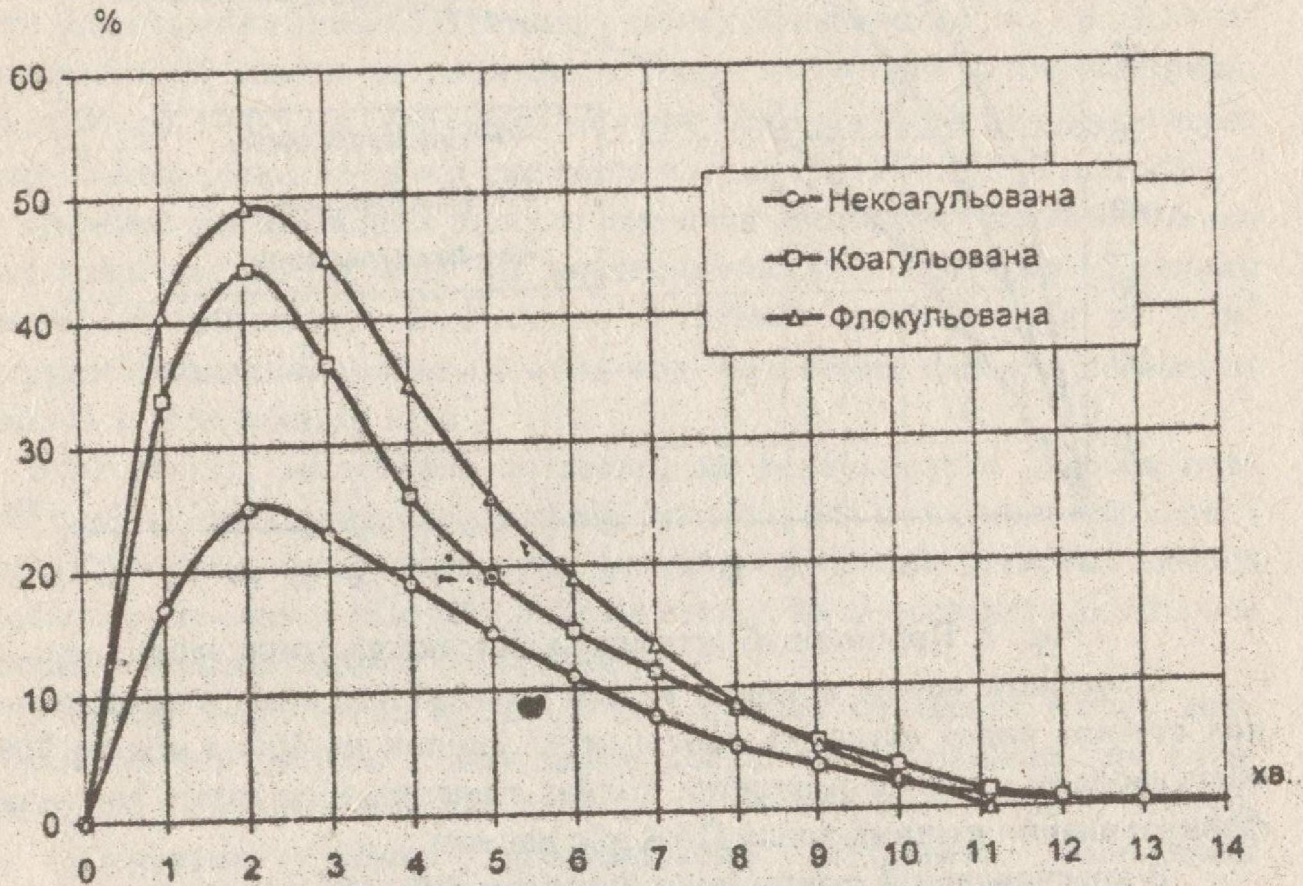


Рис.2 Порівняльні диференціальні характеристики розподілу частинок у стічній воді

Виходячи із існуючих теоретичних уявлень про закономірності процесу фільтрування для визначення режимів і конструктивних параметрів фільтруючих установок використали відоме рівняння Рута

$$(V + V_0) = K(\tau - \tau_0) \quad (8)$$

Визначивши експериментально константу фільтрування  $K = \frac{2\Delta P}{\mu \sigma_0 x}$ ,

яка сукупно враховує властивості осадка та рідини,  $V_0$  - об'єм фільтрата, який відображує частку опору фільтруючої перегородки;  $\tau_0$  - що відображує термін фільтрування до одержання фільтрата об'ємом  $q_0$ ;  $q_0 = \frac{V}{F}$  питомий об'єм фільтрата, який одержують із одиниці площі по-

верхні фільтра за час  $\tau$  або умовний об'єм фільтрата, який відобразує частку опору фільтруючої перегородки.

Для визначення цих сталих фільтрування (констант) виконали дослідження, результати яких наведено в таблиці 1. Дослідження виконували при постійній висоті стовпця суспензії 1 м, що відповідає перепаду тиску  $\Delta P = 10$  кПа. Через кожну хвилину  $\Delta \tau = 1$  хв. (60с) відбирали об'єм фільтрата  $\Delta V$ , а потім розраховували витрати фільтрата на одиницю площі фільтруючої перегородки за формулою:

$$\Delta q = \frac{\Delta V}{F_0} = \frac{1,0 \cdot 10^{-3}}{0,005} = 0,2 \text{ м}^3/\text{м}^2.$$

Для кожного проміжку часу визначали та підраховували загальний об'єм фільтрата  $\Sigma q_i$ ,  $\text{м}^3/\text{м}^2$ . Розраховували, потім перевіряли візуально товщину шару осадка

$$h_{oc} = \frac{V C_0}{F_0} = \frac{1,0 \cdot 10^{-3} \cdot 0,05}{0,005} = 1,0 \cdot 10^{-2} \text{ м.}$$

крім того визначали швидкість фільтрування

$$v_\phi = \frac{V}{F_0 \tau} = \frac{1,0 \cdot 10^{-3}}{60 \cdot 0,005} = 3,3 \cdot 10^{-3} \text{ м/с.}$$

За цими даними будували графіки залежності  $\frac{\Delta \tau}{\Delta q} = f(q)$  і  $v_\phi = f(\tau)$ ,

які представлено на рис. 3 і 4 для перепадів тисків 10, 15 і 30 кПа.

Аналізуючи табличні дані і графічні залежності, можна зробити такі висновки. Відношення  $\Delta t/\Delta q$  зі збільшенням витрат фільтрата на початку процесу змінюється за лінійною залежністю до досягнення товщини шару осадка  $3,5 \cdot 10^{-2}$  м (3,5 см), що відповідає відношенню  $\Delta t/\Delta q = 0,6$ . Потім зі збільшенням товщини шару осадка залежність має нелінійний характер і відношення  $\Delta t/\Delta q$  значно збільшується.

Початку значного підвищення відношення  $\Delta t/\Delta q$  відповідає гранична швидкість фільтрування  $v_\phi = 1,3 \cdot 10^{-3}$  м/с (рис. 3), яка знижується за мірою збільшення виходу фільтрата і збільшення товщини осадка. При товщині осадка  $h = 4$  см фільтрування практично закінчується, що відповідає рівності різниці тисків  $\Delta P = 10$  кПа і сумі опорів осадка та фільтруючої перегородки, тобто  $\Delta P = R_{oc} + R_{пер}$ .

Обробці підлягає тільки лінійна частка залежності  $\Delta t/\Delta q$  до значення  $q = 0,6$ . Значення  $B_0 = 0,2 \cdot 10^{-3}$  відповідає відрізку на осі ординат, а коефіцієнт  $B_1$  дорівнює тангенсу кута нахилу на прямій до вісі абсцис  $q$ , тобто  $B_1 = \text{tg} \alpha$ . З достатньою для практичних розрахунків точністю для визначення тангенса кута нахилу можна взяти два крайніх значення,

Таблиця 1. Визначення констант фільтрування ( $\Delta P = 10$  кПа)

№ п/п	$\Delta \tau$ , с	$\Delta V$ , м <sup>3</sup>	$\Delta q = \frac{\Delta V}{F_0} \cdot \frac{м^3}{м^2}$	$\frac{\Delta \tau}{\Delta q}$	$\sum \Delta q$ , $\frac{м^3}{м^2}$	$h = \frac{VC_0}{F_0}$ , м	$V_\phi = \frac{V}{F_0 \tau}$ , $\frac{м}{с}$
1	60	$1.0 \cdot 10^{-3}$	0.20	$0.30 \cdot 10^3$	$0.20 \cdot 10^{-3}$	$1.00 \cdot 10^{-2}$	$3.3 \cdot 10^{-3}$
2	60	$0.8 \cdot 10^{-3}$	0.16	$0.38 \cdot 10^3$	$0.36 \cdot 10^{-3}$	$1.80 \cdot 10^{-2}$	$2.7 \cdot 10^{-3}$
3	60	$0.7 \cdot 10^{-3}$	0.14	$0.43 \cdot 10^3$	$0.50 \cdot 10^{-3}$	$2.50 \cdot 10^{-2}$	$2.3 \cdot 10^{-3}$
4	60	$0.6 \cdot 10^{-3}$	0.10	$0.50 \cdot 10^3$	$0.60 \cdot 10^{-3}$	$3.10 \cdot 10^{-2}$	$1.7 \cdot 10^{-3}$
5	60	$0.4 \cdot 10^{-3}$	0.08	$0.75 \cdot 10^3$	$0.68 \cdot 10^{-3}$	$3.50 \cdot 10^{-2}$	$1.3 \cdot 10^{-3}$
6	60	$0.2 \cdot 10^{-3}$	0.05	$1.5 \cdot 10^3$	$0.73 \cdot 10^{-3}$	$3.70 \cdot 10^{-2}$	$0.8 \cdot 10^{-3}$
7	60	$0.15 \cdot 10^{-3}$	0.03	$2.0 \cdot 10^3$	$0.76 \cdot 10^{-3}$	$3.85 \cdot 10^{-2}$	$0.6 \cdot 10^{-3}$
8	60	$0.1 \cdot 10^{-3}$	0.02	$3.0 \cdot 10^3$	$0.78 \cdot 10^{-3}$	$3.95 \cdot 10^{-2}$	$0.3 \cdot 10^{-3}$
9	60	$0.05 \cdot 10^{-3}$	0.01	$6.0 \cdot 10^3$	$0.79 \cdot 10^{-3}$	$4.00 \cdot 10^{-2}$	$0.3 \cdot 10^{-3}$
10	60	$0.01 \cdot 10^{-3}$	0.01	$6.0 \cdot 10^3$	$0.80 \cdot 10^{-3}$	$4.10 \cdot 10^{-2}$	$0.2 \cdot 10^{-3}$

$q=0,2$  і  $q=0,6$ , яким на графіку відповідають значення  $\left(\frac{\Delta \tau}{\Delta q}\right)_1 = 0,3 \cdot 10^3$  і

$$\left(\frac{\Delta \tau}{\Delta q}\right)_2 = 0,5 \cdot 10^3.$$

Тангенс кута нахилу прямої частки лінії до осі абсцис визначається із співвідношення

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\left(\frac{\Delta \tau}{\Delta q}\right)_2 - \left(\frac{\Delta \tau}{\Delta q}\right)_1}{q_2 - q_1} = \frac{0,5 \cdot 10^3 - 0,3 \cdot 10^3}{0,6 - 0,2} = \frac{0,2 \cdot 10^3}{0,4} = 0,5 \cdot 10^3.$$

Оскільки константа фільтрування визначається для виміру часу фільтрування в годинах, то одержане значення треба розділити на 3600 с,

$$\text{тобто } \operatorname{tg} \alpha = \frac{0,5 \cdot 10^3}{3600} = 0,14.$$

Тоді константа фільтрування визначається із відношення

$$K = \frac{2}{\operatorname{tg} \alpha} = \frac{2}{0,14} = 14,3.$$

Умовний об'єм фільтрата  $q_0$ , що відображує частку опору фільтруючої пергородки визначимо із відношення

$$q_0 = \frac{KN}{2} = \frac{14,3 \cdot 0,2 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 3600} = 0,4,$$

тобто, на осі абсцис відсікається зліва від початку координат відрізок  $q_0 = -0,4$ .

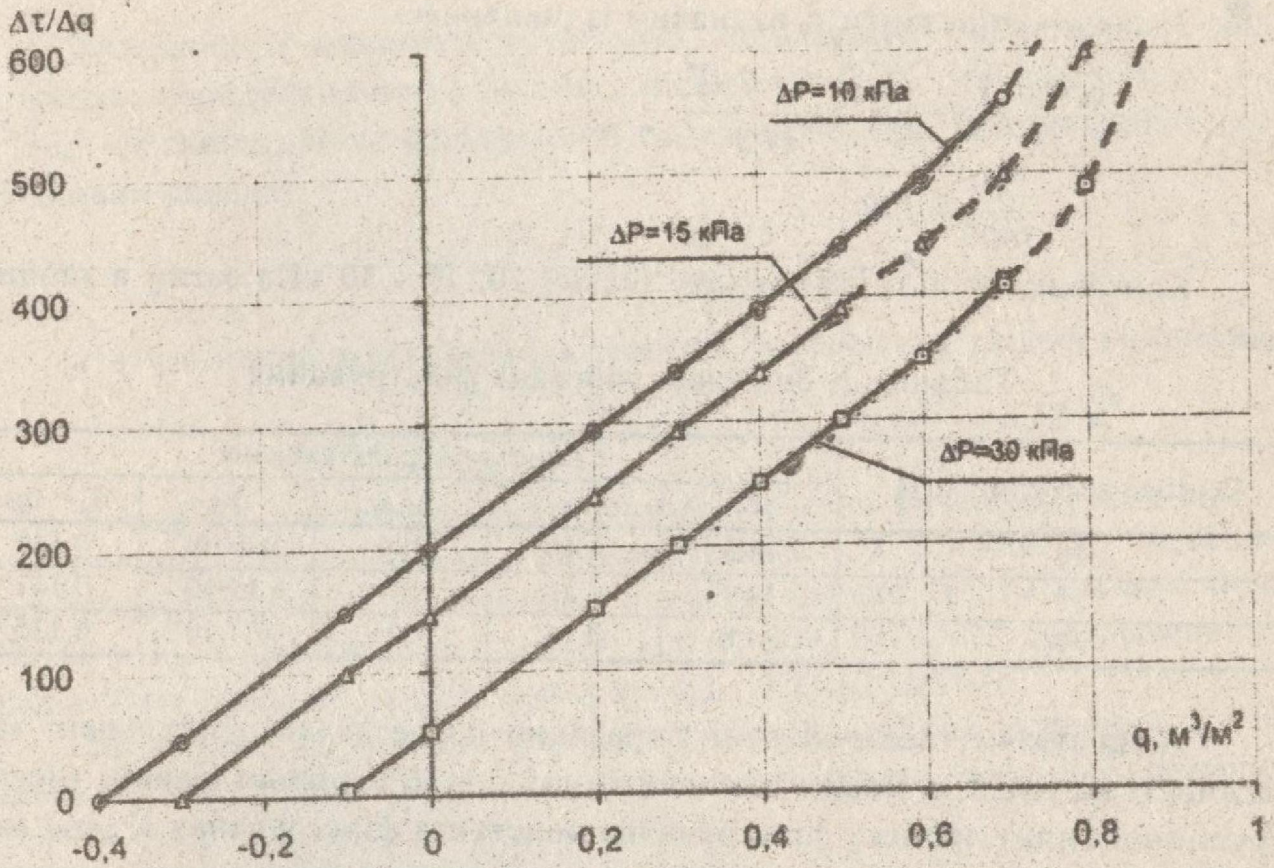


Рис.3 Залежність відношення  $\Delta\tau/\Delta q$  від питомої продуктивності фільтрата при  $\Delta P=10, 15$  і  $30$  кПа

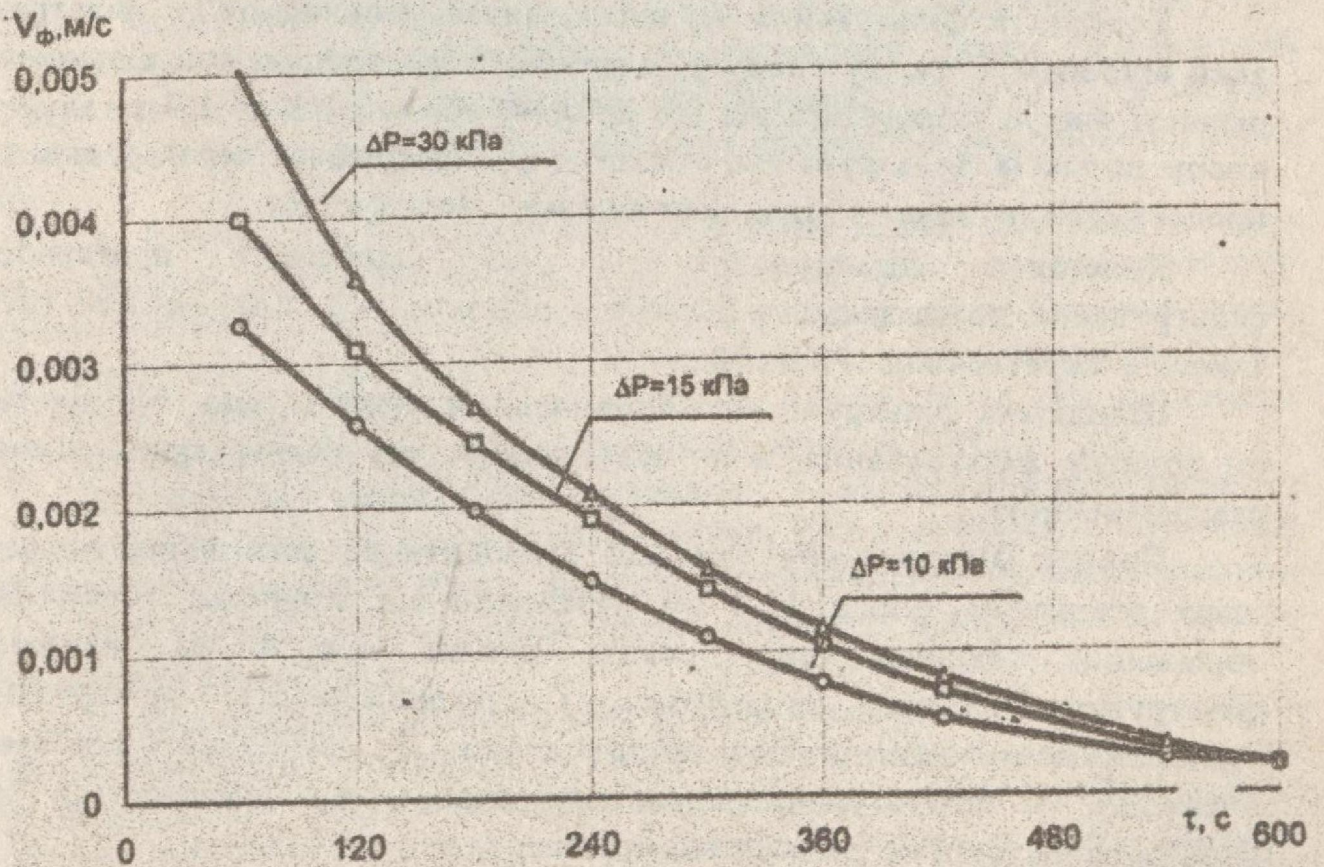


Рис.4. Залежність швидкості від часу фільтрування при  $\Delta P=10, 15$  і  $30$  кПа

Значення константи  $\tau_0$  визначим із рівняння

$$\tau_0 = \frac{(q + q_0)^2}{K} - \tau = \frac{(0,6 + 0,4)^2}{14,3} - \frac{240}{3600} \approx 100 \text{ с}$$

Константи фільтрування при тисках 10, 15 і 30 кПа звели в таблицю 2.

Таблиця 2. Значення констант фільтрування

Перепад тиску, $\Delta P$ , кПа	Константи фільтрування				
	K	$q_0$	$\tau_0$ , с	$B_0$	$B_1 = \text{tg}\alpha$
10	14,3	0,40	100	$0,2 \cdot 10^{-3}$	0,140
15	14,4	0,25	27	$0,13 \cdot 10^{-3}$	0,141
30	14,8	0,14	13	$0,07 \cdot 10^{-3}$	0,135

Аналізуючи табличні дані і графічно представлені узагальнені залежності на рис. 3, 4 можна заключити, що при підвищенні різниці тисків (рушійної сили) процесу фільтрування константа фільтрування  $K$ , що визначає структурні властивості осадка, властивості фільтруючої перегородки і суспензії, залишається практично незмінною і рівною приблизно 0,14.

Константа фільтрування  $\tau_0$ , що визначає умовний об'єм фільтрата, який відображує частку опору фільтруючої перегородки, при підвищенні різниці тисків знижується від 0,4 до 0,14, або від 1/3 до 1/9 загального опору процесів фільтрування, тобто роль фільтруючої перегородки для процесу фільтрування з підвищенням тиску зменшується.

Константа фільтрування  $q_0$  яка відображує протяжність фільтрування до одержання фільтрата об'ємом  $q_0$  з підвищенням тиску також знижується від 100 до 13 с.

Швидкість фільтрування з підвищенням тиску значно збільшується на початку фільтрування, а по збільшенню часу фільтрування різниця стає незначною.

Процес фільтрування доцільно проводити до досягнення товщини шару осадка не більш 3...4 см незалежно від величини тиску. При збільшенні товщини шару осадка більше ніж 4 см швидкість фільтрування різко знижується і закономірності фільтрування відображуються нелінійними залежностями. Ці особливості пов'язані, очевидно, зі структурою стисненого осадка, що утворюється при фільтруванні відстою стічних вод млинів.

Виходячи із величини початкової концентрації забруднень у воді кількість (продуктивність) шлама, вологістю 70% не перевищує 0,5 м<sup>3</sup>/год. Активна площа фільтруючої перегородки при протяжності циклу 15 хвилин складає

$$F = \frac{Q_m \cdot \tau_u}{h_{oc}} = \frac{500 \cdot 15}{10 \cdot 60} = 12,5 \text{ м}^2$$

Питомі площі відстійників і фільтрів визначаються з таких відношень

$$F_{\text{уд.отс м}} = \frac{Q}{F_{\text{отс м}}} = \frac{15}{25} = 0,6; \quad F_{\text{уд.ф}} = \frac{1,5}{12,5} = 0,12 \text{ м}^2$$

Виходячи з безперервності процесу, можна рекомендувати одну з конструкцій барабанного вакуум-фільтра з площею поверхні фільтрування 5...40 м<sup>2</sup>, граничною висотою осадка 10...12 мм при тиску 50...60 кПа. Тканинні фільтри типу ЦМ Ø-600, ВС Ø-25 продуктивністю 3...6 м<sup>3</sup>/год і швидкості фільтрування (0,1...0,2)·10<sup>-3</sup> м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>с.

Не виключено використання ультрафільтраційних установок з мембранами (0,1...0,5)·10<sup>-6</sup> м, які можуть затримувати частинки розміром (1,0·10<sup>-9</sup>...1,0·10<sup>-7</sup>) м.

### Висновки

1. Основними методами очищення стічних вод від зважених частинок є осадження і фільтрування. Осадженням вилучають 50...70% гідравлічно великих засмічувачів, а фільтруванням - мілкі. Гідравлічний радіус мілких засмічувачів дуже малий і перевищує (1,0·10<sup>-5</sup>...1,0·10<sup>-8</sup>) м і вони практично не осаджуються протягом прийнятого виробничого циклу часу.

2. Досліди по попередньому осадженню некоагульованих стічних вод показали, що висота стовпа рідини, температура і початкова концентрація частинок суттєво не впливають на час осадження. Основна частка найбільш крупних частинок (55...70)% випадає в осадок протягом 175 хв. Кількість осівших частинок протягом від 15 до 60 хв. Не перевищує (5...10)%, а загальна кількість осадку не перевищує 72%.

3. Існуючі методи фільтрування з використанням насипних фільтруючих перегородок (гравійні, пісчані т.і.) практично не перешкоджають проходженню через шпаруваті перегородки мілких частинок (1,0·10<sup>-5</sup>...1,0·10<sup>-8</sup>) м і не забезпечують гранично припустимі норми забруднень в стічній воді.

4. Використання решіток сит, тканин може забезпечити гранично-припустимі норми концентрацій забруднень у фільтраті, але час захисної дії фільтра при цьому незначний і визначається хвилинами. Початковий час несталої роботи (до утворення необхідної товщини осадка) - значний, тобто існуючі методи фільтрування непридатні для очищення стічних вод з мілкими забрудненнями.

5. Для повного очищення стічної рідини від зважених частинок із використанням насипних фільтрів встановлено, що  $1 \text{ м}^3$  може очистити до повного закупорювання тільки  $(3,6 \dots 7,2) \text{ м}^3$  стічної води. Питома площа фільтруючої перегородки складає  $11/15=0,7 \text{ м}^2/\text{м}^3$ , тобто максимальний час роботи фільтра без регенерації складає  $(3,6 \dots 7,2)11=(40 \dots 80)$  годин.

6. Показана також недоцільність очищення стічних вод млинів рекомендованими в літературі методами. Для млинів потужністю  $200 \text{ т/добу}$  і витратах мийної води  $15 \text{ м}^3/\text{год}$  для осадження зважених частинок з гідравлічним радіусом  $(1,0 \cdot 10^{-3} \dots 1,0 \cdot 10^{-5}) \text{ м/с}$  площа осадження відстойника повинна бути не менше  $400 \text{ м}^2$ , площа фільтра з насипним навантаженням висотою  $1 \text{ м}$  - не менш ніж  $11 \text{ м}^2$ . Час роботи цих споруд перевищує припустимі границі виробничого циклу.

7. Коагулювання стічних вод при дозі коагулянта  $1/6$  від початкової концентрації зважених частинок ( $C_0=3000 \dots 10000 \text{ мг/дм}^3$ ) збільшує гідравлічний радіус частинок з  $(1,0 \cdot 10^{-6} \dots 1,0 \cdot 10^{-7})$  до  $(1,0 \cdot 10^{-2} \dots 1,0 \cdot 10^{-3}) \text{ м/с}$ , що забезпечує повне випадіння частинок протягом  $(10 \dots 15)$  хвилин із утворенням осадка в кількості  $(10 \dots 20)\%$  від загального об'єма мийних вод і складає для млина потужністю  $200 \text{ т/добу}$   $(1,5 \dots 3,0) \text{ м}^3/\text{годину}$  при вологості  $(99 \dots 95)\%$ .

8. Фільтрування осадка при витратах  $3,0 \text{ м}^3/\text{годину}$ , вологістю  $(99 \dots 95)\%$  дозволяє знизити його вологість до  $(50 \dots 70)\%$  і зменшити витрати шламу до  $(0,25 \dots 0,50) \text{ м}^3/\text{годину}$ . Оскільки в шламі міститься не більше  $(15 \dots 18)\%$  неорганічних забруднень, його можна спалювати в топках. На млині потужністю  $200 \text{ т/добу}$  зерна утворюється  $(10 \dots 12) \text{ м}^3$  шламу вологістю  $70\%$  протягом доби. При зниженні вологості шламу до  $50\%$  його витрати складуть  $(0,05 \dots 0,1) \text{ м}^3/\text{годину}$  або  $(0,1 \dots 2,4) \text{ м}^3/\text{добу}$ .

9. Встановлено, що при фільтруванні коагульованих стічних вод гранична висота осадка складає  $(0,02 \dots 0,05) \text{ м}$ , питома завантаження на фільтруючу перегородку  $0,6 \text{ м}^3/\text{м}^2$ , а швидкість фільтрування  $(1,3 \dots 2,0) \text{ м/с}$  при різниці тисків  $(30 \dots 50) \text{ кПа}$ . Показано, що опір фільтруючих перегородок складає не більш  $(10 \dots 15)\%$  від загального опору фільтруванню, тобто основний опір фільтруванню дає осадок, що розширює можливості використання різних фільтруючих перегородок.

10. Аналіз наявних фільтруючих перегородок показав, що для вказаних режимів можуть бути пристосовані установки з металевими штампованими ситами з прямокутними отворами  $(0,5 \dots 1,6) \cdot 12 \text{ мм}$  з живим перетином  $(28 \dots 33)\%$ . Проте, фільтруючі установки періодичної дії біля  $30\%$  робочого часу втрачають на регенерації, що значно ускладнює їх експлуатацію і, крім того, не виключено попадання частинок осадка в фільтрат при перезарядці фільтра.

11. Таких недоліків не мають серійні фільтри безперервної дії з поверхнею фільтрування  $(2,5 \dots 25) \text{ м}^2$ , товщиною осадка  $(5 \dots 15) \text{ мм}$  і працюючих при тиску  $(0,04 \dots 0,05) \text{ МПа}$ . Використання тканинних перегородок виключає попадання частинок у фільтрат. Не виключено і викори-

стання «швидких» фільтрів з фільтруючими перегородками блочного типу, в яких швидкість фільтрування знаходиться в межах  $(1,1...4,2) \cdot 10^{-3}$  м/с при різниці тисків 40 кПа.

12. Економічна ефективність проведених досліджень визначається скороченням в 5-10 разів кількості мийних вод, які підлягають фільтруванню, зниженням питомого опору осадка (шлама) при фільтруванні в 2 рази і скороченням часу на регенерацію фільтруючих перегородок в 2 рази. Витрати на очистку  $1 \text{ м}^3$  мийної води скорочуються на (0,27...0,37) грн. Річний економічний ефект від використання рекомендацій для млина потужністю 200 т/добу складає (29600...39960) грн.

### **Список опублікованих праць за темою дисертації**

1. Дхем М. Мийні води млинів: як їх фільтрувати // *Зерно і хліб*-1997. - №2. - С. 21-22.
2. Принципы сокращения затрат на очистку выбросов зерноперерабатывающих предприятий / Н.В.Остапчук, Масри Джихад, Дхем Муссааб, А.А.Гончарук // *Проблеми та перспективи розвитку виробництва та споживання хлібопродуктів. Наукові праці ОДАХТ.* - Одеса - 1997. - т. 1. - С. 96-98.
3. Интенсификация осаждения частиц выбросов зерноперерабатывающих предприятий / Н.В.Остапчук, Масри Джихад, Дхем Муссааб, А.А.Гончарук // *Проблеми та перспективи розвитку виробництва та споживання хлібопродуктів. Наукові праці ОДАХТ.* - Одеса. -1997. - т. 1. - С. 123-125.
4. Остапчук Н.В., Масри Джихад, Дхем Муссааб. Дисперсный состав загрязнений сточных вод мельниц // *Труды международной XVII конф. стран СНГ. «Дисперсные системы».* - Одесса: ОГУ. - 1996. - С.145 - 146.
5. Дхем Муссааб. Режимы фильтрования коагулированных сточных вод // *Тези доп. 56-ї наукової конф. ОДАХТ.* - Одеса. - 1996. - С. 211.
6. Дхем Муссааб, Масри Джихад. Кинетика фильтрования сточных вод // *Тези доп. 56-ї наукової конф. ОДАХТ.* - Одеса. - 1996. - С. 184.

### **Анотація**

*Дхем Муссааб. Інтенсифікація процесів фільтрування стічних вод харчових підприємств. - Рукопис.*

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.18.12 - процеси та апарати харчових виробництв, Одеська державна академія харчових технологій. - Одеса. - 1998.

Дисертація містить дослідження, що спрямовані на інтенсифікацію процесів фільтрування стічної води зменшенням витрат води, яка потребує фільтрування, використанням коагулянтів та флокулянтів, що поліпшують структуру осадку при фільтруванні, зменшують його питомий

опір, спрощують процес регенерації фільтрувальної перегородки, підвищують продуктивність та покращують якість процесу фільтрування.

Ключові слова: стічна вода, фільтрування, осадок, коагуляція, флокуляція, гідравлічний радіус.

### Аннотація

*Дхем Муссааб. Интенсификация процессов фильтрования сточных вод пищевых предприятий. - Рукопись.*

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.18.12 - процессы и аппараты пищевых производств. - Одесская государственная академия пищевых технологий. - Одесса. 1998.

Диссертация содержит исследования, которые направлены на интенсификацию процессов фильтрования сточных вод уменьшением расхода воды, которая подлежит фильтрованию, использованием коагулянтов и флокулянтов, которые улучшают структуру осадка при фильтровании, снижают его удельное сопротивление, упрощают процесс регенерации фильтрующей перегородки, повышают производительность и качество процесса фильтрования.

Ключевые слова: сточная вода, фильтрование, осадок, коагуляция, флокуляция, гидравлический радиус.

### Summary

*Dhim Mussaab. Intensification of drainage waters filtering processes of the food enterprises. - Manuscript.*

The thesis for the Candidate degree of technical sciences on the speciality 05.18.12. Processes and apparatus of food productions, Odessa State Academy of Food Technologies. - Odessa, 1998.

The thesis contains theoretical and experimental research dealing with the intensification of drainage waters filtering processes by decrease of consumption of the water which needs filtering, by use of coagulants and flocculants which improve the deposit structure during filtering, reduce its specific resistance, simplify regeneration process of the filter baffle plate, increase the efficiency and the quality of the filtering process.

Key words: drainage water, filtering, deposit, hydraulic radius, coagulation and flocculation.

---

Підписано до друку 12.10.98 Формат 60x84/16. Папір газетний.  
 Друк офсетний 0,93 ум. друк. арк. 1,00 обл. - вид. арк.  
 Тираж 100 прим. Зам. № 246

---

Одеський державний політехнічний університет  
 270044, Одеса, пр. Шевченка, 1.