

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»



НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

Кафедра екології та технологій захисту навколишнього середовища

Автор: Дар'я Володимирівна Кулікова  
/доцент кафедри екології та технологій захисту навколишнього середовища/

**ЦИФРОВІ МАТЕРІАЛИ**  
**для забезпечення виконання практичних робіт з дисципліни**  
**«ПРОЕКТУВАННЯ ПРИРОДООХОРОННИХ СИСТЕМ ТА**  
**ОБЛАДНАННЯ»**

для здобувачів освітньо-професійної програми  
«Технології захисту навколишнього середовища»  
першого (бакалаврського) рівня вищої освіти  
спеціальності 183 Технології захисту навколишнього середовища

Дніпро  
НТУ «ДП»  
2024

## ЗМІСТ

|                                                                                                                                 |            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ .....                                                                                                        | 3          |
| <b>Практична робота № 1. Проектування та розрахунок параметрів споруд для вилучення зі стічних вод мінеральних домішок.....</b> | <b>5</b>   |
| Теоретична частина .....                                                                                                        | 5          |
| Практична частина .....                                                                                                         | 9          |
| Контрольне завдання .....                                                                                                       | 18         |
| Питання для самоконтролю .....                                                                                                  | 19         |
| <b>Практична робота № 2. Проектування та розрахунок параметрів споруд для глибокого очищення (доочищення) стічних вод.....</b>  | <b>21</b>  |
| Теоретична частина .....                                                                                                        | 21         |
| Практична частина .....                                                                                                         | 31         |
| Контрольне завдання .....                                                                                                       | 57         |
| Питання для самоконтролю .....                                                                                                  | 57         |
| <b>Практична робота № 3. Проектування та розрахунок параметрів споруд для біологічного очищення стічних вод.....</b>            | <b>59</b>  |
| Теоретична частина .....                                                                                                        | 59         |
| Практична частина .....                                                                                                         | 67         |
| Контрольне завдання .....                                                                                                       | 77         |
| Питання для самоконтролю .....                                                                                                  | 78         |
| <b>Практична робота № 4. Проектування та розрахунок параметрів споруд сухого очищення газових викидів від пилу .....</b>        | <b>80</b>  |
| Теоретична частина .....                                                                                                        | 80         |
| Практична частина .....                                                                                                         | 88         |
| Контрольне завдання .....                                                                                                       | 102        |
| Питання для самоконтролю .....                                                                                                  | 106        |
| <b>Практична робота № 5. Проектування та розрахунок параметрів споруд мокрого очищення газових викидів від пилу .....</b>       | <b>109</b> |
| Теоретична частина .....                                                                                                        | 109        |
| Практична частина .....                                                                                                         | 117        |
| Контрольне завдання .....                                                                                                       | 126        |
| Питання для самоконтролю .....                                                                                                  | 128        |
| ДОДАТКИ .....                                                                                                                   | 130        |
| КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ .....                                                                                                       | 134        |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ТА РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ ...                                                                            | 135        |

## ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Дисципліна «Проектування природоохоронних систем та обладнання» – фахова освітня компонента за освітньою програмою «Технології захисту навколишнього середовища» першого (бакалаврського) рівня вищої освіти.

**Метою дисципліни** є формування у майбутніх фахівців теоретичних знань та практичних навичок з виробничого планування та проектування окремих природоохоронних об'єктів і заходів щодо запобігання негативному впливу підприємств, що проектуються, чи діючих підприємств, споруд, обладнання або технологій на стан навколишнього природного середовища та здоров'я людей, а також оцінка ступеня екологічної безпеки господарської діяльності й екологічної ситуації на окремих територіях та об'єктах.

В методичних рекомендаціях представлено *практичні роботи*, текст яких викладено за типовою структурною схемою: тема, мета роботи, завдання, сформовані результати навчання, подання теоретичних положень за темою, завдання для самостійного виконання та питання для самоконтролю. Практичні роботи виконуються студентами згідно з поставленими завданнями за допомогою наведених в роботах таблиць, схем.

Результатом виконання практичної роботи є звіт, виконаний в письмовій формі в окремому зошиті або на аркушах формату А4, який підлягає захисту.

**Звіт з практичних робіт** може виконуватись у письмовому вигляді або в електронній формі та повинен включати:

- титульний аркуш;
- назву, мету та завдання на практичну роботу;
- вихідні дані, необхідні для технологічного розрахунку параметрів очисних споруд, відповідно до варіанта;
- методику технологічного розрахунку параметрів очисних споруд;
- результати технологічного розрахунку параметрів очисних споруд, відповідно до варіанта вихідних даних;
- висновки.

**В результаті виконання практичних робіт студенти повинні набути практичні навички з:**

- вибору очисних споруд, призначених для вилучення зі стічних вод мінеральних домішок;
- технологічного розрахунку очисних споруд, призначених для вилучення зі стічних вод мінеральних домішок;
- вибору очисних споруд, призначених для доочищення стічних вод;
- технологічного розрахунку очисних споруд, призначених для доочищення стічних вод;
- вибору очисних споруд, призначених для біологічного очищення стічних вод;
- технологічного розрахунку очисних споруд, призначених для біологічного очищення стічних вод;
- вибору очисних споруд, призначених для сухого очищення газових викидів від пилу;

- технологічного розрахунку очисних споруд, призначених для сухого очищення газових викидів від пилу;
- вибору очисних споруд, призначених для мокрого очищення газових викидів від пилу;
- технологічного розрахунку очисних споруд, призначених для мокрого очищення газових викидів від пилу.

## ПРАКТИЧНА РОБОТА №1

### ПРОЕКТУВАННЯ ТА РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ СПОРУД ДЛЯ ВИЛУЧЕННЯ ЗІ СТІЧНИХ ВОД МІНЕРАЛЬНИХ ДОМІШОК

**Мета:** набуття теоретичних знань у сфері виробничого планування та проектування природоохоронних систем та обладнання та здобуття практичних навичок з технологічного розрахунку та вибору очисних споруд, призначених для вилучення зі стічних вод мінеральних домішок.

#### **Завдання:**

1. Ознайомитися з конструкціями та принципом роботи технологічного обладнання, призначеного для вилучення зі стічних вод мінеральних домішок.
2. Ознайомитися з методикою технологічного розрахунку параметрів горизонтального пісковловлювача з прямолінійним рухом потоку рідини, призначеного для очищення стічних вод від мінеральних домішок.
3. Виконати технологічний розрахунок параметрів горизонтального пісковловлювача з прямолінійним рухом потоку рідини, призначеного для очищення стічних вод від мінеральних домішок, відповідно до варіанта вихідних даних.

В результаті виконання даної практичної роботи будуть сформовані наступні **результати навчання:**

- знати методи, апарати, споруди, технологічні схеми очищення компонентів навколишнього природного середовища;
- вміти розробляти та обґрунтовувати вибір апаратів, споруд, технологічних схем очищення компонентів навколишнього природного середовища;
- вміти використовувати діючі методи і нормативні документи, виконувати розрахунки основних параметрів природоохоронних систем, споруд та обладнання.

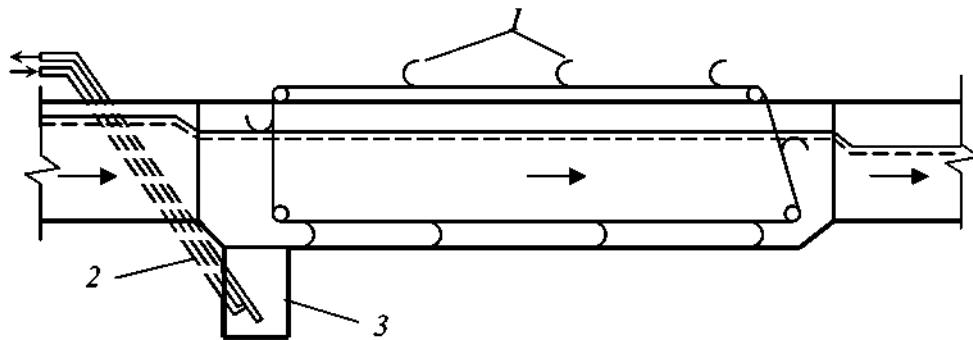
### ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

#### **Характеристика споруд для вилучення зі стічних вод мінеральних домішок (пісковловлювачів)**

Пісковловлювачі встановлюють для видалення зі стічних вод піску та інших важких мінеральних нерозчинних частинок при продуктивності очисних споруд більш  $100 \text{ м}^3/\text{добу}$ . При цьому, при витратах до  $10000 \text{ м}^3/\text{добу}$  рекомендується застосовувати тангенціальні та вертикальні пісковловлювачі, при витратах від  $10000 \text{ м}^3/\text{добу}$  – горизонтальні, а понад  $20000 \text{ м}^3/\text{добу}$  – аеровані.

*Горизонтальні пісковловлювачі* мають прямокутну в плані форму (рис. 1.1). Для орієнтованих розрахунків приймають глибину пісковловлювача  $H_p=0,5-2 \text{ м}$ , співвідношення ширини та глибини  $B:H=1:2$ . У розширеній частині резервуара під дією сили тяжіння відбувається осадження піску. Швидкість руху води в пісковловлювачі становить  $0,15-0,3 \text{ м/с}$ . При швидкостях більш  $0,3 \text{ м/с}$  пісок не встигає осаджуватися, а при швидкостях менш  $0,15 \text{ м/с}$  починають осаджуватися органічні домішки, що є неприпустимим. Гідравлічна крупність

піску, що затримується, становить 18,7-24,2 мм/с. Час перебування стічних вод у пісковловлювачі складає 0,5-1 хвилину. Скорочення тривалості перебування стічних вод менш зазначеної величини, навіть у відповідності до розрахунків, може призвести до зменшення ефективності затримання піску.

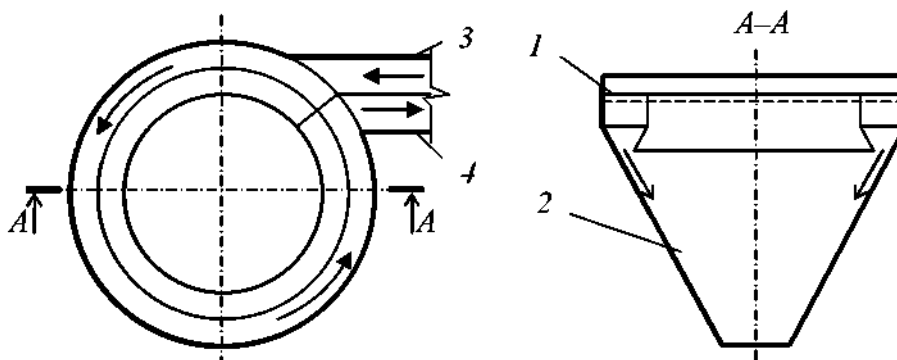


**Рис. 1.1 – Горизонтальний пісковловлювач**

1 – ланцюговий скребковий механізм; 2 – гідроелеватор; 3 – бункер

Кількість пісковловлювачів або їх відділень повинна бути не меншою 2, причому всі пісковловлювачі або їх відділення повинні бути робочими.

Різновидом горизонтального типу є *пісковловлювач з коловим рухом потоку рідини* (рис. 1.2). Він являє собою круглий резервуар конічної форми з периферійним лотком для протікання стічних вод. Проточна частина пісковловлювача з коловим рухом потоку рідини в поперечному перетині має у верхній частині прямокутну форму, а в основі – трикутну зі щілиною внизу. Пісок, що затримується в коловому лотку, провалюється через щілину в зону осаду, яка має форму зрізаного конуса.



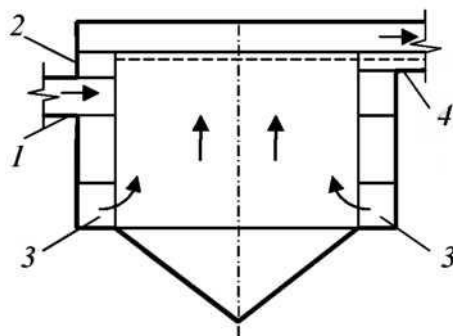
**Рис. 1.2 – Горизонтальний пісковловлювач з коловим рухом потоку рідини**

1 – кільцевий жолоб; 2 – осадовий конус; 3 – канал для подачі стічних вод;  
4 – канал для відведення води після очищення в пісковловлювачі

*Вертикальні пісковловлювачі* можуть використовуватися при різній продуктивності. Вони великі за розміром і працюють неефективно, тому їх використовують у виключних випадках і при відповідному обґрунтуванні.

Вертикальні пісковловлювачі використовуються в напівроздільних системах і на станціях очищення поверхневих вод, оскільки вони зручні для накопичення великої кількості осаду. Максимальні витрати стічних вод для вертикальних пісковловлювачів становлять 10000 м<sup>3</sup>/добу.

Пісковловлювачі мають циліндричну форму з підведенням води по дотичній з двох сторін, а відведенням – кільцевим лотком (рис. 1.3).

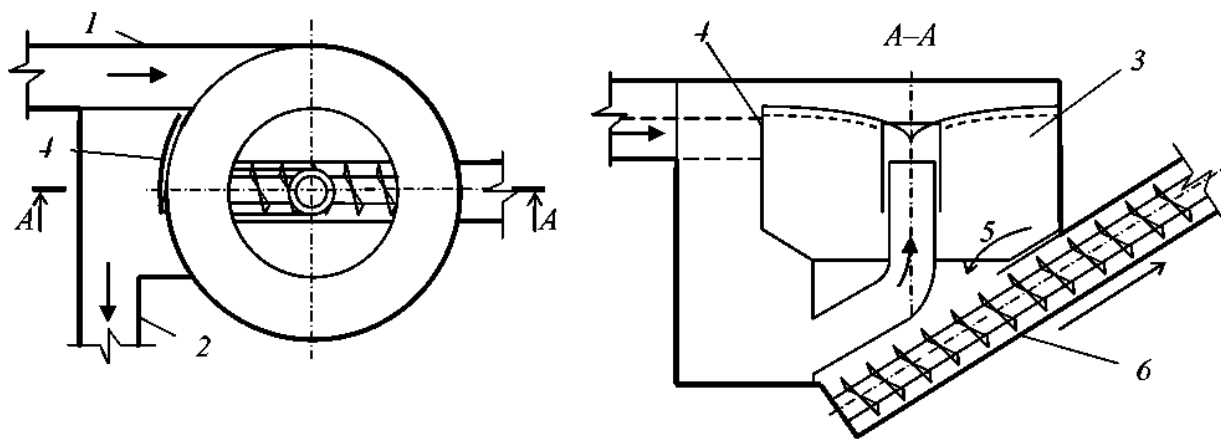


**Рис. 1.3 – Вертикальний пісковловлювач з обертовим рухом потоку рідини**

1 – канал для подачі стічних вод; 2 – збірний кільцевий лоток; 3 – введення води в робочу зону; 4 – канал для відведення води після очищення в пісковловлювачі

Недолік цих пісковловлювачів полягає у великій тривалості перебування води в споруді.

Тангенціальні пісковловлювачі – це круглі в плані споруди з тангенціальною (по дотичній) подачею стічних вод (рис. 1.4).



**Рис. 1.4 – Тангенціальний пісковловлювач з вихровою водяною лійкою**

1 – канал для подачі стічних вод; 2 – канал для відведення води після очищення в пісковловлювачі; 3 – робоча частина; 4 – регульований водозлив; 5 – пісок; 6 – шнековий підйомник

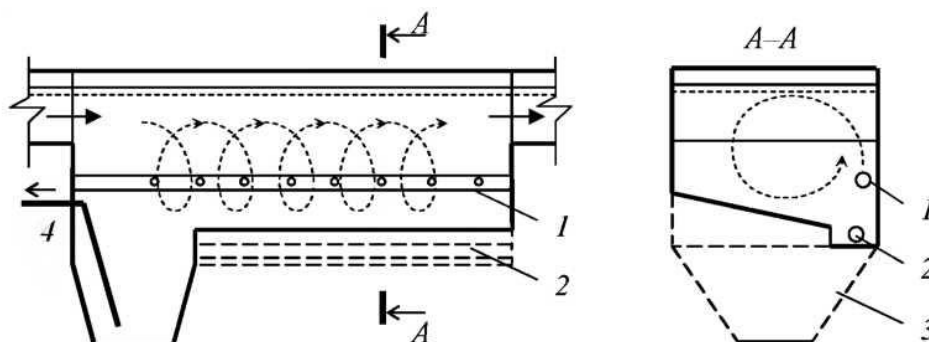
Така подача стічних вод зумовлює обертовий рух рідини в плані пісковловлювача. Внаслідок тангенціальної подачі води і її обертання в плані

спорути, в пісковловлювачі виникає гвинтовий (поступально-обертовий) рух рідини з круговою віссю, що знаходиться в горизонтальній площині (на периферії вода рухається вниз, а в центрі – вгору).

Крім сили тяжіння, на частинки піску в тангенціальному пісковловлювачі діють ще й дві відцентрові, зумовлені рухом стічної води по колу в плані і обертовим рухом у поперечному перетині. Внаслідок дії відцентрових сил, частинки піску відкидаються на периферію потоку – до стінок і дна пісковловлювача і, в кінцевому рахунку, опиняються в пісковому приямку. Більш легкі органічні домішки, при цьому, знаходяться в завислому стані і не випадають в осад, внаслідок чого вміст піску в осаді тангенціальних пісковловлювачів вищий, ніж у горизонтальних, і становить 70-75%.

Тангенціальні пісковловлювачі використовуються на малих і середніх очисних станціях продуктивністю до 50000 м<sup>3</sup>/добу. Оптимальні умови їхньої роботи забезпечуються при гідравлічному навантаженні на одиницю площі в плані 90-130 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>·годину. На малих очисних станціях гідравлічне навантаження на тангенціальні пісковловлювачі може бути зменшено до 60-80 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>·годину. Діаметр тангенціальних пісковловлювачів приймається не більшим 6 м.

*Аерований пісковловлювач* – це подовжений горизонтальний резервуар з поперечним перетином прямокутної, овальної, іноді круглої форми, в якому видалення піску відбувається в полі дії відцентрових сил під час горизонтального гвинтового руху рідини (рис. 1.5).



**Рис. 1.5 – Аерований пісковловлювач**

1 – дірчастий аератор; 2 – трубопровід гідрозмиву осаду; 3 – осадова частина; 4 – гідроелеватор

Горизонтальний поступальний рух створюється за рахунок подачі рідини в пісковловлювачі з однієї сторони і відведення з протилежної сторони. Обертовий рух рідини в поперечному перетині потоку забезпечується подачею повітря за допомогою аератора, розміщеного вздовж однієї з повздовжніх стінок пісковловлювача.

Обертовий рух сприяє відмиванню піску і забезпечує його концентрацію в пісковому лотку, який розташовується звичайно під аератором. Важливим є те, що навіть при значних коливаннях витрат, а значить і швидкості поступального руху стічних вод, швидкість обертового руху змінюється в незначних межах.

Тривалість перебування стічних вод в аерованих пісковловлювачах складає 120-180 с, що забезпечує високу ефективність вилучення піску зі стічних вод.

Стічні води надходять у відділення пісковловлювача за допомогою розподільчого лотка через круглі отвори великого діаметру. Для спрямування вхідного потоку так, щоб його напрям співпадав з обертотворим рухом рідини в пісковловлювачі, біля впускних отворів, влаштовуються поперечні струмино-направляючі перегородки.

Випуск стічних вод із відділення здійснюється у збірний лоток, розміщений з протилежної сторони, через затоплені отвори великого діаметру.

Затримані в пісковловлювачі плаваючі речовини видаляються за допомогою спеціальних бункерів.

Аеровані пісковловлювачі мають суттєві *переваги* над іншими типами пісковловлювачів:

- високий ефект затримання піску, що приблизно в 1,5 рази більше, ніж у звичайних пісковловлювачах;
- низький вміст органічних домішок в осаді, що складає 5-10%;
- аеровані пісковловлювачі можна використовувати для затримання жиру, нафтопродуктів та інших речовин з густиною, меншою за густину води;
- аеровані пісковловлювачі не потребують пристроїв для стабілізації в них швидкості руху води.

Аеровані пісковловлювачі використовуються при витратах стічних вод понад 20000 м<sup>3</sup>/добу.

Основні параметри для розрахунку пісковловлювачів різних типів наведено в табл. А.1-А.2 додатка А.

## ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

### Порядок розрахунку параметрів горизонтального пісковловлювача з прямолінійним рухом потоку рідини

Розрахунок горизонтального пісковловлювача з прямолінійним рухом потоку рідини виконується відповідно до схеми, наведеної на рис. 1.6.

Розрахунок горизонтального пісковловлювача з прямолінійним рухом потоку рідини ведеться за умови, що в ньому будуть затримуватися частинки піску, діаметр яких становить  $d_H = \text{---}$  мм (обирається за табл. А.1 Додатка А).

1. В залежності від необхідної величини витрат стічних вод  $q_c$ , м<sup>3</sup>/с, які потребують очищення в пісковловлювачах, за даними табл. А.3 Додатка А обирається кількість відділень  $N$  горизонтальних пісковловлювачів з прямолінійним рухом потоку рідини, типова ширина одного відділення пісковловлювача  $B$  (м) та його розрахункова глибина  $H_s$  (м).

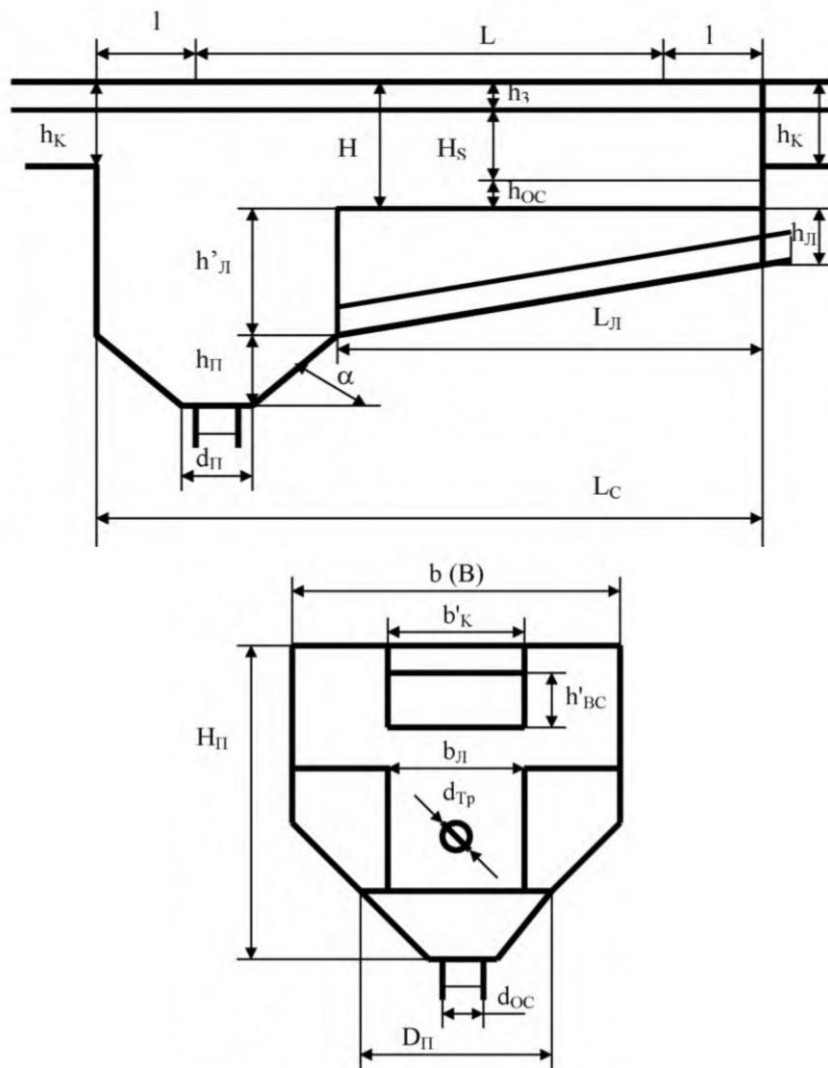
2. Необхідна площа живого перетину одного відділення горизонтального пісковловлювача з прямолінійним рухом потоку рідини визначається за формулою:

$$F = \frac{q_c}{N \cdot v}, \text{ м}^2, \quad (1.1)$$

$q_c$  – секундні витрати стічних вод, що надходять до пісковловлювача, м<sup>3</sup>/с;

$v$  – середня швидкість руху стічних вод в пісковловлювачі, м/с;

приймається за табл. А.2 Додатка А в залежності від необхідного діаметру частинок піску, який затримується в пісковловлювачі ( $v=0,15-0,3$  м/с).



**Рис. 1.6 – Розрахункова схема горизонтального пісковловлювача з прямолінійним рухом потоку рідини**

3. Робоча довжина горизонтального пісковловлювача з прямолінійним рухом потоку рідини, в якій безпосередньо відбувається процес осадження піску, визначається за формулою:

$$L = \frac{1000 \cdot K \cdot H_s \cdot v}{u_0}, \text{ м.} \quad (1.2)$$

Для горизонтальних пісковловлювачів значення коефіцієнта  $K$  та гідравлічної крупності частинок  $u_0$  обираються за табл. А.1 Додатка А.

Отримане значення  $L$  округляється до максимально цілого числа.

4. Для створення рівномірних швидкостей в пісковловлювачі вхід до нього виконується у вигляді плавного розширення, а вихід – у вигляді плавного звуження. Це заспокійливі ділянки, довжина яких становить 40-45% від робочої довжини пісковловлювача. Відповідно довжина заспокійливих ділянок визначається за формулою:

$$l = \frac{k \cdot L}{2}, \text{ м}, \quad (1.3)$$

$k$  – коефіцієнт, що дорівнює  $k=0,4-0,45$ .

Отримане значення  $l$  округляється до першого знака після коми.

Звідси, повна будівельна довжина горизонтального пісковловлювача з прямолінійним рухом потоку рідини визначається за формулою:

$$L_c = K_L \cdot L, \text{ м}, \quad (1.4)$$

$K_L$  – коефіцієнт, що дорівнює  $K_L=1,4-1,45$ .

Отримане значення  $L_c$  округляється до максимально цілого числа.

5. Тривалість протікання стічних вод в горизонтальному пісковловлювачі з прямолінійним рухом потоку рідини визначається за формулою:

$$t = \frac{L}{v}, \text{ секунди}. \quad (1.5)$$

Отримане значення  $t$  округляється до максимально цілого числа.

Величина  $t$  повинно бути більшою або дорівнювати 30 секунд ( $t \geq 30$  секунд).

6. Об'єм осаду, що затримується в горизонтальних пісковловлювачах з прямолінійним рухом потоку рідини за добу, визначається за формулою:

$$W_{oc} = \frac{q_{oc} \cdot N_{np}}{1000}, \text{ м}^3/\text{добу}, \quad (1.6)$$

$q_{oc}$  – питома кількість піску, що затримується в пісковловлювачі та приходить на одного мешканця за добу, яка обирається за допомогою табл. А.1. Додатка А і дорівнює для горизонтальних пісковловлювачів  $q_{oc}=0,02$  л/(людину·добу);

$N_{np}$  – наведена кількість мешканців, що визначається за формулою:

$$N_{np} = \frac{1000 \cdot Q_{повн}}{N_{BV}}, \text{ мешканців}, \quad (1.7)$$

$Q_{повн}$  – добові витрати стічних вод, що надходять до очисної споруди,  $\text{м}^3/\text{добу}$ ;

$N_{BV}$  – норма водовідведення, яка в середньому дорівнює  $N_{BV}=250$  л/(людину·добу).

Отримане значення  $N_{np}$  округляється до максимально цілого числа.

Якщо розрахований об'єм осаду  $W_{oc} < 0,1$   $\text{м}^3/\text{добу}$ , то передбачається видалення піску вручну. Якщо умова не виконується, то обирається спосіб видалення піску – механічний або гідромеханічний.

7. Загальний об'єм осаду, що затримується в горизонтальних пісковловлювачах з прямолінійним рухом потоку рідини, визначається за формулою:

$$V_{oc} = W_{oc} \cdot T_{oc}, \text{ м}^3, \quad (1.8)$$

$T_{oc}$  – інтервал часу між вивантаженнями осаду з пісковловлювача, діб (величина  $T_{oc}$  приймається не більшою двох діб).

8. Висота шару осаду на днищі горизонтального пісковловлювача з прямолінійним рухом потоку рідини визначається за формулою:

$$h_{oc} = \frac{K_{oc} \cdot V_{oc}}{B \cdot N \cdot L}, \text{ м}, \quad (1.9)$$

$K_{oc}$  – коефіцієнт, що враховує нерівномірність розподілення осаду за площею пісковловлювача, який дорівнює  $K_{oc}=3$ .

Отримане значення  $h_{oc}$  округляється до першого знака після коми.

9. Глибина горизонтального пісковловлювача з прямолінійним рухом потоку рідини визначається за формулою:

$$H = H_s + h_{oc} + h_{борт}, \text{ м}, \quad (1.10)$$

$h_{борт}$  – висота борта пісковловлювача, що дорівнює  $h_{борт}=0,3-0,5$  м. Висоту борту над рівнем води в аерованих пісковловлювачах слід приймати не менше ніж 0,5 м, для інших типів – 0,3 м.

10. Розрахунок гідромеханічної системи видалення піску з горизонтального пісковловлювача з прямолінійним рухом потоку рідини.

Осад з пісковловлювачів видаляється гідромеханічною системою, що складається з піскового лотка та зливного трубопроводу зі сприском.

10.1. Висота піскового лотка визначається за формулою:

$$h_l = \frac{V_{oc}}{N \cdot b_l \cdot L_l}, \text{ м}. \quad (1.11)$$

$b_l$  – ширина піскового лотка, що дорівнює  $b_l=0,5$  м;

$L_l$  – довжина піскового лотка, що приймається рівною загальній довжині пісковловлювача за вирахуванням довжини піскового приямка, яка дорівнює ширині пісковловлювача, тобто  $L_l = L_c - B$ , м.

Отримане значення  $h_l$  округляється до першого знака після коми.

Отримане значення висоти піскового лотка повинно дорівнювати або бути більшим 0,5 м ( $h_l \geq 0,5$  м).

10.2. Глибина піскового лотка біля приямку визначається за формулою:

$$h'_l = i_l \cdot L_l + h_l, \text{ м}, \quad (1.12)$$

$i_l$  – ухил днища піскового лотка у бік піскового приямка, що приймається рівним  $i_l=0,005$ .

Отримане значення  $h'_l$  округляється до першого знака після коми.

10.3. Витрати промивної води в розрахунку на один пісковий лоток при гідромеханічному видаленні піску визначаються за формулою:

$$q_{np} = v_{np} \cdot L_l \cdot b_l, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (1.13)$$

$v_{np}$  – висхідна швидкість змивної води в лотку, що дорівнює  $v_{np}=0,0065$  м/с.

10.4. Діаметр змивного трубопроводу гідромеханічної системи видалення осаду визначається за формулою:

$$d_{mp} = \sqrt{\frac{4 \cdot q_{np}}{\pi \cdot v_{mp}}}, \text{ м}, \quad (1.14)$$

$v_{mp}$  – швидкість руху води в змивному трубопроводі, що дорівнює  $v_{mp}=3$  м/с.

Отримане значення  $d_{mp}$  округляється до стандартного розміру діаметра.

10.5. Кількість піскових лотків в одному відділенні горизонтального пісковловлювача з прямолінійним рухом потоку рідини визначається за формулою:

$$n_{\lambda} = \frac{B}{b_{\lambda}}, \text{ штуки (залишається тільки ціле число)}. \quad (1.15)$$

10.6. Об'єм води, що витрачається на одне промивання одного відділення горизонтального пісковловлювача з прямолінійним рухом потоку рідини, визначається за формулою:

$$V_{np} = \frac{q_{np} \cdot t_{np} \cdot n_{\lambda}}{60}, \text{ м}^3, \quad (1.16)$$

$t_{np}$  – тривалість промивання, що дорівнює  $t_{np}=1-3$  хвилини.

10.7. Діаметр верхньої основи пісового прямока визначається за формулою:

$$D_n = K_{\varepsilon} \cdot B, \text{ м}, \quad (1.17)$$

$K_{\varepsilon}$  – коефіцієнт, що дорівнює  $K_{\varepsilon}=0,75-0,9$ .

Отримане значення  $D_n$  округляється до першого знака після коми.

10.8. Діаметр трубопроводу для видалення піску з відділення горизонтального пісковловлювача з прямолінійним рухом потоку рідини визначається за формулою:

$$d_{oc} = \sqrt{\frac{4 \cdot (V_{oc}^1 + V_{np})}{\pi \cdot v_{oc} \cdot t_{oc}}}, \text{ м}, \quad (1.18)$$

$v_{oc}$  – швидкість руху піску в трубопроводі, що дорівнює  $v_{oc}=0,1$  м/с;

$t_{oc}$  – тривалість відкачування піску з відділення пісковловлювача, що приймається рівною тривалості промивання ( $t_{oc}=t_{np}=1-3$  хвилини);  $t_{oc}$ , хвилини → секунди;

$V_{oc}^1$  – об'єм вологого піску, який затримується в одному відділенні пісковловлювача, що визначається за формулою:  $V_{oc}^1 = V_{oc} / N, \text{ м}^3$ .

Отримане значення  $d_{oc}$  округляється до стандартного розміру діаметра.

10.9. Діаметр нижньої основи пісового прямока визначається за формулою:

$$d_n = K_n \cdot d_{oc}, \text{ м}, \quad (1.19)$$

$K_n$  – коефіцієнт запасу, що дорівнює  $K_n=1,05-1,1$ .

Отримане значення  $d_n$  округляється до першого знака після коми.

10.10. Глибина пісового прямока визначається за формулою:

$$h_n = \left( \frac{D_n - d_n}{2} \right) \cdot \operatorname{tg} \alpha, \text{ м}, \quad (1.20)$$

$\alpha$  – кут нахилу стінок пісового прямока до горизонту, що дорівнює  $\alpha \geq 60^\circ$ .

Отримане значення  $h_n$  округляється до першого знака після коми.

10.11. Повна висота горизонтального пісковловлювача з прямолінійним рухом потоку рідини з врахуванням пісового прямока визначається за формулою:

$$H_{\Pi} = H + h_n, \text{ м}. \quad (1.21)$$

10.12. Кількість сприсків на змивному трубопроводі визначається за формулою:

$$n_{cn} = \frac{2 \cdot L_n}{l_{cn}}, \text{ штуки (залишається тільки ціле число),} \quad (1.22)$$

$l_{cn}$  – відстань між сприсками, що приймається рівною  $l_{cn}=0,2-0,5$  м.

10.13. Діаметр вихідного отвору сприсків визначається за формулою:

$$d_{cn} = \sqrt{\frac{4 \cdot q_{np}}{\pi \cdot \mu \cdot n_{cn} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_0}}}, \text{ м,} \quad (1.23)$$

$\mu$  – коефіцієнт витрат сприсків, що дорівнює  $\mu=0,82$ ;

$g$  – прискорення вільного падіння, що дорівнює  $g=9,81$  м/с<sup>2</sup>;

$H_0$  – тиск води в змивному трубопроводі, що визначається за формулою:

$$H_0 = 5,6 \cdot h_{oc} + 5,4 \cdot \frac{(v_{mp})^2}{2 \cdot g}, \text{ м.} \quad (1.24)$$

Отримане значення  $d_{cn}$  округляється до стандартного розміру діаметра.

10.14. Ширина каналу, що підводить стічну воду до відділення горизонтального пісковловлювача з прямолінійним рухом потоку рідини, і ширина каналу, що відводить стічну воду від відділення, визначаються за формулою:

$$b_k = K_k \cdot B, \text{ м,} \quad (1.25)$$

$K_k$  – коефіцієнт, що дорівнює  $K_k=0,3-0,5$ .

Отримане значення  $b_k$  округляється до першого знака після коми.

10.15. Глибина каналів, що підводить стічну воду до відділення горизонтального пісковловлювача з прямолінійним рухом потоку рідини і відводить стічну воду від відділення, визначаються за формулою:

$$h_k = \frac{q_c}{N \cdot v_k \cdot b_k} + h_{борт}, \text{ м,} \quad (1.26)$$

$v_k$  – швидкість руху стічних вод в каналі, що дорівнює  $v_k=0,4-1,0$  м/с.

Отримане значення  $h_k$  округляється до першого знака після коми.

10.16. Загальна ширина каналів, що підводять стічну воду до горизонтальних пісковловлювачів з прямолінійним рухом потоку рідини і відводять від них, визначається за формулою:

$$b'_k = \frac{q_c}{v_k \cdot (h_k - h_{борт})}, \text{ м.} \quad (1.27)$$

Отримане значення  $b'_k$  округляється до першого знака після коми.

10.17. Висота водозливу визначається за формулою:

$$h'_{вз} = 0,9 \cdot \frac{q_c}{N \cdot v_k \cdot b_k}, \text{ м.} \quad (1.28)$$

Отримане значення  $h'_{вз}$  округляється до першого знака після коми.

**Приклад розрахунку параметрів горизонтального пісковловлювача з прямолінійним рухом потоку рідини**

Вихідні дані для розрахунку параметрів горизонтального пісковловлювача з прямолінійним рухом потоку рідини:

- добові витрати стічних вод, що надходять до очисної споруди,  
 $Q_{повн}=140500 \text{ м}^3/\text{добу};$

- діаметр частинок піску, що будуть затримуватися в горизонтальному пісковловлювачі з прямолінійним рухом потоку рідини,  $d_{\Pi}=0,2 \text{ мм}.$

Розрахунок параметрів горизонтального пісковловлювача з прямолінійним рухом потоку рідини

1. Витрати стічних вод, які потребують очищення в горизонтальних пісковловлювачах з прямолінійним рухом потоку рідини, за секунду визначаємо за формулою:

$$q_c = \frac{Q_{повн}}{24 \cdot 60 \cdot 60} = \frac{140500}{24 \cdot 60 \cdot 60} = 1,6262 \text{ м}^3/\text{с}.$$

2. За даними табл. А.3 Додатка А приймаємо орієнтовні розміри горизонтальних пісковловлювачів з прямолінійним рухом потоку рідини:

- кількість відділень горизонтальних пісковловлювачів з прямолінійним рухом потоку рідини  $N=4$ ;

- типова ширина одного відділення горизонтального пісковловлювача з прямолінійним рухом потоку рідини  $B=3 \text{ м};$

- розрахункова глибина одного відділення горизонтального пісковловлювача з прямолінійним рухом потоку рідини  $H_s=0,67 \text{ м}.$

3. За даними табл. А.2 Додатка А середню швидкість руху стічних вод у горизонтальному пісковловлювачі з прямолінійним рухом потоку рідини в залежності від необхідного діаметру частинок піску, що затримуються в пісковловлювачі, приймаємо  $v=0,2 \text{ м/с}.$

Необхідну площу живого перетину одного відділення горизонтального пісковловлювача з прямолінійним рухом потоку рідини визначаємо за формулою (1.1):

$$F = \frac{q_c}{N \cdot v} = \frac{1,6262}{4 \cdot 0,2} = 2,033 \text{ м}^2.$$

4. За даними табл. А.1 Додатка А для горизонтальних пісковловлювачів приймаємо:

- значення коефіцієнта  $K=1,7$ ;

- гідралічна крупність частинок піску  $u_0=18,7 \text{ мм/с}.$

Робочу довжину горизонтального пісковловлювача з прямолінійним рухом потоку рідини, в якій безпосередньо відбувається процес осадження піску, визначаємо за формулою (1.2):

$$L = \frac{1000 \cdot K \cdot H_s \cdot v}{u_0} = \frac{1000 \cdot 1,7 \cdot 0,67 \cdot 0,2}{18,7} = 12,2 \approx 13 \text{ м}.$$

5. Приймаємо значення коефіцієнта  $k=0,43.$

Довжину заспокійливих ділянок у горизонтальному пісковловлювачі з прямолінійним рухом потоку рідини визначаємо за формулою (1.3):

$$l = \frac{k \cdot L}{2} = \frac{0,43 \cdot 13}{2} = 2,8 \text{ м}.$$

Приймаємо значення коефіцієнта  $K_L=1,43.$

Повну будівельну довжину горизонтального пісковловлювача з прямолінійним рухом потоку рідини визначаємо за формулою (1.4):

$$L_c = K_L \cdot L = 1,43 \cdot 13 = 18,6 \approx 19 \text{ м.}$$

6. Тривалість протікання стічних вод у горизонтальному пісковловлювачі з прямолінійним рухом потоку рідини визначаємо за формулою (1.5):

$$t = \frac{L}{v} = \frac{19}{0,2} = 95 \text{ секунд.}$$

Отримана величина  $t$  перевищує нормативні 30 секунд ( $t \geq 30$  секунд), тобто умови дотримано і розрахунок виконано вірно.

7. Наведену кількість мешканців, які утворюють стічні води, що надходять на очищення в горизонтальний пісковловлювач із прямолінійним рухом потоку рідини визначаємо за формулою (1.7):

$$N_{np} = \frac{1000 \cdot 140500}{250} = 562000 \text{ мешканців.}$$

Об'єм осаду, що затримується в горизонтальному пісковловлювачі з прямолінійним рухом потоку рідини за добу, визначаємо за формулою (1.6):

$$W_{oc} = \frac{q_{oc} \cdot N_{np}}{1000} = \frac{0,02 \cdot 562000}{1000} = 11,24 \text{ м}^3/\text{добу.}$$

Оскільки отримане значення  $W_{oc} > 0,1 \text{ м}^3/\text{добу}$ , обираємо механічний або гідромеханічний спосіб видалення піску з горизонтального пісковловлювача.

8. Приймаємо інтервал часу між вивантаженнями осаду з горизонтального пісковловлювача  $T_{oc} = 2$  доби.

Загальний об'єм осаду, що затримується в горизонтальних пісковловлювачах з прямолінійним рухом потоку рідини, визначаємо за формулою (1.8):

$$V_{oc} = W_{oc} \cdot T_{oc} = 11,24 \cdot 2 = 22,48 \text{ м}^3.$$

9. Висоту шару осаду на днищі горизонтального пісковловлювача з прямолінійним рухом потоку рідини визначаємо за формулою (1.9):

$$h_{oc} = \frac{K_{oc} \cdot V_{oc}}{B \cdot N \cdot L} = \frac{3 \cdot 22,48}{3 \cdot 4 \cdot 13} = 0,4 \text{ м.}$$

10. Глибину горизонтального пісковловлювача з прямолінійним рухом потоку рідини визначаємо за формулою (1.10):

$$H = H_s + h_{oc} + h_{борт} = 0,67 + 0,4 + 0,3 = 1,37 \approx 1,4 \text{ м.}$$

11. Оскільки розраховане значення  $W_{oc} > 0,1 \text{ м}^3/\text{добу}$ , обрано гідромеханічний спосіб видалення піску з горизонтального пісковловлювача.

Розраховуємо параметри гідромеханічної системи видалення піску з горизонтального пісковловлювача з прямолінійним рухом потоку рідини.

11.1. Довжину піскового лотка визначаємо за формулою:

$$L_n = L_c - B = 19 - 3 = 16 \text{ м.}$$

Висоту піскового лотка визначаємо за формулою (1.11):

$$h_n = \frac{V_{oc}}{N \cdot b_n \cdot L_n} = \frac{22,48}{4 \cdot 0,5 \cdot 16} = 0,7 \text{ м.}$$

Отримане значення висоти піскового лотка перевищує нормативне ( $h_n \geq 0,5 \text{ м}$ ), тобто умови дотримано і розрахунок виконано вірно.

11.2. Глибину пісового лотка біля прямку визначаємо за формулою (1.12):

$$h'_l = i_l \cdot L_l + h_l = 0,005 \cdot 16 + 0,7 = 0,78 \approx 0,8 \text{ м.}$$

11.3. Витрати промивної води в розрахунку на один пісовий лоток при гідромеханічному видаленні піску визначаємо за формулою (1.13):

$$q_{np} = v_{np} \cdot L_l \cdot b_l = 0,0065 \cdot 16 \cdot 0,5 = 0,052 \text{ м}^3/\text{с.}$$

11.4. Діаметр змивного трубопроводу гідромеханічної системи видалення осаду визначаємо за формулою (1.14):

$$d_{mp} = \sqrt{\frac{4 \cdot q_{np}}{\pi \cdot v_{mp}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,052}{3,14 \cdot 3}} = 0,149 \approx 0,15 \text{ м.}$$

11.5. Кількість пісових лотків в одному відділенні горизонтального пісковловлювача з прямолінійним рухом потоку рідини визначаємо за формулою (1.15):

$$n_l = \frac{B}{b_l} = \frac{3}{0,5} = 6 \text{ штук.}$$

11.6. Приймаємо тривалість промивання одного відділення горизонтального пісковловлювача з прямолінійним рухом потоку рідини  $t_{np}=2$  хвилини

Об'єм води, що витрачається на одне промивання одного відділення горизонтального пісковловлювача з прямолінійним рухом потоку рідини, визначаємо за формулою (1.16):

$$V_{np} = \frac{q_{np} \cdot t_{np} \cdot n_l}{60} = \frac{0,052 \cdot 2 \cdot 6}{60} = 0,0104 \text{ м}^3.$$

11.7. Приймаємо значення коефіцієнта  $K_g=0,8$ .

Діаметр верхньої основи пісового прямка визначаємо за формулою (1.17):

$$D_n = K_g \cdot B = 0,8 \cdot 3 = 2,4 \text{ м.}$$

11.8. Об'єм вологого піску, який затримується в одному відділенні горизонтального пісковловлювача з прямолінійним рухом потоку рідини визначаємо за формулою:

$$V_{oc}^1 = V_{oc} / N = \frac{22,48}{6} = 3,75 \text{ м}^3.$$

Діаметр трубопроводу для видалення піску з відділення горизонтального пісковловлювача з прямолінійним рухом потоку рідини визначаємо за формулою (1.18):

$$d_{oc} = \sqrt{\frac{4 \cdot (V_{oc}^1 + V_{np})}{\pi \cdot v_{oc} \cdot t_{oc}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot (3,75 + 0,0104)}{3,14 \cdot 0,1 \cdot 120}} = 0,632 \approx 0,65 \text{ м.}$$

11.9. Приймаємо значення коефіцієнта запасу  $K_n=1,08$ .

Діаметр нижньої основи пісового прямка визначаємо за формулою (1.19):

$$d_n = K_n \cdot d_{oc} = 1,08 \cdot 0,65 = 0,7 \text{ м.}$$

11.10. Кут нахилу стінок пісового прямка до горизонту приймаємо  $\alpha=60^\circ$ . Глибину пісового прямка визначаємо за формулою (1.20):

$$h_n = \left( \frac{D_n - d_n}{2} \right) \cdot \operatorname{tg} \alpha = \left( \frac{2,4 - 0,7}{2} \right) \cdot \operatorname{tg} 60^\circ = 1,5 \text{ м.}$$

11.11. Повну висоту горизонтального пісковловлювача з прямолінійним рухом потоку рідини з врахуванням піскового приямка визначаємо за формулою (1.21):

$$H_{II} = H + h_n = 1,4 + 1,5 = 2,9 \text{ м.}$$

11.12. Приймаємо відстань між сприсками  $l_{cn}=0,4$  м.

Кількість сприсків на змивному трубопроводі визначаємо за формулою (1.22):

$$n_{cn} = \frac{2 \cdot L_a}{l_{cn}} = \frac{2 \cdot 16}{0,4} = 80 \text{ штук.}$$

11.13. Тиск води в змивному трубопроводі визначаємо за формулою (1.24):

$$H_0 = 5,6 \cdot h_{oc} + 5,4 \cdot \frac{(v_{mp})^2}{2 \cdot g} = 5,6 \cdot 0,4 + 5,4 \cdot \frac{(3)^2}{2 \cdot 9,81} = 4,72 \text{ м.}$$

Діаметр вихідного отвору сприсків визначаємо за формулою (1.23):

$$d_{cn} = \sqrt{\frac{4 \cdot q_{np}}{\pi \cdot \mu \cdot n_{cn} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_0}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,052}{3,14 \cdot 0,82 \cdot 80 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 4,72}}} = 0,01 \text{ м.}$$

11.14. Приймаємо значення коефіцієнта  $K_k=0,4$ .

Ширину каналу, що підводить стічну воду до відділення горизонтального пісковловлювача з прямолінійним рухом потоку рідини, і ширину каналу, що відводить стічну воду від відділення, визначаємо за формулою (1.25):

$$b_k = K_k \cdot B = 0,4 \cdot 3 = 1,2 \text{ м.}$$

11.15. Приймаємо значення швидкості руху стічних вод в каналі  $v_k=0,7$  м/с.

Глибину каналів, що підводять стічну воду до відділення горизонтального пісковловлювача з прямолінійним рухом потоку рідини і відводять стічну воду від відділення, визначаємо за формулою (1.26):

$$h_k = \frac{q_c}{N \cdot v_k \cdot b_k} + h_{борм} = \frac{1,6262}{4 \cdot 0,7 \cdot 1,2} + 0,3 = 0,78 \approx 0,8 \text{ м.}$$

11.16. Загальну ширину каналів, що підводять стічну воду до горизонтальних пісковловлювачів з прямолінійним рухом потоку рідини і відводять від них, визначаємо за формулою (1.27):

$$b'_k = \frac{q_c}{v_k \cdot (h_k - h_{борм})} = \frac{1,6262}{0,7 \cdot (0,8 - 0,3)} = 4,65 \approx 4,7 \text{ м.}$$

11.17. Висоту водозливу визначаємо за формулою (1.28):

$$h'_{вз} = 0,9 \cdot \frac{q_c}{N \cdot v_k \cdot b_k} = 0,9 \cdot \frac{1,6262}{4 \cdot 0,7 \cdot 1,2} = 0,436 \approx 0,4 \text{ м.}$$

## КОНТРОЛЬНЕ ЗАВДАННЯ

Виконати технологічний розрахунок параметрів горизонтального пісковловлювача з прямолінійним рухом потоку рідини, призначеного для очищення стічних вод від мінеральних домішок (піску), відповідно до варіанта вихідних даних, наведеного в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Варіанти вихідних даних для технологічного розрахунку параметрів горизонтального пісковловлювача з прямолінійним рухом потоку рідини, призначеного для очищення стічних вод від мінеральних домішок

| Показник                           | Варіант |       |        |        |        |        |        |
|------------------------------------|---------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                                    | 1       | 2     | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      |
| $Q_{повн}, \text{м}^3/\text{добу}$ | 120000  | 99800 | 115700 | 110500 | 130200 | 107400 | 100600 |

продовження табл. 1.1

| Показник                           | Варіант |        |       |        |        |        |        |
|------------------------------------|---------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|
|                                    | 8       | 9      | 10    | 11     | 12     | 13     | 14     |
| $Q_{повн}, \text{м}^3/\text{добу}$ | 125300  | 122400 | 94500 | 118200 | 113900 | 135600 | 102700 |

закінчення табл. 1.1

| Показник                           | Варіант |        |       |        |        |       |
|------------------------------------|---------|--------|-------|--------|--------|-------|
|                                    | 15      | 16     | 17    | 18     | 19     | 20    |
| $Q_{повн}, \text{м}^3/\text{добу}$ | 96300   | 127400 | 96800 | 105300 | 114900 | 89200 |

## ПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

### Контрольні питання

1. Надати характеристику горизонтальних пісковловлювачів з прямолінійним рухом потоку рідини.
2. Надати характеристику горизонтальних пісковловлювачів з коловим рухом потоку рідини.
3. Надати характеристику вертикальних пісковловлювачів
4. Надати характеристику тангенціальних пісковловлювачів
5. Надати характеристику аерованих пісковловлювачів

### Тестові завдання

1. Як називаються споруди для вилучення зі стічних вод мінеральних нерозчинних домішок?
  - фільтри;
  - відстійники;
  - пісковловлювачі;
  - решітки.
2. Якого типу пісковловлювачів не існує?
  - горизонтальний;
  - радіальний;
  - вертикальний;
  - аерований.
3. Який тип пісковловлювачів має циліндричну форму?
  - вертикальний;
  - аерований;
  - тангенціальний;
  - горизонтальний з коловим рухом потоку рідини.

4. Який тип пісковловлювачів має у верхній частині прямокутну форму, а в основі – трикутну зі щілиною внизу?

- тангенціальний;
- горизонтальні з коловим рухом потоку рідини;
- горизонтальні з прямолінійним рухом потоку рідини;
- аерований.

5. У якого типу пісковловлювачів найвищий відсоток затримання піску, в порівнянні з іншими апаратами?

- тангенціальний;
- горизонтальні з коловим рухом потоку рідини;
- горизонтальні з прямолінійним рухом потоку рідини;
- аерований.

6. Який тип пісковловлювачів зазвичай не використовується для вилучення мінеральних домішок?

- вертикальний;
- аерований;
- тангенціальний;
- горизонтальний з коловим рухом потоку рідини.

7. В якому типі пісковловлювачів подача стічних вод відбувається по дотичній?

- вертикальний;
- аерований;
- тангенціальний;
- горизонтальний з коловим рухом потоку рідини.

8. Які наслідки можна спостерігати при скороченні тривалості перебування стічних вод у пісковловлювачі?

- збільшення швидкості руху стічних вод у пісковловлювачі;
- зменшення ефективності затримання піску;
- збільшення добових витрат стічних вод, що надходять до очисної споруди;
- зменшення розмірів пісковловлювача.

## ПРАКТИЧНА РОБОТА №2

### ПРОЕКТУВАННЯ ТА РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ СПОРУД ДЛЯ ГЛИБОКОГО ОЧИЩЕННЯ (ДООЧИЩЕННЯ) СТИЧНИХ ВОД

**Мета:** набуття теоретичних знань у сфері виробничого планування та проектування природоохоронних систем та обладнання та здобуття практичних навичок з технологічного розрахунку та вибору очисних споруд, призначених для доочищення стічних вод.

**Завдання:**

1. Ознайомитися з конструкціями та принципом роботи технологічного обладнання, призначеного для глибокого очищення (доочищення) стічних вод.
2. Ознайомитися з методикою технологічного розрахунку параметрів одношарових фільтрів з дрібнозернистим піщаним завантаженням, призначених для доочищення стічних вод.
3. Виконати технологічний розрахунок параметрів одношарових фільтрів з дрібнозернистим піщаним завантаженням, призначених для доочищення стічних вод, відповідно до варіанта вихідних даних.

В результаті виконання даної практичної роботи будуть сформовані наступні **результати навчання:**

- знати методи, апарати, споруди, технологічні схеми очищення компонентів навколишнього природного середовища;
- вміти розробляти та обґрунтовувати вибір апаратів, споруд, технологічних схем очищення компонентів навколишнього природного середовища;
- вміти використовувати діючі методи і нормативні документи, виконувати розрахунки основних параметрів природоохоронних систем, споруд та обладнання.

### ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

**Теоретичні основи очищення стічних вод методом фільтрування через зернисті матеріали**

Суть методу полягає в фільтруванні оброблюваної води, що містить домішки, через фільтруючий матеріал, який є проникним для рідини і непроникним для твердих частинок. При цьому, процес супроводжується значними витратами енергії. Однак допускати великих втрат напору в техніці водоочищення можна лише при обробці невеликих кількостей води. Це визначає місце фільтрувальних споруд в технологічній схемі, тобто в більшості випадків фільтрування є завершальним етапом обробки води і проводиться після її попереднього освітлення у відстійниках, флотаторах або освітлювачах.

Водоочисні споруди, на яких здійснюється процес фільтрування, називають фільтрами. Фільтри з вигляду фільтруючого середовища поділяють на тканинні або сітчасті, каркасні або наливні (діатомові), зернисті (піщані, керамзитові та інші). З перерахованих вище груп фільтрів найбільш значною є остання. Фільтри цієї групи в техніці водопостачання застосовуються найбільш

широко. Фільтри з зернистим завантаженням класифікують за низкою основних ознак:

1) за швидкістю фільтрування – повільні (0,1-0,3 м/годину), швидкі (5-12 м/годину) та надшвидкісні (36-100 м/годину);

2) за тиском, під яким вони працюють, – відкриті (або безнапірні) та напірні;

3) за напрямом фільтруючого потоку – зі спадним (згори вниз) і висхідним (знизу вгору) потоком, в окремих випадках – з горизонтальним потоком;

4) за крупністю матеріалу, через який відбувається фільтрування, – дрібно-, середньо- і крупнозернисті;

5) за кількістю фільтруючих шарів – одно-, двох- і багат шарові.

В процесі фільтрування вода проходить фільтруючий і підтримуючий шари, а потім надходить до розподільчої системи і далі в резервуар чистої води.

Під час промивання фільтра промивна вода подається в розподільчу систему і далі від низу до верху в фільтруючий шар, який вона розширює (зважає). Дійшовши до верхньої кромки промивних жолобів, промивна вода, разом з вимитими нею з фільтруючого матеріалу забрудненнями, переливається в жолоби, а з них в бічну кишеню і відводиться на споруди обороту промивної води.

*Фільтруючі матеріали.* Фільтруюче завантаження є основним робочим елементом фільтрувальних споруд, тому правильний вибір його параметрів має першорядне значення для їхньої нормальної роботи. При виборі фільтруючого матеріалу основними є його вартість, можливість отримання в районі будівництва даного фільтрувального комплексу та дотримання певних технічних вимог, до числа яких відносяться: належний фракційний склад завантаження; певна ступінь однорідності розмірів його зерен; механічна міцність; хімічна стійкість матеріалів по відношенню до фільтрованої води.

Найбільш поширеним фільтруючим матеріалом є кварцовий пісок – річковий або кар'єрний. Кварцовий пісок при невеликому вмісті домішок вапняку відповідає всім вище перерахованим вимогам, що пред'являються до фільтруючих матеріалів. Поряд з піском застосовують антрацит, керамзит, горілі породи, шунгізит, вулканічні шлаки, пінополістирол та інші.

В якості фільтруючих матеріалів можуть бути використані також відходи промислових виробництв, доменні шлаки й шлаки мідно-нікелевого виробництва. Перевагою шлаків є те, що вони зазвичай мають фракційний склад, близький до того, який потрібен для завантаження фільтрувальних апаратів.

В якості фільтруючого матеріалу на фільтрах з плаваючим завантаженням використовують пінополістирол. Цей зернистий матеріал отримують спученням, в результаті теплової обробки вихідного матеріалу – полістиролу бісеру, що випускається хімічною промисловістю.

Знаходять застосування активні фільтруючі матеріали, які завдяки своїм властивостям можуть витягувати з води не тільки завислі та колоїдні домішки, але й істинно розчинені забруднення. Так, для стабілізаційної обробки води застосовують мармурову крихту та магномасу. Все більш широко застосовують

активоване вугілля для вилучення з води речовин, що обумовлюють присмаки й запахи. Застосовують природний іонообмінний матеріал клиноптилоліт для видалення з води розчинених сполук фтору й азоту. Доступність і дешевизна цього матеріалу дозволяють все більш широко застосовувати його в якості завантаження фільтрувальних апаратів.

*Підтримуючий шар.* Підтримуючий шар з гравію або щебеню висотою 0,45-0,55 м з розміром зерен 2-40 мм, на якому лежить фільтруюче завантаження, укладають для того, щоб дрібний фільтруючий матеріал не вимивався з фільтруючого шару і не виносився разом з відфільтрованою водою через отвори розподільчої системи. Підтримуючі шари сприяють більш рівномірному розподілу промивної води за площею фільтра і підтримують фільтруюче завантаження. В якості підтримуючих шарів застосовують гравій або щебінь вивержених порід. Домішки зерен вапняку в них допускаються не більше 15%, а домішки зерен крейди є неприпустимими. Недоліком підтримуючих шарів є можливість їхнього зміщення при промиванні, що порушує їхню горизонтальність і, в кінцевому рахунку, погіршує роботу фільтра.

*Розподільчі системи фільтрувальних апаратів.* Розподільча (дренажна) система є важливим елементом фільтра. Вона повинна збирати та відводити відфільтровану воду без виносу зерен фільтруючого матеріалу і при промиванні рівномірно розподіляти промивну воду за площею фільтра.

До розподільчих (дренажних) систем швидких фільтрів висуваються такі основні вимоги:

- рівномірність розподілу промивної води за площею фільтра;
- рівномірність збору відфільтрованої води з площі фільтра;
- достатня механічна міцність, що витримує масу води і завантаження, а також тиск води при промиванні фільтра;
- незасміченість отворів і щілин під час робочого циклу і при промиванні.

В теперішній час застосовують такі типи розподільчих систем: з щілинних труб або щілинного «помилкового» днища великого опору, без гравійних підтримуючих шарів; трубчастий дренаж великого опору, що розташовується безпосередньо в завантаженні фільтра; ковпачковий.

Рекомендується застосовувати розподільчі системи великого опору (трубчасті, ковпачкові та у вигляді «помилкового» днища), оскільки такі системи забезпечують необхідну рівномірність розподілу промивної води.

Щілинний розподільчий пристрій являє собою систему труб зі щілинами або «помилкове» щілинне днище. Ширина щілин повинна бути на 0,1 мм меншою розміру самої дрібної фракції завантаження. Для трубчастого щілинного дренажу слід застосовувати труби з нержавіючої сталі або поліетилену серії С або Т. Щілини розташовуються рівномірно поперек осі і за периметром труби не менше ніж у два ряди на відстані не меншою 20 мм один від одного. Загальна площа щілин складає 1,5-2% від робочої площі фільтра.

Ковпачкова розподільча система являє собою систему ковпачків, що вмонтовуються на дренажному (з отворами) днищі або на розподільчих трубах з розрахунку 35-50 ковпачків на квадратний метр площі фільтра. Вітчизняна

промисловість випускає ковпачки двох видів: щільні пластмасові та порцелянові або пористі. Швидкість руху води або водоповітряної суміші в щілинах ковпачків приймають не меншою 1,5 м/с. Загальна площа прохідних отворів усіх ковпачків повинна становити 0,8-1,0% від робочої площі фільтра.

Застосування ковпачкових дренажів в умовах водоповітряного промивання дозволяє зменшити витрати промивної води, знизити будівельну вартість споруд, за рахунок зменшення діаметрів трубопроводів, і обсяг резервуарів для зберігання промивної води.

Розподільча система з пористих керамічних або бетонних плит, що влаштовується у вигляді проміжного днища, також не вимагає підтримуючого шару. Керамічні плити випускають розмірами 40x40x5 або 25x50x5 см. Плити виготовляють із зерен корунду на керамічній зв'язці.

Фізична сутність дії розподільчих систем великого опору полягає в тому, що гідродинамічна нестійкість завислого шару забрудненого завантаження паралізується опором отворів або щілин на шляху руху води. Для забезпечення рівномірності розподілу промивної води за площею фільтра необхідно, щоб сумарний опір на шляху потоку промивної води (опір в розподільчій системі + опір в завантаженні) зростав зі збільшенням інтенсивності промивання.

*Промивання фільтрувальних апаратів.* Момент роботи фільтра, коли втрати напору в фільтруючому завантаженні досягають гранично допустимого значення або починає погіршуватися якість фільтрату, служить сигналом для вимикання фільтра на промивання з метою відновлення затримуючої здатності завантаження. Промивання фільтруючого завантаження в швидких фільтрах здійснюють зворотним струмом води або повітрям і води, для чого, як правило, використовують відфільтровану воду. Перед промиванням фільтра подачу води на нього припиняють. Коли рівень води в ньому знизиться до кромки жолобів, починають подачу промивної води до низу фільтра. Промивна вода надходить до розподільчої (дренажної) системи фільтра, рівномірно розподіляється за площею фільтра та піднімається вгору через завантаження з такою інтенсивністю, яка забезпечує перехід зерен фільтруючого завантаження в завислий стан. При цьому завантаження як би розширюється і поверхня, яку воно займало в процесі фільтрування, наближається до кромки жолобів.

При завислому стані завантаження його окремі зерна безперервно стикаються один з одним, в результаті чого забруднення, що на них налипають, відтираються і разом з потоком промивної води переливаються в жолоби, звідки відводяться в кишеню (або центральний канал) фільтра і далі скидаються в каналізацію. Фільтр промивають до тих пір, поки вода, що переливається в жолоби, не стане прозорою. Для нормально працюючих швидких фільтрів достатня тривалість промивання 8-10 хвилин.

Незважаючи на те, що промивання фільтрів є лише допоміжним процесом, воно може вплинути на нормальний режим роботи фільтрів. Якщо в процесі промивання фільтруюче завантаження відмивається недостатньо, то це призводить до поступового накопичення залишкових забруднень, що скорочує фільтроцикл, а в окремих випадках і зовсім виводить фільтр з роботи. Тому

конструктивне оформлення більшості деталей і устаткування фільтрів диктується умовами його промивання.

Основним завданням при розрахунку промивання фільтрів є встановлення такої інтенсивності промивання і такого відносного розширення шару завантаження, при яких забезпечується практично повне відмивання зерен завантаження від забруднень, що на них налипають в процесі фільтрування.

Для завантажень з кварцового піску при еквівалентному діаметру зерен  $d_e > 1$  мм з метою підвищення ефекту відмивання, зниження витрат промивної води і зменшення розмірів водовідвідних пристроїв (жолобів, каналів, трубопроводів) доцільно застосування водоповітряного промивання. Його режим призначається наступним: продування повітрям з інтенсивністю 15-20 л/(с·м<sup>2</sup>) протягом 1-2 хвилин, потім спільне водоповітряне промивання з інтенсивністю подачі повітря 15-20 л/(с·м<sup>2</sup>) і води 3-4 л/(с·м<sup>2</sup>) протягом 4-5 хвилин і подальша подача однієї води з інтенсивністю 6-8 л/(с·м<sup>2</sup>) протягом 4-5 хвилин. При водоповітряному промиванні воду й повітря слід подавати по роздільним трубчастим розподільчим системам або через розподільчі системи зі спеціальними ковпачками.

Водоповітряне промивання рекомендується застосовувати для піщаних фільтрів з системою горизонтального відведення промивної води з пісковловлюючим жолобом, що утворюється двома похилими стінками – відбійною та водозливною. При використанні фільтруючих завантажень з подрібнених антрациту та керамзиту водоповітряне промивання не допускається.

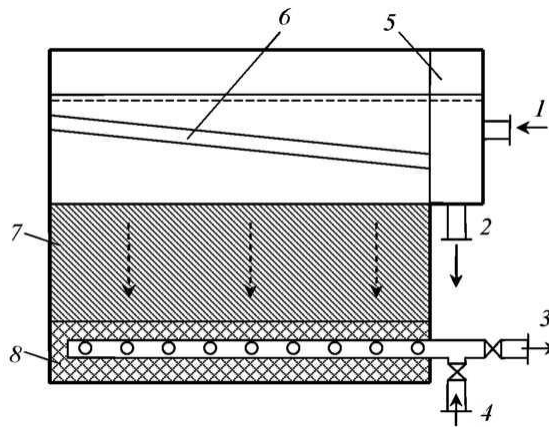
Швидкість руху води в трубопроводах, що подають і відводять воду, призначають 1,5-2 м/с. Для видалення повітря з трубопроводу, що подає воду на промивання фільтрів, який розташовується нижче кромки їхніх жолобів, необхідно передбачати стояки-повітряники діаметром 75-150 мм.

### **Конструктивні типи фільтрів**

Фільтраційні споруди й пристрої застосовують для глибокого очищення (доочищення) комунальних и виробничих стічних вод, що пройшли біологічну або фізико-хімічну очистку.

*Зернисті фільтри з низхідним потоком стічних вод* – це одношарові фільтри з низхідним потоком рідини (рис. 2.1), що застосовуються для доочищення виробничих стічних вод після механічного очищення в схемах з безреагентною очисткою води або в схемах з коагуляцією для затримання дрібнодисперсних завислих частинок, а також біологічно очищених комунальних стічних вод.

Завантаження фільтру складає кварцовий пісок (крупністю до 2 мм і товщиною шару 1,2-1,3 м) з підтримуючим шаром із гравію (крупністю зерен 2-10 мм і висотою шару 0,5-0,7 м). При наявності місцевого гранітного щебеню завантаження фільтра може проводитися щебенем крупністю 3-10 мм, товщиною шару 1,2 м.



**Рисунок 2.1 – Схема зернистого фільтра з низхідним потоком стічних вод**

1 – подача стічної води; 2 – відведення промивної води; 3 – відведення фільтрату; 4 – подача промивної води; 5 – розподільча кишеня; 6 – жолоба для розподілу вихідної води та відведення промивної; 7 – пісочне завантаження; 8 – підтримуючий шар

Для регенерації фільтрів передбачається водоповітряне промивання висхідним потоком. Водоповітряне промивання здійснюється в три етапи:

- початкове розпушування верхнього шару завантаження механічним або гідравлічним способом і продування повітрям для вирівнювання гідравлічного опору за всією площею фільтра;
- водоповітряне спільне промивання;
- додаткове промивання водою для розпушення завантаження і відновлення його початкової пористості.

Ефект доочищення для дрібнозернистих фільтрів за вмістом завислих речовин складає 70-75%, за показником БСК<sub>повн</sub> – 50-60%; для грубозернистих фільтрів з завантаженням із щебеню, відповідно, 45-50% і 35-40%. Фільтроцикл складає 12 годин.

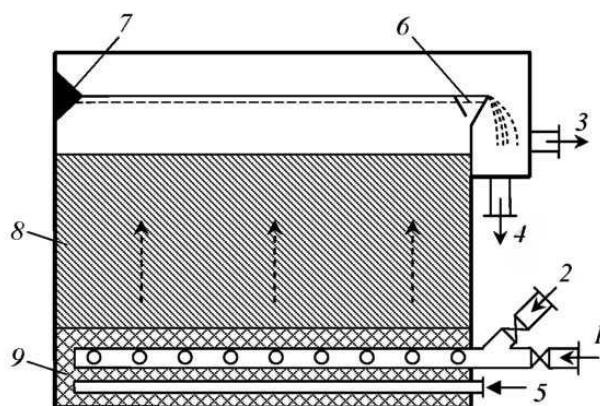
#### *Зернисті фільтри з висхідним потоком стічних вод*

Фільтрування води знизу вгору значно поліпшує умови роботи фільтра, внаслідок реалізації принципу спадної крупності зерен завантаження вздовж потоку (рис. 2.2). Як наслідок, збільшується брудоемність фільтра, тривалість фільтроциклу, виключається можливість замулювання дрібнозернистих шарів завантаження.

Фільтруюче завантаження складається з річкового піску крупністю 1,2-2 мм і висотою шару 1,5-2 м, а також підтримуючого шару гравію товщиною до 0,95 м.

Для регенерації фільтрів передбачається водоповітряне промивання.

Ефект доочищення для таких фільтрів за вмістом завислих речовин складає 70-85%, за показником БСК<sub>повн</sub> – 50-65%. Недоліком фільтрів з висхідним потоком стічної води є замулювання дренажу, що призводить до ненадійності їхньої роботи і ускладнень в процесі експлуатації.

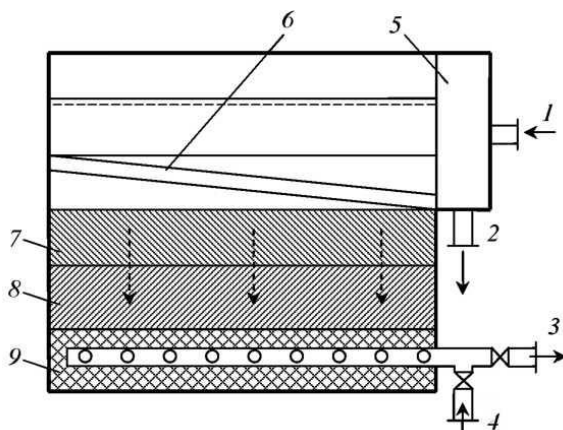


**Рисунок 2.2 – Схема зернистого фільтра з висхідним потоком стічних вод**

1 – подача стічної води; 2 – подача промивної води; 3 – відведення фільтрату; 4 – відведення промивної води; 5 – подача повітря;  
6 – пісковловлюючий жолоб; 7 – струминонаправляючий виступ;  
8 – фільтруюче завантаження; 9 – підтримуючий шар

#### *Двошарові зернисті фільтри*

В двошарових зернистих фільтрах (рис. 2.3) застосовується принцип фільтрування в напрямку зменшуваної крупності зерен завантаження зверху вниз.



**Рисунок 2.3 – Схема двошарового зернистого фільтра**

1 – подача стічної води; 2 – відведення промивної води; 3 – відведення фільтрату; 4 – подача промивної води; 5 – розподільча кишеня; 6 – жолоба для розподілу стічної води та відведення промивної; 7 – фільтруюче завантаження з антрациту; 8 – фільтруюче завантаження з піску; 9 – підтримуючий шар

Верхній шар завантаження товщиною 0,4-0,5 м складається з кварцового піску крупністю зерен 1,2-2 мм, нижній шар (кварцовий пісок) має товщину 0,6-0,7 м і крупність зерен 0,7-1,6 мм. Крім кварцового піску, в верхніх шарах може бути застосований подрібнений антрацит або керамзит. Підтримуючий шар висотою 0,55-0,8 м складається з гравію крупністю 2-400 мм.

Двошарове завантаження забезпечує більш рівномірний розподіл забруднень за висотою фільтра, збільшення тривалості його роботи. Цикл

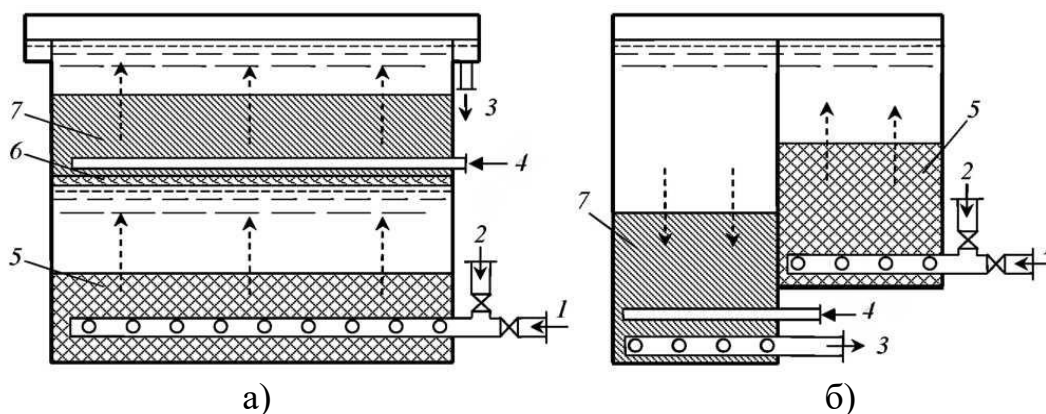
фільтрування складає 24 години. Промивання фільтрів здійснюється потоком води знизу вгору.

До недоліків роботи таких фільтрів слід віднести складність створення двошарового завантаження, завищений будівельний об'єм фільтра, можливість винесення зерен з верхнього шару завантаження.

Ефект доочищення для таких фільтрів за вмістом завислих речовин складає 70-80%, за показником БСК<sub>повн</sub> – 60-70%.

### *Аеровані зернисті фільтри*

В аерований зернистий фільтр (рис. 2.4) в процесі фільтрації вводиться і рівномірно розподіляється в товщі завантаження стиснене повітря або кисень, що сприяє інтенсифікації біохімічного процесу всередині фільтра. Процес очищення від забруднень в аерованих зернистих фільтрах відбувається в два етапи. На першому етапі видаляються завислі речовини, на другому – розчинні та колоїдні органічні забруднення.



**Рисунок 2.4 – Схема аерованого зернистого фільтра**

а – двошарового; б – двохступеневого;

1 – подача стічної води; 2 – подача промивної води; 3 – відведення фільтрату та промивної води; 4 – подача повітря; 5 – завантаження першого ярусу (ступеня); 6 – дірчаста перегородка; 7 – завантаження другого ярусу (ступеня)

В якості фільтруючого завантаження застосовується кварцовий пісок крупністю 1-1,8 мм при висоті шару 1 м та гранітний щебінь крупністю зерен 3-6 мм при висоті шару 1-1,5 м. Підтримуючий шар складається з гравію крупністю 2-32 мм і висотою 0,45 м.

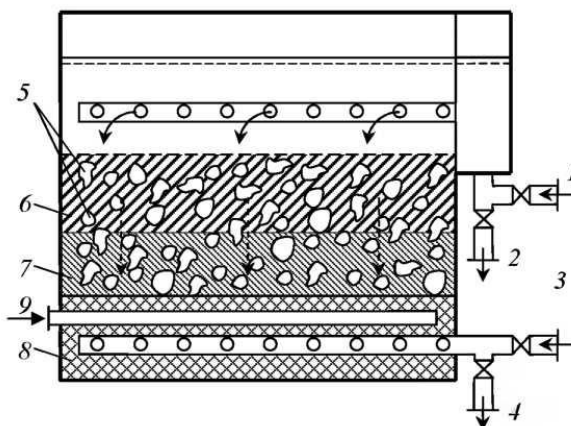
Ефект доочищення для таких фільтрів за вмістом завислих речовин складає 80-90%, за показником БСК<sub>повн</sub> – 75-80%.

### *Каркасно-засипні фільтри*

За конструкцією каркасно-засипні фільтри (КЗФ) являють собою двошарові фільтри з низхідним потоком стічної води (рис. 2.5).

Завантаження каркасно-засипного фільтра складається з каркаса, в якості якого використовується гравій або щебінь з розміром фракції 40-60 мм, і

засипки, що складається з кварцового піску крупністю 0,8-1 мм. Забруднена вода проходить спочатку через шар каркаса, де очищується від основної маси забруднень, а потім надходить на доочищення в нижні шари завантаження.



**Рисунок 2.5 – Схема каркасно-засипного зернистого фільтра**

1 – подача стічної води; 2 – відведення промивної води; 3 – подача промивної води; 4 – відведення фільтрату; 5 – гравійний каркас; 6 та 7 – крупно- і дрібнозернисте завантаження; 8 – підтримуючий шар; 9 – подача повітря

До переваг каркасно-засипних фільтрів слід віднести:

- стабільність очищення води при значних коливаннях якісного та кількісного складу стічної води;
- можливість використання контактної коагуляції, яка дозволяє при тій же швидкості фільтрування досягти кінцевих концентрацій завислих речовин 3 мг/л і нафтопродуктів 1-1,5 мг/л.

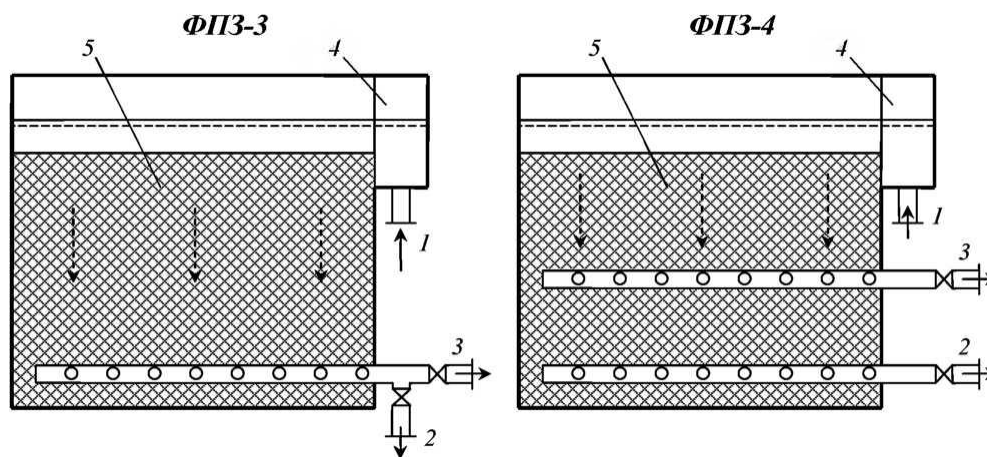
Тривалість фільтроциклу становить 20 годин. Промивання фільтра може бути водоповітряне або водяне. При водоповітряному промиванні воду в фільтрі спускають до рівня піску, подають повітря та воду для промивання, а потім здійснюється додаткове промивання водою.

Ефект доочищення для таких фільтрів за вмістом завислих речовин складає 70-80%, за показником БСК<sub>повн</sub> – 70%.

#### *Фільтри з плаваючим завантаженням із спіненого полістиролу*

Останнім часом для фільтрування все більш широко застосовуються полімерні матеріали з пористістю до 95%, які дозволяють суттєво підвищити швидкість фільтрування, тривалість фільтроциклу та скоротити витрати на очищення. Перевагами полімерних фільтрів також є дуже висока брудоемкість, що складає 40-200 кг/м<sup>3</sup> завантаження, невисокі витрати напору, простота конструкції, надійність роботи.

Розроблено декілька конструкцій фільтрів з завантаженням із спіненого полістиролу з розмірами гранул 0,5-12 мм та пор 0,8-1,2 мм, з яких для доочищення стічних вод найбільш ефективними є фільтри марок ФПЗ-3 і ФПЗ-4 (рис. 2.6).



**Рисунок 2.6 – Схема фільтрів з плаваючим завантаженням із спіненого полістиролу**

1 – подача стічної води; 2 – відведення промивної води; 3 – відведення фільтрату; 4 – розподільча кишеня; 5 – плаваюче завантаження

Вихідна вода по трубопроводу надходить до надфільтрового простору, фільтрується через плаваюче завантаження зверху вниз в напрямку спадної крупності гранул полістиролу. Фільтрат збирається середньою дренажною трубою (в ФПЗ-4) або нижньою трубою (в ФПЗ-3) і виводиться з фільтра.

При досягненні граничних втрат напору, завантаження фільтра промивається. Регенерація плаваючого завантаження здійснюється в низхідному потоці освітленої води. Для цього закривають засувку на подачу стічної води до фільтра і відкривають засувку на відведення фільтрату з фільтра. Вода з фільтрового простору спрямовується вниз, розширюється і відмиває завантаження. При зниженні рівня води в надфільтровому об'ємі до мінімального (2 хвилини або після закінчення відповідного часу) промивання припиняється шляхом закриття засувки на відведення фільтрату з фільтра.

Завантаження фільтрів складається з гранул полістиролу, крупність яких зменшується в напрямку руху рідини, тобто зверху вниз.

Висота шару завантаження становить 1,0-1,2 м. Такі фільтри можна використовувати для доочищення як механічно очищених виробничих стоків (металургійна, хімічна та легка промисловість), так і біологічно очищених міських стічних вод або їх суміші з виробничими водами.

Ефект доочищення для таких фільтрів за вмістом завислих речовин складає 70-85%, за показником БСК<sub>повн</sub> – 65-75%.

В табл. 2.1 наведено характеристику основних типів фільтрів та показники ефективності їхнього очищення.

Таблиця 2.1 – Галузь застосування фільтрів і ефективність їхнього очищення

| Тип фільтра                                   | Галузь застосування фільтра                                                                                                                                    | Ефективність очищення, % |                         |
|-----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|-------------------------|
|                                               |                                                                                                                                                                | за БСК <sub>повн</sub>   | за завислими речовинами |
| Одношарові дрібнозернисті з низхідним потоком | Доочищення виробничих стічних вод після механічного очищення для затримання дрібодисперсних завислих частинок, а також біологічно очищених міських стічних вод | 50-60                    | 70-75                   |
| Одношарові крупнозернисті з низхідним потоком |                                                                                                                                                                | 35-40                    | 45-50                   |
| Одношарові з висхідним потоком                |                                                                                                                                                                | 50-65                    | 70-85                   |
| Двошарові                                     | Доочищення виробничих або побутових стічних вод, які не містять волокнистих домішок і речовин, що клеяться                                                     | 60-70                    | 70-80                   |
| Аеровані                                      | Глибоке видалення колоїдних і розчинених органічних забруднень                                                                                                 | 75-80                    | 80-90                   |
| Каркасно-засипні                              | Доочищення виробничих або біологічно очищених міських стічних вод, загального стоку машинобудівних заводів                                                     | 70                       | 70-80                   |
| З плаваючим завантаженням                     | Доочищення механічно очищених виробничих стічних вод (металургійна, хімічна та легка промисловість), а також біологічно очищених міських стічних вод           | 65-75                    | 70-85                   |

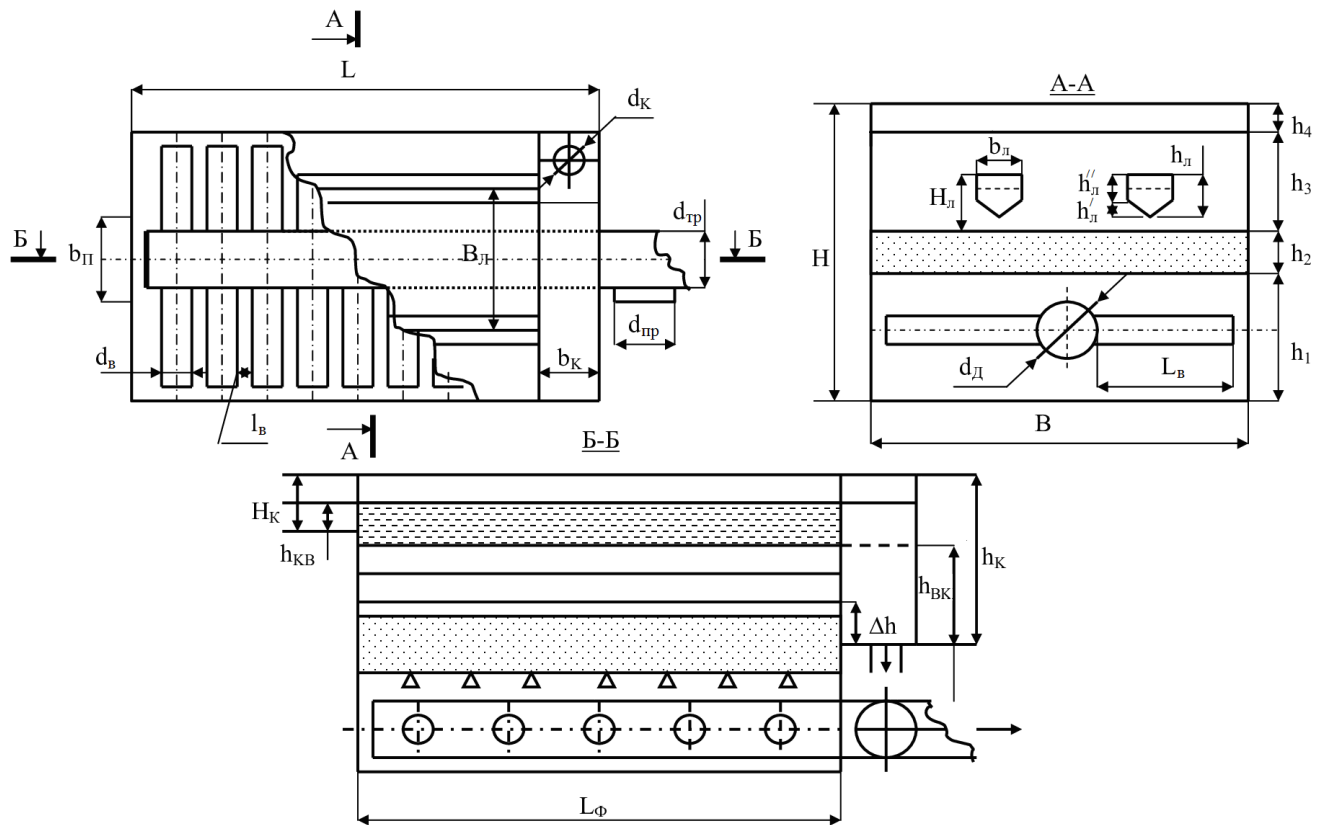
## ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

### Порядок розрахунку параметрів одношарових фільтрів з дрібнозернистим піщаним завантаженням

Розрахунок одношарових фільтрів з дрібнозернистим піщаним завантаженням виконується відповідно до схеми, наведеної на рис. 2.7.

Основні розрахункові характеристики фільтрів з дрібнозернистим піщаним завантаженням наведено в табл. Б.1.1-Б.1.3 Додатка Б.

Одношарові фільтри з дрібнозернистим піщаним завантаженням відносяться до фільтрів з низхідним потоком стічних вод, для яких передбачається водяне (одноступеневе) або водно-повітряне (трьохступеневе) промивання фільтруючого завантаження. Найчастіше застосовується водно-повітряне (трьохступеневе) промивання фільтруючого завантаження.



**Рисунок 2.7 – Розрахункова схема одношарових фільтрів з дрібнозернистим піщаним завантаженням**

1. Необхідна площа одношарових фільтрів при водно-повітряному (трьохступеневому) промиванні фільтруючого завантаження визначається за формулою:

$$F_{\phi} = \frac{Q_{\text{доба}}}{T \cdot V_H - 3,6 \cdot n_{\text{пром}} \cdot (w_1 \cdot t_1 + w_2 \cdot t_2 + w_3 \cdot t_3) - n_{\text{пром}} \cdot t_4 \cdot V_H}, \text{ м}^2, \quad (2.1)$$

$Q_{\text{доба}}$  – витрати стічних вод, що надходять на доочищення в одношарові фільтри з дрібнозернистим піщаним завантаженням за добу та визначаються за формулою:

$$Q_{\text{доба}} = q_c \cdot 3600 \cdot 24, \text{ м}^3/\text{добу}, \quad (2.2)$$

$q_c$  – середньо-секундні витрати стічних вод, що надходять на доочищення в одношарові фільтри з дрібнозернистим піщаним завантаженням,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$T$  – тривалість роботи станції очищення впродовж доби, години;

$V_H$  – швидкість фільтрування при нормальному режимі експлуатації одношарових фільтрів з дрібнозернистим піщаним завантаженням,  $\text{м}/\text{годину}$ , що приймається відповідно даних, наведених в табл. Б.1.1 Додатка Б;

$w_1$  – інтенсивність первісного розпушування верхнього шару завантаження одношарового фільтра (подачі повітря),  $\frac{\text{л}}{\text{с} \cdot \text{м}^2}$ ;

$t_1$  – тривалість подачі повітря (розпушування), години;

$w_2$  – інтенсивність подачі води для водно-повітряного промивання,  $\frac{\text{л}}{\text{с} \cdot \text{м}^2}$ ;

$t_2$  – тривалість водно-повітряного промивання, години;

$w_3$  – інтенсивність подачі води на відмивання одношарового фільтра,  $\frac{л}{с \cdot м^2}$ ;

$t_3$  – тривалість відмивання одношарового фільтра водою, години;

$t_4$  – час простою одношарового фільтра в зв'язку з промиванням ( $t_4=0,33$  години при промиванні водою,  $t_4=0,5$  години при промиванні водою та повітрям);

$n_{пром}$  – кількість промивань одного одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням за добу при нормальному режимі експлуатації, що визначається за формулою:

$$n_{пром} = \frac{24}{t_{\phi}}, \quad (2.3)$$

$t_{\phi}$  – тривалість фільтроциклу при робочому (нормальному) режимі експлуатації одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням, яку рекомендується приймати  $t_{\phi}=8-12$  годин.

Отримане значення  $n_{пром}$  округлюється до максимально цілого числа. Зазвичай величина  $n_{пром}$  дорівнює 2 або 3.

Значення  $w_1$ ,  $t_1$ ,  $w_2$ ,  $t_2$ ,  $w_3$ ,  $t_3$  приймаються відповідно даних, наведених в табл. Б.1.2 Додатка Б. Крім того, значення  $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$ , хвилини  $\rightarrow$  години.

2. Кількість одношарових фільтрів з дрібнозернистим піщаним завантаженням визначається за формулою:

$$N_{\phi} = 0,5 \cdot \sqrt{F_{\phi}}, \text{ штуки.} \quad (2.4)$$

Отримане значення  $N_{\phi}$  округлюється до максимально цілого числа.

Кількість одношарових фільтрів на станції очищення продуктивністю  $Q_{доба} \leq 1600 \text{ м}^3/\text{добу}$  повинна бути не меншою двох. При  $Q_{доба} \geq 1600 \text{ м}^3/\text{добу}$  кількість фільтрів повинна бути не меншою чотирьох.

3. Площа одного одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням визначається за формулою:

$$F_1 = \frac{F_{\phi}}{N_{\phi}}, \text{ м}^2. \quad (2.5)$$

Площа одного фільтра не повинна перевищувати 100-120  $\text{м}^2$ . Якщо ця умова не виконується, необхідно збільшувати кількість фільтрів  $N_{\phi}$  та здійснювати перерахунок.

4. Підбираються розміри одного одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням в плані.

Ширина одношарового фільтра визначається за формулою:

$$B = \sqrt{\frac{F_1}{K_L}}, \text{ м,} \quad (2.6)$$

$K_L$  – коефіцієнт, який рекомендується приймати  $K_L=1-1,5$ .

Отримане значення  $B$  округлюється до першого знака після коми.

Довжина робочої частини одношарового фільтра визначається за формулою:

$$L_{\phi} = K_L \cdot B, \text{ м.} \quad (2.7)$$

Отримане значення  $L_\phi$  округлюється до першого знака після коми.

5. Підбирається склад дрібнозернистого піщаного завантаження одношарового фільтра.

Відповідно до заданого завантаження (табл. Б.1.1 Додатка Б) приймається висота фільтруючого шару  $h_2 = \text{_____}$  м.

Підтримуючий шар – гравій. Загальна висота підтримуючого шару приймається в залежності від крупності зерен завантаження за табл. Б.1.3 Додатка Б, тобто  $h_1 = \sum h_{n.ш.}^i = h_{n.ш.}^1 + h_{n.ш.}^2 + h_{n.ш.}^3 + h_{n.ш.}^4 = \text{_____}$  м.

6. Загальна глибина одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням визначається за формулою:

$$H = h_1 + h_2 + h_3 + h_4, \text{ м}, \quad (2.8)$$

$h_3$  – висота шару води над поверхнею шару фільтруючого завантаження, яку рекомендується приймати  $h_3 \geq 2$  м;

$h_4$  – перевищення будівельної висоти над розрахунковим рівнем води, яке рекомендується приймати  $h_4 \geq 0,5$  м.

7. Перевіряється швидкість фільтрування.

Швидкість фільтрування при форсованому режимі експлуатації одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням визначається за формулою:

$$V'_\phi = V_H \cdot \frac{N_\phi}{N_\phi - N_p}, \text{ м/годину}, \quad (2.9)$$

$N_p$  – кількість фільтрів, що знаходяться в ремонті. При  $N_\phi < 20$  приймають  $N_p = 1$ ; при  $N_\phi \geq 20$  –  $N_p = 2$ .

Отримане значення  $V'_\phi$  повинно відповідати рекомендованому в табл. Б.1.1 Додатка Б діапазону. Відхилення від рекомендованих значень швидкості фільтрування при форсованому режимі експлуатації одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням можливо в розмірі не більше (менше) 5%:

$$\Delta V_\phi = \left| \frac{(V'_\phi - V_\phi)}{V_\phi} \cdot 100\% \right| \leq 5\%,$$

$V_\phi$  – швидкість фільтрування при форсованому режимі експлуатації одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням, м/годину, що приймається відповідно даних, наведених в табл. Б.1.1 Додатка Б.

Якщо ця умова не виконується, необхідно збільшувати (зменшувати) значення швидкості фільтрування при нормальному режимі експлуатації ( $V_H$ ) одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням та здійснювати перерахунок.

8. Діаметр трубопроводу, що підводить стічну воду на доочищення в одношарові фільтри з дрібнозернистим піщаним завантаженням, визначається за формулою:

$$D_{mp} = \sqrt{\frac{4 \cdot q_c}{\pi \cdot v_{mp}}}, \text{ м}, \quad (2.10)$$

$v_{mp}$  – швидкість руху води в колекторі, що підводить стічну воду на доочищення в одношарові фільтри з дрібнозернистим піщаним завантаженням, яку рекомендується приймати  $v_{mp}=0,8-1,5$  м/с.

Отримане значення  $D_{mp}$  округлюється до стандартного розміру діаметра.

9. Діаметр трубопроводу, що підводить стічну воду на доочищення в один одношаровий фільтр з дрібнозернистим піщаним завантаженням, визначається за формулою:

$$d_{mp} = \sqrt{\frac{4 \cdot q_c}{\pi \cdot N_{\phi} \cdot v_{mp}}}, \text{ м.} \quad (2.11)$$

Отримане значення  $d_{mp}$  округлюється до стандартного розміру діаметра.

10. Значення швидкостей руху води в колекторі, що підводить стічну воду на доочищення в одношарові фільтри (один одношаровий фільтр) з дрібнозернистим піщаним завантаженням, уточнюються за формулами:

$$(v_{mp})' = \frac{4 \cdot q_c}{\pi \cdot (D_{mp})^2}, \text{ м/с;} \quad (2.12)$$

$$(v_{mp})' = \frac{4 \cdot q_c}{\pi \cdot N_{\phi} \cdot (d_{mp})^2}, \text{ м/с.} \quad (2.13)$$

Отримані значення  $(v_{mp})'$  повинні відповідати рекомендованому діапазону  $v_{mp}=0,8-1,5$  м/с. Якщо ця умова не виконується, необхідно збільшувати (зменшувати) стандартний діаметр  $D_{mp}$  ( $d_{mp}$ ) та здійснювати перерахунок.

11. Ширина водорозподільчого каналу одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням визначається за формулою:

$$B_k = K_n \cdot d_{mp}, \text{ м,} \quad (2.14)$$

$K_n$  – коефіцієнт запасу, який рекомендується приймати  $K_n=1,1-1,25$ .

Отримане значення  $B_k$  округлюється до першого знака після коми.

12. Глибина води у водорозподільчому каналі (у каналі, що підводить стічну воду на доочищення в одношарові фільтри з дрібнозернистим піщаним завантаженням) визначається за формулою:

$$h_{kv} = h_{nv} = \frac{q_c}{B_k \cdot v_{kan}}, \text{ м,} \quad (2.15)$$

$v_{kan}$  – швидкість руху води в каналі, яку рекомендується приймати  $v_{kan}=0,8-1,5$  м/с (бажано, щоб значення  $v_{kan}=v_{mp}$ ).

Отримане значення  $h_{kv}$  ( $h_{nv}$ ) округлюється до першого знака після коми.

13. Глибини водорозподільчого каналу (каналу, що підводить стічну воду на доочищення в одношарові фільтри з дрібнозернистим піщаним завантаженням) визначаються за формулами:

$$H_k = h_{kv} + h_4, \text{ м;} \quad (2.16)$$

$$H_n = h_{nv} + h_4, \text{ м.} \quad (2.17)$$

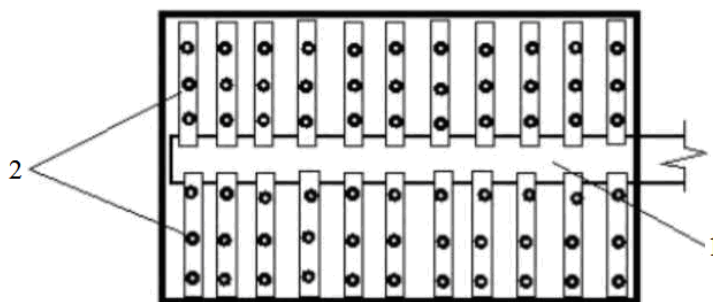
14. Ширина каналу, що підводить стічну воду на доочищення в одношаровий фільтр дрібнозернистим піщаним завантаженням, визначається за формулою:

$$b_n = \frac{q_c}{N_{\phi} \cdot h_{nv} \cdot v_{kan}}, \text{ м.} \quad (2.18)$$

Отримане значення  $b_n$  округлюється до першого (другого – якщо отримане значення невелике) знака після коми.

15. Розрахунок дренажної (розподільчої) системи одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням.

Дренажна (розподільча) система в фільтрах (рис. 2.8) призначена, як для збору та відведення фільтрату (доочищеної води), так і для рівномірного розподілу промивної води за площею фільтра.



**Рисунок 2.8 – Дренажна (розподільча) система одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням**

1 – колектор розподільчої системи; 2 – відгалуження розподільчої системи (дірчасті труби)

15.1. Витрати промивної води визначаються за формулою:

$$q_{np} = \frac{F_1 \cdot W_{вода}}{1000}, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (2.19)$$

$W_{вода}$  – інтенсивність подачі води на промивання фільтруючого завантаження,  $\frac{\text{л}}{\text{с} \cdot \text{м}^2}$ . Для визначення витрат промивної води з табл. Б.2

Додатка Б, в якій наведено характеристику режимів промивання даного типу фільтра, обирається найбільше значення інтенсивності.

15.2. Діаметр колектора дренажної (розподільчої) системи одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням визначається за формулою:

$$d_\phi = \sqrt{\frac{4 \cdot q_{np}}{\pi \cdot v_\phi}}, \text{ м}, \quad (2.20)$$

$v_\phi$  – швидкість руху промивної води на початку колектора дренажної (розподільчої) системи одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням, яку рекомендується приймати  $v_\phi = 1,5-2,0$  м/с.

Отримане значення  $d_\phi$  округлюється до стандартного розміру діаметра.

15.3. Значення швидкості руху промивної води на початку колектора дренажної (розподільчої) системи одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням уточнюється за формулою:

$$(v_\phi)' = \frac{4 \cdot q_{np}}{\pi \cdot (d_\phi)^2}, \text{ м/с}. \quad (2.21)$$

Отримане значення  $(v_d)'$  повинно відповідати рекомендованому діапазону  $v_d=1,5-2,0$  м/с. Якщо ця умова не виконується, необхідно збільшувати (зменшувати) стандартний діаметр  $d_d$  та здійснювати перерахунок.

15.4. Кількість відгалужень дренажної (розподільчої) системи одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням визначається за формулою:

$$N_e = \frac{2 \cdot L_\phi}{l_e}, \text{ штуки,} \quad (2.22)$$

$l_e$  – відстань між відгалуженнями дренажної (розподільчої) системи одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням, яку рекомендується приймати  $l_e=0,25-0,35$  м.

Отримане значення  $N_e$  округлюється до парного цілого числа, тому що відгалуження розташовуються з двох сторін центрального колектора дренажної (розподільчої) системи фільтра (див. рис. 2.8).

Таким чином, з кожної сторони колектора дренажної (розподільчої) системи одношарового фільтра розміщують  $\frac{N_e}{2} = \text{---}$  штук відгалужень.

15.5. Відстань між відгалуженнями дренажної (розподільчої) системи одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням уточнюється за формулою:

$$(l_e)' = \frac{2 \cdot L_\phi}{N_e}, \text{ м.} \quad (2.23)$$

Отримане значення  $(l_e)'$  повинно відповідати рекомендованому діапазону  $l_e=0,25-0,35$  м. Якщо ця умова не виконується, необхідно збільшувати (зменшувати) кількість відгалужень дренажної (розподільчої) системи одношарового фільтра  $N_e$  та здійснювати перерахунок.

15.6. Діаметр відгалужень дренажної (розподільчої) системи одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням визначається за формулою:

$$d_e = \sqrt{\frac{4 \cdot q_{np}}{\pi \cdot N_e \cdot v_e}}, \text{ м,} \quad (2.24)$$

$v_e$  – швидкість руху промивної води на початку відгалужень дренажної (розподільчої) системи одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням, яку рекомендується приймати  $v_e=1,5-2,0$  м/с (бажано, щоб значення  $v_e=(v_d)'$ ).

Отримане значення  $d_e$  округлюється до стандартного розміру діаметра.

15.7. Значення швидкості руху промивної води на початку відгалужень дренажної (розподільчої) системи одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням уточнюється за формулою:

$$(v_e)' = \frac{4 \cdot q_{np}}{\pi \cdot N_e \cdot (d_e)^2}, \text{ м/с.} \quad (2.25)$$

Отримане значення  $(v_e)'$  повинно відповідати рекомендованому діапазону  $v_e=1,5-2,0$  м/с. Якщо ця умова не виконується, необхідно збільшувати (зменшувати) стандартний діаметр  $d_e$  та здійснювати перерахунок.

15.8. Довжина відгалужень дренажної (розподільчої) системи одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням визначається за формулою:

$$L_g = 0,9 \cdot \left( \frac{B - d_o}{2} \right), \text{ м.} \quad (2.26)$$

Отримане значення  $L_g$  округлюється до першого знака після коми.

15.9. Загальна площа всіх отворів у відгалуженнях дренажної (розподільчої) системи складає 0,18-0,22% від робочої площі одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням.

Необхідна сумарна площа всіх отворів у відгалуженнях дренажної (розподільчої) системи одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням визначається за формулою:

$$\sum f_o = \frac{(0,18 \div 0,22) \cdot F_1}{100}, \text{ м}^2. \quad (2.27)$$

15.10. Приймається діаметр одного отвору на відгалуженні дренажної (розподільчої) системи одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням, величину якого рекомендується приймати  $d_o = 10-12 \text{ мм} = 0,01-0,012 \text{ м}$ .

15.11. Площа одного отвору на відгалуженні дренажної (розподільчої) системи одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням визначається за формулою:

$$f_o = \frac{\pi \cdot (d_o)^2}{4}, \text{ м}^2. \quad (2.28)$$

15.12. Загальна кількість отворів у дренажній (розподільчій) системі одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням визначається за формулою:

$$\sum n_o = \frac{\sum f_o}{f_o}, \text{ штуки.} \quad (2.29)$$

Отримане значення  $\sum n_o$  округлюється до максимально цілого числа.

15.13. Кількість отворів на одному відгалуженні дренажної (розподільчої) системи одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням визначається за формулою:

$$n_o = \frac{\sum n_o}{N_g}, \text{ штуки.} \quad (2.30)$$

Отримане значення  $n_o$  округлюється до парного цілого числа, тому що отвори розташовуються з двох сторін одного відгалуження.

Таким чином, з кожної сторони відгалуження дренажної (розподільчої) системи одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням розміщують  $\frac{n_o}{2} = \text{_____}$  штук отворів.

15.14. Відстань між віссю отворів на одному відгалуженні дренажної (розподільчої) системи одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням визначається за формулою:

$$r_o = \frac{L_g}{n_o}, \text{ м.} \quad (2.31)$$

Отримане значення  $r_o$  повинно відповідати рекомендованому діапазону  $r_o=0,15-0,2$  м.

Якщо отримане значення  $r_o$  не відповідає рекомендованому діапазону, необхідно збільшувати (зменшувати) діаметр одного отвору на відгалуженні дренажної (розподільчої) системи фільтра  $d_o$  (або змінювати (зменшувати чи збільшувати) відсоток загальної площі всіх отворів у відгалуженнях дренажної (розподільчої) системи фільтра) та здійснювати перерахунок.

Отвори на відгалуженнях дренажної (розподільчої) системи фільтра розташовуються в два ряди у шаховому порядку під кутом  $45^\circ$  до вертикальної осі.

16. Кількість лотків (жолобів) для рівномірного розподілу стічної води, що надходить на доочищення в одношаровий фільтр з дрібнозернистим піщаним завантаженням, та відведення промивної визначається за формулою:

$$N_{\text{л}} = \frac{B}{B_{\text{л}}}, \text{ штуки,} \quad (2.32)$$

$B_{\text{л}}$  – відстань між віссю сусідніх лотків (жолобів), яку рекомендується приймати  $B_{\text{л}}=1,4-2,2$  м.

Отримане значення  $N_{\text{л}}$  округлюється до максимально цілого числа.

Таким чином, відстань між віссю сусідніх лотків (жолобів) складає  $B_{\text{л}} = \frac{B}{N_{\text{л}}} = \text{---}$  м. Отримане значення  $B_{\text{л}}$  повинно знаходитися в межах рекомендованого діапазону  $B_{\text{л}}=1,4-2,2$  м. Якщо ця умова не виконується, необхідно збільшувати (зменшувати) кількість лотків (жолобів)  $N_{\text{л}}$  та здійснювати перерахунок.

17. Ширина лотка (жолоба) для рівномірного розподілу стічної води, що надходить на доочищення в одношаровий фільтр з дрібнозернистим піщаним завантаженням, та відведення промивної визначається за формулою:

$$b_{\text{л}} = K_{\text{л}} \cdot \sqrt[5]{\frac{\left(\frac{q_{\text{нр}}}{N_{\text{л}}}\right)^2}{(1,57 + a)^3}}, \text{ м,} \quad (2.33)$$

$K_{\text{л}}$  – коефіцієнт, що враховує форму лотка (жолоба) (рис. 2.9) та дорівнює для лотків (жолобів) п'ятикутного перетину  $K_{\text{л}}=2,1$ , для лотків (жолобів) напівкруглого перетину –  $K_{\text{л}}=2$ ;

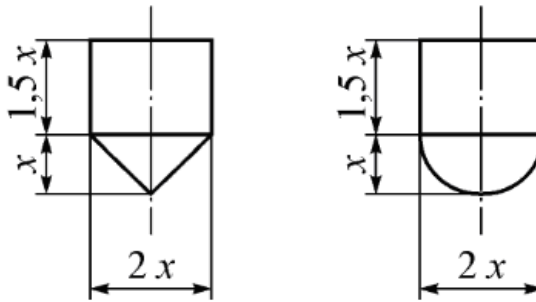
$a$  – відношення висоти прямокутної частини лотка (жолоба) до половини його ширини, яке рекомендується приймати  $a=1,0-1,5$ .

Отримане значення  $b_{\text{л}}$  округлюється до першого знака після коми.

18. Висота прямокутної частини лотка (жолоба) для рівномірного розподілу стічної води, що надходить на доочищення в одношаровий фільтр з дрібнозернистим піщаним завантаженням, та відведення промивної визначається за формулою:

$$h_{\text{л}}'' = 0,75 \cdot b_{\text{л}}, \text{ м.} \quad (2.34)$$

Отримане значення  $h_n''$  округлюється до першого знака після коми.



**Рисунок 2.9 – Перетини лотків (жолобів) різних конструкцій**

19. Корисна висота лотка (жолоба) для рівномірного розподілу стічної води, що надходить на доочищення в одношаровий фільтр з дрібнозернистим піщаним завантаженням, та відведення промивної визначається за формулою:

$$h_n = 1,25 \cdot b_n, \text{ м.} \quad (2.35)$$

Отримане значення  $h_n$  округлюється до першого знака після коми.

20. Висота трикутної (напівкруглої) частини лотка (жолоба) для рівномірного розподілу стічної води, що надходить на доочищення в одношаровий фільтр з дрібнозернистим піщаним завантаженням, та відведення промивної визначається за формулою:

$$h_n' = h_n - h_n'', \text{ м.} \quad (2.36)$$

21. Конструктивна висота лотка (жолоба) для рівномірного розподілу стічної води, що надходить на доочищення в одношаровий фільтр з дрібнозернистим піщаним завантаженням, та відведення промивної з врахуванням товщини стінки визначається за формулою:

$$h_n^k = h_n + 0,08, \text{ м.} \quad (2.37)$$

22. Повна глибина лотка (жолоба) для рівномірного розподілу стічної води, що надходить на доочищення в одношаровий фільтр з дрібнозернистим піщаним завантаженням, та відведення промивної біля водозбірної кишені визначається за формулою:

$$h_{лк} = h_n^k + L_{\phi} \cdot i, \text{ м,} \quad (2.38)$$

$i$  – ухил лотка (жолоба) у бік водозбірної кишені, що дорівнює  $i=0,01$ .

Отримане значення  $h_{лк}$  округлюється до першого знака після коми.

23. Висота розташування кромek лотків (жолобів) для рівномірного розподілу стічної води, що надходить на доочищення в одношаровий фільтр з дрібнозернистим піщаним завантаженням, та відведення промивної над поверхнею фільтруючого завантаження визначається за формулою:

$$H_n = \frac{h_2 \cdot e}{100} + 0,3, \text{ м,} \quad (2.39)$$

$e$  – відносне розширення фільтруючого завантаження при промиванні фільтра, яке рекомендується приймати: для одношарових фільтрів з дрібнозернистим завантаженням  $e=45\%$ ; для одношарових фільтрів з середньозернистим завантаженням  $e=30\%$ ; для одношарових фільтрів з

грубозернистим завантаженням  $e=25\%$ ; для фільтрів з двошаровим завантаженням  $e=50\%$ .

Якщо  $H_{\text{л}} < h_{\text{л}}^{\kappa}$ , то приймається умова, що відстань від низу лотка (жолоба) до верха фільтруючого завантаження повинна дорівнювати  $\Delta h_{\text{л}}^{\kappa} = 0,05-0,06$  м, тобто

$$H_{\text{л}} = h_{\text{л}}^{\kappa} + \Delta h_{\text{л}}^{\kappa}, \text{ м.} \quad (2.40)$$

Отримане значення  $H_{\text{л}}$  округлюється до першого знака після коми.

24. Діаметр трубопроводу відведення промивної води з одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням визначається за формулою:

$$d_{\text{np}} = \sqrt{\frac{4 \cdot q_{\text{np}}}{\pi \cdot v_{\text{np}}}}, \text{ м,} \quad (2.41)$$

$v_{\text{np}}$  – швидкість руху промивної води в кінці трубопроводу, яку рекомендується приймати  $v_{\text{np}} = 1,0-1,5$  м/с.

Отримане значення  $d_{\text{np}}$  округлюється до стандартного розміру діаметра.

25. Значення швидкості руху промивної води в кінці трубопроводу уточнюється за формулою:

$$(v_{\text{np}})' = \frac{4 \cdot q_{\text{np}}}{\pi \cdot (d_{\text{np}})^2}, \text{ м/с.} \quad (2.42)$$

Отримане значення  $(v_{\text{np}})'$  повинно відповідати рекомендованому діапазону  $v_{\text{np}} = 1,0-1,5$  м/с. Якщо ця умова не виконується, необхідно збільшувати (зменшувати) стандартний діаметр  $d_{\text{np}}$  та здійснювати перерахунок.

26. Ширина водозбірної кишені одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням визначається за формулою:

$$b_{\kappa} = K_{\text{н}} \cdot d_{\text{np}}, \text{ м,} \quad (2.43)$$

$K_{\text{н}}$  – коефіцієнт запасу, який рекомендується приймати  $K_{\text{н}} = 1,1-1,25$ .

Отримане значення  $b_{\kappa}$  округлюється до першого знака після коми.

Ширину водозбірної кишені одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням рекомендується приймати  $b_{\kappa} \geq 0,7$  м.

27. Глибина промивної води у водозбірній кишені одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням визначається за формулою:

$$h_{\text{вк}} = \frac{q_{\text{np}}}{b_{\kappa} \cdot (v_{\text{np}})'}, \text{ м.} \quad (2.44)$$

Отримане значення  $h_{\text{вк}}$  округлюється до першого знака після коми.

28. Відстань від днища лотка (жолоба) для рівномірного розподілу стічної води, що надходить на доочищення в одношаровий фільтр з дрібнозернистим піщаним завантаженням, та відведення промивної до днища водозбірної кишені визначається за формулою:

$$\Delta h = 1,73 \cdot \sqrt[3]{\frac{(q_{\text{np}})^2}{(b_{\kappa})^2 \cdot g}} + 0,2, \text{ м.} \quad (2.45)$$

Отримане значення  $\Delta h$  округлюється до першого знака після коми.

29. Площа поперечного перетину водозбірної кишені одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням визначається за формулою:

$$f_{\kappa} = b_{\kappa} \cdot \Delta h, \text{ м}^2. \quad (2.46)$$

30. Швидкість руху промивної води в кінці водозбірної кишені одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням визначається за формулою:

$$V_{\kappa} = \frac{q_{np}}{f_{\kappa}}, \text{ м/с.} \quad (2.47)$$

Отримане значення  $V_{\kappa}$  повинно відповідати рекомендованій величині  $V_{\kappa} \geq 0,8 \text{ м/с}$ .

31. Повна глибина водозбірної кишені одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням визначається за формулою:

$$h_{\kappa} = h_{\text{лк}} + \Delta h + h_4, \text{ м.} \quad (2.48)$$

32. Повна довжина одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням визначається за формулою:

$$L = L_{\phi} + b_{\kappa}, \text{ м.} \quad (2.49)$$

33. Діаметр трубопроводу для відведення води після її доочищення в одношарових фільтрах з дрібнозернистим піщаним завантаженням визначається за формулою:

$$D_{\kappa} = \sqrt{\frac{4 \cdot q_c}{\pi \cdot v_{\kappa}}}, \text{ м,} \quad (2.50)$$

$v_{\kappa}$  – швидкість руху доочищеної води в кінці трубопроводу, яку рекомендується приймати  $v_{\kappa} = 1,0-1,5 \text{ м/с}$ .

Отримане значення  $D_{\kappa}$  округлюється до стандартного розміру діаметра.

34. Діаметр трубопроводу для відведення води після її доочищення в одному одношаровому фільтрі з дрібнозернистим піщаним завантаженням визначається за формулою:

$$d_{\kappa} = \sqrt{\frac{4 \cdot q_c}{\pi \cdot N_{\phi} \cdot v_{\kappa}}}, \text{ м.} \quad (2.51)$$

Отримане значення  $d_{\kappa}$  округлюється до стандартного розміру діаметра.

35. Значення швидкостей руху води в кінці трубопроводу для відведення після її доочищення в одношарових фільтрах (одному одношаровому фільтрі) з дрібнозернистим піщаним завантаженням уточнюються за формулами:

$$(v_{\kappa})' = \frac{4 \cdot q_c}{\pi \cdot (D_{\kappa})^2}, \text{ м/с;} \quad (2.52)$$

$$(v_{\kappa})' = \frac{4 \cdot q_c}{\pi \cdot N_{\phi} \cdot (d_{\kappa})^2}, \text{ м/с.} \quad (2.53)$$

Отримані значення  $(v_{\kappa})'$  повинні відповідати рекомендованому діапазону  $v_{\kappa} = 1,0-1,5 \text{ м/с}$ . Якщо ця умова не виконується, необхідно збільшувати (зменшувати) стандартний діаметр  $D_{\kappa}$  ( $d_{\kappa}$ ) та здійснювати перерахунок.

36. Розрахунок повітряної розподільчої системи одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням.

36.1. Витрати повітря визначаються за формулою:

$$q_{\text{повітря}} = \frac{F_1 \cdot W_{\text{повітря}}}{1000}, \text{ м}^3/\text{с,} \quad (2.54)$$

$W_{\text{повітря}}$  – інтенсивність подачі повітря, значення якої обирається з табл. Б.2 Додатка Б, в якій наведено характеристику режимів промивання даного типу фільтра,  $\frac{л}{с \cdot м^2}$ .

36.2. Діаметр колектора повітряної розподільчої системи одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням визначається за формулою:

$$d_{\phi}^n = \sqrt{\frac{4 \cdot q_{\text{повітря}}}{\pi \cdot v_{\text{повітря}}}}, \text{ м}, \quad (2.55)$$

$v_{\text{повітря}}$  – швидкість руху повітря на вході в колектор повітряної розподільчої системи одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням, яку рекомендується приймати  $v_{\text{повітря}}=7-10$  м/с.

Отримане значення  $d_{\phi}^n$  округлюється до стандартного розміру діаметра.

36.3. Значення швидкості руху повітря на вході в колектор повітряної розподільчої системи одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням уточнюється за формулою:

$$(v_{\text{повітря}})' = \frac{4 \cdot q_{\text{повітря}}}{\pi \cdot (d_{\phi}^n)^2}, \text{ м/с}. \quad (2.56)$$

Отримане значення  $(v_{\text{повітря}})'$  повинно відповідати рекомендованому діапазону  $v_{\text{повітря}}=7-10$  м/с. Якщо ця умова не виконується, необхідно збільшувати (зменшувати) стандартний діаметр  $d_{\phi}^n$  та здійснювати перерахунок.

36.4. Кількість відгалужень повітряної розподільчої системи одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням визначається за формулою:

$$N_{\phi}^n = \frac{2 \cdot L_{\phi}}{l_{\phi}}, \text{ штуки}, \quad (2.57)$$

$l_{\phi}$  – відстань між відгалуженнями повітряної розподільчої системи одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням, яку рекомендується приймати  $l_{\phi}=0,25-0,35$  м.

Отримане значення  $N_{\phi}^n$  округлюється до парного цілого числа, тому що відгалуження розташовуються з двох сторін повітряної розподільчої системи фільтра.

Таким чином, з кожної сторони колектора повітряної розподільчої системи одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням розміщують

$$\frac{N_{\phi}^n}{2} = \text{____} \text{ штук відгалужень.}$$

36.5. Відстань між відгалуженнями повітряної розподільчої системи одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням уточнюється за формулою:

$$(l_{\phi})' = \frac{2 \cdot L_{\phi}}{N_{\phi}^n}, \text{ м}. \quad (2.58)$$

Отримане значення  $(l_{\phi})'$  повинно відповідати рекомендованому діапазону  $l_{\phi}=0,25-0,35$  м. Якщо ця умова не виконується, необхідно збільшувати (зменшувати) кількість відгалужень повітряної розподільчої системи фільтра  $N_{\phi}^n$  та здійснювати перерахунок.

36.6. Діаметр відгалужень повітряної розподільчої системи одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням визначається за формулою:

$$d_{\epsilon}^n = \sqrt{\frac{4 \cdot q_{\text{повітря}}}{\pi \cdot N_{\epsilon}^n \cdot v_{\epsilon}^n}}, \text{ м}, \quad (2.59)$$

$v_{\epsilon}^n$  – швидкість руху повітря на вході до відгалужень повітряної розподільчої системи одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням, яку рекомендується приймати  $v_{\epsilon}^n = 13-17$  м/с.

Отримане значення  $d_{\epsilon}^n$  округлюється до стандартного розміру діаметра.

36.7. Значення швидкості руху повітря на вході до відгалужень повітряної розподільчої системи одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням уточнюється за формулою:

$$(v_{\epsilon}^n)' = \frac{4 \cdot q_{\text{повітря}}}{\pi \cdot N_{\epsilon}^n \cdot (d_{\epsilon}^n)^2}, \text{ м/с}. \quad (2.60)$$

Отримане значення  $(v_{\epsilon}^n)'$  повинно відповідати рекомендованому діапазону  $v_{\epsilon}^n = 13-17$  м/с. Якщо ця умова не виконується, необхідно збільшувати (зменшувати) стандартний діаметр  $d_{\epsilon}^n$  та здійснювати перерахунок.

36.8. Довжина відгалужень повітряної розподільчої системи одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням визначається за формулою:

$$L_{\epsilon}^n = 0,9 \cdot \left( \frac{B - d_{\epsilon}^n}{2} \right), \text{ м}. \quad (2.61)$$

Отримане значення  $L_{\epsilon}^n$  округлюється до першого знака після коми.

36.9. Кількість отворів на одному відгалуженні повітряної розподільчої системи одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням визначається за формулою:

$$n_o^n = \frac{L_{\epsilon}^n}{l_o^n}, \text{ штуки}, \quad (2.62)$$

$l_o^n$  – відстань між віссю отворів на одному відгалуженні повітряної розподільчої системи одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням, яку рекомендується приймати  $l_o^n = 0,1-0,18$  м.

Отримане значення  $n_o^n$  округлюється до парного цілого числа, тому що отвори розташовуються з двох сторін одного відгалуження.

Таким чином, з кожної сторони відгалуження повітряної розподільчої системи одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням розміщують  $\frac{n_o^n}{2} = \text{---}$  штук отворів.

36.10. Відстань між віссю отворів на одному відгалуженні повітряної розподільчої системи одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням уточнюється за формулою:

$$(l_o^n)' = \frac{L_{\epsilon}^n}{n_o^n}, \text{ м}. \quad (2.63)$$

Отримане значення  $(l_o^n)$  повинно відповідати рекомендованому діапазону  $l_o^n=0,1-0,18$  м. Якщо ця умова не виконується, необхідно збільшувати (зменшувати) кількість отворів на одному відгалуженні повітряної розподільчої системи фільтра  $n_o^n$  та здійснювати перерахунок.

36.11. Діаметр отворів на одному відгалуженні повітряної розподільчої системи одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням визначається за формулою:

$$d_o^n = \sqrt{\frac{4 \cdot q_{\text{повітря}}}{\pi \cdot N_{\varepsilon}^n \cdot n_o^n \cdot v_o^n}}, \text{ м}, \quad (2.64)$$

$v_o^n$  – швидкість виходу повітря з отворів повітряної розподільчої системи одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням, яку рекомендується приймати  $v_o^n=40-50$  м/с.

Отримане значення  $d_o^n$  округлюється до стандартного розміру діаметра.

Діаметр отворів повітряної розподільчої системи одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням рекомендується приймати  $d_o^n=3-5$  мм.

36.12. Значення швидкості виходу повітря з отворів повітряної розподільчої системи одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням уточнюється за формулою:

$$(v_o^n) = \frac{4 \cdot q_{\text{повітря}}}{\pi \cdot N_{\varepsilon}^n \cdot n_o^n \cdot (d_o^n)^2}, \text{ м/с}. \quad (2.65)$$

Отримане значення  $(v_o^n)$  повинно відповідати рекомендованому діапазону  $v_o^n=40-50$  м/с. Якщо ця умова не виконується, необхідно збільшувати (зменшувати) стандартний діаметр  $d_o^n$  та здійснювати перерахунок.

37. Концентрація забруднень у воді після її доочищення в одношарових фільтрах з дрібнозернистим піщаним завантаженням визначається за формулами:

- за вмістом завислих речовин:

$$C_{\text{завис}}^{\text{кінцева}} = C_{\text{завис}}^{\text{поч}} - \left( \frac{E_{\text{завис}} \cdot C_{\text{завис}}^{\text{поч}}}{100} \right), \text{ мг/л}; \quad (2.66)$$

- за показником БСК<sub>повн</sub>:

$$C_{\text{БСК}}^{\text{кінцева}} = C_{\text{БСК}}^{\text{поч}} - \left( \frac{E_{\text{БСК}} \cdot C_{\text{БСК}}^{\text{поч}}}{100} \right), \text{ мг/л}, \quad (2.67)$$

$C_{\text{завис}}^{\text{поч}}$ ,  $C_{\text{БСК}}^{\text{поч}}$  – початкова концентрація завислих речовин та значення показника БСК<sub>повн</sub> в стічних водах, що надходять на доочищення в одношарові фільтри з дрібнозернистим піщаним завантаженням, мг/л;

$E_{\text{завис}}$ ,  $E_{\text{БСК}}$  – ефективність доочищення стічних вод у фільтрах обраного типу за вмістом завислих речовин і показником БСК<sub>повн</sub>, відповідно, значення яких наведено в табл. 2.1.

## **Приклад розрахунку параметрів одношарових фільтрів з дрібнозернистим піщаним завантаженням**

Вихідні дані для розрахунку параметрів одношарових фільтрів з дрібнозернистим піщаним завантаженням:

- середньо-секундні витрати стічних вод, що надходять на доочищення в одношарові фільтри з дрібнозернистим піщаним завантаженням,  $q_c=2,65 \text{ м}^3/\text{с}$ ;
- початкова концентрація завислих речовин в стічних водах, що надходять на доочищення в одношарові фільтри з дрібнозернистим піщаним завантаженням,  $C_{завис}^{поч}=20,5 \text{ мг/л}$ ;
- початкова концентрація значення показника БСК<sub>повн</sub> в стічних водах, що надходять на доочищення в одношарові фільтри з дрібнозернистим піщаним завантаженням,  $C_{БСК}^{поч}=14,5 \text{ мг/л}$ .

### Розрахунок параметрів одношарових фільтрів з дрібнозернистим піщаним завантаженням

1. Витрати стічних вод, що надходять на доочищення в одношарові фільтри з дрібнозернистим піщаним завантаженням за добу визначаємо за формулою (2.2):

$$Q_{доба} = 2,65 \cdot 3600 \cdot 24 = 228960 \text{ м}^3/\text{добу}.$$

Приймаємо тривалість фільтроциклу при робочому (нормальному) режимі експлуатації одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням  $t_\phi=8$  годин.

Кількість промивань одного одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням за добу при нормальному режимі експлуатації визначаємо за формулою (2.3):

$$n_{пром} = \frac{24}{t_\phi} = \frac{24}{8} = 3.$$

Приймаємо тривалість роботи станції очищення впродовж доби  $T=24$  години.

За даними табл. Б.1. Додатка Б приймаємо швидкість фільтрування при нормальному режимі експлуатації одношарових фільтрів з дрібнозернистим піщаним завантаженням  $V_H=7 \text{ м/годину}$ .

За даними табл. Б.2 Додатка Б приймаємо:

- інтенсивність первісного розпушування верхнього шару завантаження одношарового фільтра (подачі повітря)  $w_1=19 \frac{\text{л}}{\text{с} \cdot \text{м}^2}$ ;

- тривалість подачі повітря (розпушування)  $t_1=2$  хвилини = 0,033 години;

- інтенсивність подачі води для водно-повітряного промивання  $w_2=19 \frac{\text{л}}{\text{с} \cdot \text{м}^2}$ ;

- тривалість водно-повітряного промивання  $t_2=11$  хвилин = 0,183 години;

- інтенсивність подачі води на відмивання одношарового фільтра  $w_3=7 \frac{\text{л}}{\text{с} \cdot \text{м}^2}$ ;

- тривалість відмивання одношарового фільтра водою  $t_3=7$  хвилин = 0,117 години.

Приймаємо час простою одношарового фільтра в зв'язку з промиванням водою та повітрям  $t_4=0,5$  години.

Необхідну площу одношарових фільтрів з дрібнозернистим піщаним завантаженням при водно-повітряному (трьохступеневому) промиванні фільтруючого завантаження визначаємо за формулою (2.1):

$$F_{\phi} = \frac{Q_{\text{доба}}}{T \cdot V_H - 3,6 \cdot n_{\text{пром}} \cdot (w_1 \cdot t_1 + w_2 \cdot t_2 + w_3 \cdot t_3) - n_{\text{пром}} \cdot t_4 \cdot V_H}$$

$$= \frac{228960}{24 \cdot 7 - 3,6 \cdot 3 \cdot (19 \cdot 0,033 + 19 \cdot 0,183 + 7 \cdot 0,117) - 3 \cdot 0,5 \cdot 7} = 2194,54 \text{ м}^2.$$

2. Кількість одношарових фільтрів з дрібнозернистим піщаним завантаженням визначаємо за формулою (2.4):

$$N_{\phi} = 0,5 \cdot \sqrt{F_{\phi}} = 0,5 \cdot \sqrt{2194,54} = 23,42 \approx 24 \text{ штуки.}$$

3. Площу одного одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням визначаємо за формулою (2.5):

$$F_1 = \frac{F_{\phi}}{N_{\phi}} = \frac{2194,54}{24} = 91,44 \text{ м}^2.$$

Площа одного одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням не перевищує 100-120 м<sup>2</sup>, тобто умови дотримано і розрахунок виконано вірно.

4. Підбираємо розміри одного одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням в плані.

Приймаємо значення коефіцієнта  $K_L=1,3$ .

Ширину одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням визначаємо за формулою (2.6):

$$B = \sqrt{\frac{F_1}{K_L}} = \sqrt{\frac{91,44}{1,3}} = 8,4 \text{ м.}$$

Довжину робочої частини одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням визначаємо за формулою (2.7):

$$L_{\phi} = K_L \cdot B = 1,3 \cdot 8,4 = 10,9 \text{ м.}$$

5. Підбираємо склад дрібнозернистого піщаного завантаження одношарового фільтра.

За даними табл. Б.1 Додатка Б приймаємо висоту фільтруючого шару  $h_2=1,3$  м.

За даними табл. Б.3 Додатка Б загальну висоту підтримуючого шару приймаємо  $h_1 = \sum h_{n.ш.}^i = h_{n.ш.}^1 + h_{n.ш.}^2 + h_{n.ш.}^3 + h_{n.ш.}^4 = 0,25 + 0,15 + 0,15 + 0,15 = 0,7$  м.

6. Приймаємо висоту шару води над поверхнею шару фільтруючого завантаження  $h_3=2$  м; перевищення будівельної висоти над розрахунковим рівнем води  $h_4=0,5$  м.

Загальну глибину одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням визначаємо за формулою (2.8):

$$H = h_1 + h_2 + h_3 + h_4 = 0,7 + 1,3 + 2 + 0,5 = 4,5 \text{ м.}$$

7. Перевіряємо швидкість фільтрування.

Оскільки  $N_{\phi} > 20$ , приймаємо кількість фільтрів, що знаходяться в ремонті  $N_p = 2$ .

Швидкість фільтрування при форсованому режимі експлуатації одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням визначаємо за формулою (2.9):

$$V_{\phi}' = V_H \cdot \frac{N_{\phi}}{N_{\phi} - N_p} = 7 \cdot \frac{24}{24 - 2} = 7,64 \text{ м/годину.}$$

Отримане значення  $V_{\phi}'$  відповідає рекомендованому в табл. Б.1 Додатка Б діапазону ( $V_{\phi} = 7-8$  м/годину), тобто умови дотримано і розрахунок виконано вірно.

8. Приймаємо швидкість руху води в колекторі, що підводить стічну воду на доочищення в одношарові фільтри з дрібнозернистим піщаним завантаженням  $v_{mp} = 1,0$  м/с.

Діаметр трубопроводу, що підводить стічну воду на доочищення в одношарові фільтри з дрібнозернистим піщаним завантаженням, визначаємо за формулою (2.10):

$$D_{mp} = \sqrt{\frac{4 \cdot q_c}{\pi \cdot v_{mp}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,65}{3,14 \cdot 1,0}} = 1,837 \approx 1,8 \text{ м.}$$

9. Діаметр трубопроводу, що підводить стічну воду на доочищення в один одношаровий фільтр з дрібнозернистим піщаним завантаженням, визначаємо за формулою (2.11):

$$d_{mp} = \sqrt{\frac{4 \cdot q_c}{\pi \cdot N_{\phi} \cdot v_{mp}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,65}{3,14 \cdot 24 \cdot 1,0}} = 0,375 \approx 0,38 \text{ м.}$$

10. Значення швидкостей руху води в колекторі, що підводить стічну воду на доочищення в одношарові фільтри (один одношаровий фільтр) з дрібнозернистим піщаним завантаженням, уточнюємо за формулами (2.12), (2.13):

$$(v_{mp})' = \frac{4 \cdot q_c}{\pi \cdot (D_{mp})^2} = \frac{4 \cdot 2,65}{3,14 \cdot (1,8)^2} = 1,04 \text{ м/с.}$$

$$(v_{mp})' = \frac{4 \cdot q_c}{\pi \cdot N_{\phi} \cdot (d_{mp})^2} = \frac{4 \cdot 2,65}{3,14 \cdot 24 \cdot (0,38)^2} = 0,974 \text{ м/с.}$$

Отримані значення  $(v_{mp})'$  відповідають рекомендованому діапазону ( $v_{mp} = 0,8-1,5$  м/с), тобто умови дотримано і розрахунок виконано вірно.

11. Приймаємо значення коефіцієнта запасу  $K_n = 1,2$ .

Ширину водорозподільчого каналу одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням визначаємо за формулою (2.14):

$$B_k = K_n \cdot d_{mp} = 1,2 \cdot 0,38 = 0,5 \text{ м.}$$

12. Приймаємо швидкість руху води в каналі  $v_{кан} = v_{mp} = 1,0$  м/с.

Глибину води у водорозподільчому каналі (у каналі, що підводить стічну воду на доочищення в одношарові фільтри з дрібнозернистим піщаним завантаженням) визначаємо за формулою (2.15):

$$h_{\kappa\phi} = h_{n\phi} = \frac{q_c}{B_{\kappa} \cdot v_{\kappa\phi}} = \frac{2,65}{0,5 \cdot 1,0} = 5,3 \text{ м.}$$

13. Глибину водорозподільчого каналу (каналу, що підводить стічну воду на доочищення в одношарові фільтри з дрібнозернистим піщаним завантаженням) визначаємо за формулами (2.16), (2.17):

$$H_{\kappa} = h_{\kappa\phi} + h_4 = 5,3 + 0,5 = 5,8 \text{ м.}$$

$$H_n = h_{n\phi} + h_4 = 5,3 + 0,5 = 5,8 \text{ м.}$$

14. Ширину каналу, що підводить стічну воду на доочищення в одношаровий фільтр з дрібнозернистим піщаним завантаженням, визначаємо за формулою (2.18):

$$b_n = \frac{q_c}{N_{\phi} \cdot h_{n\phi} \cdot v_{\kappa\phi}} = \frac{2,65}{24 \cdot 5,3 \cdot 1,0} = 0,02 \text{ м.}$$

15. Розраховуємо дренажну (розподільчу) систему одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням.

15.1. За даними табл. Б.2 Додатка Б приймаємо інтенсивність подачі води на промивання фільтруючого завантаження одношарового фільтра

$$W_{\text{вода}} = 7 \frac{\text{л}}{\text{с} \cdot \text{м}^2}.$$

Витрати промивної води визначаємо за формулою (2.19):

$$q_{np} = \frac{F_1 \cdot W_{\text{вода}}}{1000} = \frac{91,44 \cdot 7}{1000} = 0,64 \text{ м}^3/\text{с.}$$

15.2. Приймаємо швидкість руху промивної води на початку колектора дренажної (розподільчої) системи одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням  $v_{\phi} = 1,7 \text{ м/с}$ .

Діаметр колектора дренажної (розподільчої) системи одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням визначаємо за формулою (2.20):

$$d_{\phi} = \sqrt{\frac{4 \cdot q_{np}}{\pi \cdot v_{\phi}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,64}{3,14 \cdot 1,7}} = 0,693 \approx 0,7 \text{ м.}$$

15.3. Значення швидкості руху промивної води на початку колектора дренажної (розподільчої) системи одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням уточнюємо за формулою (2.21):

$$(v_{\phi})' = \frac{4 \cdot q_{np}}{\pi \cdot (d_{\phi})^2} = \frac{4 \cdot 0,64}{3,14 \cdot (0,7)^2} = 1,66 \text{ м/с.}$$

Отримане значення  $(v_{\phi})'$  відповідає рекомендованому діапазону ( $v_{\phi} = 1,5 - 2,0 \text{ м/с}$ ), тобто умови дотримано і розрахунок виконано вірно.

15.4. Приймаємо відстань між відгалуженнями дренажної (розподільчої) системи одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням  $l_{\phi} = 0,25 \text{ м}$ .

Кількість відгалужень дренажної (розподільчої) системи одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням визначаємо за формулою (2.22):

$$N_{\epsilon} = \frac{2 \cdot L_{\phi}}{l_{\epsilon}} = \frac{2 \cdot 10,9}{0,25} = 87,2 \approx 88 \text{ штук.}$$

Таким чином, з кожної сторони колектора дренажної (розподільчої) системи одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням розміщують  $\frac{N_{\epsilon}}{2} = \frac{88}{2} = 44$  штуки відгалужень.

15.5. Відстань між відгалуженнями дренажної (розподільчої) системи одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням уточнюємо за формулою (2.23):

$$(l_{\epsilon})' = \frac{2 \cdot L_{\phi}}{N_{\epsilon}} = \frac{2 \cdot 10,9}{88} = 0,2477 \approx 0,25 \text{ м.}$$

Отримане значення  $(l_{\epsilon})'$  відповідає рекомендованому діапазону ( $l_{\epsilon}=0,25-0,35$  м), тобто умови дотримано і розрахунок виконано вірно.

15.6. Приймаємо швидкість руху промивної води на початку відгалужень дренажної (розподільчої) системи одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням  $v_{\epsilon}=(v_{\phi})'=1,7$  м/с.

Діаметр відгалужень дренажної (розподільчої) системи одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням визначаємо за формулою (2.24):

$$d_{\epsilon} = \sqrt{\frac{4 \cdot q_{np}}{\pi \cdot N_{\epsilon} \cdot v_{\epsilon}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,64}{3,14 \cdot 88 \cdot 1,7}} = 0,0738 \approx 0,075 \text{ м.}$$

15.7. Значення швидкості руху промивної води на початку відгалужень дренажної (розподільчої) системи одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням уточнюємо за формулою (2.25):

$$(v_{\epsilon})' = \frac{4 \cdot q_{np}}{\pi \cdot N_{\epsilon} \cdot (d_{\epsilon})^2} = \frac{4 \cdot 0,64}{3,14 \cdot 88 \cdot (0,075)^2} = 1,65 \text{ м/с.}$$

Отримане значення  $(v_{\epsilon})'$  відповідає рекомендованому діапазону ( $v_{\epsilon}=1,5-2,0$  м/с), тобто умови дотримано і розрахунок виконано вірно.

15.8. Довжину відгалужень дренажної (розподільчої) системи одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням визначаємо за формулою (2.26):

$$L_{\epsilon} = 0,9 \cdot \left( \frac{B - d_{\phi}}{2} \right) = 0,9 \cdot \left( \frac{8,4 - 0,7}{2} \right) = 3,465 \approx 3,5 \text{ м.}$$

15.9. Необхідну сумарну площу всіх отворів у відгалуженнях дренажної (розподільчої) системи одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням визначаємо за формулою (2.27):

$$\sum f_o = \frac{(0,18 \div 0,22) \cdot F_1}{100} = \frac{0,2 \cdot 91,44}{100} = 0,183 \text{ м}^2.$$

15.10. Приймаємо діаметр одного отвору на відгалуженні дренажної (розподільчої) системи одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням  $d_o=11 \text{ мм}=0,011 \text{ м}$ .

15.11. Площу одного отвору на відгалуженні дренажної (розподільчої) системи одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням визначаємо за формулою (2.28):

$$f_o = \frac{\pi \cdot (d_o)^2}{4} = \frac{3,14 \cdot (0,011)^2}{4} = 0,000095 \text{ м}^2.$$

15.12. Загальну кількість отворів у дренажній (розподільчій) системі одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням визначаємо за формулою (2.29):

$$\sum n_o = \frac{\sum f_o}{f_o} = \frac{0,183}{0,000095} = 1926 \text{ штук.}$$

15.13. Кількість отворів на одному відгалуженні дренажної (розподільчої) системи одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням визначаємо за формулою (2.30):

$$n_o = \frac{\sum n_o}{N_{\epsilon}} = \frac{1926}{88} = 21,886 \approx 22 \text{ штуки.}$$

Таким чином, з кожної сторони відгалуження дренажної (розподільчої) системи одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням розміщують  $\frac{n_o}{2} = \frac{22}{2} = 11$  штук отворів.

15.14. Відстань між віссю отворів на одному відгалуженні дренажної (розподільчої) системи одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням визначаємо за формулою (2.31):

$$r_o = \frac{L_{\epsilon}}{n_o} = \frac{3,5}{22} = 0,16 \text{ м.}$$

Отримане значення  $r_o$  відповідає рекомендованому діапазону ( $r_o=0,15-0,2 \text{ м}$ ), тобто умови дотримано і розрахунок виконано вірно.

16. Приймаємо відстань між віссю сусідніх лотків (жолобів)  $B_{\text{л}}=1,7 \text{ м}$ .

Кількість лотків (жолобів) для рівномірного розподілу стічної води, що надходить на доочищення в одношаровий фільтр з дрібнозернистим піщаним завантаженням, та відведення промивної визначаємо за формулою (2.32):

$$N_{\text{л}} = \frac{B}{B_{\text{л}}} = \frac{8,4}{1,7} = 4,95 \approx 5 \text{ штук.}$$

Таким чином, відстань між віссю сусідніх лотків (жолобів) складає  $B_{\text{л}} = \frac{B}{N_{\text{л}}} = \frac{8,4}{5} = 1,68 \text{ м}$ . Отримане значення  $B_{\text{л}}$  відповідає рекомендованому діапазону ( $B_{\text{л}}=1,4-2,2 \text{ м}$ ), тобто умови дотримано і розрахунок виконано вірно.

17. Обираємо напівкруглий перетин лотка (жолоба), тоді коефіцієнт, що враховує форму лотка (жолоба), приймаємо  $K_{\text{л}}=2$ .

Приймаємо відношення висоти прямокутної частини лотка (жолоба) до половини його ширини  $a=1,3$ .

Ширину лотка (жолоба) для рівномірного розподілу стічної води, що надходить на доочищення в одношаровий фільтр з дрібнозернистим піщаним завантаженням, та відведення промивної визначаємо за формулою (2.33):

$$b_{\text{л}} = K_{\text{л}} \cdot \sqrt[5]{\frac{\left(\frac{q_{\text{нр}}}{N_{\text{л}}}\right)^2}{(1,57 + a)^3}} = 2 \cdot \sqrt[5]{\frac{\left(\frac{0,64}{5}\right)^2}{(1,57 + 1,3)^3}} = 0,467 \approx 0,5 \text{ м.}$$

18. Висоту прямокутної частини лотка (жолоба) для рівномірного розподілу стічної води, що надходить на доочищення в одношаровий фільтр з дрібнозернистим піщаним завантаженням, та відведення промивної визначаємо за формулою (2.34):

$$h_{\text{л}}'' = 0,75 \cdot b_{\text{л}} = 0,75 \cdot 0,5 = 0,375 \approx 0,4 \text{ м.}$$

19. Корисну висоту лотка (жолоба) для рівномірного розподілу стічної води, що надходить на доочищення в одношаровий фільтр з дрібнозернистим піщаним завантаженням, та відведення промивної визначаємо за формулою (2.35):

$$h_{\text{л}} = 1,25 \cdot b_{\text{л}} = 1,25 \cdot 0,5 = 0,625 \approx 0,6 \text{ м.}$$

20. Висоту трикутної (напівкруглої) частини лотка (жолоба) для рівномірного розподілу стічної води, що надходить на доочищення в одношаровий фільтр, та відведення промивної визначаємо за формулою (2.36):

$$h_{\text{л}}' = h_{\text{л}} - h_{\text{л}}'' = 0,6 - 0,4 = 0,2 \text{ м.}$$

21. Конструктивну висоту лотка (жолоба) для рівномірного розподілу стічної води, що надходить на доочищення в одношаровий фільтр з дрібнозернистим піщаним завантаженням, та відведення промивної з урахуванням товщини стінки визначаємо за формулою (2.37):

$$h_{\text{л}}^{\text{к}} = h_{\text{л}} + 0,08 = 0,6 + 0,08 = 0,68 \text{ м.}$$

22. Повну глибину лотка (жолоба) для рівномірного розподілу стічної води, що надходить на доочищення в одношаровий фільтр з дрібнозернистим піщаним завантаженням, та відведення промивної біля водозбірної кишені визначаємо за формулою (2.38):

$$h_{\text{лк}} = h_{\text{л}}^{\text{к}} + L_{\text{ф}} \cdot i = 0,68 + 10,9 \cdot 0,01 = 0,789 \approx 0,8 \text{ м.}$$

23. Приймаємо відносне розширення фільтруючого завантаження при промиванні фільтра з дрібнозернистим завантаженням  $e=45\%$ .

Висоту розташування кромek лотків (жолобів) для рівномірного розподілу стічної води, що надходить на доочищення в одношаровий фільтр з дрібнозернистим піщаним завантаженням, та відведення промивної над поверхнею фільтруючого завантаження визначаємо за формулою (2.39):

$$H_{\text{л}} = \frac{h_2 \cdot e}{100} + 0,3 = \frac{1,3 \cdot 45}{100} + 0,3 = 0,885 \approx 0,9 \text{ м.}$$

24. Приймаємо швидкість руху промивної води в кінці трубопроводу  $v_{\text{нр}}=1,3 \text{ м/с.}$

Діаметр трубопроводу відведення промивної води з одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням визначаємо за формулою (2.41):

$$d_{np} = \sqrt{\frac{4 \cdot q_{np}}{\pi \cdot v_{np}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,64}{3,14 \cdot 1,3}} = 0,792 \approx 0,8 \text{ м.}$$

25. Значення швидкості руху промивної води в кінці трубопроводу уточнюємо за формулою (2.42):

$$(v_{np})' = \frac{4 \cdot q_{np}}{\pi \cdot (d_{np})^2} = \frac{4 \cdot 0,64}{3,14 \cdot (0,8)^2} = 1,27 \text{ м/с.}$$

Отримане значення  $(v_{np})'$  відповідає рекомендованому діапазону ( $v_{np}=1,0-1,5$  м/с), тобто умови дотримано і розрахунок виконано вірно.

26. Приймаємо коефіцієнт запасу  $K_n=1,2$ .

Ширину водозбірної кишені одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням визначаємо за формулою (2.43):

$$b_k = K_n \cdot d_{np} = 1,2 \cdot 0,8 = 0,96 \approx 1 \text{ м.}$$

Отримане значення  $b_k$  відповідає рекомендованому діапазону ( $b_k \geq 0,7$  м), тобто умови дотримано і розрахунок виконано вірно.

27. Глибину промивної води у водозбірній кишені одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням визначаємо за формулою (2.44):

$$h_{вк} = \frac{q_{np}}{b_k \cdot (v_{np})'} = \frac{0,64}{1 \cdot 1,27} = 0,5 \text{ м.}$$

28. Відстань від днища лотка (жолоба) для рівномірного розподілу стічної води, що надходить на доочищення в одношаровий фільтр з дрібнозернистим піщаним завантаженням, та відведення промивної до днища водозбірної кишені визначаємо за формулою (2.45):

$$\Delta h = 1,73 \cdot \sqrt[3]{\frac{(q_{np})^2}{(b_k)^2 \cdot g}} + 0,2 = 1,73 \cdot \sqrt[3]{\frac{(0,64)^2}{(1)^2 \cdot 9,81}} + 0,2 = 0,8 \text{ м.}$$

29. Площу поперечного перетину водозбірної кишені одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням визначаємо за формулою (2.46):

$$f_k = b_k \cdot \Delta h = 1 \cdot 0,8 = 0,8 \text{ м}^2.$$

30. Швидкість руху промивної води в кінці водозбірної кишені одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням визначаємо за формулою (2.47):

$$V_k = \frac{q_{np}}{f_k} = \frac{0,64}{0,8} = 0,8 \text{ м/с.}$$

Отримане значення  $V_k$  відповідає рекомендованій величині ( $V_k \geq 0,8$  м/с), тобто умови дотримано і розрахунок виконано вірно.

31. Повну глибину водозбірної кишені одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням визначаємо за формулою (2.48):

$$h_k = h_{лк} + \Delta h + h_4 = 0,8 + 0,8 + 0,5 = 2,1 \text{ м.}$$

32. Повну довжину одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням визначаємо за формулою (2.49):

$$L = L_\phi + b_k = 10,9 + 1 = 11,9 \text{ м.}$$

33. Приймаємо швидкість руху доочищеної води в кінці трубопроводу  $v_k=1,3$  м/с.

Діаметр трубопроводу для відведення води після її доочищення в одношарових фільтрах з дрібнозернистим піщаним завантаженням визначаємо за формулою (2.50):

$$D_k = \sqrt{\frac{4 \cdot q_c}{\pi \cdot v_k}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,65}{3,14 \cdot 1,3}} = 1,61 \approx 1,6 \text{ м.}$$

34. Діаметр трубопроводу для відведення води після її доочищення в одному одношаровому фільтрі з дрібнозернистим піщаним завантаженням визначаємо за формулою (2.51):

$$d_k = \sqrt{\frac{4 \cdot q_c}{\pi \cdot N_\phi \cdot v_k}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,65}{3,14 \cdot 24 \cdot 1,3}} = 0,329 \approx 0,35 \text{ м.}$$

35. Значення швидкостей руху води в кінці трубопроводу для відведення після її доочищення в одношарових фільтрах (одному одношаровому фільтрі) з дрібнозернистим піщаним завантаженням уточнюємо за формулами (2.52), (2.53):

$$(v_k)' = \frac{4 \cdot q_c}{\pi \cdot (D_k)^2} = \frac{4 \cdot 2,65}{3,14 \cdot (1,6)^2} = 1,32 \text{ м/с.}$$

$$(v_k)' = \frac{4 \cdot q_c}{\pi \cdot N_\phi \cdot (d_k)^2} = \frac{4 \cdot 2,65}{3,14 \cdot 24 \cdot (0,35)^2} = 1,15 \text{ м/с.}$$

Отримані значення  $(v_k)'$  відповідають рекомендованому діапазону ( $v_k=1,0-1,5$  м/с), тобто умови дотримано і розрахунок виконано вірно.

36. Розраховуємо повітряну розподільчу систему одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням.

36.1. За даними табл. Б.2 Додатка Б приймаємо інтенсивність подачі повітря  $W_{\text{повітря}}=19 \frac{\text{л}}{\text{с} \cdot \text{м}^2}$ .

Витрати повітря визначаємо за формулою (2.54):

$$q_{\text{повітря}} = \frac{F_1 \cdot W_{\text{повітря}}}{1000} = \frac{91,44 \cdot 19}{1000} = 1,74 \text{ м}^3/\text{с.}$$

36.2. Приймаємо швидкість руху повітря на вході в колектор повітряної розподільчої системи одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням  $v_{\text{повітря}}=8$  м/с.

Діаметр колектора повітряної розподільчої системи одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням визначаємо за формулою (2.55):

$$d_\phi^n = \sqrt{\frac{4 \cdot q_{\text{повітря}}}{\pi \cdot v_{\text{повітря}}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,74}{3,14 \cdot 8}} = 0,526 \approx 0,55 \text{ м.}$$

36.3. Значення швидкості руху повітря на вході в колектор повітряної розподільчої системи одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням уточнюємо за формулою (2.56):

$$(v_{\text{повітря}})' = \frac{4 \cdot q_{\text{повітря}}}{\pi \cdot (d_\phi^n)^2} = \frac{4 \cdot 1,74}{3,14 \cdot (0,55)^2} = 7,33 \text{ м/с.}$$

Отримане значення  $(v_{\text{повітря}})'$  відповідає рекомендованому діапазону ( $v_{\text{повітря}}=7-10$  м/с), тобто умови дотримано і розрахунок виконано вірно.

36.4. Приймаємо відстань між відгалуженнями повітряної розподільчої системи одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням  $l_{\phi}=0,25$  м.

Кількість відгалужень повітряної розподільчої системи одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням визначаємо за формулою (2.57):

$$N_{\phi}^n = \frac{2 \cdot L_{\phi}}{l_{\phi}} = \frac{2 \cdot 10,9}{0,25} = 87,2 \approx 88 \text{ штук.}$$

Таким чином, з кожної сторони колектора повітряної розподільчої системи одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням розміщують  $\frac{N_{\phi}^n}{2} = \frac{88}{2} = 44$  штуки відгалужень.

36.5. Відстань між відгалуженнями повітряної розподільчої системи одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням уточнюємо за формулою (2.58):

$$(l_{\phi})^n = \frac{2 \cdot L_{\phi}}{N_{\phi}^n} = \frac{2 \cdot 10,9}{88} = 0,248 \approx 0,25 \text{ м.}$$

Отримане значення  $(l_{\phi})^n$  відповідає рекомендованому діапазону ( $l_{\phi}=0,25-0,35$  м), тобто умови дотримано і розрахунок виконано вірно.

36.6. Приймаємо швидкість руху повітря на вході до відгалужень повітряної розподільчої системи одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням  $v_{\phi}^n=15$  м/с.

Діаметр відгалужень повітряної розподільчої системи одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням визначаємо за формулою (2.59):

$$d_{\phi}^n = \sqrt{\frac{4 \cdot q_{\text{повітря}}}{\pi \cdot N_{\phi}^n \cdot v_{\phi}^n}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,74}{3,14 \cdot 88 \cdot 15}} = 0,041 \approx 0,04 \text{ м.}$$

36.7. Значення швидкості руху повітря на вході до відгалужень повітряної розподільчої системи одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням уточнюємо за формулою (2.60):

$$(v_{\phi}^n) = \frac{4 \cdot q_{\text{повітря}}}{\pi \cdot N_{\phi}^n \cdot (d_{\phi}^n)^2} = \frac{4 \cdot 1,74}{3,14 \cdot 88 \cdot (0,04)^2} = 15,74 \text{ м/с.}$$

Отримане значення  $(v_{\phi}^n)$  відповідає рекомендованому діапазону ( $v_{\phi}^n=13-17$  м/с), тобто умови дотримано і розрахунок виконано вірно.

36.8. Довжину відгалужень повітряної розподільчої системи одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням визначаємо за формулою (2.61):

$$L_{\phi}^n = 0,9 \cdot \left( \frac{B - d_{\phi}^n}{2} \right) = 0,9 \cdot \left( \frac{8,4 - 0,55}{2} \right) = 3,5 \text{ м.}$$

36.9. Приймаємо відстань між віссю отворів на одному відгалуженні повітряної розподільчої системи одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням  $l_o^n = 0,15$  м.

Кількість отворів на одному відгалуженні повітряної розподільчої системи одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням визначаємо за формулою (2.62):

$$n_o^n = \frac{L_6^n}{l_o^n} = \frac{3,5}{0,15} = 23,33 \approx 24 \text{ штуки.}$$

Таким чином, з кожної сторони відгалуження повітряної розподільчої системи одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням розміщують  $\frac{n_o^n}{2} = \frac{24}{2} = 12$  штук отворів.

36.10. Відстань між віссю отворів на одному відгалуженні повітряної розподільчої системи одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням уточнюємо за формулою (2.63):

$$(l_o^n)' = \frac{L_6^n}{n_o^n} = \frac{3,5}{24} = 0,1458 \approx 0,15 \text{ м.}$$

Отримане значення  $(l_o^n)'$  відповідає рекомендованому діапазону ( $l_o^n = 0,1-0,18$  м), тобто умови дотримано і розрахунок виконано вірно.

36.11. Приймаємо швидкість виходу повітря з отворів повітряної розподільчої системи одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням  $v_o^n = 45$  м/с.

Діаметр отворів на одному відгалуженні повітряної розподільчої системи одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням визначаємо за формулою (2.64):

$$d_o^n = \sqrt{\frac{4 \cdot q_{\text{повітря}}}{\pi \cdot N_6^n \cdot n_o^n \cdot v_o^n}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,74}{3,14 \cdot 88 \cdot 24 \cdot 45}} = 0,0048 \approx 0,005 \text{ м.}$$

Отримане значення  $d_o^n$  відповідає рекомендованому діапазону ( $d_o^n = 3-5$  мм), тобто умови дотримано і розрахунок виконано вірно.

36.12. Значення швидкості виходу повітря з отворів повітряної розподільчої системи одношарового фільтра з дрібнозернистим піщаним завантаженням уточнюємо за формулою (2.65):

$$(v_o^n)' = \frac{4 \cdot q_{\text{повітря}}}{\pi \cdot N_6^n \cdot n_o^n \cdot (d_o^n)^2} = \frac{4 \cdot 1,74}{3,14 \cdot 88 \cdot 24 \cdot (0,005)^2} = 41,98 \text{ м/с.}$$

Отримане значення  $(v_o^n)'$  відповідає рекомендованому діапазону ( $v_o^n = 40-50$  м/с), тобто умови дотримано і розрахунок виконано вірно.

37. Концентрацію забруднень у воді після її доочищення в одношарових фільтрах з дрібнозернистим піщаним завантаженням визначаємо за формулами (2.66), (2.67):

- за вмістом завислих речовин:

$$C_{\text{завис}}^{\text{кінцева}} = C_{\text{завис}}^{\text{поч}} - \left( \frac{E_{\text{завис}} \cdot C_{\text{завис}}^{\text{поч}}}{100} \right) = 20,5 - \left( \frac{75 \cdot 20,5}{100} \right) = 5,125 \text{ мг/л;}$$

- за показником БСК<sub>повн</sub>:

$$C_{БСК}^{кінцева} = C_{БСК}^{поч} - \left( \frac{E_{БСК} \cdot C_{БСК}^{поч}}{100} \right) = 14,5 - \left( \frac{60 \cdot 14,5}{100} \right) = 5,8 \text{ мг/л.}$$

## КОНТРОЛЬНЕ ЗАВДАННЯ

Виконати технологічний розрахунок параметрів одношарових фільтрів з дрібнозернистим піщаним завантаженням, призначеного для глибокого очищення (доочищення) стічних вод, відповідно до варіанта вихідних даних, наведеного в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Варіанти вихідних даних для технологічного розрахунку параметрів одношарових фільтрів з дрібнозернистим піщаним завантаженням, призначеного для глибокого очищення (доочищення) стічних вод

| Варіант | $q_c$ , м <sup>3</sup> /с | $C_{поч}^{завис}$ ,<br>мг/л | $C_{поч}^{БСК}$ ,<br>мг/л | Варіант | $q_c$ , м <sup>3</sup> /с | $C_{поч}^{завис}$ ,<br>мг/л | $C_{поч}^{БСК}$ ,<br>мг/л |
|---------|---------------------------|-----------------------------|---------------------------|---------|---------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| 1       | 0,96                      | 25                          | 15                        | 11      | 0,82                      | 18,5                        | 11,5                      |
| 2       | 0,59                      | 10                          | 20                        | 12      | 1,11                      | 11,7                        | 19,5                      |
| 3       | 1,34                      | 15                          | 10                        | 13      | 1,29                      | 19,2                        | 12,5                      |
| 4       | 0,85                      | 20                          | 15                        | 14      | 1,38                      | 20,5                        | 15,5                      |
| 5       | 1,16                      | 22                          | 9,5                       | 15      | 0,94                      | 10,5                        | 10,8                      |
| 6       | 1,23                      | 17                          | 13,5                      | 16      | 1,06                      | 14,8                        | 13,8                      |
| 7       | 0,77                      | 13                          | 17,5                      | 17      | 0,75                      | 16,3                        | 16,7                      |
| 8       | 0,92                      | 24,5                        | 10,5                      | 18      | 1,21                      | 12                          | 11,3                      |
| 9       | 0,55                      | 27,5                        | 16                        | 19      | 1,31                      | 21,8                        | 14,3                      |
| 10      | 1,45                      | 12,5                        | 18,5                      | 20      | 0,98                      | 23,6                        | 17,9                      |

Примітки: Станція очищення стічних вод працює цілодобово.

## ПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

### Контрольні питання

1. У чому полягає сутність методу фільтрування?
2. Які фільтруючі матеріали найчастіше застосовуються в фільтрах?
3. Що являє собою підтримуючий шар у фільтрах і для чого він застосовується?
4. Які типи розподільчої (дренажної) системи застосовуються в фільтрах і для чого вона існує?
5. Як відбувається промивання швидких фільтрів та які види промивань існують?
6. Надати характеристику зернистих фільтрів з низхідним потоком стічних вод.
7. Надати характеристику зернистих фільтрів з висхідним потоком стічних вод.
8. Надати характеристику двошарових зернистих фільтрів.
9. Надати характеристику аерованих зернистих фільтрів.
10. Надати характеристику каркасно-засипних зернистих фільтрів.
11. Надати характеристику фільтрів з плаваючим завантаженням.

### Тестові завдання

1. Найбільш поширеним фільтруючим матеріалом є:

- антрацит;
- кварцовий пісок;
- керамзит;
- мармурова крихта.

2. За швидкістю фільтрування фільтри з зернистим завантаженням бувають:

- повільні;
- відкриті;
- напірні;
- безнапірні.

3. Яких фільтрів з вигляду фільтруючого середовища не існує?

- тканинні;
- зернисті;
- наливні;
- решітчасті.

4. Який елемент не входить до складу фільтра?

- фільтруючий шар;
- підтримуючий шар;
- насосна система;
- розподільча система.

5. Який фільтруючий матеріал застосовується в фільтрах з плаваючим завантаженням?

- активоване вугілля;
- спінений полістирол;
- клиноптилоліт;
- магномаса.

6. За напрямом фільтруючого потоку не буває фільтрів:

- з низхідним рухом потоку рідини;
- з висхідним рухом потоку рідини;
- з тангенціальним рухом потоку рідини;
- з горизонтальним рухом потоку рідини.

7. В якому типі фільтра фільтруюче завантаження займає майже всю площу?

- фільтри з каркасно-засипним завантаженням;
- фільтри з плаваючим завантаженням;
- двошарові зернисті фільтри;
- аеровані зернисті фільтри.

8. Якого типу розподільчої системи не існує?

- щілинний;
- трубчастий;
- ковпачковий;
- тарілчастий.

## ПРАКТИЧНА РОБОТА 3

### ПРОЕКТУВАННЯ ТА РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ СПОРУД БІОЛОГІЧНОГО ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД

**Мета:** набуття теоретичних знань у сфері виробничого планування та проектування природоохоронних систем та обладнання та здобуття практичних навичок з технологічного розрахунку та вибору очисних споруд, призначених для біологічного очищення стічних вод.

#### **Завдання:**

1. Ознайомитися з конструкціями та принципом роботи технологічного обладнання, призначеного для біологічного очищення стічних вод.
2. Ознайомитися з методикою технологічного розрахунку параметрів аеротенка-витиснювача з регенерацією активного мулу, призначеного для біологічного очищення стічних вод, яке здійснюється при штучно створених умовах.
3. Виконати технологічний розрахунок параметрів аеротенка-витиснювача з регенерацією активного мулу, призначеного для біологічного очищення стічних вод, яке здійснюється при штучно створених умовах, відповідно до варіанта вихідних даних.

В результаті виконання даної практичної роботи будуть сформовані наступні **результати навчання**:

- знати методи, апарати, споруди, технологічні схеми очищення компонентів навколишнього природного середовища;
- вміти розробляти та обґрунтовувати вибір апаратів, споруд, технологічних схем очищення компонентів навколишнього природного середовища;
- вміти використовувати діючі методи і нормативні документи, виконувати розрахунки основних параметрів природоохоронних систем, споруд та обладнання.

## ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

### **Основи біологічного очищення стічних вод**

Процес біологічного очищення заснований на здатності мікроорганізмів використовувати розчинені органічні речовини стічних вод для живлення в процесі життєдіяльності. Частина органічних речовин перетворюється на воду, двоокис вуглецю, нітрит- і сульфат-іони, частина йде на утворення біомаси.

Споруди біологічного очищення можна умовно розділити на два види:

- з очищенням в умовах, близьких до природних;
- з очищенням у штучно створених умовах.

До першого виду належать поля фільтрації та зрошення (земельні ділянки, в яких очищення відбувається за рахунок фільтрації через шар ґрунту), а також біологічні ставки (неглибокі водойми, в яких відбувається очищення, засноване на самоочищенні водойм).

Другий вид складають такі споруди, як біофільтри та аеротенки. *Біофільтр* – резервуар з фільтруючим матеріалом, поверхня якого покрита біологічною

плівкою (колонія мікроорганізмів, здатних сорбувати й окислювати органічні речовини зі стічних вод). *Аеротенк* – резервуар, в якому стоки, що очищуються, змішуються з активним мулом (біоценоз мікроорганізмів, також здатних поглинати органіку зі стоків).

Існують аеробні та анаеробні методи біологічного очищення стічних вод. При аеробному очищенні мікроорганізми культивуються в активному мулі та біоплівці.

### **Склад активного мулу та біоплівки**

Активний мул є амфотерною колоїдною системою. Суха речовина активного мулу містить 70-90% органічних та 10-30% неорганічних речовин. Крім живих організмів, в мулі міститься *субстрат* – різні тверді залишки, до яких кріпляться мікроорганізми. На вигляд активний мул являє собою грудочки та пластівці розміром 3-150 мкм і високою питомою поверхнею – близько 1200 м<sup>2</sup> на 1 м<sup>3</sup> мулу.

Спільноту живих організмів, що населяють активний мул чи біоплівку, називають *біоценозом*. Біоценоз активного мулу представлений, в основному, 12 видами мікроорганізмів та найпростіших.

Біоценоз активних мулів складається з бактерій, найпростіших, цвілевих грибів, дріжджів, актиноміцет, личинок комах, рачків, водоростей тощо. Основне руйнування органічних забруднень у стоках здійснюється бактеріями. В 1 м<sup>3</sup> мулу міститься  $2 \cdot 10^{14}$  бактерій. В активному мулі вони знаходяться у вигляді скупчень, оточених слизовим шаром (зооглеї).

В активних мулах зустрічаються чотири види найпростіших, які поглинають велику кількість бактерій, підтримуючи їхню оптимальну кількість (одна інфузорія, в середньому, поглинає від 20 до 40 тисяч бактерій). Вони сприяють осадженню мулу та освітленню стічних вод у вторинних відстійниках. Коловертки, що знаходяться на наступному трофічному рівні, харчуються бактеріями та найпростішими.

Склад біоценозу мулу залежить від наявності та концентрації в стічній воді різноманітних органічних речовин. Тільки основна група бактерій (80-90%) бере участь у процесі очищення стічних вод, решта вмісту мулу складають супутні групи бактерій. При високому вмісті органіки в стічній воді переважають гетеротрофні бактерії, при зниженні поживних речовин збільшується кількість хижих найпростіших.

Якість мулу визначається швидкістю його осадження та ступенем очищення рідини. Стан активного мулу характеризує муловий індекс, який залежить від здатності мулу до осадження. Великі пластівці осідають швидше, ніж дрібні.

Біоплівка росте на наповнювачі біофільтра і має вигляд слизових утворень завтовшки 1-2 мм. Видовий склад біоплівки різноманітніший, ніж активного мулу. Біоплівка складається з бактерій, грибів, дріжджів, личинок комах, хробаків, кліщів та інших організмів. У 1 м<sup>3</sup> біоплівки міститься  $1 \cdot 10^{12}$  бактерій.

Процес руйнування складних органічних сполук відбувається у певній послідовності та в присутності каталізаторів цих реакцій – *ферментів*, які

виділяються клітинами бактерій. *Ферменти* – складні білкові сполуки (молекулярна маса сягає сотень тисяч і мільйонів), які прискорюють біохімічні реакції. Для руйнування складної суміші органічних речовин необхідно 80-100 різних ферментів. Кожен з них має свою оптимальну температуру, вище за яку швидкість реакції падає.

### **Принципи очищення стічних вод в аеротенках**

Очищення стічних вод в аеротенках відбувається за допомогою активного мулу – біоценозу організмів, що розвиваються в аеробних умовах на органічних забрудненнях, що містяться в стічній воді.

Механізм вилучення органічних речовин зі стічної води та їхнє споживання мікроорганізмами схематично можна представити трьома етапами:

I етап – масопередача органічної речовини з рідини до поверхні клітини. Швидкість протікання цього процесу визначається законами молекулярної і конвективної дифузії речовин і залежить від гідродинамічних умов в аеротенка. Оптимальні умови для підведення забруднень і кисню створюються за допомогою ефективного і постійного перемішування вмісту аеротенка. Перший етап протікає швидше наступного процесу біохімічного окислення забруднень.

II етап – дифузія через напівпроникні мембрани в клітині або самої речовини або продуктів розпаду цієї речовини. Більша частина речовини потрапляє в середину клітин за допомогою специфічного білка-переносника, який створює комплекс, що дифундує через мембрану. Потім комплекс розпадається і білок-переносник повертається в новий цикл переносу.

III етап – метаболізм органічної речовини з виділенням енергії і утворенням нової клітинної речовини. Перетворення органічних сполук носить ферментативний характер. Кінцевими продуктами розпаду є такі речовини, як нітрати, сульфати, двоокис вуглецю, вода.

Визначальними процесами для технологічного оформлення очистки води є швидкість вилучення забруднень і швидкість розкладання цих забруднень.

Активний мул у контакті з забрудненою рідиною в умовах аерації проходить наступні фази розвитку (рис. 3.1).

1. Лаг-фазу I або фазу адаптації мулу до складу стічної води. Приріст біомаси практично не відбувається.

2. Фазу експоненціального росту (фазу прискореного росту) II, в якій надлишок поживних речовин і відсутність продуктів обміну сприяють максимальній швидкості розмноження клітин.

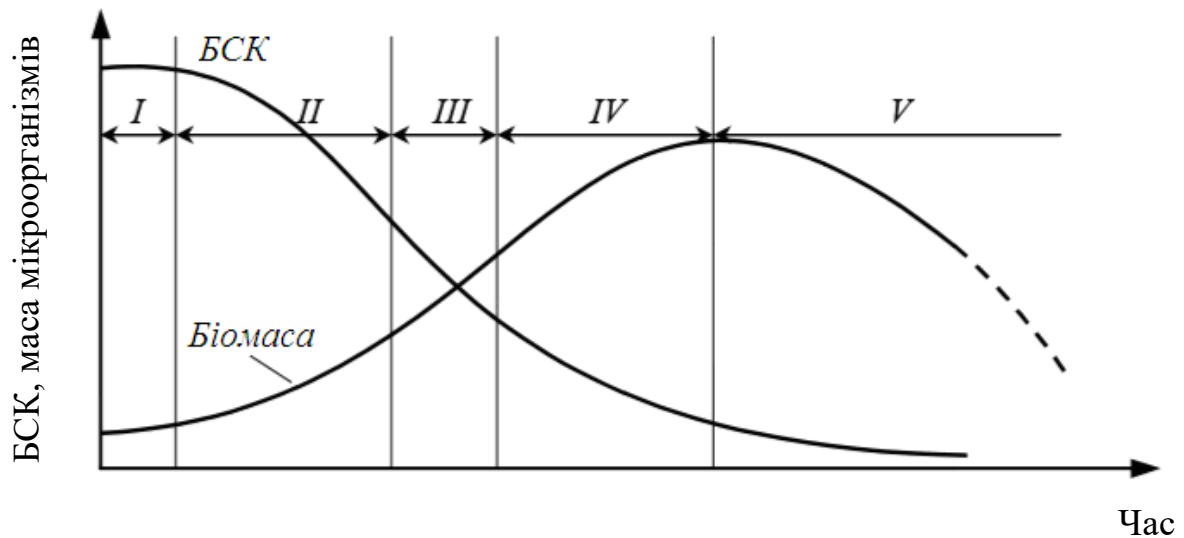
3. Фазу уповільненого росту III, в якій швидкість росту біомаси починає стримуватися через нестачу харчування і накопиченням продуктів метаболізму.

4. Фазу нульового росту IV, в якій спостерігається практично стаціонарний стан у кількості біомаси.

5. Фазу ендогенного дихання (або фазу самоокислення) V, в якій через нестачу харчування починається відмирання і розпад клітин, що веде до зниження загальної кількості біомаси.

У фазах II і III відбувається бурний ріст біомаси і культура «омолоджується», в ній переважають нові клітини, у фазі IV спостерігається

рівновага між ростом живих і розпадом відмерлих клітин, а у фазі V переважає відмирання клітин над їхнім ростом.



**Рисунок 3.1 – Залежність приросту біомаси і зниження біологічного споживання кисню (БСК) від тривалості аерації**

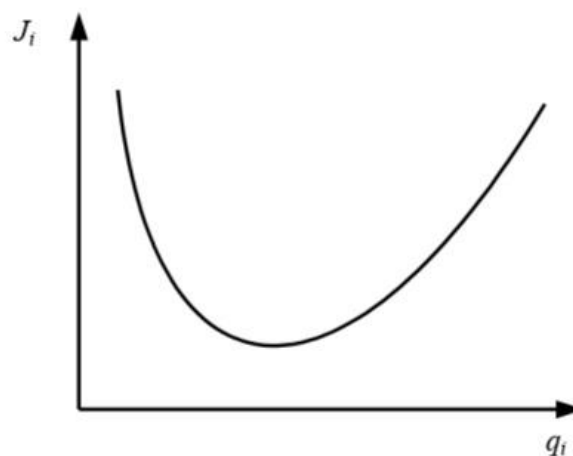
#### **Технологічні характеристики роботи аераційних споруд**

1. *Доза активного мулу* – кількість активного мулу в одиниці об'єму мулової суміші, г/л. Доза активного мулу залежить від навантаження на мул і складає в середньому 2-5 г/л.

2. *Навантаження на активний мул* – це кількість забруднень, поданих в аеротенк у перерахунку на одиницю активного мулу за годину.

3. *Муловий індекс* – об'єм, який займає 1 г сухої речовини активного мулу після 30-хвилинного відстоювання мулової суміші, см<sup>3</sup>/г.

Цей показник характеризує седиментаційну здатність активного мулу. Активний мул, що добре осаджується, має індекс від 60-90 до 120-150 см<sup>3</sup>/г. Перевантаження або недовантаження активного мулу приводить до різкого збільшення мулового індексу (рис. 3.2).



**Рисунок 3.2 – Залежність мулового індексу від навантаження на активний мул**

4. *Питома швидкість окислення забруднень* – величина знятого  $\text{БСК}_{\text{повн}}$  (тобто різниця між показником  $\text{БСК}_{\text{повн}}$  стічної води, що надходить до аеротенка, і тим, що виходить з нього), віднесена до маси мулу і тривалості аерації.

При повному біологічному очищенні значення питомої швидкості окислення забруднень складає 15-20 мг/л.

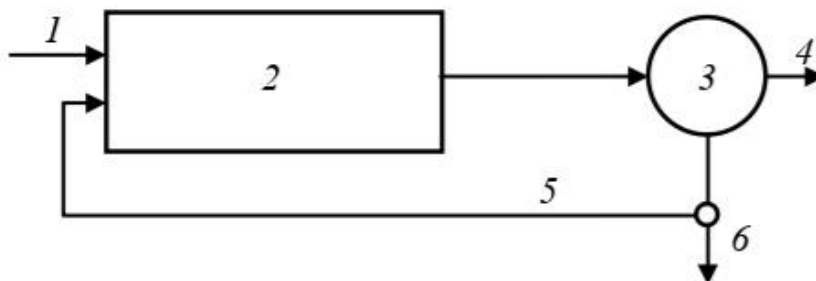
Навантаження на мул і питома швидкість окислення пов'язані між собою. При високих навантаженнях на активний мул аеротенк може не впоратися з очищенням і необхідна якість очистки не буде забезпечена. Якщо, навпаки, навантаження на мул невелике, то мул буде відчувати нестачу харчування, і тому, може відбутися самоокислення активного мулу і падіння робочої дози мулу в аеротенку.

Розрізняють аеротенки з високим навантаженням – вище 500 мг $\text{БСК}_{\text{повн}}$ /(г·добу); середнім навантаженням в межах 150-500 мг $\text{БСК}_{\text{повн}}$ /(г·добу) і низьким навантаженням – в межах 65-150 мг $\text{БСК}_{\text{повн}}$ /(г·добу). При навантаженнях менше 65 мг $\text{БСК}_{\text{повн}}$ /(г·добу) має місце так звана «подовжена аерація».

5. *Вік активного мулу* – тривалість його перебування в аераційній системі, доба.

### Технологічні схеми очищення стічних вод в аеротенках

*Одноступінчаста схема без регенерації (рис. 3.3).*



**Рисунок 3.3 – Одноступінчаста схема очистки в аеротенках без регенерації**

1 – стічна вода; 2 – аеротенк; 3 – вторинний відстійник; 4 – очищена вода;  
5 і 6 – циркуляційний та надлишковий активний мул

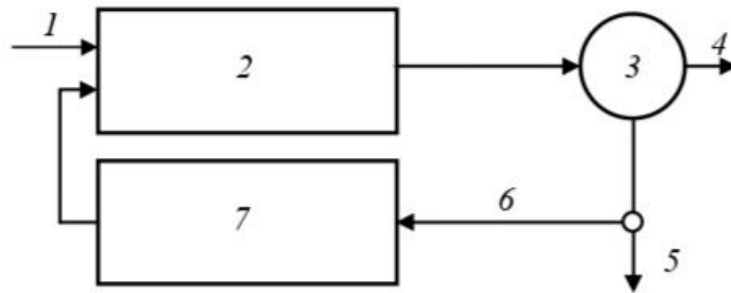
За цією схемою активний мул подається зосереджено разом зі стічними водами на вхід в аеротенк. Отримана мулова суміш в умовах аерації протікає до виходу з аеротенка і далі на вторинний відстійник, де відбувається її розподіл на очищену воду і активний мул. Активний мул далі розділяється на *надлишковий* та *циркуляційний*, останній повертається в аеротенк.

Особливістю цієї схеми є, по-перше, зниження навантаження на активний мул по довжині аеротенка; по-друге, зниження потреби активного мулу в кисні по довжині; по-третє, за гідравлічним режимом аеротенк є витиснювачем.

Модифікацією цієї схеми є застосування змінної подачі повітря за довжиною аеротенка, що відповідає кривій зниження БСК за довжиною. Інша модифікація полягає в застосуванні поздовжнього секціонування об'єму аеротенка перегородками.

*Одноступінчаста схема з регенерацією активного мулу (рис. 3.4).*

В одноступінчастій схемі з регенерацією активного мулу реалізовано роздільне протікання двох етапів біологічного очищення: поглинання забруднень активним мулом зі стічної води, що відбувається безпосередньо в аеротенку, та окислення цих забруднень, що протікає в регенераторі.



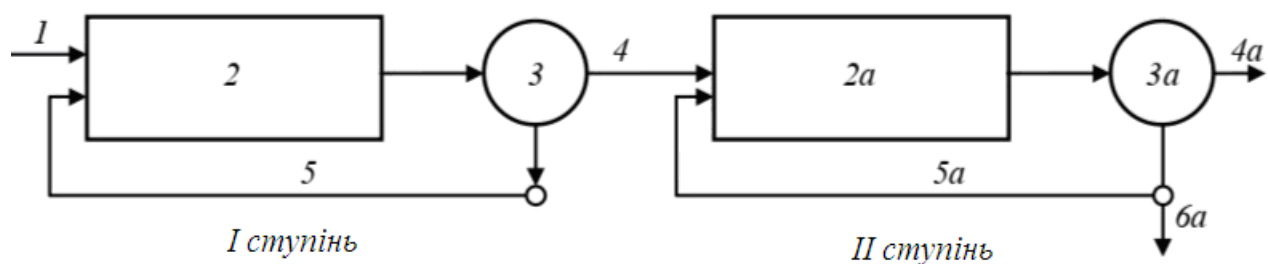
**Рисунок 3.4 – Одноступінчаста схема очистки в аеротенках з регенерацією**

7 – регенератор мулу

*Регенератор* – це аераційна споруда, в якій активний мул аерується без стічної рідини.

В аеротенку стічна вода аерується приблизно 1,5-2,5 години, в регенераторі – в кілька разів більше.

*Двоступінчаста схема без регенерації (рис. 3.5).*



**Рисунок 3.5 – Двоступінчаста схема очищення стічних вод в аеротенках без регенерації**

2 і 2а – аеротенки I і II ступеня; 3 і 3а – вторинні відстійники I і II ступеня; 4 і 4а – очищена вода після I і II ступеня; 5 і 5а – циркуляційний активний мул I і II ступеня; 6а – надлишковий активний мул II ступеня

Двоступінчаста схема очищення стічних вод в аеротенках без регенерації застосовується при високій вихідній концентрації органічних забруднень у воді, а також за наявності у воді речовин, швидкість окислення яких різко відрізняється. В аеротенках кожного ступеня розвивається активний мул,

найбільш адаптований до цих умов. На першому ступені очищення БСК<sub>повн</sub> стічних вод знижується на 50-70%.

Різновидами такої схеми є схема з регенераторами на кожному ступені, а також з перехресною подачею циркуляційного активного мулу (мул з I ступеня подається на аеротенк II ступеня, а мул з II ступеня прямує в аеротенк I ступеня).

### Класифікація аеротенків

Аеротенки поділяються за такими основними ознаками:

1) за гідродинамічним режимом – на аеротенки-витиснювачі, аеротенки-змішувачі та аеротенки проміжного типу (з розосередженим введенням стічних вод);

2) за способом регенерації активного мулу – на аеротенки з окремою регенерацією і аеротенки без окремої регенерації;

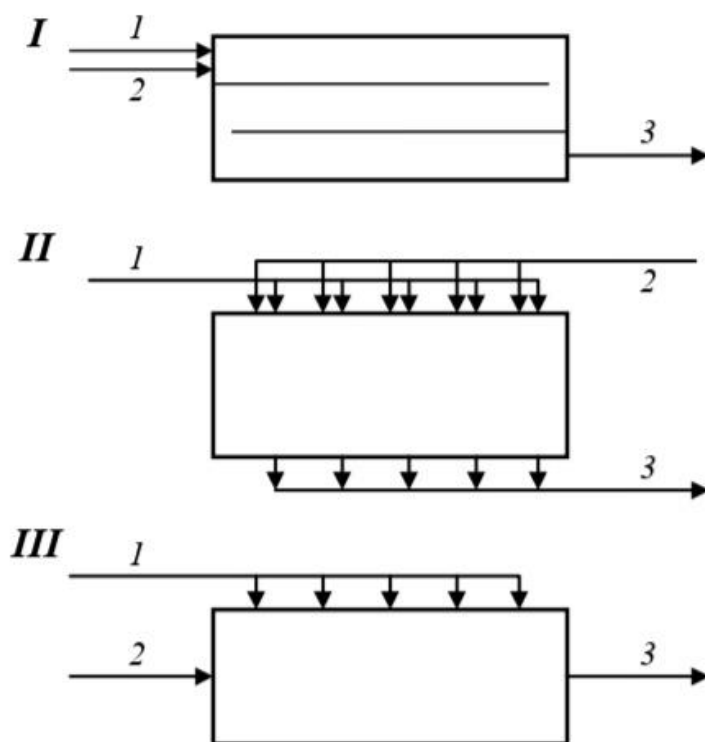
3) за навантаженням на активний мул – на високо навантажуванні (для неповного очищення), звичайні і низько навантажуванні (з продовженою аерацією);

4) за кількістю ступенів – на одно-, двох- і багатоступінчасті;

5) за режимом введення стічних вод – на проточні, напівпроточні, зі змінним робочим рівнем і контактні;

6) за конструктивними ознаками.

Найбільш поширені коридорні аеротенки, що працюють як аеротенки-витиснювачі, аеротенки-змішувачі та аеротенки з комбінованими режимами (рис. 3.6).



**Рисунок 3.6 – Типи аеротенків**

1 – стічна вода; 2 – активний мул; 3 – мулова суміш

В аеротенках-витиснювачах (*схема I*) воду і активний мул подають на початку споруди, а суміш відводять в її кінці.

Аеротенк має від 1 до 4 коридорів. Підвищена концентрація забруднень на початку споруди забезпечує збільшення швидкості окислення. Зміна складу води за довжиною аеротенка ускладнює адаптацію мулу і знижує його активність. Аеротенки-витиснювачі без регенераторів рекомендується застосовувати для очищення міських та близьких до них за складом виробничих стічних вод з БСК<sub>повн</sub> не більше 150 мгО<sub>2</sub>/л, при БСК<sub>повн</sub> до 300 мгО<sub>2</sub>/л – аеротенки-витиснювачі з регенераторами.

Такий вид аеротенку дозволяє забезпечити високу якість очищення, проте чутливий до різких коливань витрат та складу стоків.

В аеротенках-змішувачах (*схема II*) воду і активний мул вводять рівномірно вздовж однієї з довгих сторін коридору.

Повне змішування в них стічної води з муловою сумішшю забезпечує вирівнювання концентрацій мулу і швидкостей процесу біохімічного окислення. Такі аеротенки призначені для очищення концентрованих виробничих стічних вод (показник БСК<sub>повн</sub> в стічних водах не перевищує величини 1000 мгО<sub>2</sub>/л). Аеротенки-змішувачі доцільно застосовувати для очищення виробничих стічних вод при відносно невеликих коливаннях їхнього складу та присутності у воді переважно органічних речовин. При значних коливаннях складу та витрат виробничих стоків необхідно використовувати аеротенки-змішувачі з регенераторами. Перевагою аеротенка-змішувача є згладжування залпових навантажень на активний мул.

В аеротенки з розосередженою подачею води (*схема III*) її подають в декількох точках за довжиною аеротенка, а відводять з торцевої частини. Зворотний мул подають на початку аеротенка. Ці апарати займають проміжне положення між витиснювальними і змішувальними. Навантаження на активний мул змінюється циклічно за довжиною споруди.

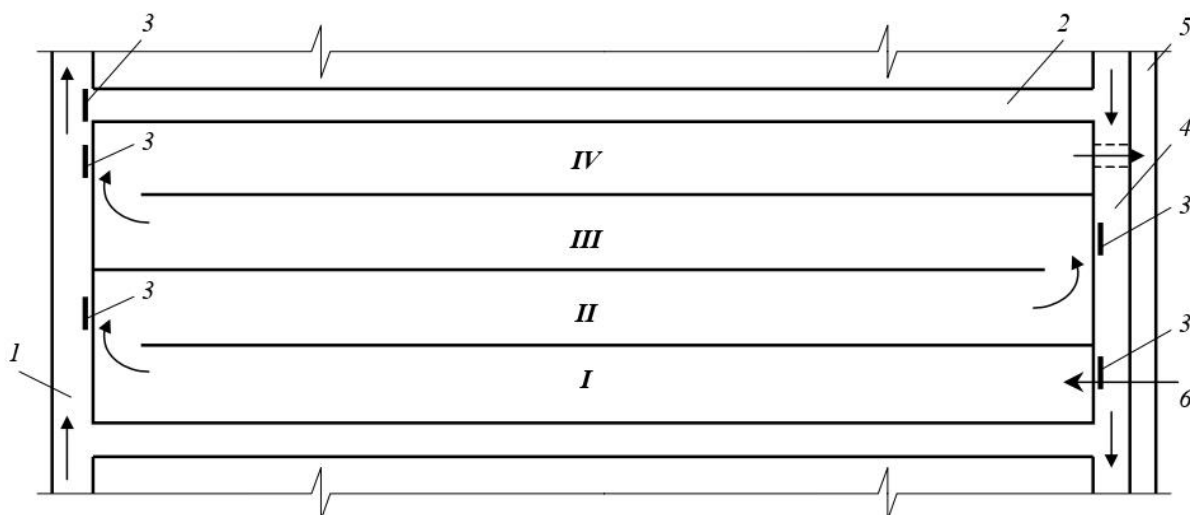
Конструктивне оформлення аеротенків визначається такими факторами, як продуктивність очисної станції, склад стічних вод, тип аераційного обладнання, конструкції інших споруд з очищення тощо.

Для великих очисних станцій зазвичай застосовують прямокутні в плані аеротенки з пневматичною аерацією. Для невеликих очисних станцій застосовують як прямокутні, так і круглі аеротенки з пневматичною, механічною або комбінованою системою аерації.

Мулова суміш із них виводиться в окремі відстійні споруди, з яких примусове повернення циркуляційного активного мулу здійснюється насосними установками.

Сучасний аеротенк – це гнучка в технологічному відношенні споруда, що є залізобетонним резервуаром коридорного типу, обладнана аераційною системою.

Конструкція типового чотирьох-коридорного аеротенка-витиснювача наведена на рис. 3.7.



**Рисунок 3.7 – План типового чотирьох-коридорного аеротенка-витиснювача**

1 – верхній розподільний канал; 2 – середній канал; 3 – щитовий затвор (шибер); 4 – нижній розподільний канал; 5 – канал збирання очищеної води; 6 – циркуляційний активний мул; I...IV – коридори аеротенку

Робочу глибину аеротенків приймають від 3 до 6 м, відношення ширини коридору до робочої глибини від 1:1 до 2:1. Для аеротенків та регенераторів кількість секцій має бути не менше двох. При продуктивності до 50 тисяч м<sup>3</sup>/добу призначається 4-6 секцій, при більшій продуктивності – 8-10 секцій, усі вони працюють. Кожна секція складається з 2-4 коридорів, розділених поздовжніми перегородками. Коридорний пристрій дозволяє проводити регенерацію активного мулу з різним ступенем – від 25 до 75%. Ширина коридору становить 4,5-9 м. Довжина аеротенку сягає кілька десятків метрів.

При роботі без регенерації стічні води проходять через усі чотири коридори. При 25% регенерації активного мулу як регенератор працює коридор I, а стічна вода подається з верхнього каналу в коридор II. При 50% регенерації під неї відводяться коридори I та II, при 75% регенерації – коридори I, II та III.

## **ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА**

### **Порядок розрахунку параметрів аеротенка-витиснювача з регенерацією активного мулу**

1. Ступінь рециркуляції активного мулу визначається за формулою:

$$R_i = \frac{\alpha_a}{\frac{1000}{I} - \alpha_a}, \quad (3.1)$$

$\alpha_a$  – доза активного мулу за сухою речовиною, г/л; для аеротенків-витиснювачів без регенерації доза активного мулу приймається  $\alpha_a=3-5$  г/л, при регенерації –  $\alpha_a=2-4$  г/л;

$I$  – величини мулового індексу, см<sup>3</sup>/г; в першому наближенні величина мулового індексу приймається  $I=50-100$  см<sup>3</sup>/г.

2. Величина БСК<sub>повн</sub> стічних вод, що надходять на початок аеротенка-витиснювача, з врахуванням розбавлення циркуляційним активним мулом визначається за формулою:

$$L_{cm} = \frac{L_o + L_t \cdot R_i}{1 + R_i}, \text{ мг/л}, \quad (3.2)$$

$L_o$  – величина БСК<sub>повн</sub> стічної води, що надходить в аеротенк-витиснювач, мгО<sub>2</sub>/л;

$L_t$  – величина БСК<sub>повн</sub> очищеної стічної води, мгО<sub>2</sub>/л.

3. Тривалість перебування стічних вод в аеротенку-витиснювачі визначається за формулою:

$$t = \frac{1 + \varphi \cdot \alpha_a}{P_{\text{max}} \cdot C_o \cdot \alpha_a \cdot (1 - S)} \cdot \left[ (C_o + K_o) \cdot (L_{cm} - L_t) + K_L \cdot C_o \cdot \ln \frac{L_o}{L_t} \right] \cdot K_p, \text{ години}, \quad (3.3)$$

$P_{\text{max}}$  – максимальна швидкість окиснення стічних вод, мг·БСК<sub>повн</sub>/(г·годину) (табл. В.1 Додатка В);

$C_o$  – концентрація розчиненого кисню в муловій суміші, мг/л; приймається рівною 2 мг/л;

$K_L$  – константа, що характеризує властивості органічних забруднень, мг·БСК<sub>повн</sub>/л (табл. В.1 Додатка В);

$K_o$  – константа, що характеризує вплив кисню, мгО<sub>2</sub>/л (табл. В.1 Додатка В);

$K_p$  – коефіцієнт, що враховує вплив поздовжнього перемішування на процес очищення стічних вод:  $K_p=1,5$  при очищенні стоків до  $L_t=15$  мг/л та  $K_p=1,25$  – при  $L_t>30$  мг/л.

$\varphi$  – коефіцієнт інгібування продуктами розпаду органічних речовин активного мулу, л/г, (табл. В.1 Додатка В);

$S$  – зольність активного мулу, частка одиниці (табл. В.1 Додатку В).

4. Тривалість окиснення органічних забруднень (період аерації) з урахуванням температури стічних вод визначається за формулою:

$$t_t = t \cdot \frac{15}{T}, \text{ години}, \quad (3.4)$$

$T$  – середньорічна температура стічних вод, °С.

5. Доза активного мулу в регенераторі в першому наближенні визначається за формулою:

$$\alpha_p = \alpha_a \cdot \left( \frac{1}{2 \cdot R_i} + 1 \right), \text{ г/л}. \quad (3.5)$$

6. Питома швидкість окиснення забруднень активним мулом при максимальній швидкості окиснення визначається за формулою:

$$\rho = P_{\text{max}} \cdot \frac{L_t \cdot C_o}{L_t \cdot C_o + K_L \cdot C_o + K_o \cdot L_t} \cdot \frac{1}{1 + \varphi \cdot \alpha_p}, \text{ мг·БСК}_{\text{повн}}/(\text{г·годину}). \quad (3.6)$$

7. Тривалість окиснення органічних забруднень визначається за формулою:

$$t_o = \frac{L_o - L_t}{\alpha_p \cdot (1 - S) \cdot \rho \cdot R_i}, \text{ години}. \quad (3.7)$$

8. Тривалість регенерації активного мулу визначається за формулою:

$$t_p = t_o - t_t, \text{ години.} \quad (3.8)$$

9. Середня тривалість перебування стічних вод в системі «аеротенк – регенератор» визначається за формулою:

$$t_{ap} = (1 + R_i) \cdot t_t + t_p \cdot R_i, \text{ години.} \quad (3.9)$$

10. Для уточнення мулового індексу, середня доза активного мулу в системі «аеротенк – регенератор» визначається за формулою:

$$a_{cp} = \frac{(1 + R_i) \cdot t_t \cdot \alpha_a + t_p \cdot R_i \cdot \alpha_p}{t_{ap}}, \text{ г/л.} \quad (3.10)$$

11. Навантаження за БСК<sub>повн</sub> на 1 г беззольної речовини активного мулу за добу визначається за формулою:

$$q_{mul} = \frac{24 \cdot (L_o - L_t)}{\alpha_{cp} \cdot (1 - S) \cdot t_{ap}}, \text{ мгБСК}_{\text{повн}}/(\text{г} \cdot \text{добу}). \quad (3.11)$$

12. За табл. В.2 Додатка В для розрахованої величини  $q_{mul}$ , мгБСК<sub>повн</sub>/(г·добу), визначаємо муловий індекс  $I_y$ , см<sup>3</sup>/г.

Після встановлення величини мулового індексу, ступінь рециркуляції активного мулу уточнюється за формулою (3.1):

$$R_y = \frac{\alpha_a}{\frac{1000}{I_y} - \alpha_a}.$$

Значення уточненого ступеня рециркуляції активного мулу ( $R_y$ ) не повинно відхилятися від прийнятого раніше ( $R_i$ ) більш ніж на 10% відповідно до співвідношення:

$$\Delta = \left| \frac{R_y - R_i}{R_i} \right| \cdot 100\%, \Delta \leq 10\%. \quad (3.12)$$

Якщо уточнене значення ступеня рециркуляції активного мулу суттєво відрізняється від прийнятої раніше величини ( $\Delta \geq 10\%$ ), то розрахунок необхідно провести знов, прийнявши відкоректовані значення  $I_y$  та  $R_y$ .

13. Робочий об'єм аеротенка-витиснювача визначається за формулою:

$$W_a = q \cdot (1 + R_i) \cdot t_t, \text{ м}^3, \quad (3.13)$$

$q$  – витрати стічних вод, що надходять на очищення в аеротенк-витиснювач, м<sup>3</sup>/годину.

14. Робочий об'єм регенератора визначається за формулою:

$$W_p = q \cdot R_i \cdot t_p, \text{ м}^3. \quad (3.14)$$

15. Загальний робочий об'єм аеротенка-витиснювача з регенерацією активного мулу визначається за формулою:

$$W = W_a + W_p, \text{ м}^3. \quad (3.15)$$

16. Робочий об'єм однієї секції аеротенка-витиснювача з регенерацією активного мулу визначається за формулою:

$$W_1 = \frac{W}{N_c}, \text{ м}^3. \quad (3.16)$$

$N_c$  – кількість секцій в аеротенку-витиснювачі; для розрахунку приймається не менше двох секцій ( $N_c \geq 2$ ).

Кількість секцій в аеротенку-витиснювачі орієнтовно рекомендується приймати для станцій продуктивністю до 50000 м<sup>3</sup>/добу –  $N_c=4-6$ , для станцій більшої продуктивності –  $N_c=8-10$ .

17. Знаючи робочий об'єм однієї секції, за допомогою табл. В.3 Додатка В обираємо типовий проект аеротенка-витиснювача з регенерацією активного мулу та його основні параметри.

Приймаємо необхідну кількість коридорів ( $N_k=$ \_\_\_) аеротенка-витиснювача з регенерацією активного мулу (в залежності від розрахованої величини робочого об'єму однієї секції аеротенку, м<sup>3</sup>), кількість секцій ( $N_c=$ \_\_\_), робочу глибину аеротенка ( $H=$ \_\_\_ м) та ширину коридору ( $B=$ \_\_\_ м).

18. Довжина секції аеротенка-витиснювача визначається за формулою:

$$L = \frac{W}{B \cdot H \cdot N_c \cdot N_k}, \text{ м}. \quad (3.17)$$

19. Загальна кількість секцій в аеротенку-витиснювачі визначається за формулою:

$$N_{c\_заг} = N_c + N_{c.p.} \quad (3.18)$$

$N_{c.p.}$  – кількість резервних секцій, яка визначається за умови, що їхня пропускна здатність повинна складати не менше 50% від продуктивності робочих секцій аеротенка-витиснювача, тобто

$$N_{c.p.} \geq 0,5 \cdot N_c.$$

20. Повна глибина аеротенка-витиснювача визначається за формулою:

$$H_{заг} = H + h_{борт}, \text{ м}, \quad (3.19)$$

$h_{борт}$  – висота бортів аеротенка-витиснювача, що приймається рівною  $h_{борт}=0,3-0,5$  м.

21. Розподіл рециркуляційного активного мулу визначається зі співвідношення:

$$\frac{W_p}{W} \cdot 100\%, \%. \quad (3.20)$$

22. Приріст активного мулу в аеротенку-витиснювачі визначається за формулою:

$$P = 0,8 \cdot C_{зр} + K_{\Pi} \cdot L_o, \text{ мг/дм}^3, \quad (3.21)$$

$C_{зр}$  – концентрація завислих речовин у стічній воді, що надходять до аеротенка-витиснювача, мг/дм<sup>3</sup>;

$K_{\Pi}$  – коефіцієнт приросту активного мулу, що приймається рівним для міських стічних вод (комунально-побутових) та близьких до них за складом виробничих стічних вод  $K_{\Pi}=0,3$ .

### Розрахунок системи аерації аеротенка

Приймаємо дрібно-бульбашкову систему аерації.

23. Визначаємо питомі витрати повітря на аерацію за формулою:

$$q_{\text{пов}} = \frac{q_o \cdot (L_o - L_t)}{K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_T \cdot (C_a - C_o)}, \text{ мг/дм}^3, \quad (3.22)$$

$q_o$  – питомі витрати кисню повітря; приймаються при очищенні до БСК<sub>повн</sub>=15-20 мгО<sub>2</sub>/л –  $q_o=1,1$  мг/дм<sup>3</sup>; при очищенні до БСК<sub>повн</sub>>20 мгО<sub>2</sub>/л –  $q_o=0,9$  мг/дм<sup>3</sup>;

$K_1$  – коефіцієнт, що враховує тип аератора; приймається для дрібно-бульбашкової аерації в залежності від співвідношення площ аерованої зони та аеротенка ( $f_{a.з.}/f_a$ ) (табл. 3.1). Приймаємо співвідношення площ аерованої зони та аеротенка  $f_{a.з.}/f_a=0,2$ ;

$K_2$  – коефіцієнт, що залежить від глибини занурення аераторів (табл. 3.2). Глибина занурення аераторів залежить від робочої глибини аеротенка (зазвичай  $h_a=H-0,5$  м);

$K_3$  – коефіцієнт якості води, що залежить від співвідношення площ аерованої зони та аеротенка ( $f_{a.з.}/f_a$ ) (табл. 3.3).

Таблиця 3.1 – Значення коефіцієнта, що враховує тип аератора, для дрібно-бульбашкової аерації в залежності від співвідношення площ аерованої зони та аеротенка

|                                                                           |      |      |      |      |      |     |      |     |
|---------------------------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|-----|------|-----|
| Співвідношення $f_{a.з.}/f_a$                                             | 0,05 | 0,1  | 0,2  | 0,3  | 0,4  | 0,5 | 0,75 | 1   |
| Значення $K_1$                                                            | 1,34 | 1,47 | 1,68 | 1,89 | 1,94 | 2   | 2,13 | 2,3 |
| Величина $I_a^{\text{max}}$ ,<br>м <sup>3</sup> /(м <sup>2</sup> ·годину) | 5    | 10   | 20   | 30   | 40   | 50  | 75   | 100 |

Таблиця 3.2 – Значення коефіцієнта, що залежить від глибини занурення аераторів

|                                                                           |     |      |     |     |     |    |      |      |      |     |
|---------------------------------------------------------------------------|-----|------|-----|-----|-----|----|------|------|------|-----|
| Величина $h_a$ , м                                                        | 0,5 | 0,6  | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1  | 3    | 4    | 5    | 6   |
| Значення $K_2$                                                            | 0,4 | 0,46 | 0,6 | 0,8 | 0,9 | 1  | 2,08 | 2,52 | 2,92 | 3,3 |
| Величина $I_a^{\text{min}}$ ,<br>м <sup>3</sup> /(м <sup>2</sup> ·годину) | 48  | 42   | 38  | 32  | 28  | 24 | 4    | 3,5  | 3    | 2,5 |

Таблиця 3.3 – Значення коефіцієнта якості води, що залежить від співвідношення площ аерованої зони та аеротенка

|                               |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Співвідношення $f_{a.з.}/f_a$ | 0,05 | 0,1  | 0,2  | 0,3  | 0,4  | 0,5  | 0,75 | 1    |
| Значення $K_3$                | 0,59 | 0,59 | 0,64 | 0,66 | 0,72 | 0,77 | 0,88 | 0,99 |

$K_T$  – коефіцієнт, що враховує температуру стічних вод, який слід визначати за формулою:

$$K_T = 1 + 0,02 \cdot (T_{cp} - 20), \quad (3.23)$$

$T_{cp}$  – середньомісячна температура води за літній період, °С;

$C_a$  – розчинність кисню повітря у воді, що визначається за формулою:

$$C_a = \left(1 + \frac{h_a}{20,6}\right) \cdot C_T, \text{ мг/дм}^3, \quad (3.24)$$

$C_T$  – розчинність кисню у воді в залежності від температури ( $T_{cp}$ , °C) та атмосферного тиску, що приймається за довідковими даними (табл. 3.4);

Таблиця 3.4 – Розчинність кисню в чистій воді при тиску 0,1 МПа

| Тем-ра $T_{cp}$ , °C       | 5     | 10    | 12    | 14    | 16   | 18  | 20   | 22   | 24   | 26   | 28   |
|----------------------------|-------|-------|-------|-------|------|-----|------|------|------|------|------|
| $C_T$ , мг/дм <sup>3</sup> | 12,79 | 11,27 | 10,75 | 10,26 | 9,82 | 9,4 | 9,02 | 8,67 | 8,33 | 8,02 | 7,72 |

24. Інтенсивність аерації мулової суміші в аеротенку визначається за формулою:

$$I = \frac{q_{нов} \cdot H}{t_{ap}}, \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{годину}). \quad (3.25)$$

В регенераторах рекомендується приймати кількість аераторів у 2 рази більшою, ніж в аеротенках. Тоді інтенсивність аерації буде складати:

- в аеротенку  $I_a = 0,67 \cdot I$ , м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>·годину);
- в регенераторі  $I_p = 1,33 \cdot I$ , м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>·годину).

Отримані значення мають бути в межах  $I_a^{\min} < I_a$ ,  $I_p < I_a^{\max}$ .

Приймаємо  $I_a^{\min}$  і  $I_a^{\max}$ , м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>·годину), за допомогою табл. 3.1 і 3.2.

25. Загальні витрати повітря, що подається в аеротенк, визначаються за формулою:

$$Q_{нов} = q_{нов} \cdot q, \text{ м}^3/\text{годину}. \quad (3.26)$$

26. Приймаємо аератори з дірчастих труб діаметром 88 мм (площа одного ряду аераторів на 1 м довжини аеротенка  $f_d=0,09$  м<sup>2</sup>/м) з отворами діаметром 3 мм, число отворів на 1 м – 80. Максимальні питомі витрати повітря на одиницю робочої поверхні аераторів складають  $J_{ad}=73$  м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>·годину).

27. Кількість рядів труб на першій половині аеротенка та регенератора в кожній секції визначається за формулою:

$$n_1 = \frac{I \cdot B}{I_{ad} \cdot f_d}; \quad (3.27)$$

Оскільки кількість аераторів на першій половині аеротенка та регенератора слід приймати вдвічі більшою, ніж на решті довжини, то кількість рядів труб на другій половині аеротенка та регенератора в кожній секції буде визначатися за формулою:

$$n_2 = \frac{n_1}{2}, \quad (3.28)$$

Отримані значення  $n_1$  та  $n_2$  округляємо до максимально цілого числа.

**Приклад розрахунку параметрів аеротенка-витиснювача з регенерацією активного мулу**

Вихідні дані для розрахунку параметрів аеротенка-витиснювача з регенерацією активного мулу:

- проектна продуктивність вузла біологічного очищення  $Q=7000 \text{ м}^3/\text{добу}$  ( $q=292 \text{ м}^3/\text{годину}$ );
- величина БСК<sub>повн</sub> стічної води, що надходить в аеротенк-витиснювач,  $L_o=453 \text{ мгО}_2/\text{л}$ ;
- величина БСК<sub>повн</sub> очищеної стічної води  $L_t=15 \text{ мгО}_2/\text{л}$ ;
- середньорічна температура стічних вод  $T=18 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- середньомісячна температура води річки Хорол за літній період дорівнює  $T_{cp}=21,8 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- концентрація завислих речовин у стічній воді, що надходять до аеротенка-витиснювача,  $C_{zp}=116,4 \text{ мг/дм}^3$ .

#### Розрахунок параметрів параметрів аеротенка-витиснювача з регенерацією активного мулу

1. Приймаємо дозу активного мулу за сухою речовиною для аеротенків-витиснювачів з регенерацією  $a_a=3,0 \text{ г/л}$ .

Величину мулового індексу в першому наближенні приймаємо  $I=70 \text{ см}^3/\text{г}$ .

Ступінь рециркуляції активного мулу визначаємо за формулою (3.1):

$$R_i = \frac{\alpha_a}{\frac{1000}{I} - \alpha_a} = \frac{3,0}{\frac{1000}{70} - 3,0} = 0,27.$$

2. Величину БСК<sub>повн</sub> стічних вод, що надходять на початок аеротенка-витиснювача, з врахуванням розбавлення циркуляційним активним мулом, визначаємо за формулою (3.2):

$$L_{cm} = \frac{L_o + L_t \cdot R_i}{1 + R_i} = \frac{453 + 15 \cdot 0,27}{1 + 0,27} = 359,88 \text{ мг/л}.$$

3. За даними табл. В.1 Додатка В приймаємо для комунально-побутових стічних вод:

- максимальну швидкість окиснення стічних вод  $P_{max}=85 \text{ мг} \cdot \text{БСК}_{повн}/(\text{г} \cdot \text{годину})$ ;

- константу, що характеризує властивості органічних забруднень,  $K_L=33 \text{ мг} \cdot \text{БСК}_{повн}/\text{дм}^3$ ;

- константу, що характеризує вплив кисню,  $K_o=0,625 \text{ мгО}_2/\text{дм}^3$ ;

- коефіцієнт інгібування продуктами розпаду органічних речовин активного мулу  $\varphi=0,07 \text{ л/г}$ ;

- зольність активного мулу  $S=0,3$  частки одиниці.

Коефіцієнт, що враховує вплив поздовжнього перемішування на процес очищення стічних вод при очищенні стоків до  $L_t=15 \text{ мг/дм}^3$  приймаємо  $K_p=1,5$ .

Тривалість перебування стічних вод в аеротенку-витиснювачі визначаємо за формулою (3.3):

$$t = \frac{1 + \varphi \cdot \alpha_a}{P_{max} \cdot C_o \cdot \alpha_a \cdot (1 - S)} \cdot \left[ (C_o + K_o) \cdot (L_{cm} - L_t) + K_L \cdot C_o \cdot \ln \frac{L_o}{L_t} \right] \cdot K_p =$$

$$= \frac{1 + 0,07 \cdot 3,0}{85 \cdot 2 \cdot 3,0 \cdot (1 - 0,3)} \cdot \left[ (2 + 0,625) \cdot (359,88 - 15) + 33 \cdot 2 \cdot \ln \frac{453}{15} \right] \cdot 1,5 = 5,75 \text{ години}.$$

4. Тривалість окиснення органічних забруднень (період аерації) з урахуванням температури стічних вод визначаємо за формулою (3.4):

$$t_t = t \cdot \frac{15}{T} = 5,75 \cdot \frac{15}{18} = 4,79 \text{ години.}$$

5. Дозу активного мулу в регенераторі в першому наближенні визначаємо за формулою (3.5):

$$\alpha_p = \alpha_a \cdot \left( \frac{1}{2 \cdot R_i} + 1 \right) = 3,0 \cdot \left( \frac{1}{2 \cdot 0,27} + 1 \right) = 8,56 \text{ г/л.}$$

6. Питому швидкість окиснення забруднень активним мулом при максимальній швидкості окиснення визначаємо за формулою (3.6):

$$\begin{aligned} \rho &= P_{\max} \cdot \frac{L_t \cdot C_o}{L_t \cdot C_o + K_L \cdot C_o + K_o \cdot L_t} \cdot \frac{1}{1 + \varphi \cdot \alpha_p} = \\ &= 85 \cdot \frac{15 \cdot 2}{15 \cdot 2 + 33 \cdot 2 + 0,625 \cdot 15} \cdot \frac{1}{1 + 0,07 \cdot 8,56} = 15,13 \text{ мг} \cdot \text{БСК}_{\text{повн}} / (\text{г} \cdot \text{годину}). \end{aligned}$$

7. Тривалість окиснення органічних забруднень визначаємо за формулою (3.7):

$$t_o = \frac{L_o - L_t}{\alpha_p \cdot (1 - S) \cdot \rho \cdot R_i} = \frac{453 - 15}{8,56 \cdot (1 - 0,3) \cdot 15,13 \cdot 0,27} = 17,89 \text{ години.}$$

8. Тривалість регенерації активного мулу визначаємо за формулою (3.8):

$$t_p = t_o - t_t = 17,89 - 4,79 = 13,1 \text{ години.}$$

9. Середню тривалість перебування стічних вод в системі «аеротенк – регенератор» визначаємо за формулою (3.9):

$$t_{ap} = (1 + R_i) \cdot t_t + t_p \cdot R_i = (1 + 0,27) \cdot 4,79 + 13,1 \cdot 0,27 = 9,62 \text{ години.}$$

10. Для уточнення мулового індексу, середню дозу активного мулу в системі «аеротенк – регенератор» визначаємо за формулою (3.10):

$$\alpha_{cp} = \frac{(1 + R_i) \cdot t_t \cdot \alpha_a + t_p \cdot R_i \cdot \alpha_p}{t_{ap}} = \frac{(1 + 0,27) \cdot 4,79 \cdot 3,0 + 13,1 \cdot 0,27 \cdot 8,56}{9,62} = 5,04 \text{ г/л.}$$

11. Навантаження за БСК<sub>повн</sub> на 1 г беззольної речовини активного мулу за добу визначаємо за формулою (3.11):

$$q_{\text{мул}} = \frac{24 \cdot (L_o - L_t)}{\alpha_{cp} \cdot (1 - S) \cdot t_{ap}} = \frac{24 \cdot (453 - 15)}{5,04 \cdot (1 - 0,3) \cdot 9,62} = 309,72 \text{ мгБСК}_{\text{повн}} / (\text{г} \cdot \text{добу}).$$

12. За табл. В.2 Додатка В для розрахованої величини  $q_{\text{мул}}$ , мгБСК<sub>повн</sub>/(г·добу), встановлюємо уточнений муловий індекс  $I_y$  зі співвідношення:

$$I_y = 70 + \frac{309,72 - 300}{80 - 70} = 71 \text{ см}^3/\text{г.}$$

Ступінь рециркуляції активного мулу уточнюємо за формулою (3.1):

$$R_y = \frac{\alpha_a}{\frac{1000}{I_y} - \alpha_a} = \frac{3}{\frac{1000}{71} - 3} = 0,271.$$

Знаходимо відхилення уточненого значення ступеня рециркуляції активного мулу від прийнятого раніше зі співвідношення (3.12):

$$\Delta = \frac{R_y - R_i}{R_i} \cdot 100\% = \frac{0,271 - 0,27}{0,27} \cdot 100\% = 0,37\%.$$

Оскільки відхилення уточненого значення ступеня рециркуляції активного мулу ( $R_y$ ) від прийнятого раніше ( $R_i$ ) не перевищує 10% ( $\Delta \leq 10\%$ ), немає необхідності виконувати повторний розрахунок з урахуванням відкоригованих значень  $I_y$  та  $R_y$ , тобто продовжуємо розраховувати наступні параметри аеротенка-витискувача з регенерацією активного мулу.

13. Робочий об'єм аеротенка-витиснювача визначаємо за формулою (3.13):

$$W_a = q \cdot (1 + R_i) \cdot t_t = 292 \cdot (1 + 0,27) \cdot 4,79 = 1776,32 \text{ м}^3.$$

14. Робочий об'єм регенератора визначаємо за формулою (3.14):

$$W_p = q \cdot R_i \cdot t_p = 292 \cdot 0,27 \cdot 13,1 = 1032,8 \text{ м}^3.$$

15. Загальний робочий об'єм аеротенка-витиснювача з регенерацією активного мулу визначаємо за формулою (3.15):

$$W = W_a + W_p = 1776,32 + 1032,8 = 2809,12 \text{ м}^3.$$

16. Приймаємо кількість секцій в аеротенку-витиснювачі  $N_c=2$ .

Робочий об'єм однієї секції аеротенка-витиснювача з регенерацією активного мулу визначаємо за формулою (3.16):

$$W_1 = \frac{W}{N_c} = \frac{2809,12}{2} = 1404,56 \text{ м}^3.$$

17. Знаючи робочий об'єм однієї секції, за допомогою табл. В.3 Додатка В обираємо типовий проект аеротенка-витиснювача з регенерацією активного мулу та його основні параметри.

Приймаємо двохкоридорний ( $N_k=2$ ) аеротенк-витиснювач з регенерацією активного мулу (робочий об'єм однієї секції аеротенку знаходиться в межах 1386-1559 м<sup>3</sup>) з двома секціями ( $N_c=2$ ). Робоча глибина аеротенка складає  $H=3,2$  м, ширина коридору –  $B=4,5$  м.

18. Довжину секції аеротенка-витиснювача визначаємо за формулою (3.17):

$$L = \frac{W}{B \cdot H \cdot N_c \cdot N_k} = \frac{2809,12}{4,5 \cdot 3,2 \cdot 2 \cdot 2} = 48,77 \approx 49 \text{ м}.$$

19. Кількість резервних секцій в аеротенку-витиснювачі визначаємо за умови:

$$N_{c.p.} \geq 0,5 \cdot N_c \geq 0,5 \cdot 2 \geq 1, \text{ тобто } N_{c.p.}=1.$$

Загальну кількість секцій в аеротенку-витиснювачі визначаємо за формулою (3.18):

$$N_{c_{\text{заг}}} = N_c + N_{c.p.} = 2 + 1 = 3.$$

20. Приймаємо висоту бортів аеротенка-витиснювача  $h_{\text{борт}}=0,5$  м.

Повну глибину аеротенка-витиснювача визначаємо за формулою (3.19):

$$H_{\text{заг}} = H + h_{\text{борт}} = 3,2 + 0,5 = 3,7 \text{ м}.$$

21. Розподіл рециркуляційного активного мулу визначаємо зі співвідношення (3.20):

$$\frac{W_p}{W} \cdot 100\% = \frac{1032,8}{2809,12} \cdot 100\% = 36,77\% \approx 37\%.$$

22. Приріст активного мулу в аеротенку-витиснювачі визначаємо за формулою (3.21):

$$P = 0,8 \cdot C_{zp} + K_{II} \cdot L_o = 0,8 \cdot 116,4 + 0,3 \cdot 453 = 229,02 \text{ мг/дм}^3.$$

Розрахунок системи аерації аеротенка.

Приймаємо дрібно-бульбашкову систему аерації.

23. Коефіцієнт, що враховує температуру стічних вод визначаємо за формулою (3.23):

$$K_T = 1 + 0,02 \cdot (T_{cp} - 20) = 1 + 0,02 \cdot (21,8 - 20) = 1,036.$$

За табл. 3.4 в залежності від значення середньомісячної температури води річки Хорол за літній період, що дорівнює  $T_{cp}=21,8$  °С, приймаємо величину розчинності кисню в чистій воді при тиску 0,1 МПа  $C_T=8,67$  мг/дм<sup>3</sup>.

Розчинність кисню повітря у воді визначаємо за формулою (3.24)

$$C_a = \left(1 + \frac{h_a}{20,6}\right) \cdot C_T = \left(1 + \frac{3}{20,6}\right) \cdot 8,67 = 9,93 \text{ мг/дм}^3.$$

Приймаємо питомі витрати кисню повітря (за умови очищення стічної води до БСК<sub>повн</sub>=15-20 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>)  $q_o=1,1$  мг/дм<sup>3</sup>.

Нехай співвідношення площ аерованої зони та аеротенка складає  $f_{a.з.}/f_a=0,2$ . Тоді, за даними табл. 3.1, коефіцієнт, що враховує тип аератора, буде дорівнювати  $K_1=1,68$ .

Оскільки робоча глибина аеротенка складає  $H=3,2$  м, приймаємо глибину занурення аераторів  $h_a=3$  м. Тоді коефіцієнт, що залежить від глибини занурення аераторів (табл. 3.2), буде дорівнювати  $K_2=2,08$ .

Коефіцієнт якості для міських стічних вод (табл. 3.3), що залежить від співвідношення площ аерованої зони та аеротенка, дорівнює  $K_3=0,64$ .

Питомі витрати повітря на аерацію визначаємо за формулою (3.22):

$$q_{нов} = \frac{q_o \cdot (L_o - L_t)}{K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_T \cdot (C_a - C_o)} = \frac{1,1 \cdot (453 - 15)}{1,68 \cdot 2,08 \cdot 0,64 \cdot 1,036 \cdot (9,93 - 2)} = 19,75 \text{ мг/дм}^3.$$

24. Інтенсивність аерації мулової суміші в аеротенку визначаємо за формулою (3.25):

$$I = \frac{q_{нов} \cdot H}{t_{ap}} = \frac{19,75 \cdot 3,2}{9,62} = 6,57 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{годину}).$$

Звідси, інтенсивність аерації буде складати:

- в аеротенку  $I_a = 0,67 \cdot I = 0,67 \cdot 6,57 = 4,4 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{годину});$

- в регенераторі  $I_p = 1,33 \cdot I = 1,33 \cdot 6,57 = 8,74 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{годину}).$

За даними табл. 3.1 і 3.2 приймаємо  $I_a^{\min}=4 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{годину}),$   
 $I_a^{\max}=20 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{годину}).$

Порівнюємо отримані значення  $I_a$  та  $I_p$  з табличними  $I_a^{\min}$  та  $I_a^{\max}$ .

Отримані значення  $I_a$  та  $I_p$  знаходяться в установлених межах:  $4 < 4,4$  ( $I_a^{\min} < I_a$ ),  $8,74 < 20$  ( $I_p < I_a^{\max}$ ), тобто умови дотримано і розрахунок виконано вірно

25. Загальні витрати повітря, що подається в аеротенк, визначаємо за формулою (3.26):

$$Q_{нов} = q_{нов} \cdot q = 19,75 \cdot 292 = 5767 \text{ м}^3/\text{годину}.$$

26. Приймаємо аератори з дірчастих труб діаметром 88 мм ( $f_d=0,09 \text{ м}^2/\text{м}$ ) з отворами діаметром 3 мм, число отворів на 1 м – 80. Максимальні питомі витрати повітря на одиницю робочої поверхні аераторів складають  $J_{ad}=73 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{годину})$ .

27. Кількість рядів труб визначаємо:

- на першій половині аеротенка та регенератора в кожній секції за формулою (3.27):

$$n_1 = \frac{I \cdot B}{I_{ad} \cdot f_d} = \frac{6,57 \cdot 4,5}{73 \cdot 0,09} = 4,5;$$

- на другій половині аеротенка та регенератора в кожній секції за формулою (3.28):

$$n_2 = \frac{n_1}{2} = \frac{4,5}{2} = 2,25.$$

Приймаємо на першій половині аеротенка та регенератора п'ять рядів дірчастих труб, на другій – три ряди труб.

## КОНТРОЛЬНЕ ЗАВДАННЯ

Виконати технологічний розрахунок параметрів аеротенка-витиснювача з регенерацією активного мулу, призначеного для біологічного очищення стічних вод, яке здійснюється при штучно створених умовах, відповідно до варіанта вихідних даних, наведеного в табл. 3.5.

Таблиця 3.5 – Варіанти вихідних даних для технологічного розрахунку параметрів аеротенка-витиснювача з регенерацією активного мулу, призначеного для біологічного очищення стічних вод, яке здійснюється при штучно створених умовах

| Варіант | Показники                   |                              |                     |                          |                          |
|---------|-----------------------------|------------------------------|---------------------|--------------------------|--------------------------|
|         | $Q, \text{м}^3/\text{добу}$ | $L_o, \text{мгO}_2/\text{л}$ | $T, ^\circ\text{C}$ | $T_{cp}, ^\circ\text{C}$ | $C_{зр}, \text{мг/дм}^3$ |
| 1       | 7000                        | 450                          | 18                  | 21,8                     | 116                      |
| 2       | 10500                       | 520                          | 17,5                | 22,4                     | 120                      |
| 3       | 9500                        | 550                          | 16,3                | 23,2                     | 124                      |
| 4       | 8000                        | 460                          | 18,5                | 20,6                     | 127                      |
| 5       | 11500                       | 530                          | 15                  | 25,5                     | 117                      |
| 6       | 10800                       | 420                          | 17                  | 22,8                     | 121                      |
| 7       | 9000                        | 470                          | 18,6                | 23,8                     | 125                      |
| 8       | 11300                       | 500                          | 19                  | 21,6                     | 128                      |
| 9       | 7800                        | 540                          | 15,5                | 20,7                     | 118                      |

| Варіант | Показники                  |                             |          |               |                               |
|---------|----------------------------|-----------------------------|----------|---------------|-------------------------------|
|         | $Q$ , м <sup>3</sup> /добу | $L_o$ , мгО <sub>2</sub> /л | $T$ , °С | $T_{cp}$ , °С | $C_{зр}$ , мг/дм <sup>3</sup> |
| 10      | 10000                      | 480                         | 16,5     | 24,1          | 122                           |
| 11      | 8500                       | 430                         | 17,4     | 22,5          | 126                           |
| 12      | 9200                       | 510                         | 19,5     | 21,5          | 129                           |
| 13      | 11000                      | 490                         | 16       | 20,2          | 119                           |
| 14      | 7500                       | 440                         | 19,3     | 26            | 123                           |
| 15      | 9290                       | 475                         | 16,7     | 21,9          | 130                           |
| 16      | 10740                      | 505                         | 18,3     | 23,2          | 115                           |
| 17      | 11430                      | 485                         | 17,4     | 20,4          | 112                           |
| 18      | 7780                       | 425                         | 15,7     | 22,3          | 110                           |
| 19      | 10260                      | 445                         | 17,7     | 24,7          | 114                           |
| 20      | 11160                      | 495                         | 19,2     | 21,3          | 111                           |

*Примітки:* Тип стічних вод – міські (комунально-побутові).

## ПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

### Контрольні питання

1. Які існують види споруд біологічного очищення?
2. З чого складається активний мул і біоплівка?
3. Які існують етапи вилучення органічних речовин зі стічних вод?
4. Які фази розвитку проходить активний мул у контакті з забрудненою рідиною в умовах аерації?
5. Які можна виділити технологічні характеристики роботи аераційних споруд?
6. Надати характеристику одноступінчатої схеми біологічного очищення стічних вод в аеротенках без регенерації.
7. Надати характеристику одноступінчатої схеми біологічного очищення стічних вод в аеротенках з регенерацією.
8. Надати характеристику двоступінчатої схеми біологічного очищення стічних вод в аеротенках без і з регенерацією.
9. Навести класифікацію аеротенків за основними ознаками.
10. Надати характеристику аеротенків-витиснювачів.
11. Надати характеристику аеротенків-змішувачів.
12. Надати характеристику аеротенків з розосередженою подачею води.

### Тестові завдання

1. До споруд біологічного очищення в умовах, близьких до природних, відносять:
  - поля зрошення;
  - біофільтри;
  - аеротенки;
  - метантенки.

2. Резервуар, в якому стоки, що очищуються, змішуються з активним мулом, називається:

- біофільтр;
- аеротенк;
- метантенк;
- окситенк.

3. До споруд біологічного очищення в штучно створених умовах відносять:

- поля зрошення;
- поля фільтрації;
- біофільтри;
- біологічні ставки.

4. Як називається біоценоз організмів, що розвиваються в аеробних умовах на органічних забрудненнях?

- активний мул;
- біоплівка;
- субстрат;
- ферменти.

5. Як називається фаза розвитку, в якій надлишок поживних речовин і відсутність продуктів обміну сприяють максимальній швидкості розмноження клітин?

- фаза уповільненого росту;
- фаза експоненціального росту;
- фаза ендогенного дихання;
- фаза нульового росту.

6. Кількість забруднень, поданих в аеротенк у перерахунку на одиницю активного мулу за годину – це:

- доза активного мулу;
- навантаження на активний мул;
- муловий індекс;
- питома швидкість окислення забруднень.

7. За гідродинамічним режимом аеротенки бувають:

- напівпроточні;
- контактні;
- аеротенки-змішувачі;
- аеротенки з окремою регенерацією.

8. Як називається аеротенк, в якому воду і активний мул подають на початку споруди, а суміш відводять в її кінці?

- аеротенк-змішувач;
- аеротенк-витиснювач;
- аеротенк із розосередженою подачею води;
- коридорний аеротенк.

## ПРАКТИЧНА РОБОТА 4

### ПРОЕКТУВАННЯ ТА РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ СПОРУД СУХОГО ОЧИЩЕННЯ ГАЗОВИХ ВИКИДІВ ВІД ПИЛУ

**Мета:** набуття теоретичних знань у сфері виробничого планування та проектування природоохоронних систем та обладнання та здобуття практичних навичок з технологічного розрахунку та вибору очисних споруд, призначених для сухого очищення газових викидів від пилу.

**Завдання:**

1. Ознайомитися з конструкціями та принципом роботи технологічного обладнання, призначеного для сухого очищення газових викидів від пилу.
2. Ознайомитися з методикою технологічного розрахунку параметрів батарейного циклону, призначеного для сухого очищення газових викидів від пилу.
3. Виконати технологічний розрахунок параметрів батарейного циклону, призначеного для сухого очищення газових викидів від пилу, відповідно до варіанта вихідних даних.

В результаті виконання даної практичної роботи будуть сформовані наступні **результати навчання:**

- знати методи, апарати, споруди, технологічні схеми очищення компонентів навколишнього природного середовища;
- вміти розробляти та обґрунтовувати вибір апаратів, споруд, технологічних схем очищення компонентів навколишнього природного середовища;
- вміти використовувати діючі методи і нормативні документи, виконувати розрахунки основних параметрів природоохоронних систем, споруд та обладнання.

### ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

#### **Засоби очищення газових викидів сухими пиловловлювачами**

Технологічні процеси очищення газових викидів сухими пиловловлювачами ґрунтуються на фізичних та хімічних властивостях забруднювачів та використанні основних фізичних закономірностей, внаслідок яких відбувається пиловловлювання.

Удосконалення технологічних процесів та розробка нових мало- й безвідходних технологій, що дозволяють вловлювати й утилізувати газові відходи, базується на використанні одного або декількох механізмів осадження завислих в газах частинок. Основними механізмами осадження завислих частинок є дія сил гравітації, інерції, дифузії, відцентрових сил та за рахунок сил зчеплення.

Осадження під дією *сил гравітації (седиментація)* обумовлено вертикальним осіданням частинок внаслідок дії сили тяжіння при їхньому переміщенні через газоочисний апарат.

Осадження під дією *відцентрової сили* відбувається при криволінійному русі аеродинамічного потоку, коли виникають відцентрові сили, під дією яких частинки пилу відкидаються на поверхню апарата.

*Інерційне осадження* відбувається у випадку, коли маса частинки або швидкість руху настільки незначні, що вона вже не може рухатися разом з газом за лінію течії, що охоплює перешкоду. Намагаючись за інерцією продовжувати свій рух, частинки пилу стикаються з перешкодою і осаджуються на ній.

*Дифузійне осадження* відбувається внаслідок того, що дрібні частинки пилу зазнають безперервної взаємодії з частинками газів, які знаходяться в броунівському русі. В результаті цієї взаємодії відбувається осадження частинок на поверхні обтічних тіл або стінок пиловловлювача.

Осадження частинок за рахунок *зчеплення* спостерігається коли відстань від частинки, що рухається в газовому потоці, до обтічного тіла не перевищує її радіуса.

В технологічному обладнанні для пиловловлювання в більшості випадків одночасно приймають участь в очищенні газового потоку декілька фізичних процесів. Але, часто, тільки один з них є домінуючим при осажденні частинок певного типу. При проектуванні технологічних процесів і конструюванні газоочисного обладнання необхідно, в першу чергу, визначити тип речовини, що видаляється з газового потоку, її об'єм та параметри. Основними параметрами є швидкість газового потоку, температура й склад газів, природа компонентів, що вилучаються з газових викидів, та необхідний ступінь очищення.

*Переваги* сухих механічних пиловловлювачів:

- простота конструкції, що визначає можливість їхнього виготовлення на неспеціалізованих підприємствах;
- для забезпечення робочих умов можна використовувати будь-який матеріал;
- відсутність рухомих частин в апараті;
- можливість вловлювання абразивних матеріалів;
- простота експлуатації;
- безвідмовність роботи при звичайних і високих температурах і тиску;
- сталість гідравлічного опору апаратів;
- можливість вилучення з газів пилу в сухому вигляді та рідини в нерозбавленому стані;
- можливість не зіпсувати вловлений продукт та повернути його у технологічний процес;
- відносно дешеві, в порівнянні з іншими апаратами;
- витрати енергії на роботу відносно малі, що обумовлено малим перепадом тиску при перебігу газу через пристрій.

*Недоліком* сухих пиловловлювачів є невисока ефективність вловлювання дрібнодисперсного пилу (60-80%).

Механічні пиловловлювачі використовують для попереднього очищення газів (першого ступеня) від крупнодисперсних частинок, розташовуючи їх

попередньо з пристроями інших типів, щоб зменшити навантаження на останні. Це особливо необхідно при сильно запылених газових потоках.

В табл. 4.1 наведено характерні параметри сухих механічних пиловловлювачів.

Таблиця 4.1 – Характерні параметри сухих механічних пиловловлювачів

| Тип апарата              | Максимальна продуктивність, м <sup>3</sup> /годину | Ефективність вловлювання частинок пилу різного розміру, % | Гідравлічний опір, Па | Верхня межа температури газів, °С |
|--------------------------|----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------------------|
| Камера осадження пилу    | залежить від площі осадження                       | 80-90 (50 мкм)                                            | 50-130                | 350-550                           |
| Циклон                   | 85000                                              | 50-80 (10 мкм)                                            | 250-1500              | 350-550                           |
| Батарейний циклон        | 170000                                             | 90 (5 мкм)                                                | 750-1500              | 350-550                           |
| Інерційний пиловловлювач | 127000                                             | 90 (2 мкм)                                                | 750-1500              | до 400                            |
| Вихровий пиловловлювач   | 30000                                              | 90 (2 мкм)                                                | до 2000               | до 250                            |
| Динамічний пиловловлювач | 42500                                              | 90 (2 мкм)                                                | 750-1500              | до 400                            |

### Камери осадження пилу

Камери осадження пилу являють собою найпростіші апарати для вловлювання пилу. Їх застосовують для гравітаційного грубого очищення газових викидів від частинок пилу розміром 30-100 мкм.

Їх виготовляють у вигляді порожнистих камер круглого або прямокутного перетину з бункером внизу для збору пилу.

Принцип роботи камер ґрунтується на виведенні частинок пилу з газопилового потоку шляхом їхнього осадження під дією сили тяжіння. Їх застосовують для вловлювання великих частинок сировинних матеріалів після обортових цементних печей, печей для обпалювання магнезиту і доломіту тощо.

Матеріалом для їхньої будови є цегла або збірний залізобетон, рідше сталь або деревина.

Основні переваги камер осадження пилу – простота їхньої конструкції, низька вартість, невеликі витрати енергії та незначний гідравлічний опір (50-100 Па), можливість вловлювання абразивного пилу. В камерах осадження пилу доволі ефективно вловлюються частинки пилу розміром від 40 мкм. Ефективність вловлювання частинок вискодисперсного пилу розміром менше 5 мкм, навіть у камерах великих розмірів, близька до нуля.

На даний час навіть найсучасніші за конструкцією пилові камери займають багато місця і в якості самостійних апаратів пиловловлювання майже не застосовуються. Однак спрощені варіанти пилових камер знаходять деяке застосування в якості елементів основного технологічного обладнання, що дозволяє вловлювати найбільш крупні частинки для розвантаження основного газоочисного обладнання і попередження осадження часточок пилу в з'єднувальних газоходах.

## **Інерційні пиловловлювачі**

*Інерційні пиловловлювачі* застосовують для грубого очищення сухих газових викидів від частинок пилу розміром від 30 до 100 мкм.

Принцип дії інерційних апаратів ґрунтується на використанні інерційних сил та додаткового моменту руху вниз. Якщо в апараті за напрямком руху газу встановити перепону, то газовий потік огинає її, а тверді частинки за інерцією зберігають попередній напрямок руху. Наштовхуючись на перепону, вони втрачають швидкість і випадають з течії. Ефективність пиловловлення збільшується, якщо частинці надати додаткового моменту руху, вектор якого направлений донизу й співпадає з вектором гравітаційних сил.

Перевагою інерційних пиловловлювачів є невеликі габарити, що забезпечують швидкість руху газів 10-15 м/с. Достатньо високий гідравлічний опір 200-300 Па забезпечує ступінь уловлення до 65-80% частинок розмірами менше 25-30 мкм.

Інерційні пиловловлювачі застосовують зазвичай на першому ступені очищення з наступним знепилюванням повітря в більш удосконалених апаратах.

## **Циклони**

Серед засобів сухого інерційного очищення газових викидів від пилу найбільш поширені циклони, які застосовуються для виділення з газового потоку частинок порівняно великого розміру.

Виділення пилу в циклонах відбувається під дією відцентрових сил, що виникають внаслідок обертання газового потоку в корпусі апарата. Під дією відцентрової сили частинки пилу відкидаються до стінок циклону, завдяки чому основна маса пилових часточок зосереджується в потоці газу, що рухається в безпосередній близькості від стінок апарату.

Залежно від якостей пилу і його дисперсного складу та вимог до очищення газу циклони застосовуються як апарати першого ступеня очищення або в поєднанні з іншими пиловловлювачами.

Вони ефективно вловлюють з газу частинки пилу діаметром 5 мкм і більше. Допустима початкова концентрація пилу в газопиловому потоці, що очищується в циклонах, залежить від якостей забруднених газів, конструкції й розмірів циклона. В середньому вона не повинна перевищувати  $400 \cdot 10^{-6}$  кг/м<sup>3</sup>.

*Перевагою* циклонів є:

- відсутність рухомих частин в апараті;
- надійне функціонування при температурах газів майже до 500 °С без конструктивних змін;
- пил вловлюється в сухому вигляді;
- стабільна величина гідравлічного опору;
- можливість вловлювання абразивних матеріалів при захисті спеціальним покриттям внутрішньої поверхні;
- простота виготовлення конструкції і можливість ремонту;
- незалежність роботи апарата від тиску газу;

- незалежність фракційної ефективності очищення від зростання запиленості газів;

- висока продуктивність при порівняно низькій вартості.

*Недоліком* є те, що значний гідравлічний опір 1250-1500 Па високоефективних циклонів призводить до поганого вловлювання частинок розміром менше 5 мкм.

У промисловій практиці прийнято поділяти циклони на високоефективні і високопродуктивні. Апарати першого типу відрізняються більш високою ефективністю очищення, але потребують більших витрат на здійснення процесу. Циклони другого типу мають невеликий гідравлічний опір, відрізняються великою продуктивністю, але гірше вловлюють дрібні часточки.

За формою циклони поділяються на циліндричні (висота циліндричної частини більше висоти конічної) і конічні (висота циліндричної частини менше висоти конічної).

### **Характеристика параметрів батарейного циклону**

При очищенні димових газів об'ємом понад 80000-100000 м<sup>3</sup>/годину і за високих вимог до очищення слід застосовувати батарейні циклони.

Батарейні циклони застосовуються для вловлювання золи за котлами паропроодуктивністю від 20 до 500 тонн/годину, ступінь уловлювання становить 88-92% при гідравлічному опорі 500-800 Па.

Циклон являє собою пиловловлюючий апарат, що складається з великої кількості паралельно включених циклонних елементів (від декількох десятків до декількох сотень), які мають спільні колектори для підведення запиленого газу, а також спільний бункер для збирання пилу (рис. 4.1).

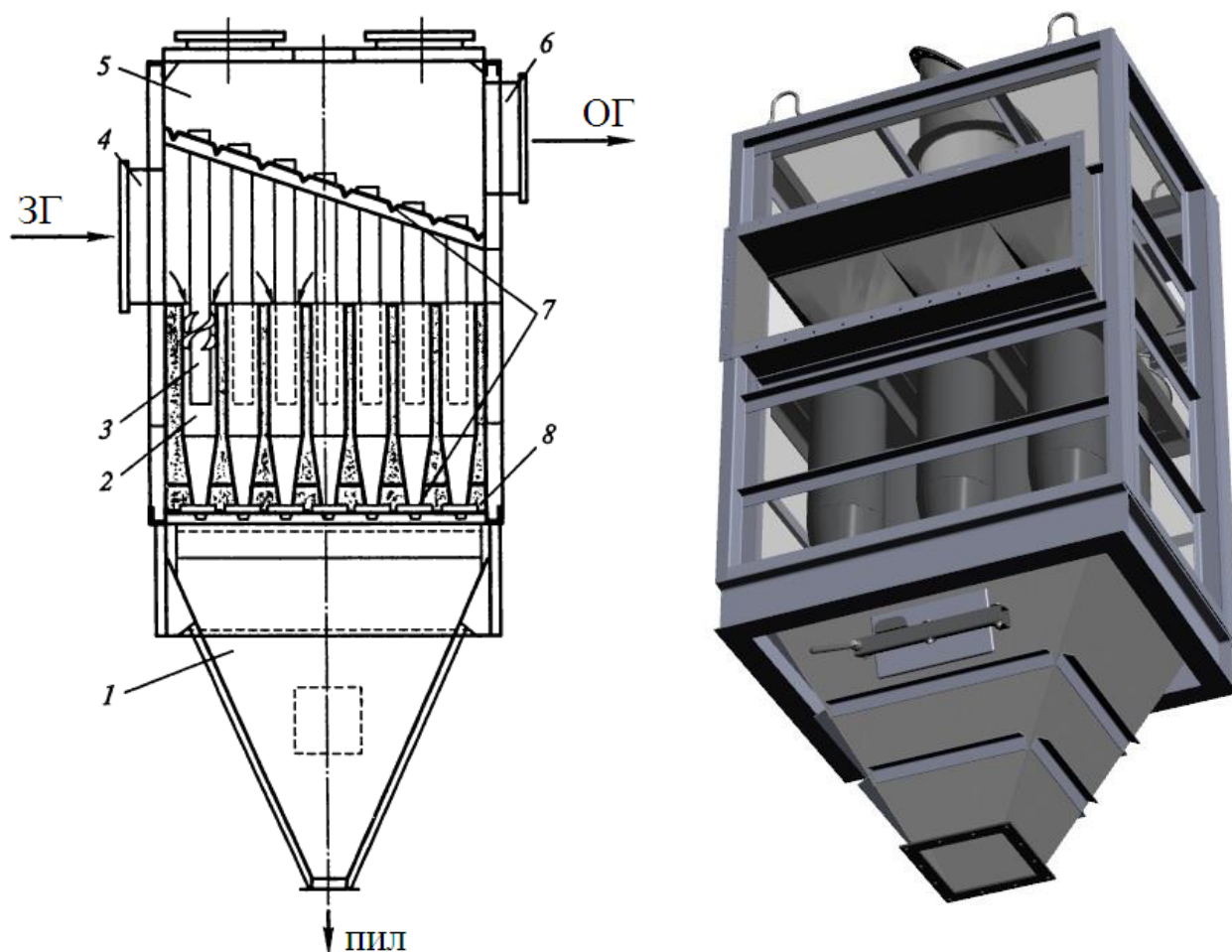
Газ, що знепилюється, через вхідний патрубок 4 надходить у розподільчу камеру, звідки виходить у кільцеві зазори між корпусами 2 і вихлопними трубами 3 циклонних елементів. В зазорах встановлені спрямовуючі апарати, що закручують газовий потік таким чином, щоби відцентрова сила, яка утворюється, відкидала часточки пилу до стінок корпусів елементів і пил через отвір для відведення зсипався в збірний бункер 1. Очищений газ через вихлопні труби надходить у камеру 5. Для кріплення корпусів елементів і вихлопних труб застосовують, відповідно, нижню і верхню дошки 7. Пил, що надходить до бункера, відводиться в систему пилотранспорту.

Батарейні циклони мають менший гідравлічний опір і працюють в значному діапазоні запилення (до 100 г/м<sup>3</sup>).

Їхнім *недоліком* є складність виготовлення та значна металоємкість апаратів. Крім того, батарейні циклони ефективно працюють тільки при очищенні сухих газів та пилу, що не злипається.

На відміну від звичайних циклонів, надання газовому потоку обертового руху, необхідного для виділення пилу, в елементах батарейного циклону досягається не підведенням до них газів по дотичній, а встановленням у кожному циклонному елементі направляючого апарату. Зниження діаметра циклонного елемента в цьому випадку має на меті збільшення ефективності очищення, яка дещо зростає зі зменшенням діаметра. В результаті розміри

батареїного циклону (у плані) менші за розміри звичайних циклонів однакової продуктивності. Однак на відміну від звичайних циклонів батарейні циклони складніші у виготовленні і відповідно дорожчі.



**Рисунок 4.1 – Конструктивна схема батарейного циклону**

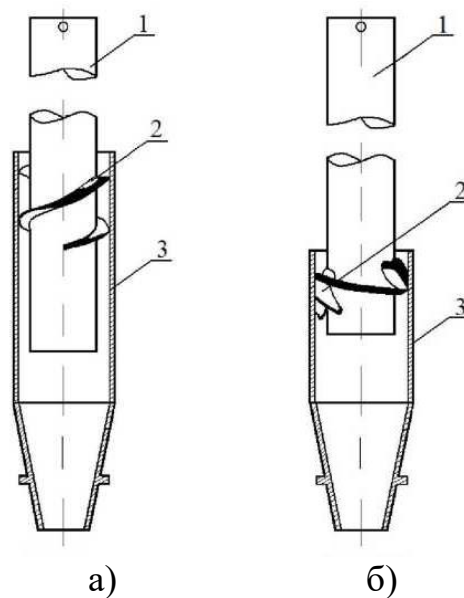
Кількість циклонних елементів може досягати кількох сотень. Так, батарейний циклон продуктивністю  $65000 \text{ м}^3/\text{годину}$  містить 792 циклонні елементи.

Циклонний елемент складається з корпусу, вихлопної труби та направляючого апарату (рис. 4.2).

Газ із розподільчої камери надходить в елементи по осі. Лопатки направляючого апарату надають газу обертальний рух, і він прямує по низхідній у бік отвору для спуску пилу. Частинки пилу набувають відцентрового прискорення і переміщуються в периферії потоку, що обертається. В результаті концентрація пилу у верхніх шарах газу, що рухаються біля стінок корпусу елемента, зростає, а в областях, розташованих ближче до осі елемента, знижується. Частинки пилу, що сконцентрувалися на внутрішній поверхні корпусу, рухаються разом з потоком, що обертається, і надходять у збірний бункер. При цьому в бункер надходить також невелика частина газів з низхідного вихору, яка у нормально працюючого елемента

повністю всмоктується через центральну частину отвору для спуску пилу, даючи початок внутрішньому висхідному вихору чистого газу.

Оптимальна швидкість газів в елементі від 3,5 до 4,75 м/с, а для прямоточних циклонних елементів – від 11 до 13 м/с.



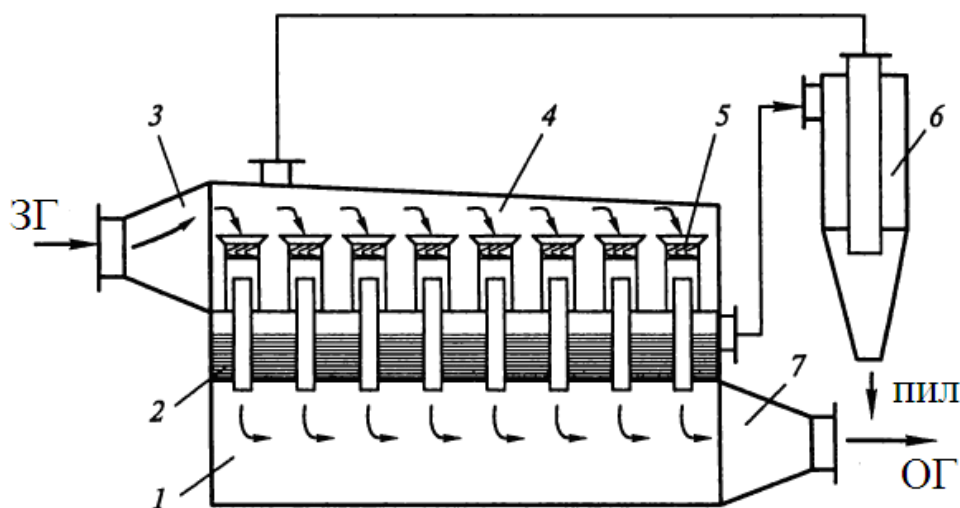
**Рисунок 4.2 – Елементи батарейного циклону**

а – направляющий аппарат «гвинт»; б – направляющий аппарат «розетка»;  
1 – вихідна труба; 2 – направляющий аппарат; 3 – корпус

Основною відмінністю прямоточних батарейних циклонів, крім наявності відповідного направляючого елемента, є поділ газового потоку на два: перший з великою концентрацією пилу відводиться і піддається очищенню в циклоні або іншому пилоочисному апараті, а другий, очищений, викидається в навколишнє середовище (рис. 4.3).

Газопиловий потік з камери запиленого газу 4 надходить в обладнані гвинтовими завихрювачами елементи 5, в яких під дією відцентрових сил відбувається перерозподіл концентрації пилу за перетином елемента: зростання у стінок і зменшення в центральній частині. Знепилений потік з центральної частини елемента відводиться в камеру очищеного газу 1. Периферійний шар газу, збагачений пилом, через торцеве кільце елемента відсмоктується вентилятором і, пройшовши пиловловлювач 6 (циклон), повертається в камеру запилених газів.

Батарейні циклони з прямоточними елементами дають менший ступінь очищення, ніж звичайні, тому їх рідко застосовують як самостійні пиловловлювачі. Найчастіше їх встановлюють як апарати попереднього очищення перед високоефективними пиловловлювачами – електрофільтрами або рукавними фільтрами.



**Рисунок 4.3 – Прямоточний батарейний циклон**

- 1 – колектор очищеного газу; 2 – прямоточний циклонний елемент;  
 3 – патрубок для підведення запиленого газу; 4 – колектор запиленого газу;  
 5 – спрямовуючий апарат; 6 – циклон; 7 – патрубок для відведення  
 очищеного газу

### **Вихрові та динамічні пиловловлювачі**

Основною відмінністю *вихрових пиловловлювачів* від циклонів є наявність допоміжного завихрювача газового потоку.

Принцип роботи вихрових пиловловлювачів ґрунтується на дії відцентрових сил на частинку пилу. Порівняно з циклоном у них висока ефективність очищення (98-99%) газів від дрібнодисперсних частинок пилу (3-5 мкм). Вони можуть очищувати гази з температурою до 700 °С за рахунок застосування вторинного повітря. Крім того, відсутнє абразивне зношення активних частин апарату і є можливість регулювання процесу сепарації пилу за рахунок регулювання витрат вторинного повітря. Їхніми *недоліками* є складна будова та складнощі в експлуатації апарату; необхідність встановлення додаткового пристрою для подачі вторинного повітря – вентилятора; збільшення за рахунок вторинного газу загального об'єму газів.

Вихрові пиловловлювачі можуть застосовуватися для очищення вентиляційних і технологічних викидів від дрібнодисперсного пилу в хімічній, нафтохімічній, харчовій, гірничорудній та інших галузях промисловості. За кордоном вихрові пиловловлювачі мають продуктивність від 330 до 30000 м³/годину. У вітчизняних конструкціях забезпечується більш низький гідравлічний опір і більш низька частка вторинного повітря, у порівнянні з закордонними апаратами.

Для орієнтовної оцінки ефективності вловлювання частинок різного розміру можна користуватися даними, наведеними нижче:

|                           |     |    |    |
|---------------------------|-----|----|----|
| Розмір частинок пилу, мкм | 2,5 | 5  | 10 |
| Ступінь очищення, %       | 92  | 95 | 98 |

Очищення газу в *динамічних ротаційних пиловловлювачах* здійснюється за рахунок відцентрових сил та сил Коріоліса, що виникають при обертанні робочого колеса. Вони виконують одночасно функції вентилятора чи димососа та апарата для виділення частинок пилу з газу. Апарати більш компактні і витрачають менше енергії, ніж звичайні вентилятори і пиловловлюючі пристрої.

Прості ротаційні пиловловлювачі являють собою механізм, що складається з робочого колеса і кожуха (пилоприймача). Газопиловий потік набуває обертального руху за допомогою робочого колеса. При цьому під дією відцентрової і сили Коріоліса з газів, що очищуються, виділяється пил.

Експлуатаційний досвід показує, що динамічні пиловловлювачі забезпечують високий ступінь очищення при вловлюванні частинок розміром більше 10 мкм.

За принципом дії динамічні пиловловлювачі поділяються на дві групи. В апаратах першої групи відокремлювані частинки пилу мають напрям руху, що співпадає з напрямом руху газу, тобто в них відцентрова сила направлена назустріч повітряному потоку. В апаратах другої групи частинки, що вловлюються, виділяються з потоку в напрямку, протилежному прямому руху газу.

Динамічні пиловловлювачі компактні, надійні в роботі, їм не потрібні додаткові спонукачі газу, можуть вловлювати абразивний пил. *Недоліком* цих апаратів є невисокий ступінь очищення (80-90%); небезпека абразивного зносу лопаток димососу; можливість утворення відкладень на лопатках, і як наслідок, дисбаланс ротора і складність у виготовленні; підвищена енергоємність.

## **ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА**

### **Порядок розрахунку параметрів батарейного циклона**

Розрахунок параметрів батарейного циклона виконується в наступній послідовності.

1. Обираємо тип направляючого апарату батарейного циклона.

В якості направляючого апарату використовуються апарати типу «гвинт» та «розетка». Направляючий апарат типу «гвинт» складається з двох гвинтових лопаток, нахилених під кутом  $\alpha=25^\circ$ . Він менш схильний до забивання золою та пилом, має менший коефіцієнт гідравлічного опору, але одночасно забезпечує і менший ступінь очищення, ніж апарат типу «розетка». Останній складається з восьми лопаток, нахилених під кутом  $25^\circ$  або  $30^\circ$  і може бути з ударним і безударним входом. Кут нахилу лопаток  $25^\circ$  сприяє більш високому коефіцієнту очищення, але збільшує гідравлічний опір, порівняно з опором, коли кут нахилу становить  $30^\circ$ .

2. За табл. 4.2 приймаємо діаметр циклонних елементів ( $D_{cm}$ , мм) в залежності від максимальної запиленості газу ( $C_{ex}$ , г/м<sup>3</sup>) і типу направляючого апарату.

Найбільш поширені циклонні елементи діаметром 100, 150 та 250 мм. Досвід експлуатації батарейних циклонів з елементами різного діаметра показує, що апарати, складені з великої кількості циклонних елементів малого

діаметра (100 і 150 мм), без відсмоктування газів із пилового бункера, працюють недостатньо ефективно та надійно. Крім того, при використанні елементів малого діаметра збільшується небезпека шкідливого перетікання газів між елементами. Тому найчастіше для батарейних циклонів доцільно застосовувати елементи діаметром 250 мм.

Таблиця 4.2 – Максимальна запиленість газу при вловлюванні пилу, що слабо злипається

| Діаметр елемента<br>$D_{ст}$ , мм | Максимальна запиленість газу $C_{вх}$ , г/м <sup>3</sup> |                        |
|-----------------------------------|----------------------------------------------------------|------------------------|
|                                   | елемент типу «Гвинт»                                     | елемент типу «Розетка» |
| 100                               | до 25                                                    | до 15                  |
| 150                               | до 50                                                    | до 35                  |
| 250                               | до 100                                                   | до 75                  |

3. За табл. 4.3 обираємо тип батарейного циклону з урахуванням галузі застосування та типу направляючого апарата циклонного елемента.

Таблиця 4.3 – Технічні характеристики батарейних циклонів зі зворотно-потокowymi елементами

|                                                                      | Тип циклону                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                      |
|----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                      | ЦБ-254Р                                                                                                                                                                                                                                                          | БЦ-2                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | ПБЦ                                                                                                                                                                                                                  |
| Кількість елементів, штуки                                           | 25; 30; 40; 50; 60; 80                                                                                                                                                                                                                                           | 20; 25; 30; 36; 42; 56                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 24; 36; 48; 96; 116; 140; 212                                                                                                                                                                                        |
| Оптимальна швидкість потоку газу в елементі, $W_{опт}$ , м/с         | 4,5                                                                                                                                                                                                                                                              | 4,5                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 3,5                                                                                                                                                                                                                  |
| Пропускна здатність за газом однієї секції $V_I$ , м <sup>3</sup> /с | 5,6-16,2                                                                                                                                                                                                                                                         | 4,84-13,6                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 4,2-16,7                                                                                                                                                                                                             |
| Коефіцієнт опору $\xi$ , Па                                          | 90                                                                                                                                                                                                                                                               | 65                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 120                                                                                                                                                                                                                  |
| Тип направляючого елемента                                           | розетка з кутом нахилу 25°                                                                                                                                                                                                                                       | розетка з кутом нахилу 25°                                                                                                                                                                                                                                                                                    | напівравликовий                                                                                                                                                                                                      |
| Галузь застосування                                                  | - температура газу, що очищується, не більше 400 °С;<br>- допустима концентрація пилу в газі, що очищується: для пилу, що не злипається або слабо злипається – не більше 400 г/м <sup>3</sup> ; для пилу, що середнє злипається – не більше 100 г/м <sup>3</sup> | - температура газу, що очищується, не більше 150 °С;<br>- ефективність очищення (від золи $d_m=20$ мкм) не менше 85%;<br>- допустима концентрація пилу в газі, що очищується: для пилу, що слабо злипається – не більше 75 г/м <sup>3</sup> ; для пилу, що середнє злипається – не більше 35 г/м <sup>3</sup> | - для небезпечних аерозолів з температурою до 120 °С;<br>- допустима концентрація пилу в газі, що очищується, не більше 75 г/м <sup>3</sup> ;<br>- ефективність очищення (від вугільного пилу $d_m=30$ мкм) вище 95% |

Циклони БЦ-2 застосовуються для сухого вловлювання золи з димових газів парових і водогрійних стаціонарних котлів паропродуктивністю до 20 тонн/годину при спалюванні твердих палив, що містять золу. Можуть бути використані для вловлювання різних видів неволокнистого пилу та пилу, що не злипається.

Батарейні циклони БЦ-2 найчастіше використовують на великих промислових підприємствах. Застосування даних пристроїв на виробничих об'єктах є обов'язковим, оскільки циклони батарейного типу забезпечують чистоту повітря та здійснюють правильне видалення золи, відходів від термічної обробки на всіх етапах виробництва. Дані агрегати мають великий термін служби та високу продуктивність.

Батарейні циклони БЦ-2 можуть бути двосекційними. Вертикальні циклонні елементи діаметром  $D_{вн}=254$  мм розміщені горизонтальними рядами. Елементи оснащені профільованими направляючими апаратами типу «розетка» з кутом нахилу  $25^\circ$ .

Батарейні циклони ЦБ-254Р призначені для сухого очищення від пилу димових газів котелень та інших технологічних газів, а також аспіраційного повітря.

Газ, що очищується, не повинен бути вибухонебезпечним, а пил, що вловлюється, – вибухонебезпечним і таким, що сильно злипається.

Батарейні циклони ЦБ-254Р односекційні. При необхідності очищення великого об'єму газу в складі установки може бути використано кілька секцій. Вертикальні циклонні елементи діаметром  $D_{вн}=254$  мм розміщені горизонтальними рядами. Елементи мають направляючі апарати типу «розетка» з профільованими лопатками з кутом нахилу до горизонталі  $25^\circ$ .

Прямоточні батарейні циклони ПБЦ призначені для вловлювання пилу технологічних газів та повітря на сушильних установках, у системах промислової вентиляції та аспірації. Найчастіше вони застосовуються на вуглезбагачувальних та вуглебрикетних фабриках. Також вони можуть бути використані в інших галузях промисловості.

Прямоточні батарейні циклони ПБЦ можуть бути одно-, дво- та трисекційними. Циклонні елементи діаметром  $D_{вн}=231$  мм з напівравликовим входом газу розміщені вертикальними рядами з кутом нахилу до горизонталі  $45^\circ$ .

Батарейні циклони з прямоточними елементами ПБЦ дають менший ступінь очищення, ніж звичайні, тому вони рідко застосовуються як самостійні пиловловлювачі. Їх частіше встановлюють перед високоефективними пиловловлювачами – електрофільтрами або рукавними фільтрами.

4. За табл. 4.3 приймаємо значення оптимальної швидкості потоку газу ( $W_{opt}$ , м/с) для обраного типу батарейного циклона.

5. Визначаємо витрати газу, при яких забезпечуються оптимальні умови роботи одного циклонного елемента, за формулою:

$$V_1 = \left( \frac{\pi \cdot (D_{cm})^2}{4} \right) \cdot W_{opt}, \text{ м}^3/\text{с}. \quad (4.1)$$

$D_{cm}$ , мм  $\rightarrow$  м.

6. Визначаємо робочий об'єм вхідного газопилового потоку при заданій температурі газу ( $t_z$ , °C), що надходить на очищення в батарейний циклон, за формулою:

$$V_p = \frac{V_n}{3600} \cdot \left( \frac{t_z + 273}{273} \right), \text{ м}^3/\text{с}. \quad (4.2)$$

$V_n$  – витрати газопилового потоку, що надходить на очищення в батарейний циклон, м<sup>3</sup>/годину.

7. Визначаємо кількість циклонних елементів  $N_{onm}$  для оптимальної роботи батарейного циклона за формулою:

$$N_{onm} = \frac{V_p}{V_1}, \text{ штуки}. \quad (4.3)$$

Отримане значення  $N_{onm}$  округляємо до максимально цілого числа.

8. За табл. 4.3 обираємо стандартну кількість одиночних елементів ( $N$ ) в батарейному циклоні раніше обраного типу, що повинно бути близьким до розрахункового  $N_{onm}$ .

Обране  $N$  не повинно відрізнятися від  $N_{onm}$  більш, ніж на 10%, тобто:

$$\left| \frac{N - N_{onm}}{N_{onm}} \right| \cdot 100\% \leq 10\%. \quad (4.4)$$

В табл. 4.3 вказано кількість циклонних елементів в розрахунку на одну секцію батарейного циклона. Якщо для виконання умови (4.4) необхідно більша кількість циклонних елементів, слід проектувати 2 секції батарейного циклона або більше. В цьому випадку отриману раніше оптимальну кількість циклонних елементів поділяють на 2 (або більше) секції, тобто  $N_{onm}^{секція} = \frac{N_{onm}}{N_{секція}}$  або

$N_{onm}^{секція} = \frac{N_{onm}}{2}$ . Далі за табл. 4.3 обираємо стандартну кількість одиночних елементів ( $N$ ) в батарейному циклоні раніше обраного типу, що повинно бути близьким до розрахункового  $N_{onm}$ .

Обране  $N$  не повинно відрізнятися від  $N_{onm}$  більш, ніж на 10%:

$$\left| \frac{N - N_{onm}}{N_{onm}} \right| \cdot 100\% \leq 10\%.$$

9. Визначаємо дійсну швидкість потоку газу в одному циклонному елементі батарейного циклона за формулою:

$$W = \frac{4 \cdot V_p}{\pi \cdot N \cdot (D_{cm})^2}, \text{ м/с}. \quad (4.5)$$

$D_{cm}$ , мм  $\rightarrow$  м.

Якщо прийнято проектувати дві (або більше) секції батарейного циклона, то формула (4.5) буде мати наступний вигляд:

$$W = \frac{4 \cdot V_p}{\pi \cdot N \cdot N_{секція} \cdot (D_{cm})^2}, \text{ м/с}.$$

Значення дійсної швидкості потоку газу в обраному типі батарейного циклона при робочих умовах не повинно відхилятися від оптимальної, більше ніж на 15%, тобто:

$$\left| \frac{W - W_{onm}}{W_{onm}} \right| \cdot 100\% \leq 15\% . \quad (4.6)$$

При відхиленні більш, ніж на 15% обираємо інший тип батарейного циклона.

10. За табл. 4.3 приймаємо значення коефіцієнта гідравлічного опору циклонного елемента ( $\xi$ , Па) для обраного типу батарейного циклона.

11. Визначаємо втрати тиску в обраному типі батарейного циклона за формулою:

$$\Delta P = \xi \cdot \frac{\rho_g \cdot W^2}{2}, \text{ Па.} \quad (4.7)$$

$\rho_g$  – щільність газу за заданими робочими умовами, кг/м<sup>3</sup>. Визначається методом інтерполяції в залежності від значення заданої температури газу, що надходить на очищення в батарейний циклон, за табл. 4.4.

Таблиця 4.4 – Значення щільності та коефіцієнта динамічної в'язкості повітря в залежності від температури газу, що надходить на очищення в батарейний циклон

| $t_g, ^\circ\text{C}$ | $\rho_g, \text{кг/м}^3$ | $\mu_g \cdot 10^{-6}, \text{Па} \cdot \text{с}$ | $t_g, ^\circ\text{C}$ | $\rho_g, \text{кг/м}^3$ | $\mu_g \cdot 10^{-6}, \text{Па} \cdot \text{с}$ | $t_g, ^\circ\text{C}$ | $\rho_g, \text{кг/м}^3$ | $\mu_g \cdot 10^{-6}, \text{Па} \cdot \text{с}$ |
|-----------------------|-------------------------|-------------------------------------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------------------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------------------------------|
| 0                     | 1,293                   | 17,2                                            | 90                    | 0,972                   | 21,5                                            | 180                   | 0,779                   | 25,3                                            |
| 10                    | 1,247                   | 17,6                                            | 100                   | 0,946                   | 21,9                                            | 190                   | 0,763                   | 25,7                                            |
| 20                    | 1,205                   | 18,1                                            | 110                   | 0,922                   | 22,4                                            | 200                   | 0,746                   | 26,0                                            |
| 30                    | 1,165                   | 18,6                                            | 120                   | 0,898                   | 22,8                                            | 250                   | 0,674                   | 27,4                                            |
| 40                    | 1,128                   | 19,1                                            | 130                   | 0,876                   | 23,3                                            | 300                   | 0,615                   | 29,7                                            |
| 50                    | 1,093                   | 19,6                                            | 140                   | 0,854                   | 23,7                                            | 350                   | 0,566                   | 31,4                                            |
| 60                    | 1,060                   | 20,1                                            | 150                   | 0,835                   | 24,1                                            | 400                   | 0,524                   | 33,0                                            |
| 70                    | 1,029                   | 20,6                                            | 160                   | 0,815                   | 24,5                                            |                       |                         |                                                 |
| 80                    | 1,0                     | 21,1                                            | 170                   | 0,797                   | 24,9                                            |                       |                         |                                                 |

12. За табл. 4.5 обираємо значення середньо-медіанного діаметра частинок пилу ( $d_{50}^T$ , мкм), який приймається в залежності від матеріалу часточок, і величину, яка характеризує дисперсію частинок пилу, що вловлюються в умовному типі батарейного циклона ( $\lg \sigma_\eta^T$ ) з заданим кутом нахилу завихрювача  $\alpha$ .

13. Визначаємо розмір частинок пилу, що вловлюються обраним типом батарейного циклона, при заданих робочих умовах (діаметр циклона, швидкість потоку, щільність пилу, динамічна в'язкість газу) з ефективністю очищення газопилового потоку, що складає 50%, за формулою:

$$d_{50} = d_{50}^T \cdot \sqrt{\frac{D_{cm}}{D_T} \cdot \frac{\rho_q^T}{\rho_q} \cdot \frac{\mu_z^T}{\mu_z} \cdot \frac{W_T}{W}}, \text{ мкм.} \quad (4.8)$$

$\rho_q$  – щільність частинок пилу, кг/м<sup>3</sup>;

$\mu_z$  – динамічний коефіцієнт в'язкості газу при заданих робочих умовах,  $\frac{H \cdot c}{M^2}$ . Визначається методом інтерполяції в залежності від значення заданої

температури газу, що надходить на очищення в батарейний циклон, за табл. 4.4.

Значення величин  $\rho_q^T$  (кг/м<sup>3</sup>),  $\mu_z^T$  ( $\frac{H \cdot c}{M^2}$ ),  $W_T$  (м/с) наведені в примітках табл. 4.5. Величина  $D_T = D_{cm}$  (м).

Таблиця 4.5 – Параметри, що визначають ступінь вловлювання пилу елементами батарейних циклонів

| Тип направляючого апарату | Елемент                 |                  | $d_{50}^T$ , мкм | $\lg \cdot \sigma_\eta^T$ |
|---------------------------|-------------------------|------------------|------------------|---------------------------|
|                           | Кут нахилу $\alpha$ , ° | Діаметр $D$ , мм |                  |                           |
| Гвинт                     | 25                      | 250              | 4,5              | 0,46                      |
| Розетка                   | 25                      | 250              | 3,85             | 0,46                      |
| Розетка                   | 30                      | 250              | 5,0              | 0,46                      |
| Розетка                   | 25                      | 150              | 3,38             | 0,46                      |
| Розетка                   | 25                      | 100              | 3,0              | 0,46                      |
| Напівравликовий           | 45                      | 250              | 2,87             | 0,325                     |

*Примітки:* Значення  $d_{50}^T$ , наведені в таблиці, відповідають наступним параметрам роботи циклонних елементів типу «Розетка» і «Гвинт»: середня швидкість потоку газу в елементі  $W_T = 4,5$  м/с; щільність частинок  $\rho_q^T = 2200$  кг/м<sup>3</sup>; динамічний коефіцієнт в'язкості газу  $\mu_z^T = 23,7 \cdot 10^{-6} \frac{H \cdot c}{M^2}$  (Па·с).

14. Визначаємо параметр  $X_i$  за формулою:

$$X_i = \frac{\lg \left( \frac{d_{cp}^i}{d_{50}} \right)}{\sqrt{\left( \lg^2 \sigma_\eta^T + \lg^2 \sigma_n \right)}}, \quad (4.9)$$

$d_{cp}^i$  – середньо-медіанний розмір вловлюваних частинок пилу певної фракції, мкм;

$\lg \sigma_n$  – середньоквадратичне відхилення функції даного розподілу (дисперсія) вловлюваних частинок пилу (визначається в залежності від матеріалу часточок).

Значення параметру  $X_i$  визначаємо для кожної фракції частинок пилу, виходячи з величини середнього значення діаметра цих часточок  $d_{cp}^i$ .

Наприклад:

- для частинок пилу з середнім значенням розміру діаметра  $d_{cp}^1 = 1$  мкм:

$X_1 = \dots$ ;

- для частинок пилу з середнім значенням розміру діаметра  $d_{cp}^3 = 3$  мкм:

$X_3 = \dots$ ;

- для частинок пилу з середнім значенням розміру діаметра  $d_{cp}^5 = 5$  мкм:

$X_5 = \dots$ ;

- для частинок пилу з середнім значенням розміру діаметра  $d_{cp}^8 = 8$  мкм:

$X_8 = \dots$  тощо.

15. За табл. 4.6 знаходимо числове значення нормальної функції розподілу  $\Phi(X_i)$  в залежності від розрахованої величини  $X_i$ .

Таблиця 4.6 – Значення нормальної функції розподілу

| $x$   | $\Phi(x)$ | $x$   | $\Phi(x)$ | $x$   | $\Phi(x)$ | $x$  | $\Phi(x)$ | $x$  | $\Phi(x)$ |
|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|------|-----------|------|-----------|
| -2,70 | 0,0035    | -1,26 | 0,1038    | -0,40 | 0,3446    | 0,46 | 0,6772    | 1,32 | 0,9066    |
| -2,60 | 0,0047    | -1,24 | 0,1075    | -0,38 | 0,3520    | 0,48 | 0,6844    | 1,34 | 0,9099    |
| -2,50 | 0,0062    | -1,22 | 0,1112    | -0,36 | 0,3594    | 0,50 | 0,6915    | 1,36 | 0,9131    |
| -2,40 | 0,0082    | -1,20 | 0,1152    | -0,34 | 0,3669    | 0,52 | 0,6985    | 1,38 | 0,9162    |
| -2,30 | 0,0107    | -1,18 | 0,1190    | -0,32 | 0,3745    | 0,54 | 0,7054    | 1,40 | 0,9192    |
| -2,20 | 0,0139    | -1,16 | 0,1230    | -0,30 | 0,3821    | 0,56 | 0,7123    | 1,42 | 0,9222    |
| -2,10 | 0,0179    | -1,14 | 0,1271    | -0,28 | 0,3897    | 0,58 | 0,7190    | 1,44 | 0,9251    |
| -2,00 | 0,0228    | -1,12 | 0,1314    | -0,26 | 0,3974    | 0,60 | 0,7257    | 1,46 | 0,9279    |
| -1,98 | 0,0239    | -1,10 | 0,1357    | -0,24 | 0,4052    | 0,62 | 0,7324    | 1,48 | 0,9306    |
| -1,96 | 0,0250    | -1,08 | 0,1401    | -0,22 | 0,4129    | 0,64 | 0,7389    | 1,50 | 0,9332    |
| -1,94 | 0,0262    | -1,06 | 0,1446    | -0,20 | 0,4207    | 0,66 | 0,7454    | 1,52 | 0,9357    |
| -1,92 | 0,0274    | -1,04 | 0,1492    | -0,18 | 0,4286    | 0,68 | 0,7517    | 1,54 | 0,9382    |
| -1,90 | 0,0288    | -1,02 | 0,1539    | -0,16 | 0,4364    | 0,70 | 0,7580    | 1,56 | 0,9406    |
| -1,88 | 0,0301    | -1,00 | 0,1587    | -0,14 | 0,4443    | 0,72 | 0,7642    | 1,58 | 0,9429    |
| -1,86 | 0,0314    | -0,98 | 0,1635    | -0,12 | 0,4522    | 0,74 | 0,7703    | 1,60 | 0,9452    |
| -1,84 | 0,0329    | -0,96 | 0,1685    | -0,10 | 0,4602    | 0,76 | 0,7764    | 1,62 | 0,9474    |
| -1,82 | 0,0344    | -0,94 | 0,1736    | -0,08 | 0,4681    | 0,78 | 0,7823    | 1,64 | 0,9495    |
| -1,80 | 0,0359    | -0,92 | 0,1788    | -0,06 | 0,4761    | 0,80 | 0,7881    | 1,66 | 0,9515    |
| -1,78 | 0,0375    | -0,90 | 0,1841    | -0,04 | 0,4840    | 0,82 | 0,7937    | 1,68 | 0,9535    |
| -1,76 | 0,0392    | -0,88 | 0,1894    | -0,02 | 0,4920    | 0,84 | 0,7995    | 1,70 | 0,9554    |
| -1,74 | 0,0409    | -0,86 | 0,1949    | 0,00  | 0,5000    | 0,86 | 0,8051    | 1,72 | 0,9573    |
| -1,72 | 0,0427    | -0,84 | 0,2005    | 0,02  | 0,5080    | 0,88 | 0,8106    | 1,74 | 0,9591    |
| -1,70 | 0,0446    | -0,82 | 0,2061    | 0,04  | 0,5160    | 0,90 | 0,8159    | 1,76 | 0,9608    |
| -1,68 | 0,0465    | -0,80 | 0,2119    | 0,06  | 0,5239    | 0,92 | 0,8212    | 1,78 | 0,9625    |
| -1,66 | 0,0485    | -0,78 | 0,2177    | 0,08  | 0,5310    | 0,94 | 0,8264    | 1,80 | 0,9641    |
| -1,64 | 0,0505    | -0,76 | 0,2236    | 0,10  | 0,5398    | 0,96 | 0,8315    | 1,82 | 0,9656    |
| -1,62 | 0,0526    | -0,74 | 0,2297    | 0,12  | 0,5478    | 0,98 | 0,8365    | 1,84 | 0,9671    |
| -1,60 | 0,0548    | -0,72 | 0,2358    | 0,14  | 0,5557    | 1,00 | 0,8413    | 1,86 | 0,9686    |
| -1,58 | 0,0571    | -0,70 | 0,2420    | 0,16  | 0,5636    | 1,02 | 0,8461    | 1,88 | 0,9699    |
| -1,56 | 0,0594    | -0,68 | 0,2483    | 0,18  | 0,5714    | 1,04 | 0,8508    | 1,90 | 0,9713    |

продовження табл. 4.6

| $x$   | $\Phi(x)$ | $x$   | $\Phi(x)$ | $x$  | $\Phi(x)$ | $x$  | $\Phi(x)$ | $x$  | $\Phi(x)$ |
|-------|-----------|-------|-----------|------|-----------|------|-----------|------|-----------|
| -1,54 | 0,0616    | -0,66 | 0,2546    | 0,20 | 0,5793    | 1,06 | 0,8554    | 1,92 | 0,9726    |
| -1,52 | 0,0643    | -0,64 | 0,2611    | 0,22 | 0,5871    | 1,08 | 0,8599    | 1,94 | 0,9738    |
| -1,50 | 0,0668    | -0,62 | 0,2676    | 0,24 | 0,5948    | 1,10 | 0,8643    | 1,96 | 0,9750    |
| -1,48 | 0,0694    | -0,60 | 0,2743    | 0,26 | 0,6026    | 1,12 | 0,8686    | 1,98 | 0,9761    |
| -1,46 | 0,0721    | -0,58 | 0,2810    | 0,28 | 0,6103    | 1,14 | 0,8729    | 2,00 | 0,9772    |
| -1,44 | 0,0749    | -0,56 | 0,2877    | 0,30 | 0,6179    | 1,16 | 0,8770    | 2,10 | 0,9821    |
| -1,42 | 0,0778    | -0,54 | 0,2946    | 0,32 | 0,6255    | 1,18 | 0,8810    | 2,20 | 0,9861    |
| -1,40 | 0,0808    | -0,52 | 0,3015    | 0,34 | 0,6331    | 1,20 | 0,8849    | 2,30 | 0,9893    |
| -1,38 | 0,0838    | -0,50 | 0,3085    | 0,36 | 0,6406    | 1,22 | 0,8888    | 2,40 | 0,9918    |
| -1,36 | 0,0869    | -0,48 | 0,3156    | 0,38 | 0,6480    | 1,24 | 0,8925    | 2,50 | 0,9938    |
| -1,34 | 0,0901    | -0,46 | 0,3228    | 0,40 | 0,6554    | 1,26 | 0,8962    | 2,60 | 0,9953    |
| -1,32 | 0,0934    | -0,44 | 0,3300    | 0,42 | 0,6628    | 1,28 | 0,8997    | 2,70 | 0,9965    |
| -1,28 | 0,1003    | -0,42 | 0,3372    | 0,44 | 0,6700    | 1,30 | 0,9032    |      |           |

16. Визначаємо розрахункове значення ефективності вловлювання частинок пилу певної фракції обраним типом батарейного циклона за формулою:

$$\eta_i = 50 \cdot [1 + \Phi(X_i)], \% \quad (4.11)$$

17. Визначаємо загальну ефективність пиловловлювання обраного типу батарейного циклона за формулою:

$$\eta_{\text{загальна}} = \sum_{j=1}^n \eta_i \cdot m_i, \% \quad (4.12)$$

$m_i$  – фракційний розподіл частинок пилу (% від маси), що вказується у вихідних даних;

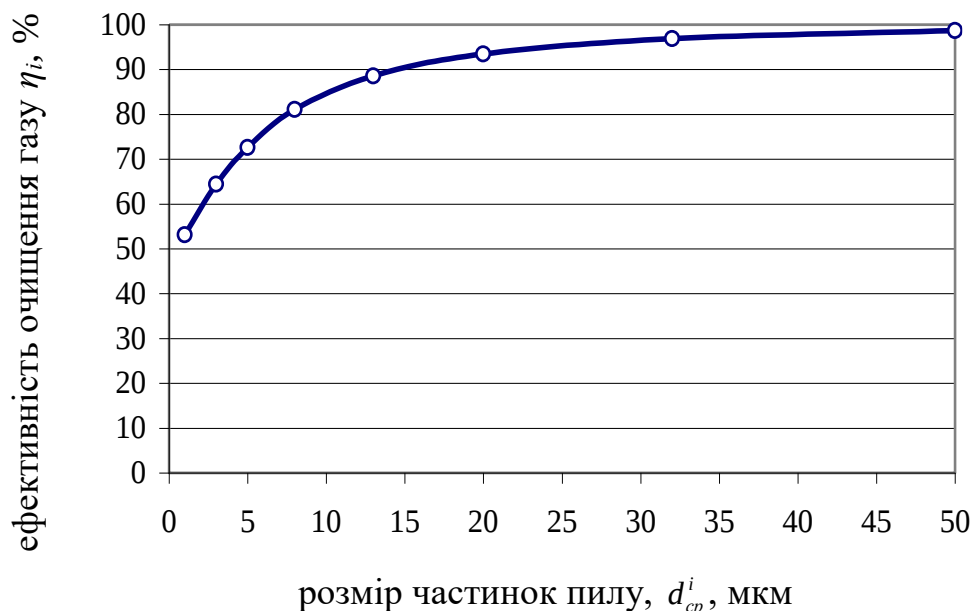
$\eta_i, \% \rightarrow$  частки.

Отримані в процесі технологічного розрахунку параметрів батарейного циклона дані, оформлюємо у вигляді таблиці (приклад):

| Фракція частинок пилу, мкм      | Середнє значення розміру частинок пилу, $d_{cp}$ , мкм | Фракційний розподіл частинок пилу (% від маси), $m_i$ | Значення параметра $X_i$ | Значення параметра $\Phi(X_i)$ | Ефективність очищення газу від частинок пилу певної фракції в батарейному циклоні $\eta_i, \%$ | $\eta_i \cdot m_i, \%$ |
|---------------------------------|--------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| >2,5                            | 1                                                      | вихідні дані                                          |                          |                                |                                                                                                |                        |
| 2,5-4,0                         | 3                                                      | вихідні дані                                          |                          |                                |                                                                                                |                        |
| 4,0-6,3                         | 5                                                      | вихідні дані                                          |                          |                                |                                                                                                |                        |
| 6,3-10                          | 8                                                      | вихідні дані                                          |                          |                                |                                                                                                |                        |
| 10-16                           | 13                                                     | вихідні дані                                          |                          |                                |                                                                                                |                        |
| 16-25                           | 20                                                     | вихідні дані                                          |                          |                                |                                                                                                |                        |
| 25-40                           | 32                                                     | вихідні дані                                          |                          |                                |                                                                                                |                        |
| <40                             | 50                                                     | вихідні дані                                          |                          |                                |                                                                                                |                        |
| $\eta_{\text{загальна}} = \sum$ |                                                        |                                                       |                          |                                |                                                                                                |                        |

Отримане значення загальної ефективності очищення газу від частинок пилу в обраному типі батарейного циклона  $\eta_{\text{загальна}}$  зіставляється з необхідним значенням ступеню вловлювання пилу  $\eta_{\text{необ}}$ , %.

За результатами отриманих значень ефективності очищення газу від частинок пилу певної фракції в обраному типі батарейного циклона будується графік. Приклад графіка залежності ефективності очищення газу в батарейному циклоні обраного типу від фракційного складу пилу наведено на рис. 4.4.



**Рисунок 4.4 – Приклад побудови графіка залежності ефективності очищення газу в батарейному циклоні обраного типу від фракційного складу пилу**

За результатами побудованого графіка можна вивести логарифмічну залежність ефективності очищення газу в батарейному циклоні обраного типу від фракційного складу пилу (якщо графік будується в програмі Excel!!!):

Наприклад,  $\eta_i = 12,61 \cdot \ln(d_{cp}^i)$ ,

$R^2=0,9788$ .

18. Визначаємо концентрацію пилу на виході з обраного типу батарейного циклона за формулою:

$$C_{\text{вих}} = C_{\text{вх}} \cdot \left( 1 - \frac{\eta_{\text{загальна}}}{100} \right), \quad (4.13)$$

$C_{\text{вх}}$  – початкова концентрація пилу в газі на входе в батарейний циклон, г/м<sup>3</sup>.

Примітки.

Якщо необхідно визначити параметри батарейного циклона для частинок пилу заданого медіанного діаметра  $d_m$  = \_\_\_\_ мкм, то розрахунок проводять наступним чином. Пункти 1-13 виконують аналогічно раніше зазначеному алгоритму. Далі за формулою (4.9) визначаємо величину параметра  $X$ . При

цьому замість значення  $d_{cp}^i$  підставляємо в формулу значення величини заданого медіанного діаметра частинок пилу  $d_m$ , мкм. За табл. 4.5 знаходимо числове значення нормальної функції розподілу  $\Phi(X)$  в залежності від отриманої величини параметра  $X$ . Далі за формулою (4.11) визначаємо розрахункове значення ефективності вловлювання частинок пилу обраним типом батарейного циклона  $\eta$ , %. За формулою (4.13) визначаємо концентрацію пилу на виході з обраного типа батарейного циклона  $C_{вих}$ , г/м<sup>3</sup>.

### **Приклад розрахунку параметрів батарейного циклона**

Вихідні дані для розрахунку параметрів батарейного циклона:

- витрати газопилового потоку, що надходить на очищення в батарейний циклон,  $V_n=28100$  м<sup>3</sup>/годину;
- температура газопилового потоку, що надходить на очищення в батарейний циклон,  $t_e=70$  °С;
- щільність частинок пилу  $\rho_q=2790$  кг/м<sup>3</sup>;
- початкова концентрація пилу в газопиловому потоці, що надходить на очищення в батарейний циклон,  $C_{вх}=2,55$  г/м<sup>3</sup>;
- середньоквадратичне відхилення функції даного розподілу (дисперсія) вловлюваних частинок пилу (визначається в залежності від матеріалу частинок)  $\sigma_n=3,75$ .

Дисперсний склад пилу:

| $d$ , мкм            | >2,5 | 2,5-4,0 | 4,0-6,3 | 6,3-10 | 10-16 | 16-25 | 25-40 | <40  |
|----------------------|------|---------|---------|--------|-------|-------|-------|------|
| $m_i$ , % (за масою) | 3,9  | 5,9     | 7,4     | 9,8    | 11,6  | 15,7  | 19,4  | 26,3 |

### Розрахунок параметрів батарейного циклона

1. Обираємо тип направляючого апарату батарейного циклона: направляючий апарат типу «Розетка» з кутом нахилу лопаток  $\alpha=25^\circ$ .
2. За табл. 4.2 приймаємо діаметр елемента батарейного циклона (при максимальній запиленості газопилового потоку  $C_{вх}=2,55$  г/м<sup>3</sup>):  $D_{cm}=250$  мм=0,25 м.
3. За табл. 4.3 обираємо тип батарейного циклона з урахуванням галузі застосування та типу направляючого апарата циклонного елемента: батарейний циклон типу БЦ-2.
4. За табл. 4.3 приймаємо значення оптимальної швидкості потоку газу для батарейного циклона типу БЦ-2:  $W_{onm}=4,5$  м/с.
5. Витрати газу, при яких забезпечуються оптимальні умови роботи одного циклонного елемента визначаємо за формулою (4.1):

$$V_1 = \left( \frac{\pi \cdot (D_{cm})^2}{4} \right) \cdot W_{onm} = \left( \frac{3,14 \cdot (0,25)^2}{4} \right) \cdot 4,5 = 0,22 \text{ м}^3/\text{с}.$$

6. Робочий об'єм вхідного газопилового потоку при заданій температурі газу ( $t_e=70$  °С), що надходить на очищення в батарейний циклон, визначаємо за формулою (4.2):

$$V_p = \frac{V_n}{3600} \cdot \left( \frac{t_e + 273}{273} \right) = \frac{28100}{3600} \cdot \left( \frac{70 + 273}{273} \right) = 9,8 \text{ м}^3/\text{с}.$$

7. Кількість циклонних елементів для оптимальної роботи батарейного циклона визначаємо за формулою (4.3):

$$N_{onm} = \frac{V_p}{V_1} = \frac{9,8}{0,22} = 44,6 \approx 45 \text{ штук.}$$

8. За табл. 4.3 обираємо стандартну кількість одиночних елементів в батарейному циклоні типу БЦ-2, що повинна бути близькою до розрахункової  $N_{onm}$ :  $N=42$  штуки.

Обране  $N$  не повинно відрізнятись від  $N_{onm}$  більш, ніж на 10%, тобто:

$$\left| \frac{N - N_{onm}}{N_{onm}} \right| \cdot 100\% \leq 10\% = \left| \frac{42 - 45}{45} \right| \cdot 100\% = 6,67 \leq 10\% .$$

Умову (4.4) дотримано і розрахунок виконано вірно.

Таким чином, обраний тип батарейного циклона БЦ-2 складається з однієї секції з кількістю циклонних елементів  $N=42$  штуки.

9. Дійсну швидкість потоку газу в одному циклонному елементі батарейного циклона типу БЦ-2 визначаємо за формулою (4.5):

$$W = \frac{4 \cdot V_p}{\pi \cdot N \cdot (D_{cm})^2} = \frac{4 \cdot 9,8}{3,14 \cdot 42 \cdot (0,25)^2} = 4,76 \text{ м/с.}$$

Значення дійсної швидкості потоку газу в обраному типі батарейного циклона БЦ-2 при робочих умовах не повинно відхилятися від оптимальної, більше ніж на 15%, тобто:

$$\left| \frac{W - W_{onm}}{W_{onm}} \right| \cdot 100\% \leq 15\% = \left| \frac{4,76 - 4,5}{4,5} \right| \cdot 100\% = 5,78 \leq 15\% .$$

Умову (4.6) дотримано і розрахунок виконано вірно.

10. За табл. 4.3 приймаємо значення коефіцієнта гідравлічного опору циклонного елемента для обраного батарейного циклона типу БЦ-2:  $\xi=65$  Па.

11. Щільність газу за заданими робочими умовами визначаємо методом інтерполяції в залежності від значення заданої температури газу ( $t_2=70$  °C), що надходить на очищення в батарейний циклон, за табл. 4.4. Звідси  $\rho_g=1,029$  кг/м<sup>3</sup>.

Втрати тиску в обраному батарейному циклоні типу БЦ-2 визначаємо за формулою (4.7):

$$\Delta P = \xi \cdot \frac{\rho_g \cdot W^2}{2} = 65 \cdot \frac{1,029 \cdot (4,76)^2}{2} = 757,73 \text{ Па.}$$

12. За табл. 4.5 обираємо значення середньо-медіанного діаметру частинок пилу, який приймається в залежності від матеріалу часточок ( $d_{50}^T$ , мкм) і величини, яка характеризує дисперсію частинок пилу, що вловлюються в умовному типі батарейного циклона ( $\lg \sigma_\eta^T$ ) з заданим кутом нахилу завихрювача  $\alpha$ .

$$\text{Звідси } d_{50}^T = 3,85 \text{ мкм, } \lg \sigma_\eta^T = 0,46.$$

13. Динамічний коефіцієнт в'язкості газу при заданих робочих умовах, визначаємо методом інтерполяції в залежності від значення заданої

температури газу ( $t_g=70\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), що надходить на очищення в батарейний циклон, за табл. 4.4. Звідси  $\mu_g=20,6\cdot 10^{-6} \frac{\text{H}\cdot\text{c}}{\text{м}^2}$  (Па·с).

Приймаємо:

- щільність частинок пилу за нормальних умов  $\rho_q^T=2200\text{ кг/м}^3$ ;
- динамічний коефіцієнт в'язкості газу за нормальних умов  $\mu_g^T=23,7\cdot 10^{-6} \frac{\text{H}\cdot\text{c}}{\text{м}^2}$  (Па·с);
- оптимальну швидкість потоку газу в циклонному елементі  $W_T=4,5\text{ м/с}$ ;
- величину  $D_T=D_{cm}=0,25\text{ м}$ .

Розмір частинок, що вловлюються обраним типом батарейного циклона БЦ-2 при заданих робочих умовах (діаметр циклону, швидкість потоку, щільність пилу, динамічна в'язкість газу) з ефективністю очищення газу 50%, визначаємо за формулою (4.8):

$$d_{50} = d_{50}^T \cdot \sqrt{\frac{D_{cm} \cdot \rho_q^T \cdot \mu_g^T \cdot W_T}{D_T \cdot \rho_q \cdot \mu_g^T \cdot W}} = 3,85 \cdot \sqrt{\frac{0,25 \cdot 2200 \cdot 20,6 \cdot 10^{-6} \cdot 4,5}{0,25 \cdot 2790 \cdot 23,7 \cdot 10^{-6} \cdot 4,76}} = 3,11\text{ мкм}.$$

14. Параметр  $X_i$  визначаємо для кожної фракції пилу (середнє значення розміру діаметра кожної фракції, заданої у вихідних даних) за формулою (4.9):

$$X_i = \frac{\lg\left(\frac{d_{cp}^i}{d_{50}}\right)}{\sqrt{\lg^2 \sigma_{\eta}^T + \lg^2 \sigma_n}}.$$

Звідси маємо:

- для частинок пилу з середнім значенням розміру діаметра  $d_{cp}^2=2\text{ мкм}$ :

$$X_2 = \frac{\lg\left(\frac{2}{3,11}\right)}{\sqrt{0,46 + \lg^2(3,75)}} = -0,2158;$$

- для частинок пилу з середнім значенням розміру діаметра  $d_{cp}^3=3\text{ мкм}$ :

$$X_3 = \frac{\lg\left(\frac{3}{3,11}\right)}{\sqrt{0,46 + \lg^2(3,75)}} = -0,0176;$$

- для частинок пилу з середнім значенням розміру діаметра  $d_{cp}^5=5\text{ мкм}$ :

$$X_5 = \frac{\lg\left(\frac{5}{3,11}\right)}{\sqrt{0,46 + \lg^2(3,75)}} = 0,2321;$$

- для частинок пилу з середнім значенням розміру діаметра  $d_{cp}^8=8\text{ мкм}$ :

$$X_8 = \frac{\lg\left(\frac{8}{3,11}\right)}{\sqrt{0,46 + \lg^2(3,75)}} = 0,4618;$$

- для частинок пилу з середнім значенням розміру діаметра  $d_{cp}^{13}=13\text{ мкм}$ :

$$X_{13} = \frac{\lg\left(\frac{13}{3,11}\right)}{\sqrt{0,46 + \lg^2(3,75)}} = 0,6991;$$

- для частинок пилу з середнім значенням розміру діаметра  $d_{cp}^{20}=20$  мкм:

$$X_{20} = \frac{\lg\left(\frac{20}{3,11}\right)}{\sqrt{0,46 + \lg^2(3,75)}} = 0,9097;$$

- для частинок пилу з середнім значенням розміру діаметра  $d_{cp}^{32}=32$  мкм:

$$X_{32} = \frac{\lg\left(\frac{32}{3,11}\right)}{\sqrt{0,46 + \lg^2(3,75)}} = 1,1394;$$

- для частинок пилу з середнім значенням розміру діаметра  $d_{cp}^{45}=45$  мкм:

$$X_{45} = \frac{\lg\left(\frac{45}{3,11}\right)}{\sqrt{0,46 + \lg^2(3,75)}} = 1,3060.$$

15. За табл. 4.6 знаходимо числове значення нормальної функції розподілу  $\Phi(X_i)$  в залежності від отриманої величини  $X_i$  для кожної фракції пилу.

| Величина $X_i$ | Значення нормальної функції розподілу $\Phi(X_i)$ |
|----------------|---------------------------------------------------|
| -0,2158        | 0,4129                                            |
| -0,0176        | 0,4920                                            |
| 0,2321         | 0,5910                                            |
| 0,4618         | 0,6772                                            |
| 0,6991         | 0,7580                                            |
| 0,9097         | 0,8186                                            |
| 1,1394         | 0,8729                                            |
| 1,3060         | 0,9049                                            |

16. Розрахункове значення ефективності вловлювання частинок пилу певної фракції обраним типом батарейного циклону БЦ-2 визначаємо за формулою (4.11):

$$\eta_i = 50 \cdot [1 + \Phi(X_i)], \%$$

Звідси маємо:

- для частинок пилу з середнім значенням розміру діаметра  $d_{cp}^2=2$  мкм:

$$\eta_2 = 50 \cdot [1 + 0,4129] = 70,65 \%;$$

- для частинок пилу з середнім значенням розміру діаметра  $d_{cp}^3=3$  мкм:

$$\eta_3 = 50 \cdot [1 + 0,4920] = 74,6 \%;$$

- для частинок пилу з середнім значенням розміру діаметра  $d_{cp}^5=5$  мкм:

$$\eta_5 = 50 \cdot [1 + 0,5910] = 79,55 \%;$$

- для частинок пилу з середнім значенням розміру діаметра  $d_{cp}^8=8$  мкм:

$$\eta_8 = 50 \cdot [1 + 0,6772] = 83,86 \text{ \%};$$

- для частинок пилу з середнім значенням розміру діаметра  $d_{cp}^{13}=13$  мкм:

$$\eta_{13} = 50 \cdot [1 + 0,7580] = 87,9 \text{ \%};$$

- для частинок пилу з середнім значенням розміру діаметра  $d_{cp}^{20}=20$  мкм:

$$\eta_{20} = 50 \cdot [1 + 0,8186] = 90,93 \text{ \%};$$

- для частинок пилу з середнім значенням розміру діаметра  $d_{cp}^{32}=32$  мкм:

$$\eta_{32} = 50 \cdot [1 + 0,8729] = 93,65 \text{ \%};$$

- для частинок пилу з середнім значенням розміру діаметра  $d_{cp}^{45}=45$  мкм:

$$\eta_{45} = 50 \cdot [1 + 0,9049] = 95,25 \text{ \%}.$$

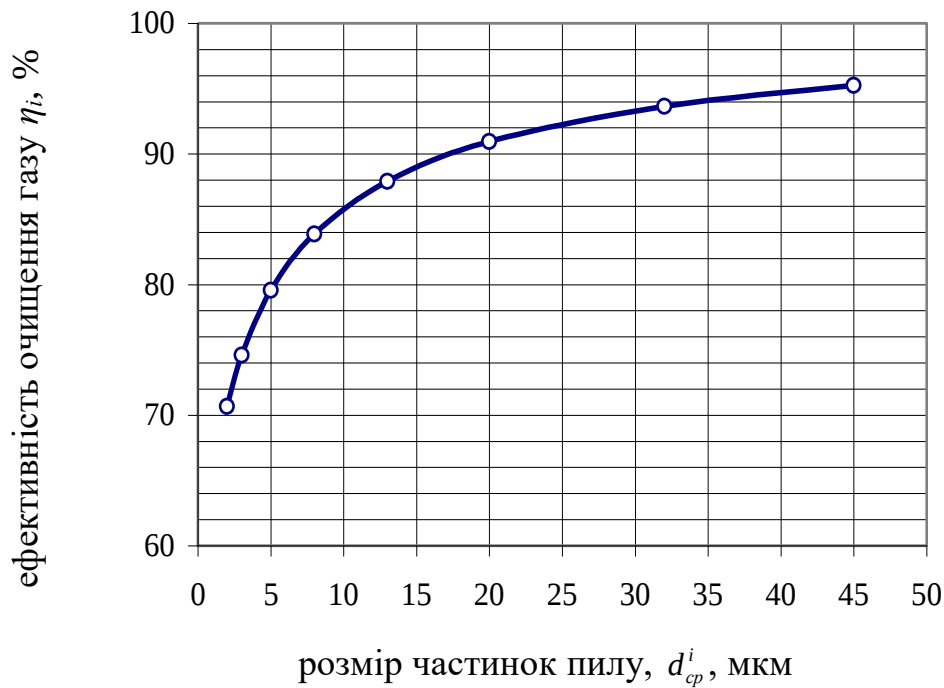
17. Загальну ефективність пиловловлювання обраного типу батарейного циклона БЦ-2 визначаємо за формулою (4.12):

$$\eta_{\text{загальна}} = \sum_{j=1}^n \eta_i \cdot m_i = 0,7065 \cdot 3,9 + 0,746 \cdot 5,9 + 0,7955 \cdot 7,4 + 0,8386 \cdot 9,8 + \\ + 0,879 \cdot 11,6 + 0,9093 \cdot 15,7 + 0,9365 \cdot 19,4 + 0,9525 \cdot 26,3 = 88,95\%.$$

Отримані в процесі технологічного розрахунку параметрів батарейного циклона дані, оформлюємо у вигляді таблиці:

| Фракція частинок пилу, мкм      | Середнє значення розміру частинок пилу, $d_{cp}$ , мкм | Фракційний розподіл частинок пилу (% від маси), $m_i$ | Значення параметра $X_i$ | Значення параметра $\Phi(X_i)$ | Ефективність очищення газу від частинок пилу певної фракції в батарейному циклоні $\eta_i$ , % | $\eta_i \cdot m_i$ , % |
|---------------------------------|--------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| >2,5                            | 2                                                      | 3,9                                                   | -0,2158                  | 0,4129                         | 70,65                                                                                          | 2,7554                 |
| 2,5-4,0                         | 3                                                      | 5,9                                                   | -0,0176                  | 0,4920                         | 74,6                                                                                           | 4,4014                 |
| 4,0-6,3                         | 5                                                      | 7,4                                                   | 0,2321                   | 0,5910                         | 79,55                                                                                          | 5,8867                 |
| 6,3-10                          | 8                                                      | 9,8                                                   | 0,4618                   | 0,6772                         | 83,86                                                                                          | 8,2183                 |
| 10-16                           | 13                                                     | 11,6                                                  | 0,6991                   | 0,7580                         | 87,9                                                                                           | 10,1964                |
| 16-25                           | 20                                                     | 15,7                                                  | 0,9097                   | 0,8186                         | 90,93                                                                                          | 14,276                 |
| 25-40                           | 32                                                     | 19,4                                                  | 1,1394                   | 0,8729                         | 93,65                                                                                          | 18,1681                |
| <40                             | 45                                                     | 26,3                                                  | 1,3060                   | 0,9049                         | 95,25                                                                                          | 25,0508                |
| $\eta_{\text{загальна}} = \sum$ |                                                        |                                                       |                          |                                |                                                                                                | 88,95                  |

За результатами отриманих значень ефективності очищення газу від частинок пилу певної фракції в обраному типі батарейного циклона БЦ-2 будуємо графік.



**Графік залежності ефективності очищення газу в батарейному циклоні типу БЦ-2 від фракційного складу пилу**

За результатами побудованого графіка виведемо логарифмічну залежність ефективності очищення газу в батарейному циклоні типу БЦ-2 від фракційного складу пилу:

$$\eta_i = 8,0097 \cdot \ln(d_{cp}^i) + 66,213,$$

$$R^2 = 0,9883.$$

18. Концентрацію пилу на виході з обраного типу батарейного циклона БЦ-2 визначаємо за формулою (4.13):

$$C_{вих} = C_{вх} \cdot \left(1 - \frac{\eta_{загальна}}{100}\right) = 2,55 \cdot \left(1 - \frac{88,95}{100}\right) = 0,282 \text{ г/м}^3 = 282 \text{ мг/м}^3.$$

## КОНТРОЛЬНЕ ЗАВДАННЯ

Виконати технологічний розрахунок параметрів батарейного циклона, призначеного для сухого очищення газових викидів від пилу, відповідно до варіанта вихідних даних, наведеного нижче.

### Варіант 1.

Кількість газу, що очищується,  $V_n = 53000 \text{ м}^3/\text{годину}$ .

Пил розпилювальної сушильної установки ЗТ-500 виробництва протосубтиліну на підприємстві біохімічних препаратів:

$\sigma_n = 2,0$ ;  $\rho_i = 1570 \text{ кг/м}^3$ ;  $t_c = 62 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $C_{вх} = 4,8 \text{ г/м}^3$ .

Дисперсний склад:

| $d$ , мкм            | >4,0 | 4,0-6,3 | 6,3-10 | 10-16 | 16-25 | 25-40 | <40 |
|----------------------|------|---------|--------|-------|-------|-------|-----|
| $m_i$ , % (за масою) | 1,8  | 2,7     | 7,5    | 15    | 25    | 30    | 18  |

### Варіант 2.

Кількість газу, що очищується,  $V_n=75400 \text{ м}^3/\text{годину}$ .

Пил, що виділяється при сушінні та упаковці кормових дріжджів на целюлозно-паперовому комбінаті:

$\sigma_n=1,75$ ;  $\rho_q=1350 \text{ кг/м}^3$ ;  $t_c=20 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $C_{ex}=0,2 \text{ г/м}^3$ .

Дисперсний склад:

| $d$ , мкм            | >4,0 | 4,0-6,3 | 6,3-10 | 10-16 | 16-25 | <25 |
|----------------------|------|---------|--------|-------|-------|-----|
| $m_i$ , % (за масою) | 1,5  | 8,5     | 22     | 38    | 23    | 7   |

### Варіант 3.

Кількість газу, що очищується,  $V_n=80700 \text{ м}^3/\text{годину}$ .

Пил очищення чавунного лиття дробом у напівавтоматичній дробометній машині ливарного цеху машинобудівного заводу:

$\sigma_n=1,7$ ;  $\rho_q=2665 \text{ кг/м}^3$ ;  $t_c=22 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $C_{ex}=7,3 \text{ г/м}^3$ .

Дисперсний склад:

| $d$ , мкм            | >4,0 | 4,0-6,3 | 6,3-10 | 10-16 | 16-25 | 25-40 | <40 |
|----------------------|------|---------|--------|-------|-------|-------|-----|
| $m_i$ , % (за масою) | 1,2  | 1,6     | 4,2    | 13    | 27    | 38    | 15  |

### Варіант 4.

Кількість газу, що очищується,  $V_n=92400 \text{ м}^3/\text{годину}$ .

Пил розпилювального сушіння фірми «Балестра» виробництва синтетичного миючого засобу «Кристал» на заводі товарів народного споживання:

$\sigma_n=6,35$ ;  $\rho_q=1800 \text{ кг/м}^3$ ;  $t_c=100 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $C_{ex}=10,5 \text{ г/м}^3$ .

Дисперсний склад:

| $d$ , мкм            | >4,0 | 4,0-6,3 | 6,3-10 | 10-16 | 16-25 | 25-40 | 40-63 | <63 |
|----------------------|------|---------|--------|-------|-------|-------|-------|-----|
| $m_i$ , % (за масою) | 4,5  | 4,5     | 9      | 10    | 17    | 15    | 11    | 29  |

### Варіант 5.

Кількість газу, що очищується,  $V_n=61500 \text{ м}^3/\text{годину}$ .

Пил, що виділяється при сушінні фосфоритового флотаційного концентрату в сушильному барабані на збагачувальній фабриці:

$\sigma_n=3,1$ ;  $\rho_q=2957 \text{ кг/м}^3$ ;  $t_c=240 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $C_{ex}=44 \text{ г/м}^3$ .

Дисперсний склад:

| $d$ , мкм            | >1 | 1-1,6 | 1,6-2,5 | 2,5-4 | 4-6,3 | 6,3-10 | 10-16 | 16-25 | <25 |
|----------------------|----|-------|---------|-------|-------|--------|-------|-------|-----|
| $m_i$ , % (за масою) | 8  | 7     | 12      | 15    | 15    | 15     | 12    | 8     | 8   |

### Варіант 6.

Кількість газу, що очищується,  $V_n=82300 \text{ м}^3/\text{годину}$ .

Пил виробництва технічного миш'яковистого ангідриду (випал миш'яковистої руди) на гірничо-хімічному комбінаті:

$\sigma_n=3,0$ ;  $\rho_q=2840 \text{ кг/м}^3$ ;  $t_c=70 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $C_{ex}=0,84 \text{ г/м}^3$ .

Дисперсний склад:

| $d$ , мкм            | >1,6 | 1,6-2,5 | 2,5-4,0 | 4,0-6,3 | 6,3-10 | 10-16 | 16-25 | <25 |
|----------------------|------|---------|---------|---------|--------|-------|-------|-----|
| $m_i$ , % (за масою) | 8    | 7       | 19      | 7       | 16     | 15    | 12    | 16  |

**Варіант 7.**

Кількість газу, що очищується,  $V_n=59200 \text{ м}^3/\text{годину}$ .

Пил, що виділяється при просіванні на ситах інгредієнтів гумової суміші в цеху підготовки сировини заводу гумотехнічних виробів:

$\sigma_n=3,5$ ;  $\rho_{\text{ч}}=2150 \text{ кг/м}^3$ ;  $t_c=20 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $C_{\text{вх}}=0,03 \text{ г/м}^3$ .

Дисперсний склад:

|                              |      |       |       |        |       |       |       |     |
|------------------------------|------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-----|
| $d, \text{ мкм}$             | >2,5 | 2,5-4 | 4-6,3 | 6,3-10 | 10-16 | 16-25 | 25-40 | <40 |
| $m_i, \% \text{ (за масою)}$ | 21   | 13    | 12    | 16     | 14    | 9     | 6     | 9   |

**Варіант 8.**

Кількість газу, що очищується,  $V_n=79600 \text{ м}^3/\text{годину}$ .

Зола від спалювання вугілля марки Г Донецького басейну:

$\sigma_n=3,2$ ;  $\rho_{\text{ч}}=2740 \text{ кг/м}^3$ ;  $t_c=135 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $C_{\text{вх}}=28 \text{ г/м}^3$ .

Дисперсний склад:

|                              |      |         |         |        |       |       |       |     |
|------------------------------|------|---------|---------|--------|-------|-------|-------|-----|
| $d, \text{ мкм}$             | >2,5 | 2,5-4,0 | 4,0-6,3 | 6,3-10 | 10-16 | 16-25 | 25-40 | <40 |
| $m_i, \% \text{ (за масою)}$ | 4    | 4       | 7       | 11     | 14    | 20    | 15    | 25  |

**Варіант 9.**

Кількість газу, що очищується,  $V_n=64700 \text{ м}^3/\text{годину}$ .

Пил ділянки сортування агломерату аглофабрики металургійного заводу:

$\sigma_n=3,4$ ;  $\rho_{\text{ч}}=4000 \text{ кг/м}^3$ ;  $t_c=60 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $C_{\text{вх}}=29,5 \text{ г/м}^3$ .

Дисперсний склад:

|                              |      |         |         |        |       |       |       |     |
|------------------------------|------|---------|---------|--------|-------|-------|-------|-----|
| $d, \text{ мкм}$             | >2,5 | 2,5-4,0 | 4,0-6,3 | 6,3-10 | 10-16 | 16-25 | 25-40 | <40 |
| $m_i, \% \text{ (за масою)}$ | 4,1  | 3,7     | 6,2     | 11     | 17    | 18    | 20    | 20  |

**Варіант 10.**

Кількість газу, що очищується,  $V_n=88400 \text{ м}^3/\text{годину}$ .

Пил, що виділяється при помелі вапняку в шахтному млині на аглофабриці металургійного заводу:

$\sigma_n=2,0$ ;  $\rho_{\text{ч}}=2706 \text{ кг/м}^3$ ;  $t_c=60 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $C_{\text{вх}}=100 \text{ г/м}^3$ .

Дисперсний склад:

|                              |      |         |         |        |       |       |       |     |
|------------------------------|------|---------|---------|--------|-------|-------|-------|-----|
| $d, \text{ мкм}$             | >2,5 | 2,5-4,0 | 4,0-6,3 | 6,3-10 | 10-16 | 16-25 | 25-40 | <40 |
| $m_i, \% \text{ (за масою)}$ | 1,5  | 1,5     | 4       | 7      | 14    | 22    | 30    | 20  |

**Варіант 11.**

Кількість газу, що очищується,  $V_n=74200 \text{ м}^3/\text{годину}$ .

Пил, що виділяється при сушінні калійного добрива в трубі-сушарці в сушильному відділенні збагачувальної фабрики калійного комбінату:

$\sigma_n=4,6$ ;  $\rho_{\text{ч}}=2050 \text{ кг/м}^3$ ;  $t_c=190 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $C_{\text{вх}}=140 \text{ г/м}^3$ .

Дисперсний склад:

|                              |      |         |         |         |        |       |       |       |     |
|------------------------------|------|---------|---------|---------|--------|-------|-------|-------|-----|
| $d, \text{ мкм}$             | >1,6 | 1,6-2,5 | 2,5-4,0 | 4,0-6,3 | 6,3-10 | 10-16 | 16-25 | 25-40 | <40 |
| $m_i, \% \text{ (за масою)}$ | 7,3  | 3,7     | 5       | 8       | 9      | 11    | 17    | 16    | 23  |

**Варіант 12.**

Кількість газу, що очищується,  $V_n=56100 \text{ м}^3/\text{годину}$ .

Пил розпилювальної сушильної установки ZT-100 виробництва ентобактерину на підприємстві біохімічних препаратів:

$\sigma_n=3$ ;  $\rho_q=1560 \text{ кг/м}^3$ ;  $t_c=50 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $C_{ex}=0,7 \text{ г/м}^3$ .

Дисперсний склад:

|                      |      |         |         |        |       |       |       |     |
|----------------------|------|---------|---------|--------|-------|-------|-------|-----|
| $d$ , мкм            | >2,5 | 2,5-4,0 | 4,0-6,3 | 6,3-10 | 10-16 | 16-25 | 25-40 | <40 |
| $m_i$ , % (за масою) | 2,5  | 4,5     | 7       | 11     | 15    | 17    | 14    | 29  |

**Варіант 13.**

Кількість газу, що очищується,  $V_n=66500 \text{ м}^3/\text{годину}$ .

Пил, що виділяється при сушінні флотаційного калійно-магнієвого концентрату в апараті КС на збагачувальній фабриці калійного комбінату:

$\sigma_n=6$ ;  $\rho_q=2500 \text{ кг/м}^3$ ;  $t_c=205 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $C_{ex}=388 \text{ г/м}^3$ .

Дисперсний склад:

|                      |      |         |        |       |       |       |       |        |      |
|----------------------|------|---------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|------|
| $d$ , мкм            | >4,0 | 4,0-6,3 | 6,3-10 | 10-16 | 16-25 | 25-40 | 40-63 | 63-100 | <100 |
| $m_i$ , % (за масою) | 2    | 1       | 2      | 4     | 5     | 6     | 8     | 11     | 61   |

**Варіант 14.**

Кількість газу, що очищується,  $V_n=96600 \text{ м}^3/\text{годину}$ .

Пил, що виділяється при сушінні доменного шлаку в сушильному барабані відділення сушіння цементного цеху металургійного заводу:

$\sigma_n=3,5$ ;  $\rho_q=2910 \text{ кг/м}^3$ ;  $t_c=115 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $C_{ex}=10,2 \text{ г/м}^3$ .

Дисперсний склад:

|                      |      |         |         |         |        |       |       |       |     |
|----------------------|------|---------|---------|---------|--------|-------|-------|-------|-----|
| $d$ , мкм            | >1,6 | 1,6-2,5 | 2,5-4,0 | 4,0-6,3 | 6,3-10 | 10-16 | 16-25 | 25-40 | <40 |
| $m_i$ , % (за масою) | 4    | 4       | 6       | 8       | 13     | 12    | 13    | 14    | 26  |

**Вариант 15.**

Кількість газу, що очищується,  $V_n=74200 \text{ м}^3/\text{годину}$ .

Пил, що виділяється при зважуванні інгредієнтів гумової суміші на автоматичних вагах в цеху підготовки сировини заводу гумовотехнічних виробів:

$\sigma_n=2,1$ ;  $\rho_q=1410 \text{ кг/м}^3$ ;  $t_c=20 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $C_{ex}=0,027 \text{ г/м}^3$ .

Дисперсний склад:

|                     |    |         |        |       |       |       |     |
|---------------------|----|---------|--------|-------|-------|-------|-----|
| $d$ , мкм           | >4 | 4,0-6,3 | 6,3-10 | 10-16 | 16-25 | 25-40 | <40 |
| $m_i$ , % (по масе) | 7  | 2       | 7      | 19    | 35    | 27    | 3   |

**Вариант 16.**

Кількість газу, що очищується,  $V_n=91700 \text{ м}^3/\text{годину}$ .

Пил, що виділяється при сушінні флотаційного калійно-магнієвого концентрату в апараті КС на збагачувальній фабриці калійного комбінату:

$\sigma_n=6$ ;  $\rho_q=2500 \text{ кг/м}^3$ ;  $t_c=205 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $C_{ex}=388 \text{ г/м}^3$ .

Дисперсний склад:

|                         |      |         |        |       |       |       |       |        |      |
|-------------------------|------|---------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|------|
| $d$ , мкм               | >4,0 | 4,0-6,3 | 6,3-10 | 10-16 | 16-25 | 25-40 | 40-63 | 63-100 | <100 |
| $m_{i,}$ , % (по массе) | 2    | 1       | 2      | 4     | 5     | 6     | 8     | 11     | 61   |

### Вариант 17.

Кількість газу, що очищується,  $V_n=58900$  м<sup>3</sup>/годину.

Пил кабін оцинкування домобудівних деталей за допомогою електродугового апарату в цеху закладних деталей заводу залізобетонних виробів:

$\sigma_n=3,3$ ;  $\rho_q=6600$  кг/м<sup>3</sup>;  $t_c=25$  °C;  $C_{ex}=0,5$  г/м<sup>3</sup>.

Дисперсний склад:

|                         |      |         |         |        |       |       |       |     |
|-------------------------|------|---------|---------|--------|-------|-------|-------|-----|
| $d$ , мкм               | >2,5 | 2,5-4,0 | 4,0-6,3 | 6,3-10 | 10-16 | 16-25 | 25-40 | <40 |
| $m_{i,}$ , % (по массе) | 7    | 5,5     | 8,5     | 13     | 15    | 17    | 15    | 19  |

### Вариант 18.

Кількість газу, що очищується,  $V_n=82900$  м<sup>3</sup>/годину.

Сажа марки ПМ-70:

$\sigma_n=4,8$ ;  $\rho_q=1900$  кг/м<sup>3</sup>;  $t_r=255$  °C;  $C_{vx}=67$  г/м<sup>3</sup>.

Дисперсний склад:

|                         |    |       |         |         |         |        |       |       |       |     |
|-------------------------|----|-------|---------|---------|---------|--------|-------|-------|-------|-----|
| $d$ , мкм               | >1 | 1-1,6 | 1,6-2,5 | 2,5-4,0 | 4,0-6,3 | 6,3-10 | 10-16 | 16-25 | 25-40 | <40 |
| $m_{i,}$ , % (по массе) | 9  | 3     | 6       | 7       | 8       | 12     | 15    | 17    | 17    | 6   |

### Вариант 19.

Кількість газу, що очищується,  $V_n=62400$  м<sup>3</sup>/годину.

Фарба порошкова епоксидна, що виділяється при нанесенні захисного покриття на вироби:

$\sigma_n=2,85$ ;  $\rho_q=1390$  кг/м<sup>3</sup>;  $t_c=20$  °C;  $C_{ex}=2,1$  г/м<sup>3</sup>.

Дисперсний склад:

|                         |      |         |         |        |       |       |       |     |
|-------------------------|------|---------|---------|--------|-------|-------|-------|-----|
| $d$ , мкм               | >2,5 | 2,5-4,0 | 4,0-6,3 | 6,3-10 | 10-16 | 16-25 | 25-40 | <40 |
| $m_{i,}$ , % (по массе) | 3,4  | 1,1     | 3       | 3,5    | 7     | 12    | 20    | 50  |

### Вариант 20.

Кількість газу, що очищується,  $V_n=94100$  м<sup>3</sup>/годину.

Пил, що виділяється при виплавці сталі в електродуговій печі сталеплавильного цеха машинобудівного заводу:

$\sigma_n=3,1$ ;  $\rho_q=3980$  кг/м<sup>3</sup>;  $t_c=45$  °C;  $C_{ex}=0,496$  г/м<sup>3</sup>.

Дисперсний склад:

|                         |      |         |         |         |        |       |       |     |
|-------------------------|------|---------|---------|---------|--------|-------|-------|-----|
| $d$ , мкм               | >1,6 | 1,6-2,5 | 2,5-4,0 | 4,0-6,3 | 6,3-10 | 10-16 | 16-25 | <25 |
| $m_{i,}$ , % (по массе) | 28   | 15      | 17      | 14      | 12     | 6     | 5     | 3   |

## ПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

### Контрольні питання

1. Надати характеристику основних механізмів осадження завислих в газах частинок.
2. Навести переваги та недоліки сухих механічних пиловловлювачів.
3. Надати характеристику камер осадження пилу.

4. Надати характеристику інерційних пиловловлювачів.
5. Надати характеристику циклонів.
6. Навести переваги та недоліки застосування циклонів.
7. Надати характеристику батарейних циклонів.
8. Надати характеристику елементів батарейного циклону.
9. Надати характеристику прямоточних батарейних циклонів.
10. Надати характеристику вихрових пиловловлювачів.
11. Надати характеристику динамічних ротаційних пиловловлювачів.

### **Тестові завдання**

1. Коли відстань від частинки, що рухається в газовому потоці, до обтічного тіла не перевищує її радіуса, осадження часточок пилу відбувається за рахунок:

- сил гравітації;
- сил інерції;
- сил зчеплення;
- сил дифузії.

2. До сухих пиловловлювачів відносять:

- динамічні пиловловлювачі;
- динамічні скрубери;
- ежекторні апарати;
- барботажні апарати.

3. Які апарати вважаються найпростішими для вловлювання пилу?

- циклони;
- камери осадження пилу;
- батарейні циклони;
- інерційні пиловловлювачі.

4. За формою циклони поділяють на:

- групові і одиночні;
- циліндричні і конічні;
- високоефективні і високопродуктивні;
- прямокутні і круглі.

5. Циклон, що складається з великої кількості паралельно включених циклонних елементів, має назву:

- прямоточний;
- груповий;
- батарейний;
- конічний.

6. Як називають апарати сухого пиловловлювання, в яких газопиловий потік набуває обертового руху за допомогою робочого колеса?

- динамічний пиловловлювач;
- інерційний пиловловлювач;
- відцентровий пиловловлювач;
- ротаційний пиловловлювач.

7. Якого типу направляючого апарату, що встановлюється в елементі батарейного циклона, не існує:

- розетка;
- напівравликовий;
- равликовий;
- гвинт.

8. Який апарат сухого пиловловлювання є найбільш поширеним при очистці газових викидів від пилу?

- батарейний циклон;
- циклон;
- вихровий пиловловлювач;
- інерційний пиловловлювач.

## ПРАКТИЧНА РОБОТА 5

### ПРОЕКТУВАННЯ ТА РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ СПОРУД МОКРОГО ОЧИЩЕННЯ ГАЗОВИХ ВИКИДІВ ВІД ПИЛУ

**Мета:** набуття теоретичних знань у сфері виробничого планування та проектування природоохоронних систем та обладнання та здобуття практичних навичок з технологічного розрахунку та вибору очисних споруд, призначених для мокрого очищення газових викидів від пилу.

**Завдання:**

1. Ознайомитися з конструкціями та принципом роботи технологічного обладнання, призначеного для мокрого очищення газових викидів від пилу.
2. Ознайомитися з методикою технологічного розрахунку параметрів порожнистого газопромивача (форсункового скрубера) з протиточним рухом газів і рідини.
3. Виконати технологічний розрахунок параметрів порожнистого газопромивача (форсункового скрубера) з протиточним рухом газів і рідини, призначеного для мокрого очищення газових викидів від пилу, відповідно до варіанта вихідних даних.

В результаті виконання даної практичної роботи будуть сформовані наступні **результати навчання:**

- знати методи, апарати, споруди, технологічні схеми очищення компонентів навколишнього природного середовища;
- вміти розробляти та обґрунтовувати вибір апаратів, споруд, технологічних схем очищення компонентів навколишнього природного середовища;
- вміти використовувати діючі методи і нормативні документи, виконувати розрахунки основних параметрів природоохоронних систем, споруд та обладнання.

### ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

#### Класифікація обладнання для мокрого пиловловлювання

Метод мокрого очищення газів від пилу вважається доволі простим і в той же час дуже ефективним способом знепилювання.

При сучасному рівні розвитку техніки пиловловлювання намітилася тенденція застосування сухих апаратів, проте в ряді випадків мокрі пиловловлювачі конкурують з такими високоефективними спорудами як рукавні фільтри та електрофільтри.

Процес мокрого пиловловлювання ґрунтується на контакті насиченого пилом газового потоку з рідиною (барботажі). Внаслідок контакту з рідиною частинки пилу осаджуються на поверхню рідини та виносяться з апарата у вигляді шламу. Осадження частинок пилу на поверхню рідини відбувається під дією сил інерції та броунівського руху.

Процес очищення газів від завислих частинок у мокрих газоочисних апаратах супроводжується, зазвичай, процесами абсорбції та охолодження газів, тому всі типи мокрих газоочисних апаратів можуть застосовуватися для

очищення газів не тільки від пилу та крапель рідини, але й від газоподібних складових, а також в якості теплообмінних апаратів. У ряді випадків доцільно використовувати мокрі газоочисні апарати для одночасного пиловловлення, абсорбції та охолодження газів. Мокрі газоочисні апарати знаходять все більше застосування в складних газоочисних системах як кондиціонери, для охолодження газів, що підлягають очищенню, для коагуляції завислих частинок і для підготовки газів, що надходять до газоочисних апаратів інших типів (електрофільтри, рукавні фільтри).

*Переваги* мокрих пиловловлювачів перед апаратами інших типів:

- порівняно невелика вартість та більш висока ефективність вловлювання завислих частинок, у порівнянні з сухими механічними апаратами;
- застосування для очищення газів від частинок розміром до 0,1 мкм;
- охолодження (контактний обмін) та зволоження (кондиціювання) газів;
- можливість застосування для очищення високотемпературних газових потоків;
- менші габарити, в порівнянні з тканинними фільтрами та електрофільтрами;
- можливість використання при високій температурі і підвищеній вологості газів, а також у разі небезпеки самозаймання або вибуху газів, що очищуються, або пилу, що вловлюється;
- можливість одночасного очищення від пилу та газоподібних забруднюючих речовин, тобто використання в якості абсорберів.

*Недоліки* методу мокрого очищення газів:

- продукт, який вловлюється, виділяється у вигляді шламу, що пов'язано з необхідністю обробки стічних вод і, відповідно, з подорожчанням процесу очищення;
- втрати рідини внаслідок бризкоуносу;
- в разі очищення агресивних газів апаратуру та комунікації необхідно виготовляти з антикорозійних матеріалів або застосовувати антикорозійні покриття;
- утворення відкладень в обладнанні та газопроводах при охолодженні газів до температури точки роси або механічному винесенні з газоочисного апарату газовим потоком крапель рідини;
- значні витрати енергії при високих коефіцієнтах очищення;
- необхідність організації оборотного циклу водопостачання (відстійники, що перекачують насосні, охолоджувачі), що значно збільшує вартість системи газоочищення;
- погіршення умов розсіювання пилу та шкідливих газів, що викидаються через димові труби в повітряний басейн.

В апаратах мокрого очищення в якості зрошувальної рідини, найчастіше, застосовують воду.

Порівняння мокрого очищення з сухим показує, що мокре очищення має меншу вартість (без шламового господарства) і, як правило, є більш ефективним, ніж сухе. Більшість мокрих пиловловлювачів можуть застосовуватися для вловлювання найдрібніших частинок, навіть менше 1 мкм.

Мокрі скрубери за ефективністю та іншими показниками не поступаються рукавним фільтрам та електрофільтрам, а по ряду показників їх перевершують (можливість очищення газів з високою температурою та підвищеною вологістю, безпека при вловлюванні пожежо- та вибухонебезпечного пилу).

**Залежно від способу організації поверхні контакту фаз або за способом дії** мокрі пиловловлювачі можна розділити на наступні групи:

- порожнисті газопромивачі (форсункові скрубери тощо);
- насадкові скрубери;
- барботажні та пінні апарати;
- скрубери ударно-інерційної дії;
- відцентрові скрубери;
- динамічні скрубери;
- швидкісні скрубери.

**За витратами енергії** мокрі пиловловлювачі поділяють на низько-, середньо- і високонапірні. До низьконапірних апаратів відносять пиловловлювачі, гідравлічний опір яких не перевищує 1500 Па. В цю групу входять форсункові скрубери, насадкові скрубери, відцентрові скрубери тощо. До середньонапірних мокрих пиловловлювачів із гідравлічним опором від 1500 до 3000 Па відносять деякі динамічні скрубери, скрубери ударно-інерційної дії, ежекторні скрубери. Група високонапірних газопромивачів із гідравлічним опором більше 3000 Па включає, в основному, скрубери Вентурі.

**За принципом підведення енергії** мокрі апарати поділяють на три основні категорії:

- пиловловлювачі, що реалізують енергію газового потоку (скрубери Вентурі, ротоклони, відцентрові скрубери тощо);
- пиловловлювачі, які використовують енергію потоку рідини (порожнисті скрубери, ежекторні апарати тощо);
- пиловловлювачі з підведенням механічної енергії (вентиляційні мокрі пиловловлювачі, дезінтегратори тощо).

До прийняття рішення про застосування мокрого способу очищення необхідно ретельно проаналізувати властивості викидів, що обробляються.

### **Порожнисті газопромивачі (форсункові скрубери)**

Порожнистий або форсунковий скрубер широко застосовується як для очищення газів від достатньо крупних частинок пилу (розміром більше 5 мкм), так і для охолодження газів, виконуючи в різних системах пиловловлення роль апарату, що забезпечує підготовку газів. В якості фільтра від диму найчастіше застосовують саме порожнисті скрубери.

Порожнисті газопромивачі використовуються для очищення газів у металургійному виробництві, машинобудуванні та металообробці (гальванічне, електрохімічне виробництва), харчовій промисловості (м'ясопереробна промисловість, свинарські ферми, птахоферми, господарства по розведенню крупного рогатого скота, підприємства з переробки риби тощо), фармацевтики, хімічної промисловості (виробництво неорганічних з'єднань – кислот, лугів,

аміаку, соди, солей, хімічних реактивів; виробництво рідких і благородних металів і концентратів; хімічні та хіміко-металургійні підприємства).

*Переваги* використання порожнистого скрубера:

- процес очищення газу практично не утворює відходів;
- апарат не забивається різними речовинами;
- висока стійкість до температурних коливань;
- якісна та ефективна очистка газів і диму;
- простота в експлуатації;
- практично немає винесення води.

Продуктивність порожнистого скрубера складає 100-300000 м<sup>3</sup>/годину.

Ступінь очищення в порожнистому форсунковому скрубери може досягати 99% при вловлюванні частинок розміром більше 10 мкм і різко знижується при розмірі часточок менше 5 мкм.

Ефективність очищення в скрубери залежить від дисперсності пилу, розміру крапель, швидкості їхнього падіння, витрат рідини, швидкості газопилового потоку.

В порожнистих газопромивачах частинки пилу захоплюються при їхньому пропусканні через завісу розпилювальної рідини. При цьому частинки пилу захоплюються краплями промивної рідини і осаджуються в апараті, а очищений газ видаляється з нього.

Система зрошення організована на основі технічних даних газу, що очищується, і має таку площу зрошення, яка необхідна для створення ефективного процесу масообміну газу та рідини.

Розпилювання рідини здійснюється форсунками, які встановлюються рядами. Зазвичай встановлюють відцентрові форсунки грубого розпилювання, які працюють під тиском 0,3-0,4 МПа і створюють краплі необхідного розміру. Застосування таких форсунок дозволяє працювати на зворотній воді, що містить завись. Діаметр зони зрошення однієї форсунки приймають в межах 500 мм. За цих умов визначають кількість форсунок, що встановлюються в скрубери.

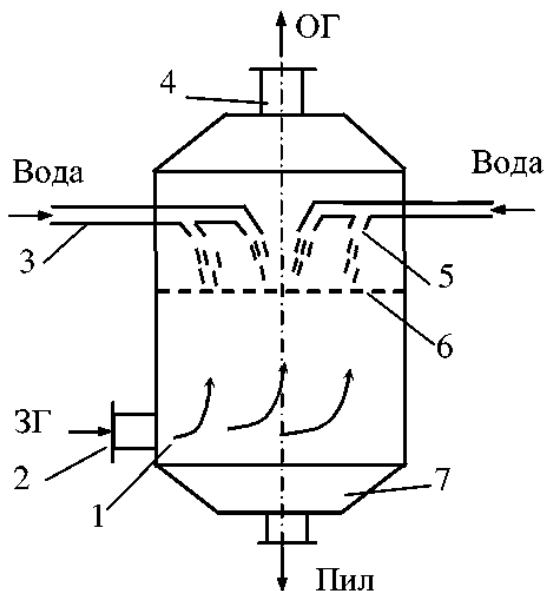
Порожністі форсункові скрубери являють собою колони круглого або прямокутного перетину, в яких здійснюється контакт між газом, що очищується, і краплями рідини, що розпилюється форсунками.

За напрямом руху газів і рідини порожністі скрубери поділяються на протиточні, прямоточні та з поперечним підведенням рідини.

Найбільш розповсюдженим апаратом цього класу є порожністий форсунковий скрубери з протиточним рухом газів і рідини, конструктивна схема якого наведена на рис. 5.1.

Прямоточні порожністі скрубери найчастіше застосовуються при випарному охолодженні газів.

В протиточному скрубери краплі з форсунок падають назустріч запиленому газовому потоку. Краплі повинні бути доволі крупними (розмір крапель повинен бути не менше 500 мкм), щоби не бути винесеними газовим потоком, швидкість якого зазвичай складає 0,6-1,2 м/с. При швидкості газу більше 5 м/с після газопромивача необхідно встановлювати краплєвловлювач.



**Рисунок 5.1 – Конструктивна схема форсунокового протиструминного скрубера**

- 1 – корпус; 2 – патрубок подачі запиленого газу; 3 – водопровід;  
4 – патрубок відведення очищеного газу; 5 – форсунки для розпилення води; 6 – газорозподільна решітка; 7 – бункер для шламу;

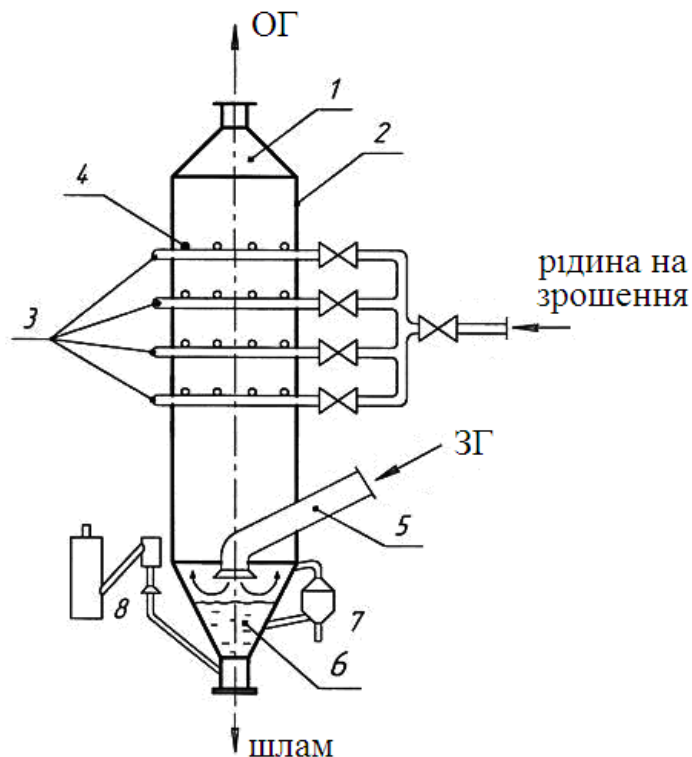
Форсунки встановлюють в апараті в одному або декількох перетинах: іноді рядами (до 14-16 в перетині), іноді тільки по осі апарата. Факел розпилу форсунок може бути направлений вертикально зверху вниз або під деяким кутом до горизонтальної площини. При розташуванні форсунок в кілька ярусів (рис. 5.2) можливе комбіноване розташування розпилювачів: частина факелів направлена по ходу газу, інша частина – в протилежному напрямку. Для кращого розподілу газу за перетином апарата в нижній частині скрубера встановлюють газорозподільну решітку.

В полому скрубелі питомі витрати рідини знаходяться в межах 2-2,5 л/м<sup>3</sup> (0,002-0,0025 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>). Гідравлічний опір порожнистого скрубера доволі незначний. За відсутності крапельвловлювача і газорозподільвача він зазвичай не перевищує 250 Па.

Ефективність очищення в порожнистому протиточному скрубелі підвищується зі збільшенням розміру крапель і зі збільшенням швидкості газу. Ступінь вловлювання частинок пилу більше 10 мкм в порожнистих форсунокових скрубелі складає більше 90%, але для частинок меншого розміру він різко зменшується. Порожністі форсункові скрубелі малоефективні при вловлюванні частинок пилу розміром менше 5 мкм.

### **Насадкові газопромивачі**

Насадкові газопромивачі застосовуються для вловлювання тонкого пилу у вигляді туманів, добре розчинного пилу, а також при спільному протіканні процесів пиловловлення, охолодження газів та абсорбції.



**Рисунок 5.2 – Конструктивна схема багатоярусного форсункового скрубера**

- 1 – конфузор; 2 – корпус скрубера; 3 – яруси зрошення; 4 – форсунки;  
 5 – патрубок для підведення запиленого газу; 6 – збірник шламу;  
 7 – поплавкова камера; 8 – гідравлічний затвор

Насадкові газопромивачі являють собою колонні апарати, в яких газ, що очищується, пропускається через нерухому насадку, яка заповнена галькою, коксом, кільцями з перегородками (Лессінга), кільцями Рашига чи Палля, кульками з полімерних матеріалів, скла або пористої гуми.

Ефективність вловлювання пилу в скрубєрі підвищується при застосуванні більш дрібної насадки, рівномірності зрошення і збільшення шару насадки.

Залежно від стану насадки ці газопромивачі можуть бути з нерухомою насадкою або з рухомою кульковою насадкою. Апарати з нерухомою насадкою використовують для очищення газових викидів від тонкого пилу у вигляді туманів, добре розчиненого пилу та при спільному протіканні процесів очищення й охолодження.

Ефективність вловлювання частинок розміром більше 2 мкм складає 90%.

Їхнім *недоліком* є збільшення гідравлічного опору та зменшення продуктивності газопромивача внаслідок забруднення каналів між насадками.

### **Тарілчасті газопромивачі (барботажні, пінні)**

В основі роботи тарілчастих газопромивачів лежить взаємодія газу з рідиною на тарілках різних конструкцій, причому характер взаємодії в значному ступені визначається швидкістю газового потоку. При малих

швидкостях (приблизно до 1 м/с) газ проникає через шар рідини у вигляді бульбашок – відбувається *барботаж*.

Ефективність пиловловлювання в цьому випадку достатньо велика лише для частинок пилу більше 5 мкм. Внаслідок цього, а також невисокої продуктивності по газу, барботажні пиловловлювачі в теперішній час у промисловості практично не застосовуються.

Зі збільшенням швидкості газу взаємодія газового і рідинного потоків протікає більш інтенсивно і барботажний режим переходить в пінний. При цьому відбувається інтенсивне дроблення потоку на мілкі бульбашки та струмки з утворенням суцільної піни. Під дією газового потоку також відбувається відривання рідини з утворенням дрібних краплин та плівок. Утворюється розвинута поверхня масообміну, яка збільшує продуктивність та ефективність очищення газу *пінним* пиловловлювачем (можливо ефективно вловлювання частинок пилу з розміром більше 2 мкм).

Основним конструктивним елементом пінних пиловловлювачів є решітка або тарілка. Решітка разом з піною створюють полицю апарата. Решітки бувають дірчасті, щілинні, трубчасті та колосникові. Апарати бувають одно- та багато поличні з провальними й переливними решітками.

Висота піни зазвичай дорівнює 80-100 мм. Гідравлічний опір тарілки з шаром піни, як правило, складає 300-1000 Па.

Газопромивачі застосовуються для вловлювання пилу, що погано змочується, з розміром фракцій більше 10 мкм, що дозволяє очищувати газ з запиленістю не більше 10 г/м<sup>3</sup> зі ступенем очищення 96-99%.

### **Газопромивачі з рухомими шаром насадки**

Апарати з рухомим шаром насадки з'явилися відносно недавно, але вже отримали достатньо широке розповсюдження в пиловловлюванні. В цих апаратах вловлювання пилу в основному відбувається в шарі рухомої насадки.

В якості насадки в таких апаратах найчастіше застосовуються порожнисті і суцільні шари кульок із полімерних матеріалів, скла або порожнистої гуми.

Для забезпечення вільного переміщення насадки в газорідинній суміші густина шарів кульок не повинна перевищувати густину рідини.

Насадка у вигляді шару кульок знаходиться в постійному русі і тому пил не злипається.

При пиловловлюванні в апаратах з рухомою насадкою рекомендується приймати швидкість газу в межах до 5-6 м/с (в 2-3 рази більша, ніж швидкість газу в пінних апаратах). Оптимальними з точки зору пиловловлювання є кульки діаметром 20-40 мм. Мінімальна статична висота шару насадки складає 5-8 діаметрів кульок. Гідравлічний опір 300-1400 Па.

Продуктивність за газом в апаратах з рухомою насадкою складає 3-120 тис. м<sup>3</sup>/годину. Ступінь очищення від частинок пилу розміром більше 2 мкм – 97-99% (апарати мають більш високу ефективність, у порівнянні з пінними пиловловлювачами).

### **Ударно-інерційні газопромивачі**

В основі роботи цих апаратів лежить принцип інерційного осідання частинок пилу при різкій зміні напрямку руху газового потоку над рідиною.

Контакт газу з рідиною здійснюється за рахунок удару газового потоку об поверхню рідини. Потім газорідинна суміш, що утворилася внаслідок удару, пропускається через отвори різної конфігурації. Внаслідок такої взаємодії утворюються краплі діаметром 300-400 мкм.

Особливістю апаратів ударно-інерційної дії є повна відсутність засобів перемішування рідини. Тому вся енергія, що необхідна для утворення поверхні контакту, підводиться з газовим потоком.

При швидкості газу 20-30 м/с у вхідному патрубку вловлювання частинок пилу з розміром більше 20 мкм складає більш, ніж 90%, тобто їх можна застосовувати в якості першого ступеня очищення газу.

### **Газопромивачі відцентрової дії**

Підвищення ефективності пиловловлення скрубєрів досягається збільшенням відносної швидкості краплин та газового потоку за рахунок використання відцентрових сил обертового газового потоку.

Відцентрові скрубєри зрошують через форсунки, що встановлюються в центральній частині апарату. Над форсунками у відцентрових скрубєрах знаходиться вільна від подачі зрошення зона, яка дає можливість краплям досягнути стінок апарату, перед тим, як із нього вийде газовий потік. Рідина, стікаючи по стінкам апарату, утворює плівку. Таким чином, відцентрові сили дозволяють підвищити ефективність пиловловлювання і різко зменшувати виніс рідини з апарату.

### **Механічні газопромивачі**

Характерною особливістю механічних газопромивачів є наявність обертового пристрою (ротора, диска тощо), який забезпечує розбризкування і перемішування рідини або обертання газового потоку.

В залежності від способу підведення механічної енергії апарати цього типу поділяються на дві групи. До першої групи відносяться газопромивачі, в яких газ, що очищується, приводиться в стикання з рідиною за допомогою обертового тіла (весла, диски, барабани). У теперішній час такі апарати практично не застосовуються для очищення газу від пилу.

До другої групи відносяться відцентрові механічні газопромивачі, в яких механічна енергія, що додатково підводиться, служить для обертання газового потоку. Такі апарати отримали назву динамічних газопромивачів. Динамічні газопромивачі відрізняються від сухих ротаційних пиловловлювачів тільки підведенням зрошованої рідини, яка сприяє підвищенню їхньої ефективності.

### **Швидкісні газопромивачі (скрубєри Вентурі)**

Швидкісні газопромивачі – це ефективні високонапірні мокрі пиловловлювачі крапельної дії. Їх застосовують, головним чином, для очищення газів від мікронного та субмікронного пилу.

Принцип дії цих апаратів ґрунтується на інтенсивному дробленні газовим потоком, що рухається зі швидкістю 60-150 м/с, зрошувальної рідини. На інтенсивність осадження частинок пилу суттєво впливають турбулентність газового потоку пилу та крапель рідини.

Найбільш розповсюдженим апаратом цього класу є скрубери Вентурі – найефективніший із всіх мокрих пиловловлювачів, що застосовуються в промисловості. У зв'язку з безперервно зростаючими вимогами до глибини очищення газопилових викидів промислових підприємств, скрубери Вентурі поступово становляться домінуючим видом мокрих пиловловлювачів.

Скрубери Вентурі відрізняються високим ступенем очищення і великими гідравлічними витратами. По гідродинамічним характеристикам скрубери Вентурі поділяються на високонапірні і низьконапірні. Перші застосовуються для тонкого очищення газу від мікронного і субмікронного пилу і характеризуються високим гідравлічним опором (до 20000-30000 Па). Другі застосовуються головним чином для підготовки газу перед іншими пиловловлюючими апаратами і для очищення аспіраційного повітря. Їхній гідравлічний опір не перевищує 3000-5000 Па.

Продуктивність скруберів Вентурі по газу складає від 2 до 500 тис. м<sup>3</sup>/годину. Іноді при великих об'ємах газів для очищення застосовують батарейні або групові компонування скруберів Вентурі.

Скрубери Вентурі забезпечують очищення газів від пилу з розміром частинок більше 1 мкм зі ступенем вловлювання 96-98%.

## **ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА**

### **Порядок розрахунку параметрів порожнистого газопромивача (форсунового скрубера) з протиточним рухом газів і рідини**

1. Визначаємо необхідну ефективність очищення від пилу газопилової суміші в порожнистому форсуновому газопромивачі з протиточним рухом газів і рідини за формулою:

$$\eta = \left[ 1 - \frac{C_k}{C_n} \right] \cdot 100\%, \quad \% \quad (5.1)$$

$C_n$  – початкова концентрація пилу, що надходить на очищення до очисної споруди, г/м<sup>3</sup>;

$C_k$  – концентрація пилу після очищення в порожнистому газопромивачі з протиточним рухом газів і рідини, мг/м<sup>3</sup>. Враховуючи, що граничнодопустима концентрація нетоксичного пилу в повітрі населених пунктів складає 0,15 мг/м<sup>3</sup>, приймаємо вміст пилу на виході з очисної споруди в межах (10-15)·ГДК, тобто 1,5-2,0 мг/м<sup>3</sup>.

$$C_k, \text{ мг/м}^3 \rightarrow \text{г/м}^3.$$

2. Перерахуємо дисперсний склад з інтегрального виду в диференційний за заданими фракціями пилу:

$$d_{cp}^1 = \frac{0 + d_1}{2}, \text{ мкм}; \quad g_{cp}^1 = 100 - g_1, \quad \%;$$

$$d_{cp}^2 = \frac{d_1 + d_2}{2}, \text{ мкм};$$

$$g_{cp}^2 = g_1 - g_2, \%;$$

$$d_{cp}^3 = \frac{d_2 + d_3}{2}, \text{ мкм};$$

$$g_{cp}^3 = g_2 - g_3, \%;$$

$$d_{cp}^4 = \frac{d_3 + d_4}{2}, \text{ мкм};$$

$$g_{cp}^4 = g_3 - g_4, \%;$$

$$d_{cp}^5 = \frac{d_4 + d_5}{2}, \text{ мкм};$$

$$g_{cp}^5 = g_4 - g_5, \%;$$

$$d_{cp}^6 = \frac{d_5 + d_6}{2}, \text{ мкм};$$

$$g_{cp}^6 = g_5 - g_6, \%;$$

$$d_{cp}^7 = \frac{d_6 + d_7}{2}, \text{ мкм};$$

$$g_{cp}^7 = g_6 - g_7, \%.$$

3. Визначаємо медіанний діаметр частинок пилу за формулою:

$$d_m = \frac{\sum_{i=1}^5 (d_{cp}^i \cdot g_{cp}^i)}{\sum_{i=1}^5 g_{cp}^i} = \frac{(d_{cp}^1 \cdot g_{cp}^1) + (d_{cp}^2 \cdot g_{cp}^2) + (d_{cp}^3 \cdot g_{cp}^3) + (d_{cp}^4 \cdot g_{cp}^4) + (d_{cp}^5 \cdot g_{cp}^5) + (d_{cp}^6 \cdot g_{cp}^6) + (d_{cp}^7 \cdot g_{cp}^7)}{g_{cp}^1 + g_{cp}^2 + g_{cp}^3 + g_{cp}^4 + g_{cp}^5 + g_{cp}^6 + g_{cp}^7}, \text{ мкм}. \quad (5.2)$$

4. Визначаємо стандартне відхилення за формулою:

$$\sigma = \frac{\sum_{i=1}^5 g_{cp}^i \cdot (d_m - d_{cp}^i)^2}{\sum_{i=1}^5 g_{cp}^i}, \text{ мкм} \quad (5.3)$$

Таким чином, формула (5.3) буде мати наступний вигляд:

$$\sigma = \frac{g_{cp}^1 \cdot (d_m - d_{cp}^1)^2 + g_{cp}^2 \cdot (d_m - d_{cp}^2)^2 + g_{cp}^3 \cdot (d_m - d_{cp}^3)^2 + g_{cp}^4 \cdot (d_m - d_{cp}^4)^2 + g_{cp}^5 \cdot (d_m - d_{cp}^5)^2 + g_{cp}^6 \cdot (d_m - d_{cp}^6)^2 + g_{cp}^7 \cdot (d_m - d_{cp}^7)^2}{g_{cp}^1 + g_{cp}^2 + g_{cp}^3 + g_{cp}^4 + g_{cp}^5 + g_{cp}^6 + g_{cp}^7}, \text{ мкм}.$$

5. Визначаємо основні розміри порожнистого форсункового скрубера (газопромивача):

- швидкість газів в скрубери приймають  $w=0,6-1,2$  м/с;
- перепад тиску  $\Delta P=200-250$  Па;
- величину питомого зрошення  $m=0,5 \cdot 10^{-3}-8 \cdot 10^{-3}$  м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> газу. При великій концентрації пилу на вході в апарат ( $10-12$  г/м<sup>3</sup>) приймається  $m=6 \cdot 10^{-3}-8 \cdot 10^{-3}$  м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> газу;
- діаметр крапель зрошуваної рідини  $d_k$  в межах  $0,6 \cdot 10^{-3}-1 \cdot 10^{-3}$  м;
- швидкість осадження крапель  $w_k$  при середньому діаметрі  $d_k=1 \cdot 10^{-3}$  м дорівнює  $1,1$  м/с.

6. Визначаємо середню площу порожнистого форсункового скрубера в перетині, перпендикулярному напрямку потоку газів, за формулою:

$$F = \frac{V_2}{w}, \text{ м}^2. \quad (5.4)$$

$V_2$  – об’ємні витрати пилогазового потоку, що надходить на очищення до очисної споруди, м<sup>3</sup>/годину.

$V_2$ , м<sup>3</sup>/годину  $\rightarrow$  м<sup>3</sup>/с.

7. Визначаємо радіус порожнистого форсункового скрубера за формулою:

$$R = \sqrt{\frac{F}{\pi}}, \text{ м}. \quad (5.5)$$

8. Визначаємо діаметр порожнистого форсункового скрубера за формулою:

$$D = 2 \cdot R, \text{ м}. \quad (5.6)$$

9. Визначаємо висоту порожнистого форсункового скрубера за формулою:

$$H = 2,5 \cdot D, \text{ м}. \quad (5.7)$$

10. Якщо отримані розміри порожнистого форсункового скрубера занадто великі, в порівнянні з типовими, приймаємо до встановлення кілька скруберів ( $N = \underline{\hspace{1cm}}$  штук).

Типові розміри порожнистого форсункового скрубера наведено в табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Типові розміри порожнистого форсункового скрубера

| Показники                                   | Продуктивність одного скрубера, м <sup>3</sup> /годину |      |      |      |      |       |       |       |
|---------------------------------------------|--------------------------------------------------------|------|------|------|------|-------|-------|-------|
|                                             | 1000                                                   | 2000 | 3000 | 4000 | 5000 | 10000 | 15000 | 20000 |
| Діаметр вхід/вихід газу ( $d_1$ ), мм       | 160                                                    | 250  | 280  | 355  | 400  | 560   | 710   | 800   |
| Типовий діаметр скрубера ( $D$ ), м         | 0,6                                                    | 0,8  | 0,9  | 1,1  | 1,2  | 1,6   | 2,0   | 2,3   |
| Робоча висота скрубера ( $h_1$ ), м         | 1,5                                                    | 2,0  | 2,3  | 2,8  | 3,0  | 4,0   | 5,0   | 5,8   |
| Загальна висота скрубера ( $H$ ), м         | 2,8                                                    | 3,4  | 3,7  | 4,3  | 4,5  | 5,7   | 6,8   | 7,7   |
| Відстань між вхід/вихід газу ( $L$ ), м     | 1,7                                                    | 2,3  | 2,6  | 3,1  | 3,3  | 4,3   | 5,3   | 6,1   |
| Кількість рядів форсунок, шт.               | 2                                                      | 2    | 2    | 2    | 2    | 2     | 2     |       |
| Відстань першого ряду форсунок ( $L_1$ ), м | 0,3                                                    | 0,4  | 0,5  | 0,6  | 0,6  | 0,8   | 1,0   | 1,2   |
| Відстань між наступними рядами ( $L_2$ ), м | 1,2                                                    | 1,6  | 1,8  | 2,2  | 2,4  | 3,2   | 4,0   | 4,6   |
| Довжина скрубера ( $A$ ), м                 | 1                                                      | 1,2  | 1,3  | 1,5  | 1,6  | 2,0   | 2,4   | 2,7   |
| Ширина скрубера ( $B$ ), м                  | 0,8                                                    | 1,0  | 1,1  | 1,3  | 1,4  | 1,8   | 2,2   | 2,5   |

Тоді перераховуємо площу одного порожнистого форсункового скрубера за формулою:

$$F_1 = \frac{F}{N}, \text{ м}^2. \quad (5.8)$$

Перераховуємо радіус одного порожнистого форсункового скрубера за формулою:

$$R_1 = \sqrt{\frac{F_1}{\pi}}, \text{ м}. \quad (5.9)$$

Перераховуємо діаметр одного порожнистого форсункового скрубера за формулою:

$$D_1 = 2 \cdot R_1, \text{ м.} \quad (5.10)$$

Перераховуємо висоту одного порожнистого форсункового скрубера за формулою:

$$H_1 = 2,5 \cdot D_1, \text{ м.} \quad (5.11)$$

11. Визначаємо витрати рідини на зрошення в порожнистому форсунковому скрубєрі за формулою:

$$L = m \cdot V_z, \text{ м}^3/\text{с.} \quad (5.12)$$

$$V_z, \text{ м}^3/\text{годину} \rightarrow \text{м}^3/\text{с.}$$

12. Визначаємо інерційні параметри для фракцій частинок пилу заданого складу за формулою:

$$\psi_i = \frac{(d_{cp}^i)^2 \cdot \rho_u \cdot w \cdot C_i}{18 \cdot \mu \cdot l}, \text{ частка,} \quad (5.13)$$

$l$  – визначальний розмір, за який при розрахунку порожнистих форсункових скрубєрів приймають діаметр краплі зрошувальної рідини  $d_k$ , м;

$\rho_u$  – щільність частинок пилу,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;

$C_i$  – поправка Кенінгема, що залежить від діаметра частинок пилу ( $d_{cp}^i$ , мкм) та визначається за табл. 5.2;

$\mu$  – коефіцієнт динамічної в'язкості газу при заданих робочих умовах (Па·с), який визначається методом інтерполяції в залежності від значення заданої температури газу ( $t_z$ , °C), що надходить на очищення в порожнистий форсунковий скрубєр, за табл. 5.3.

Таблиця 5.2 – Значення поправки Кенінгема

|                              |       |      |      |     |      |      |      |      |
|------------------------------|-------|------|------|-----|------|------|------|------|
| $d_{cp}^i \cdot 10^{-6}$ , м | 0,003 | 0,01 | 0,03 | 0,1 | 0,3  | 1,0  | 3,0  | 10,0 |
| $C_i$                        | 90    | 24,5 | 7,9  | 2,9 | 1,57 | 1,16 | 1,03 | 1    |

Таблиця 5.3 – Фізичні властивості димових газів

|                            |      |      |      |      |      |      |
|----------------------------|------|------|------|------|------|------|
| $t_z$ , °C                 | 0    | 100  | 200  | 300  | 400  | 500  |
| $\mu \cdot 10^{-6}$ , Па·с | 15,8 | 20,4 | 24,5 | 28,2 | 31,7 | 34,8 |

Звідси знаходимо величини  $\psi_1=$ \_\_\_\_;  $\psi_2=$ \_\_\_\_;  $\psi_3=$ \_\_\_\_;  $\psi_4=$ \_\_\_\_;  $\psi_5=$ \_\_\_\_;  $\psi_6=$ \_\_\_\_;  $\psi_7=$ \_\_\_\_.

13. Визначаємо коефіцієнти захвату частинок пилу певних фракцій для протиточного зрошення в порожнистому форсунковому скрубєрі за формулою:

$$\eta_i = \frac{(\psi_i)^2}{(\psi_i + 0,35)^2}, \text{ частка.} \quad (5.14)$$

Звідси знаходимо величини  $\eta_1=$ \_\_\_\_;  $\eta_2=$ \_\_\_\_;  $\eta_3=$ \_\_\_\_;  $\eta_4=$ \_\_\_\_;  $\eta_5=$ \_\_\_\_;  $\eta_6=$ \_\_\_\_;  $\eta_7=$ \_\_\_\_.

14. Визначаємо значення парціальних коефіцієнтів очищення від частинок пилу для порожнистих форсункових скрубєрів з протиточним зрошенням за формулою:

$$\varepsilon_i = 1 - \exp \left[ \frac{-3 \cdot L \cdot \eta_i \cdot (w + w_k) \cdot H}{2 \cdot V_z \cdot d_k \cdot w_k} \right]. \quad (5.15)$$

$V_z$ , м<sup>3</sup>/годину  $\rightarrow$  м<sup>3</sup>/с.

Звідси знаходимо величини  $\varepsilon_1=$ \_\_\_\_;  $\varepsilon_2=$ \_\_\_\_;  $\varepsilon_3=$ \_\_\_\_;  $\varepsilon_4=$ \_\_\_\_;  $\varepsilon_5=$ \_\_\_\_;  $\varepsilon_6=$ \_\_\_\_;  $\varepsilon_7=$ \_\_\_\_.

15. Визначаємо загальний коефіцієнт очищення від частинок пилу в порожнистому форсунковому газопромивачі (скрубєрі) з протиточним зрошенням за формулою:

$$\varepsilon_{\text{загальна}} = \sum_{i=1}^5 \varepsilon_i \cdot g_{\text{ср}}^i =$$

$$= \varepsilon_1 \cdot g_{\text{ср}}^1 + \varepsilon_2 \cdot g_{\text{ср}}^2 + \varepsilon_3 \cdot g_{\text{ср}}^3 + \varepsilon_4 \cdot g_{\text{ср}}^4 + \varepsilon_5 \cdot g_{\text{ср}}^5 \cdot \varepsilon_6 \cdot g_{\text{ср}}^6 + \varepsilon_7 \cdot g_{\text{ср}}^7, \%. \quad (5.16)$$

16. Визначаємо концентрацію пилу в газопиловому потоці після очищення в порожнистому форсунковому скрубєрі при розрахованій величині загальної ефективності очистки за формулою:

$$C_k = C_n \cdot \left( \frac{100 - \varepsilon_{\text{загальна}}}{100} \right), \text{ г/м}^3. \quad (5.17)$$

Робимо висновок, чи відповідає отримане значення концентрації пилу в газопиловому потоці після очищення в порожнистому форсунковому скрубєрі заданій у вихідних даних величині граничнодопустимої концентрації (ГДК).

Якщо отримана величина  $C_k$  не відповідає ГДК, слід підбирати більш ефективний апарат для пилоочищення або передбачувати багатоступеневу схему очистки.

### **Приклад розрахунку параметрів порожнистого газопромивача (форсункового скрубєра) з протиточним рухом газів і рідини**

Вихідні дані для розрахунку параметрів порожнистого газопромивача (форсункового скрубєра) з протиточним рухом газів і рідини:

- об'ємні витрати газопилового потоку, що надходить на очищення до очисної споруди,  $V_z=49300$  м<sup>3</sup>/годину;
- початкова концентрація пилу, що надходить на очищення до очисної споруди,  $C_n=5,7$  г/м<sup>3</sup>;
- температура газопилової суміші, що надходить на очищення до очисної споруди,  $t_z=135$  °С;
- щільність частинок пилу,  $\rho_q=1640$  кг/м<sup>3</sup>.

Дисперсний склад пилу:

| $d_i$ , мкм | $d_1$ | $d_2$ | $d_3$ | $d_4$ | $d_5$ | $d_6$ | $d_7$ |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|             | 5     | 8     | 13    | 19    | 25    | 30    | 35    |
| $g_i$ , %   | $g_1$ | $g_2$ | $g_3$ | $g_4$ | $g_5$ | $g_6$ | $g_7$ |
|             | 98    | 93    | 84    | 72    | 72    | 27    | 0     |

Розрахунок параметрів порожнистого газопромивача (форсункового скрубера) з протиточним рухом газів і рідини

1. Враховуючи, що граничнодопустима концентрація нетоксичного пилу в повітрі населених пунктів складає  $0,15 \text{ мг/м}^3$ , приймаємо вміст пилу після очищення в порожнистому газопромивачі (форсунковому скрубєрі) з протиточним рухом газів і рідини –  $(10-15) \cdot \text{ГДК}$ , тобто  $1,5-2,0 \text{ мг/м}^3$ .

Звідси приймаємо  $C_k = 2,0 \text{ мг/м}^3 = 2,0 \cdot 10^{-3} \text{ г/м}^3$ .

Необхідну ефективність очищення від пилу газопилової суміші в порожнистому форсунковому газопромивачі з протиточним рухом газів і рідини визначаємо за формулою (5.1):

$$\eta = \left[ 1 - \frac{C_k}{C_n} \right] \cdot 100\% = \left[ 1 - \frac{2,0 \cdot 10^{-3}}{5,7} \right] \cdot 100\% = 99,965 \text{ \%}.$$

2. Перерахуємо дисперсний склад з інтегрального виду в диференційний за заданими фракціями пилу:

$$d_{cp}^1 = \frac{0 + d_1}{2} = \frac{0 + 5}{2} = 2,5 \text{ мкм};$$

$$g_{cp}^1 = 100 - g_1 = 100 - 98 = 2 \text{ \%};$$

$$d_{cp}^2 = \frac{d_1 + d_2}{2} = \frac{5 + 8}{2} = 6,5 \text{ мкм};$$

$$g_{cp}^2 = g_1 - g_2 = 98 - 93 = 5 \text{ \%};$$

$$d_{cp}^3 = \frac{d_2 + d_3}{2} = \frac{8 + 13}{2} = 10,5 \text{ мкм};$$

$$g_{cp}^3 = 93 - 84 = 9 \text{ \%};$$

$$d_{cp}^4 = \frac{d_3 + d_4}{2} = \frac{13 + 19}{2} = 16 \text{ мкм};$$

$$g_{cp}^4 = 84 - 72 = 12 \text{ \%};$$

$$d_{cp}^5 = \frac{d_4 + d_5}{2} = \frac{19 + 25}{2} = 22 \text{ мкм};$$

$$g_{cp}^5 = 72 - 52 = 20 \text{ \%};$$

$$d_{cp}^6 = \frac{d_5 + d_6}{2} = \frac{25 + 30}{2} = 27,5 \text{ мкм};$$

$$g_{cp}^6 = 52 - 27 = 25 \text{ \%};$$

$$d_{cp}^7 = \frac{d_6 + d_7}{2} = \frac{30 + 35}{2} = 32,5 \text{ мкм};$$

$$g_{cp}^7 = 25 - 0 = 25 \text{ \%}.$$

3. Медіанний діаметр частинок пилу визначаємо за формулою (5.2):

$$d_m = \frac{(d_{cp}^1 \cdot g_{cp}^1) + (d_{cp}^2 \cdot g_{cp}^2) + (d_{cp}^3 \cdot g_{cp}^3) + (d_{cp}^4 \cdot g_{cp}^4) + (d_{cp}^5 \cdot g_{cp}^5) + (d_{cp}^6 \cdot g_{cp}^6) + (d_{cp}^7 \cdot g_{cp}^7)}{g_{cp}^1 + g_{cp}^2 + g_{cp}^3 + g_{cp}^4 + g_{cp}^5 + g_{cp}^6 + g_{cp}^7} =$$
$$= \frac{(2,5 \cdot 2) + (6,5 \cdot 5) + (10,5 \cdot 9) + (16 \cdot 12) + (22 \cdot 20) + (27,5 \cdot 25) + (32,5 \cdot 25)}{2 + 5 + 9 + 12 + 20 + 25 + 25} = 23,1 \text{ мкм}.$$

4. Стандартне відхилення визначаємо за формулою (5.3):

$$\sigma = \frac{g_{cp}^1 \cdot (d_m - d_{cp}^1)^2 + g_{cp}^2 \cdot (d_m - d_{cp}^2)^2 + g_{cp}^3 \cdot (d_m - d_{cp}^3)^2 + g_{cp}^4 \cdot (d_m - d_{cp}^4)^2 +$$
$$+ g_{cp}^5 \cdot (d_m - d_{cp}^5)^2 + g_{cp}^6 \cdot (d_m - d_{cp}^6)^2 + g_{cp}^7 \cdot (d_m - d_{cp}^7)^2}{g_{cp}^1 + g_{cp}^2 + g_{cp}^3 + g_{cp}^4 + g_{cp}^5 + g_{cp}^6 + g_{cp}^7} =$$

$$= \frac{2 \cdot (23,1 - 2,5)^2 + 5 \cdot (23,1 - 6,5)^2 + 9 \cdot (23,1 - 10,5)^2 + 12 \cdot (23,1 - 16)^2 + 20 \cdot (23,1 - 22)^2 + 25 \cdot (23,1 - 27,5)^2 + 25 \cdot (23,1 - 32,5)^2}{2 + 5 + 9 + 12 + 20 + 25 + 25} = 71,2 \text{ мкм.}$$

5. Приймаємо основні розміри порожнистого форсункового скрубера (газопромивача):

- швидкість газів в скрубєрі  $w=1,0$  м/с;
- перепад тиску  $\Delta P=230$  Па;
- величину питомого зрошення  $m=2 \cdot 10^{-3}$  м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> газу.
- діаметр крапель зрошуваної рідини  $d_k=1 \cdot 10^{-3}$  м;
- швидкість осадження крапель  $w_k=1,1$  м/с.

6. Середню площу порожнистого форсункового скрубера в перетині, перпендикулярному напрямку потоку газів, визначаємо за формулою (5.4):

$$F = \frac{V_z}{w} = \frac{13,7}{1,0} = 13,7 \text{ м}^2.$$

7. Радіус порожнистого форсункового скрубера визначаємо за формулою (5.5):

$$R = \sqrt{\frac{F}{\pi}} = \sqrt{\frac{13,7}{3,14}} = 2,1 \text{ м.}$$

8. Діаметр порожнистого форсункового скрубера визначаємо за формулою (5.6):

$$D = 2 \cdot R = 2 \cdot 2,1 = 4,2 \text{ м.}$$

9. Висоту порожнистого форсункового скрубера визначаємо за формулою (5.7):

$$H = 2,5 \cdot D = 2,5 \cdot 4,2 = 10,5 \text{ м.}$$

10. Оскільки отримані розміри порожнистого форсункового скрубера виявляються завеликими, в порівнянні з типовими (табл. 5.1), приймаємо до встановлення чотири порожнистих форсункових скрубера ( $N=4$  штуки).

Тоді перераховуємо площу одного порожнистого форсункового скрубера за формулою (5.8):

$$F_1 = \frac{F}{N} = \frac{13,7}{4} = 3,425 \text{ м}^2.$$

Перераховуємо радіус одного порожнистого форсункового скрубера за формулою (5.9):

$$R_1 = \sqrt{\frac{F_1}{\pi}} = \sqrt{\frac{3,425}{3,14}} = 1,044 \text{ м.}$$

Перераховуємо діаметр одного порожнистого форсункового скрубера за формулою (5.10):

$$D_1 = 2 \cdot R_1 = 2 \cdot 1,044 = 2,1 \text{ м.}$$

Перераховуємо висоту одного порожнистого форсункового скрубера за формулою (5.11):

$$H_1 = 2,5 \cdot D_1 = 2,5 \cdot 2,1 = 5,25 \approx 5,3 \text{ м.}$$

11. Витрати рідини на зрошення в порожнистому форсунковому скрубєрі визначаємо за формулою (5.12):

$$L = m \cdot V_z = 2 \cdot 10^{-3} \cdot 13,7 = 27,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}.$$

12. Приймаємо визначальний розмір  $l = d_k = 1 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ .

За табл. 5.3 приймаємо коефіцієнт динамічної в'язкості газу, що надходить на очищення в порожнистий форсунковий скрубєр, величина якого залежить від значення заданої температури газу ( $t_g = 135 \text{ }^\circ\text{C}$ ),  $\mu = 21,835 \cdot 10^{-6} \text{ Па}\cdot\text{с}$ .

За табл. 5.2 визначаємо поправку Кенінгема, що залежить від діаметра частинок пилу  $d_{cp}^i$ :

- для  $d_1 = 2,5 \text{ мкм} \rightarrow$  значення  $C = 1,0625$ ;
- для  $d_2 = 6,5 \text{ мкм} \rightarrow$  значення  $C = 1,015$ ;
- для  $d_3 = 10,5 \text{ мкм} \rightarrow$  значення  $C = 1$ ;
- для  $d_4 = 16 \text{ мкм} \rightarrow$  значення  $C = 1$ ;
- для  $d_5 = 22 \text{ мкм} \rightarrow$  значення  $C = 1$ ;
- для  $d_6 = 27,5 \text{ мкм} \rightarrow$  значення  $C = 1$ ;
- для  $d_7 = 32,5 \text{ мкм} \rightarrow$  значення  $C = 1$ .

Інерційні параметри для фракцій частинок пилу заданого складу визначаємо за формулою (5.13):

$$\psi_i = \frac{(d_{cp}^i)^2 \cdot \rho_u \cdot w \cdot C_i}{18 \cdot \mu \cdot l}, \text{ частка.}$$

Звідси отримуємо:

$$\psi_1 = \frac{(2,5 \cdot 10^{-6})^2 \cdot 1640 \cdot 1,0 \cdot 1,0625}{18 \cdot 21,835 \cdot 10^{-6} \cdot 1 \cdot 10^{-3}} = 0,0111;$$

$$\psi_2 = \frac{(6,5 \cdot 10^{-6})^2 \cdot 1640 \cdot 1,0 \cdot 1,015}{18 \cdot 21,835 \cdot 10^{-6} \cdot 1 \cdot 10^{-3}} = 0,0275;$$

$$\psi_3 = \frac{(10,5 \cdot 10^{-6})^2 \cdot 1640 \cdot 1,0 \cdot 1,0}{18 \cdot 21,835 \cdot 10^{-6} \cdot 1 \cdot 10^{-3}} = 0,0438;$$

$$\psi_4 = \frac{(16 \cdot 10^{-6})^2 \cdot 1640 \cdot 1,0 \cdot 1,0}{18 \cdot 21,84 \cdot 10^{-6} \cdot 1 \cdot 10^{-3}} = 0,0668;$$

$$\psi_5 = \frac{(22 \cdot 10^{-6})^2 \cdot 1640 \cdot 1,0 \cdot 1,0}{18 \cdot 21,835 \cdot 10^{-6} \cdot 1 \cdot 10^{-3}} = 0,0918;$$

$$\psi_6 = \frac{(27,5 \cdot 10^{-6})^2 \cdot 1640 \cdot 1,0 \cdot 1,00}{18 \cdot 21,835 \cdot 10^{-6} \cdot 1 \cdot 10^{-3}} = 0,1148;$$

$$\psi_7 = \frac{(32,5 \cdot 10^{-6})^2 \cdot 1640 \cdot 1,0 \cdot 1,0}{18 \cdot 21,835 \cdot 10^{-6} \cdot 1 \cdot 10^{-3}} = 0,1356.$$

13. Коефіцієнти захвату частинок пилу певних фракцій для протиточного зрошення в порожнистому форсунковому скрубєрі визначаємо за формулою (5.14):

$$\eta_i = \frac{(\psi_i)^2}{(\psi_i + 0,35)^2}, \text{ частка.}$$

Звідси отримуємо:

$$\eta_1 = \frac{(0,0111)^2}{(0,0111 + 0,35)^2} = 0,00095 \text{ частки};$$

$$\eta_2 = \frac{(0,0275)^2}{(0,0275 + 0,35)^2} = 0,00531 \text{ частки};$$

$$\eta_3 = \frac{(0,0438)^2}{(0,0438 + 0,35)^2} = 0,01237 \text{ частки};$$

$$\eta_4 = \frac{(0,0668)^2}{(0,0668 + 0,35)^2} = 0,02569 \text{ частки};$$

$$\eta_5 = \frac{(0,0918)^2}{(0,0918 + 0,35)^2} = 0,04317 \text{ частки};$$

$$\eta_6 = \frac{(0,1148)^2}{(0,1148 + 0,35)^2} = 0,06101 \text{ частки};$$

$$\eta_7 = \frac{(0,1356)^2}{(0,1356 + 0,35)^2} = 0,07798 \text{ частки}.$$

14. Значення парціальних коефіцієнтів очищення від частинок пилу для порожнистих форсункових скрубєрів з протиточним зрошенням визначаємо за формулою (5.15):

$$\varepsilon_i = 1 - \exp \left[ \frac{-3 \cdot L \cdot \eta_i \cdot (w + w_{\kappa}) \cdot H}{2 \cdot V_{\varepsilon} \cdot d_{\kappa} \cdot w_{\kappa}} \right].$$

Звідси отримуємо:

$$\varepsilon_1 = 1 - \exp \left[ \frac{-3 \cdot 27,4 \cdot 10^{-3} \cdot 0,00095 \cdot (1,0 + 1,1) \cdot 5,3}{2 \cdot 13,7 \cdot 1 \cdot 10^{-3} \cdot 1,1} \right] = 0,0284;$$

$$\varepsilon_2 = 1 - \exp \left[ \frac{-3 \cdot 27,4 \cdot 10^{-3} \cdot 0,00531 \cdot (1,0 + 1,1) \cdot 5,3}{2 \cdot 13,7 \cdot 1 \cdot 10^{-3} \cdot 1,1} \right] = 0,1489;$$

$$\varepsilon_3 = 1 - \exp \left[ \frac{-3 \cdot 27,4 \cdot 10^{-3} \cdot 0,01237 \cdot (1,0 + 1,1) \cdot 5,3}{2 \cdot 13,7 \cdot 1 \cdot 10^{-3} \cdot 1,1} \right] = 0,3131;$$

$$\varepsilon_4 = 1 - \exp \left[ \frac{-3 \cdot 27,4 \cdot 10^{-3} \cdot 0,02569 \cdot (1,0 + 1,1) \cdot 5,3}{2 \cdot 13,7 \cdot 1 \cdot 10^{-3} \cdot 1,1} \right] = 0,5415;$$

$$\varepsilon_5 = 1 - \exp \left[ \frac{-3 \cdot 27,4 \cdot 10^{-3} \cdot 0,04317 \cdot (1,0 + 1,1) \cdot 5,3}{2 \cdot 13,7 \cdot 1 \cdot 10^{-3} \cdot 1,1} \right] = 0,7303;$$

$$\varepsilon_6 = 1 - \exp \left[ \frac{-3 \cdot 27,4 \cdot 10^{-3} \cdot 0,06101 \cdot (1,0 + 1,1) \cdot 5,3}{2 \cdot 13,7 \cdot 1 \cdot 10^{-3} \cdot 1,1} \right] = 0,8431;$$

$$\varepsilon_7 = 1 - \exp \left[ \frac{-3 \cdot 27,4 \cdot 10^{-3} \cdot 0,07798 \cdot (1,0 + 1,1) \cdot 5,3}{2 \cdot 13,7 \cdot 1 \cdot 10^{-3} \cdot 1,1} \right] = 0,9063.$$

15. Загальний коефіцієнт очищення від частинок пилу в порожнистому форсунковому газопромивачі (скрубєрі) з протиточним зрошенням визначаємо за формулою (5.16):

$$\varepsilon_{\text{загальна}} = \varepsilon_1 \cdot g_{\text{cp}}^1 + \varepsilon_2 \cdot g_{\text{cp}}^2 + \varepsilon_3 \cdot g_{\text{cp}}^3 + \varepsilon_4 \cdot g_{\text{cp}}^4 + \varepsilon_5 \cdot g_{\text{cp}}^5 + \varepsilon_6 \cdot g_{\text{cp}}^6 + \varepsilon_7 \cdot g_{\text{cp}}^7 =$$

$$= 0,0284 \cdot 2 + 0,1489 \cdot 5 + 0,3131 \cdot 9 + 0,5415 \cdot 12 + 0,7303 \cdot 20 + 0,8431 \cdot 25 +$$

$$+ 0,9063 \cdot 25 = 68,46 \%$$

16. Концентрацію пилу в газопиловому потоці після очищення в порожнистому форсунковому скрубєрі при розрахованій величині загальної ефективності очистки визначаємо за формулою (5.17):

$$C_{\kappa} = C_n \cdot \left( \frac{100 - \varepsilon_{\text{загальна}}}{100} \right) = 5,7 \cdot \left( \frac{100 - 68,46}{100} \right) = 1,8 \text{ г/м}^3.$$

Отримане значення концентрації пилу в газопиловому потоці, після очищення в порожнистому форсунковому скрубєрі ( $C_{\kappa}=1,8 \text{ г/м}^3$ ), не відповідає заданій у вихідних даних величині граничнодопустимої концентрації (ГДК). Тому, в даному випадку, необхідно передбачувати або багатоступеневу схему очистки газопилових викидів із застосуванням кількох апаратів пилогазоочищення, або слід підбирати більш ефективний апарат.

## КОНТРОЛЬНЕ ЗАВДАННЯ

Виконати технологічний розрахунок параметрів порожнистого газопромивача (форсункового скрубєра) з протиточним рухом газів і рідини, призначеного для мокрого очищення газових викидів від пилу, відповідно до варіанта вихідних даних, наведеного в табл. 5.4.

Таблиця 5.4 – Варіанти вихідних даних для технологічного розрахунку параметрів порожнистого газопромивача (форсункового скрубєра) з протиточним рухом газів і рідини, призначеного для мокрого очищення газових викидів від пилу

| Показник                         | Варіант |       |       |       |       |       |       |
|----------------------------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                                  | 1       | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     |
| $C_n, \text{г/м}^3$              | 2,0     | 7     | 12,5  | 18,5  | 8,5   | 14,5  | 10,5  |
| $V_z, \text{м}^3/\text{годину}$  | 46800   | 32900 | 46400 | 50700 | 39100 | 48100 | 37600 |
| $t_z, ^\circ\text{C}$            | 140     | 250   | 320   | 280   | 350   | 330   | 290   |
| $\rho_{\text{ч}}, \text{кг/м}^3$ | 1570    | 2170  | 1870  | 2080  | 2270  | 1640  | 2160  |
| $d_i, \text{мкм}$                |         |       |       |       |       |       |       |
| $d_1$                            | 4,5     | 4,0   | 3,5   | 3,0   | 5,5   | 4,8   | 3,8   |
| $d_2$                            | 9,0     | 8,0   | 7,0   | 6,5   | 8,5   | 7,5   | 6,2   |
| $d_3$                            | 13,5    | 14,0  | 14,5  | 15,0  | 15,5  | 13,3  | 14,3  |
| $d_4$                            | 20,5    | 20,0  | 19,5  | 21,0  | 19,7  | 20,7  | 21,7  |
| $d_5$                            | 30,1    | 31,1  | 32,1  | 33,1  | 3     | 31,3  | 32,3  |
| $d_6$                            | 39,2    | 40,2  | 41,2  | 43,2  | 39,9  | 40,9  | 41,9  |
| $d_7$                            | 50,0    | 50,5  | 52,0  | 53,0  | 50,4  | 51,4  | 52,4  |

| $g_i, \%$ |      |      |      |      |      |      |      |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|
| $g_1$     | 98,2 | 98,4 | 98,6 | 98,8 | 98,0 | 99,2 | 99,4 |
| $g_2$     | 95,5 | 95,7 | 95,9 | 95,3 | 95,1 | 96,9 | 96,7 |
| $g_3$     | 87,3 | 87,1 | 87,5 | 87,7 | 87,9 | 88,1 | 88,3 |
| $g_4$     | 81,7 | 82,7 | 80,7 | 83,7 | 80,5 | 81,5 | 82,5 |
| $g_5$     | 57,3 | 58,3 | 59,3 | 56,3 | 55,3 | 54,3 | 53,3 |
| $g_6$     | 28,2 | 29,2 | 30,2 | 31,2 | 32,2 | 28,4 | 29,4 |
| $g_7$     | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |

Примітки: Величина граничнодопустимої концентрації (ГДК) пилу дорівнює  $0,15 \text{ мг/м}^3$ .

продовження табл. 5.4

| Показник                         | Варіант |       |       |       |       |       |       |
|----------------------------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                                  | 8       | 9     | 10    | 11    | 12    | 13    | 14    |
| $C_n, \text{г/м}^3$              | 6,5     | 16,5  | 9,5   | 5,5   | 15,5  | 7,5   | 17,5  |
| $V_z, \text{м}^3/\text{годину}$  | 25200   | 15000 | 35500 | 50300 | 56300 | 27600 | 36200 |
| $t_z, ^\circ\text{C}$            | 360     | 340   | 310   | 155   | 225   | 255   | 165   |
| $\rho_{\text{ч}}, \text{кг/м}^3$ | 1820    | 1970  | 2040  | 1670  | 1550  | 1600  | 2000  |
| $d_i, \text{мкм}$                |         |       |       |       |       |       |       |
| $d_1$                            | 5,8     | 4,4   | 3,4   | 5,4   | 4,7   | 3,7   | 5,7   |
| $d_2$                            | 8,2     | 7,2   | 6,8   | 8,8   | 7,8   | 6,4   | 8,4   |
| $d_3$                            | 15,3    | 13,6  | 14,6  | 15,6  | 13,4  | 14,4  | 15,4  |
| $d_4$                            | 20,2    | 21,2  | 22,2  | 20,6  | 21,6  | 22,6  | 20,4  |
| $d_5$                            | 33,3    | 30,5  | 31,5  | 32,5  | 33,5  | 30,7  | 31,7  |
| $d_6$                            | 42,9    | 43,9  | 39,5  | 40,5  | 41,5  | 42,5  | 43,5  |
| $d_7$                            | 53,4    | 50,2  | 51,2  | 52,2  | 53,2  | 50,8  | 51,8  |
| $g_i, \%$                        |         |       |       |       |       |       |       |
| $g_1$                            | 98,5    | 98,3  | 98,7  | 98,9  | 98,1  | 99,0  | 97,9  |
| $g_2$                            | 96,5    | 96,3  | 96,1  | 94,9  | 94,7  | 94,5  | 94,3  |
| $g_3$                            | 88,5    | 88,7  | 88,9  | 89,1  | 89,3  | 89,5  | 89,7  |
| $g_4$                            | 83,5    | 80,3  | 81,3  | 82,3  | 80,9  | 81,9  | 82,9  |
| $g_5$                            | 57,5    | 56,5  | 55,5  | 54,5  | 53,5  | 57,7  | 56,7  |
| $g_6$                            | 30,4    | 31,4  | 32,4  | 28,6  | 29,6  | 30,6  | 31,6  |
| $g_7$                            | 0       | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |

Примітки: Величина граничнодопустимої концентрації (ГДК) пилу дорівнює  $0,15 \text{ мг/м}^3$ .

| Показник                              | Варіант |       |       |       |       |       |
|---------------------------------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                                       | 15      | 16    | 17    | 18    | 19    | 20    |
| $C_n$ , г/м <sup>3</sup>              | 13,8    | 8,3   | 11,8  | 10,2  | 7,7   | 12,1  |
| $V_z$ , м <sup>3</sup> /годину        | 16800   | 18300 | 20700 | 22900 | 24200 | 26400 |
| $t_z$ , °C                            | 150     | 170   | 190   | 210   | 230   | 250   |
| $\rho_{\text{ч}}$ , кг/м <sup>3</sup> | 1520    | 1680  | 1740  | 1810  | 1960  | 2040  |
| $d_i$ , мкм                           |         |       |       |       |       |       |
| $d_1$                                 | 4,2     | 3,2   | 5,2   | 4,6   | 3,6   | 5,6   |
| $d_2$                                 | 7,4     | 6,6   | 8,6   | 7,6   | 6,3   | 8,3   |
| $d_3$                                 | 13,8    | 14,8  | 15,8  | 13,2  | 14,2  | 15,2  |
| $d_4$                                 | 21,4    | 22,4  | 20,8  | 21,8  | 22,8  | 20,3  |
| $d_5$                                 | 32,7    | 33,7  | 29,6  | 30,6  | 31,6  | 32,6  |
| $d_6$                                 | 39,7    | 40,7  | 41,7  | 42,7  | 43,7  | 41,0  |
| $d_7$                                 | 52,8    | 53,8  | 50,6  | 51,6  | 52,6  | 53,6  |
| $g_i$ , %                             |         |       |       |       |       |       |
| $g_1$                                 | 97,7    | 97,5  | 97,8  | 97,6  | 97,4  | 97,2  |
| $g_2$                                 | 94,1    | 95,6  | 95,2  | 95,4  | 95,8  | 94,6  |
| $g_3$                                 | 89,9    | 87,0  | 88,0  | 89,0  | 87,4  | 88,4  |
| $g_4$                                 | 80,6    | 81,6  | 82,6  | 80,8  | 81,8  | 82,8  |
| $g_5$                                 | 55,7    | 54,7  | 53,7  | 57,9  | 56,9  | 55,9  |
| $g_6$                                 | 32,6    | 28,8  | 29,8  | 30,8  | 31,8  | 32,8  |
| $g_7$                                 | 0       | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |

Примітки: Величина граничнодопустимої концентрації (ГДК) пилу дорівнює 0,15 мг/м<sup>3</sup>.

## ПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

### Контрольні питання

1. У чому полягає суть методу мокрого очищення газів від пилу?
2. Вказати переваги методу мокрого очищення газів від пилу.
3. Вказати недоліки методу мокрого очищення газів від пилу
4. Надати характеристику порожнистим газопромивачам (форсунковим скруберам).
5. Надати характеристику насадковим газопромивачам.
6. Надати характеристику тарілчастим газопромивачам.
7. Надати характеристику газопромивачам з рухомим шаром насадки.
8. Надати характеристику ударно-інерційним газопромивачам.
9. Надати характеристику газопромивачам відцентрової дії.
10. Надати характеристику механічним газопромивачам.
11. Надати характеристику швидкісним газопромивачам (скруберам Вентурі).

### Тестові завдання

1. До апаратів мокрого пиловловлювання відносять:

- електрофільтри;
- батарейні циклони;
- пінні апарати;
- рукавні фільтри.

2. В якості зрошувальної рідини в апаратах мокрого очищення використовують:

- луги;
- воду;
- розчинники;
- кислоти.

3. До недоліків методу мокрого очищення газів можна віднести:

- охолодження газів;
- застосування для очищення високотемпературних газових потоків;
- організація оборотного циклу водопостачання;
- зволоження газів.

4. До переваг методу мокрого очищення газів можна віднести:

- очищення від пилу та газоподібних забруднюючих речовин;
- продукт, який вловлюється, виділяється у вигляді шламу;
- утворення відкладень в обладнанні;
- погіршення умов розсіювання пилу та шкідливих газів.

5. До високонапірних мокрих пиловловлювачів відносять:

- відцентрові скрубери;
- динамічні скрубери;
- форсункові скрубери;
- скрубери Вентурі.

6. До пиловловлювачів, які використовують енергію потоку рідини, відносять:

- ротоклони;
- порожнисті скрубери;
- відцентрові скрубери;
- вентиляційні мокрі пиловловлювачі.

7. Завдяки чому підвищується ефективність очищення в порожнистому протиточному скрубери?

- збільшення питомих витрат рідини;
- збільшення розміру крапель рідини;
- зменшення гідравлічного опору апарата;
- встановлення великої кількості форсунок.

8. Основним конструктивним елементом пінних пиловловлювачів є:

- тарілка;
- насадка;
- форсунки;
- ротор.

## ДОДАТКИ

### Додаток А

Таблиця А.1 – Розрахункові параметри пісковловлювачів

| Діаметр частинок піску, що затримується, $d_L$ , мм | Гідравлічна крупність піску, $u_0$ , мм/с | Значення коефіцієнта $K$ в залежності від типу пісковловлювача та відношення ширини $B$ до глибини $H$ аерованих пісковловлювачів |          |            |           |
|-----------------------------------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|------------|-----------|
|                                                     |                                           | горизонтальні                                                                                                                     | аеровані |            |           |
|                                                     |                                           |                                                                                                                                   | $B:H=1$  | $B:H=1,25$ | $B:H=1,5$ |
| 0,15                                                | 13,2                                      | -                                                                                                                                 | 2,62     | 2,5        | 2,39      |
| 0,2                                                 | 18,7                                      | 1,7                                                                                                                               | 2,43     | 2,25       | 2,08      |
| 0,25                                                | 24,2                                      | 1,3                                                                                                                               | -        | -          | -         |

Таблиця А.2 – Характеристика параметрів пісковловлювачів різних типів

| Тип пісковловлювача | Гідравлічна крупність піску, $u_0$ , мм/с | Швидкість руху стічних вод, $v$ , м/с, при притоці |           | Глибина $H$ , м | Вологість піску, % | Вміст піску в осаді, % |
|---------------------|-------------------------------------------|----------------------------------------------------|-----------|-----------------|--------------------|------------------------|
|                     |                                           | max                                                | min       |                 |                    |                        |
| Горизонтальний      | 18,7-24,2                                 | 0,15                                               | 0,3       | 0,5-2           | 60                 | 55-60                  |
| Аерований           | 13,2-18,7                                 | -                                                  | 0,08-0,12 | 0,7-3,5         | 40                 | 90-95                  |
| Тангенціальний      | 18,7-24,2                                 | -                                                  | -         | 0,5             | 60                 | 70-75                  |

Таблиця А.3 – Основні типові розміри горизонтальних пісковловлювачів з прямолінійним рухом потоку рідини

| Показники                                     | Пропускна здатність очисної станції, тис. м <sup>3</sup> /добу |      |      |      |      |
|-----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|------|------|------|------|
|                                               | 70                                                             | 100  | 140  | 200  | 280  |
| Витрати стічних вод, м <sup>3</sup> /с        | 0,97                                                           | 1,36 | 1,87 | 2,68 | 3,76 |
| Кількість відділень $N$                       | 2                                                              | 3    | 4    | 3    | 4    |
| Розміри відділення:                           |                                                                |      |      |      |      |
| - площа перетину, м <sup>2</sup>              | 1,62                                                           | 1,54 | 3,02 | 2,9  | 3,02 |
| - довжина $L$ , м, при значенні $u_0$ , мм/с: |                                                                |      |      |      |      |
| 18,7                                          | 15,8                                                           | 15,4 | 18,2 | 17,7 | 18,2 |
| 24,2                                          | 13                                                             | 12,4 | 16,3 | 15,6 | 16,3 |
| - ширина $B$ , м                              | 3                                                              | 3    | 3    | 4,5  | 4,5  |
| - розрахункова глибина $H_s$ , м              | 0,58                                                           | 0,55 | 0,67 | 0,65 | 0,67 |

Таблиця Б.1 – Основні розрахункові характеристики фільтрів з дрібнозернистим піщаним завантаженням

| Характеристика фільтруючого шару                    |                             |                          |                       | Швидкість фільтрування, м/годину      |                               |
|-----------------------------------------------------|-----------------------------|--------------------------|-----------------------|---------------------------------------|-------------------------------|
| Гранулометричний склад завантаження (діаметр зерен) |                             |                          | Висота шару $h_2$ , м | в нормальному (робочому) режимі $V_n$ | в форсованому режимі $V_\phi$ |
| мінімальний $d_{min}$ , мм                          | максимальний $d_{max}$ , мм | еквівалентний $d_e$ , мм |                       |                                       |                               |
| 1,2                                                 | 2,0                         | 1,5-1,7                  | 1,2-1,3               | 6-7                                   | 7-8                           |

Таблиця Б.2 – Характеристика режимів промивання фільтрів з дрібнозернистим піщаним завантаженням

| Етапи промивання | Інтенсивність подачі, $\frac{л}{с \cdot м^2}$ |         | Тривалість промивання, хвилини |
|------------------|-----------------------------------------------|---------|--------------------------------|
|                  | води                                          | повітря |                                |
| 1                | -                                             | 18-20   | 2                              |
| 2                | 3-5                                           | 18-20   | 10-12                          |
| 3                | 7                                             | -       | 6-8                            |

Примітки: Більшим значенням інтенсивності промивання відповідають менші значення тривалості.

Таблиця Б.3 – Характеристика підтримуючих шарів для фільтрів з дрібнозернистим піщаним завантаженням

| Порядковий номер підтримуючого шару (знизу вгору) | Гранулометрична характеристика завантаження $d_{зр}$ , мм |     | Висота підтримуючого шару $h_{п.ш.}$ , м |
|---------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-----|------------------------------------------|
|                                                   | min                                                       | max |                                          |
| 1                                                 | 20                                                        | 40  | 0,2-0,25                                 |
| 2                                                 | 10                                                        | 20  | 0,1-0,15                                 |
| 3                                                 | 5                                                         | 10  | 0,15-0,2                                 |
| 4                                                 | 2                                                         | 5   | 0,1-0,15                                 |

## Додаток В

Таблиця В.1 – Основні розрахункові дані характеристики процесу очищення стічних вод в аеротенках

| Тип стічних вод                       | $P_{max},$<br>мгБСК <sub>повн</sub> /(г·годину) | $K_L,$<br>мгБСК <sub>повн</sub> /л | $K_o,$<br>мгО <sub>2</sub> /л | $\varphi,$ л/г | $S$  |
|---------------------------------------|-------------------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|----------------|------|
| Міські                                | 85                                              | 33                                 | 0,625                         | 0,07           | 0,3  |
| Виробничі:                            |                                                 |                                    |                               |                |      |
| а) нафтопереробних заводів:           |                                                 |                                    |                               |                |      |
| І система                             | 33                                              | 3                                  | 1,81                          | 0,17           | -    |
| ІІ система                            | 59                                              | 24                                 | 1,66                          | 0,158          | -    |
| б) азотної промисловості              | 140                                             | 6                                  | 2,4                           | 1,11           | -    |
| в) заводів синтетичного каучуку       | 80                                              | 30                                 | 0,6                           | 0,06           | 0,15 |
| г) целюлозно-паперової промисловості  |                                                 |                                    |                               |                |      |
| сульфатно-целюлозне виробництво       | 650                                             | 100                                | 1,5                           | 2              | 0,16 |
| сульфітно-целюлозне виробництво       | 700                                             | 90                                 | 1,6                           | 2              | 0,17 |
| д) заводів штучного волокна (віскози) | 90                                              | 35                                 | 0,7                           | 0,27           | -    |
| е) фабрик первинної обробки вовни:    |                                                 |                                    |                               |                |      |
| І ступінь                             | 32                                              | 156                                | -                             | 0,23           | -    |
| ІІ ступінь                            | 6                                               | 33                                 | -                             | 0,2            | -    |
| є) дріжджових заводів                 | 232                                             | 90                                 | 1,66                          | 0,16           | 0,35 |
| ж) заводів органічного синтезу        | 83                                              | 200                                | 1,7                           | 0,27           | -    |
| з) мікробіологічної промисловості:    |                                                 |                                    |                               |                |      |
| виробництво лізину                    | 280                                             | 28                                 | 1,67                          | 0,17           | 0,15 |
| виробництво біовіту та вітаміну       | 1720                                            | 167                                | 1,5                           | 0,98           | 0,12 |
| к) свинівідгодівельних комплексів:    |                                                 |                                    |                               |                |      |
| І ступінь                             | 454                                             | 55                                 | 1,65                          | 0,176          | 0,25 |
| ІІ ступінь                            | 15                                              | 72                                 | 1,68                          | 0,171          | 0,3  |

Примітки. Для інших виробництв вказані параметри слід застосовувати за даними науково-дослідних організацій

Таблиця В.2 – Значення мулового індексу

| Тип стічних вод                        | Муловий індекс $I$ , см <sup>3</sup> /г, при навантаженні на мул $q_{mul}$ , мгБСК <sub>повн</sub> /(г·добу) |     |     |     |     |     |
|----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
|                                        | 100                                                                                                          | 200 | 300 | 400 | 500 | 600 |
| Міські (комунально-побутові)           | 130                                                                                                          | 100 | 70  | 80  | 95  | 130 |
| Виробничі:                             |                                                                                                              |     |     |     |     |     |
| а) нафтопереробних заводів             | -                                                                                                            | 120 | 70  | 80  | 120 | 160 |
| б) заводів синтетичного каучуку        | -                                                                                                            | 100 | 40  | 70  | 100 | 130 |
| в) комбінатів штучного волокна         | -                                                                                                            | 300 | 200 | 250 | 280 | 400 |
| г) целюлозно-паперових комбінатів      | -                                                                                                            | 220 | 150 | 170 | 200 | 220 |
| д) хімкомбінатів азотної промисловості | -                                                                                                            | 90  | 60  | 75  | 90  | 120 |

Таблиця В.3 – Основні параметри типових аеротенків-витиснювачів з регенерацією активного мулу

| Ширина коридору, м | Робоча глибина аеротенка, м | Число коридорів | Робочий об'єм однієї секції аеротенка, м <sup>3</sup> , при довжині, м |           |           |           |             |
|--------------------|-----------------------------|-----------------|------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-------------|
|                    |                             |                 | 36-42                                                                  | 48-54     | 60-66     | 72-78     | 84-90       |
| 4,5                | 3,2                         | 2               | 1040-1213                                                              | 1386-1559 | 1732      | -         | -           |
|                    |                             | 3               | 1560-1820                                                              | 2080-2340 | 2600      | -         | -           |
|                    |                             | 4               | 2070-2416                                                              | 2762-3108 | 3494-3800 | -         | -           |
|                    | 4,4                         | 3               | 2140-2496                                                              | 2852-3208 | 3564      | -         | -           |
|                    |                             | 4               | 2850-3325                                                              | 3800-4275 | 4750-5225 | -         | -           |
| 6                  | 4,4                         | 2               | -                                                                      | 2530-2847 | 3154-3471 | 378       | -           |
|                    |                             | 3               | -                                                                      | 3800-4275 | 4750-5225 | 5700      | -           |
|                    |                             | 4               | -                                                                      | 5700      | 5334-6968 | 7602-8230 | 6870        |
|                    | 5                           | 2               | -                                                                      | 2880-3240 | 3600-3960 | 4320      | -           |
|                    |                             | 3               | -                                                                      | 4320-4860 | 5400-5940 | 6480      | -           |
|                    |                             | 4               | -                                                                      | 6500      | 7220-7940 | 8666-9380 | 10100       |
| 9                  | 4,4                         | 2               | -                                                                      | -         | -         | 6180      | 6655-7130   |
|                    |                             | 3               | -                                                                      | -         | -         | 9270      | 9983-10696  |
|                    |                             | 4               | -                                                                      | -         | -         | -         | 13300-14250 |
|                    | 5                           | 2               | -                                                                      | -         | -         | 7020      | 7560-8100   |
|                    |                             | 3               | -                                                                      | -         | -         | 10530     | 11340-12150 |
|                    |                             | 4               | -                                                                      | -         | -         | -         | 15120-16200 |

## КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ

Навчальні досягнення здобувачів вищої освіти за результатами вивчення курсу оцінюватимуться за шкалою, що наведена нижче:

| Рейтингова шкала | Інституційна шкала        |
|------------------|---------------------------|
| 90-100           | відмінно / Excellent      |
| 75-89            | добре / Good              |
| 60-74            | задовільно / Satisfactory |
| 0-59             | незадовільно / Fail       |

Здобувачі вищої освіти можуть отримати **підсумкову оцінку** з навчальної дисципліни на підставі поточного оцінювання знань за умови, якщо набрана кількість балів складатиме не менше 60 балів.

Максимальне оцінювання:

| Теоретична частина | Практична частина         |                             | Разом      |
|--------------------|---------------------------|-----------------------------|------------|
|                    | при своєчасному складанні | при несвоєчасному складанні |            |
| 60                 | 40                        | 32                          | <b>100</b> |

Практичні роботи приймаються за контрольними запитаннями до кожної з роботи. Оцінювання практичних робіт здійснюється шляхом підсумовування балів за кожну складену практичну роботу.

### Критерії оцінювання практичної роботи

За кожну практичну роботу здобувач вищої освіти може отримати наступну кількість балів:

**8 балів:** отримано правильну відповідь (згідно з еталоном), використано формулу з поясненням змісту окремих її складових, зазначено одиниці виміру.

**7 балів:** отримано правильну відповідь з незначними неточностями згідно з еталоном, відсутня формула або пояснення змісту окремих її складових, зазначено одиниці виміру.

**6 балів:** отримано правильну відповідь з незначними неточностями згідно з еталоном, відсутня формула та пояснення змісту окремих її складових, зазначено одиниці виміру.

**5 балів:** отримано правильну відповідь з незначними неточностями згідно з еталоном, відсутня формула та пояснення змісту окремих її складових, не зазначено одиниці виміру.

**4 бали:** отримано неправильну відповідь, проте використано формулу з поясненням змісту окремих її складових, зазначено одиниці виміру.

**3 бали:** отримано неправильну відповідь, не використано формулу з поясненням змісту окремих її складових, зазначено одиниці виміру.

**2 бали:** отримано неправильну відповідь, не використано формулу з поясненням змісту окремих її складових, не зазначено одиниці виміру.

**1 бал:** наведено неправильну відповідь, до якої не надано жодних пояснень.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ТА РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Айрапетян Т.С. Конспект лекцій з дисципліни «Технологія очистки промислових стічних вод» для студентів 4 курсу денної та 5 курсу заочної форм навчання напряму підготовки 6.060103 – Гідротехніка (Водні ресурси), фахове спрямування «Раціональне використання і охорона водних ресурсів» / Т.С. Айрапетян; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О.М. Бекетова. – Харків: ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2017. – 73 с.
2. Навчально-методичний посібник «Технології захисту водного середовища» для спеціальностей 101 «Екологія», 183 «Технології захисту навколишнього середовища» всіх форм навчання / Полтава: НУ «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», Миколаїв: Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, 2022. – 306 с.
3. Методичні вказівки до виконання практичних та самостійних робіт з дисципліни «Технології очистки та утилізації промислових стоків та викидів» (Частина II) для здобувачів спеціальності 161 – Хімічні технології та інженерія, 162 – Біотехнології та біоінженерія; укладач: Белянська О.Р. – Кам'янське: ДДТУ, 2022. – 43 с.
4. Караїм О.А. Промислова екологія: методичні вказівки до практичних робіт. – Луцьк: Вежа-Друк, 2022. – 80 с.
5. Сарапіна М.В. Процеси та апарати пилогазоочищення: курс лекцій. Х.: НУЦУ, 2018. 125 с.
6. Гумницький Я.М., Петрушка І.М. Інженерна екологія. Загальний курс: Навчальний посібник. Ч. 2. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2016. 348 с.
7. Процеси та апарати природоохоронних технологій [Текст]: підручник в 2-х т. Т.1 / Л.Д. Пляцук, Р.А. Васькін, В.П. Шапорев [та ін.]. – Суми: СумДУ, 2017. – 435 с.
8. Процеси та апарати природоохоронних технологій [Текст]: підручник в 2-х т. Т.2 / Л.Д. Пляцук, Р.А. Васькін, В.П. Шапорев [та ін.]. – Суми: СумДУ, 2017. – 521 с.
9. Зацеркляний М.М. Процеси захисту навколишнього середовища: підруч. / М.М. Зацеркляний, Т.Б. Столевич, О.М. Зацеркляний. – К.: Фенікс, 2017. 454 с.
10. Природоохоронні технології. Навчальний посібник. Ч.2 : Методи очищення стічних вод / [Петрук В.Г., Северин Л.І., Васильківський І.В., Безвозюк І.І.] – Вінниця : ВНТУ, 2014. – 258 с.
11. ДБН В.2.5-74:2013 «Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування». – К.: Мінрегіон України, 2013. – 172 с.
12. ДБН В.2.5-75:2013 «Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування». – К.: Мінрегіон України, 2013. – 219 с.