

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**Український державний університет
науки і технологій**

Кафедра «Екології, теплотехніки та охорони праці»

ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ МЕТАЛУРГІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Навчально-методичні рекомендації
до виконання практичних робіт з
дисципліни «Екологічні аспекти
металургійних технологій» для
спеціальності 183 – Технології
захисту навколишнього середовища
(бакалаврський рівень)

Електронне видання

Упорядники:

С. Є. Суліменко, О. О. Єрємін, А. Г. Мешкова

Електронне видання

Схвалено Групою забезпечення якості освітньої програми
183 «Технології захисту навколишнього середовища»
Протокол № 3 ОП від 12.06.2024

Е 40 Екологічні аспекти металургійних технологій : навчально-методичні рекомендації до виконання практичних робіт з дисципліни «Екологічні аспекти металургійних технологій» для спеціальності 183 – Технології захисту навколишнього середовища (бакалаврський рівень) / упоряд. С. Є. Суліменко, О. О. Єрємін, А. Г. Мешкова ; Укр. держ. ун-т науки і технологій. – Електрон. вид. – Дніпро : УДУНТ, 2024. – 47 с.

Навчально-методичні рекомендації призначені для використання студентами спеціальності 183 Технології захисту навколишнього середовища, які навчаються за ОПП «Технології захисту навколишнього середовища», при виконанні практичних робіт з дисципліни «Екологічні аспекти металургійних технологій».

ЗМІСТ

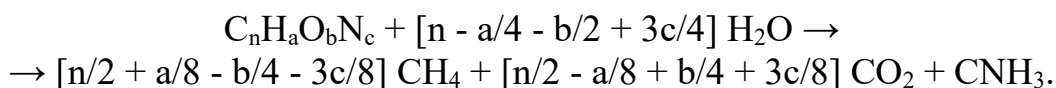
Практична робота № 1. Розрахунок метантенка	4
Практична робота № 2. Розрахунок електрофільтрів	12
Практична робота № 3. Розрахунок рукавного фільтра	24
Практична робота № 4. Розрахунок параметрів фільтра для нейтралізації кислих стічних вод.	29
Практична робота № 5. Глибоке очищення (доочищення) виробничих стічних вод	35
Додаток 1	39
Додаток 2.....	41
Додаток 3.....	43
РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА.....	46

Практична робота № 1. Розрахунок метантенка

Для знешкодження осадів стічних вод використовують анаеробне зброджування, яке здійснюють у метантенках [1]. Метантенк являє собою циліндричний залізобетонний або сталевий резервуар з конічним або плоским днищем і герметичним перекриттям, у верхній частині якого є ковпак для збору газу, звідки він відводиться для використання.

Метанове зброджування - це процес розкладання органічних речовин до кінцевих продуктів, здебільшого метану та вуглекислого газу в результаті життєдіяльності складного комплексу мікроорганізмів в анаеробних умовах. За оптимальних умов ці гази можуть утворюватися у кількості 90-95% органічної речовини, що біологічно розкладається. Решта 5-10% витрачається на відтворення бактеріальних клітин.

Хімічне рівняння повного перетворення органічної речовини осадів у кінцеві продукти було запропоновано Басвеллом:



Маккарті запропонував хімічну формулу органічної речовини осаду первинних відстійників при очищенні побутових стічних вод і показав, що його повна деструкція здійснюється таким чином:



Для активного мулу було запропоновано низку формул:

- Поргесом - $C_5H_7O_2N$;
- Берхедом і Ведлом - від C_4H_9ON до $C_8H_{15}O_5N$ у залежності від тривалості перебування в аеротенку;
- Карюхиною Т.А. - $C_7H_{13}O_3N$.

Суміш метану й оксиду карбону (IV) називають біогазом; його теплота згоряння складає 18-24 МДж/м³, а чистого метану - 37,3 МДж/м³.

Згідно із сучасними уявленнями, анаеробне метанове зброджування включає чотири взаємозв'язані стадії:

- ферментативного гідролізу нерозчинених складних органічних речовин з утворенням більш простих розчинених;
- кислотоутворення з виділенням летких жирних кислот (ЛЖК), амінокислот, спиртів, а також водню й вуглекислого газу - кислотогенна;
- ацетогенну - перетворення ЛЖК, амінокислот і спиртів на оцтову кислоту, яка дисоціює на аніон ацетату й катіон водню;
- метаногенну - утворення метану з оцтової кислоти, а також у результаті реакції відновлення воднем вуглекислого газу.

Метанові бактерії, які беруть участь у процесі, - *Methanococcus*, *Methanobacterium*, *Methanospirillum*, *Methanotrix*, *Methanosarcina*.

При зброджуванні осадів міських стічних вод із метаногенів, які використовують ацетат, переважно розвиваються дві останні групи бактерій. Залежно від рН, тривалості зброджування й температури переважає одна з них. Так, в мезофільному режимі (32-38°C) сарцини ростуть швидше, та їх чисельність подвоюється за 20-30 год., а бактерії *Methanotrix* ростуть повільніше - 200-300 год., проте використовують більш низькі концентрації ацетату, в результаті чого вони більш стійко ростуть в асоціації та витісняють метаносарцини.

Для перемішування осаду в метантенку можливо використання насосів, які забирають осад із нижньої частини споруди та подають у верхню, гідроелеватори або спеціальні мішалки.

Основним чинником, який визначає швидкість процесу бродіння органічної речовини в метантенку, є температура. У метантенках використовують два температурних режими:

- мезофільний з оптимальною температурою в межах 32-35°C;
- термофільний з оптимальною температурою 52-55°C.

Температура впливає насамперед на швидкість біологічної конверсії органічної речовини мікроорганізмами. Швидкість розпаду жирів, вуглеводів і білків у термофільних умовах у 1,6-1,7 рази вища, ніж у мезофільних. Вміст жирів, вуглеводів і білків в органічній речовині осадів міських стічних вод складає 65-80%, решта - в основному, це лігніно-гумусовий комплекс, який у газоутворенні не бере участь.

Перевагами термофільного режиму є підвищення виходу газу, зменшення об'ємів метантенків, зниження санітарно-гігієнічної небезпеки осаду, але більші енерговитрати ніж при використанні мезофільного режиму.

Для підігріву осаду передбачають установку парових інжекторів і підігрів здійснюють гострою парою. Найбільша кількість газу 60-65% утворюється за рахунок розпаду жирів, решта 40-35% - приблизно порівну припадає на вуглеводи й білки. Всі три компоненти органічної речовини осадів зброджуються не повністю: межі їх зброджування складають 70% - для жирів, 62,5% - для вуглеводів і 48% - для білків.

Кількість газу, що виділяється з 1 кг органічної речовини осаду при розпаді, - вихід газу, можна розрахувати за рівнянням Маккарті: вона становить 1,2 м³, у тому числі 0,7 м³ СН₄ і 0,5 м³ СО₂.

Вихід газу з органічної речовини осаду можна обчислити за показником ХСК: 1 г ХСК осаду, що розклався, згідно рівнянню за стандартних умов, утворює 0,35 дм³ СН₄. Проте, навіть при нескінченно довгому перебуванні осаду не відбувається повного розпаду всієї органічної речовини осаду та перетворення її на біогаз. Частина органічної речовини синтезується в біомасу мікроорганізмів, що беруть участь у процесі, частина переходить у розчинений стан, створюючи лужність середовища, а частина зовсім не зброджується (лігнін).

Практично вихід газу при зброджуванні 1 кг сирих завантажених осадів

міських стічних вод складає 0,49-0,52 м³, для надлишкового активного мулу - 0,42-0,43 м³. Вихід біогазу на 1 кг беззольної речовини, що розклалася, становить 0,95 і 1,07 м³ для осадів первинних відстійників, що в середньому на 10 % не узгоджується із значенням, одержаним за рівнянням Маккарті (1,2 м³/кг). Очевидно, це можна пояснити тим, що рівняння не враховує приріст біомаси та незброджену частину органічної речовини, яка залишилась.

Практична межа збродження осаду змінюється від 40 до 70 % за зниженням беззольної речовини, від 40 до 60 % за ХСК і від 60 до 90 % за БСК сирих і зброджених осадів.

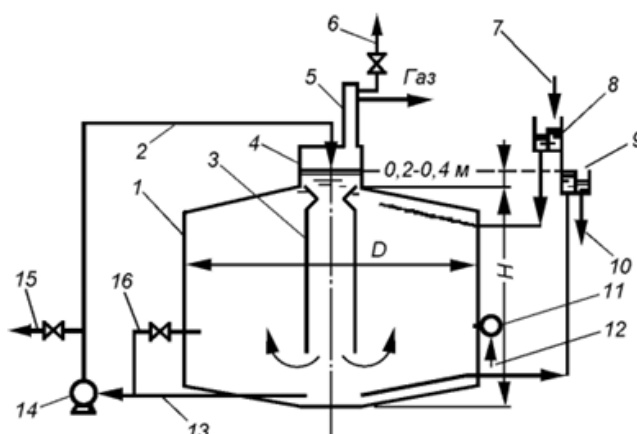
За конструкцією метантенки поділяють на:

- метантенки з нерухомим незатопленим перекриттям;
- метантенки з рухомим (плаваючим) перекриттям.

Схема метантенка наведена на рисунку 1.1 [1], а метантенк з нерухомим незатопленим перекриттям наведено на рисунку 1.2.

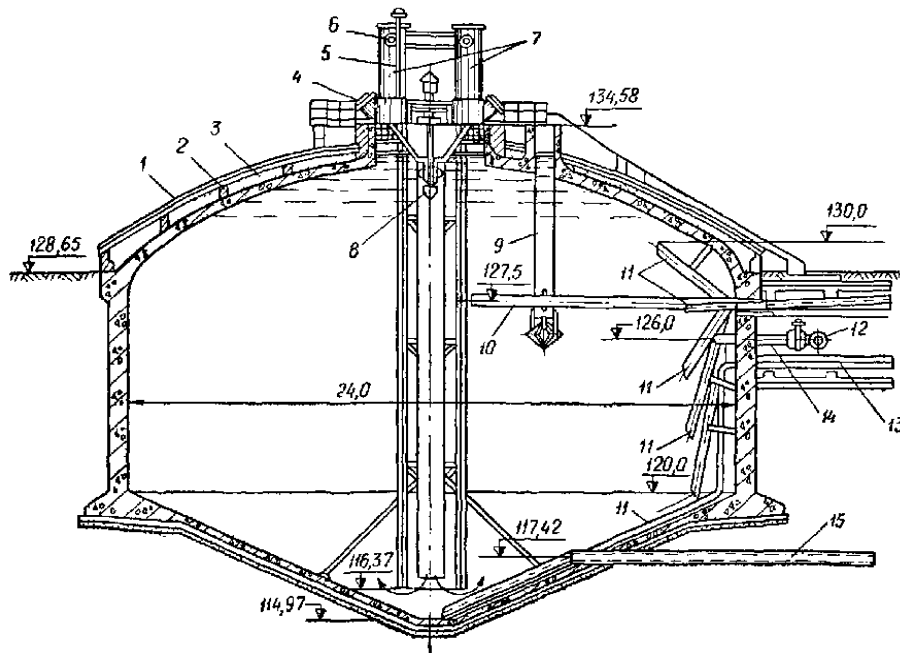
У верхній частині перекриття метантенка розташовано горловину. Поверхня маси, яка бродить, завжди знаходиться вище основи горловини, внаслідок чого площа вільного дзеркала в метантенку значно зменшується. При цьому збільшується інтенсивність газовиділення на одиницю площі, що сприяє розбиванню кірки, яка може утворюватися на поверхні осаду.

У метантенку потрібно забезпечити газо- та теплоізоляцію перекриття. Для зменшення втрат тепла метантенки старих конструкцій обволочувалися землею. У нових конструкціях метантенків теплоізоляція виконується з мінераловатних плит покритих тонколистовою оцинкованою сталлю. За кордоном для теплоізоляції часто влаштовують спеціальну стінку з пустотілої цегли чи блоків, яка знаходиться на відстані 20 см від стіни метантенка.



- 1 - резервуар метантенка; 2 - напірний трубопровід для подачі осаду на перемішування;
 3 - центральна труба; 4 - горловина метантенка; 5 - газовий ковпак; 6 - газова свічка для випуску газу в атмосферу; 7 - зброджуваний осад; 8 - завантажувальна камера;
 9 - вивантажувальна камера; 10 - зброджений осад; 11 - інжектор для підігрівання осаду в метантенку; 12 - пара; 13 - всмоктувальний трубопровід спорожнення метантенка; 14 - насос для перемішування вмісту метантенка та його спорожнення; 15 - напірний трубопровід спорожнення метантенка; 16 - всмоктувальний трубопровід осаду, який подається на перемішування

Рисунок 1.1 - Розрахункова схема метантенка



- 1 - м'яка покрівля; 2 - цегла; 3 - шлак; 4 - оглядовий люк; 5 - труба для випуску газу в атмосферу; 6 - газопровід, $d = 200$ мм, від газового ковпака; 7 - газові ковпаки; 8 - пропелерна мішалка; 9 - переливна труба; 10 - трубопровід, $d = 250$ мм, для завантаження сирого осаду та активного мулу; 11 - трубопроводи, $d = 220$ мм, для видалення мулової води та вивантаження збродженого осаду з різних горизонтів; 12 - інжектор, $d = 300$ мм, для підігріву метантенків; 13 - трубопровід, $d = 250$ мм, для вивантаження збродженого осаду з конусної частини метантенка; 14 - термометр опору; 15 - трубопровід, $d = 250$ мм, для спорожнення метантенка (в футлярі)

Рисунок 1.2 - Метантенк

Перемішування осаду у нових конструкціях метантенків здійснюють насосами 14 (рис. 1.1), які забирають осад із низу конусного дна і подають у верхню частину (горловину) споруди. Ці ж насоси використовуються для подачі збродженого осаду на мулові майданчики чи у цех зневоднення осаду. Перемішування осаду в метантенках здійснюють на протязі 2-5 годин на добу. В метантенках відбувається також і природне перемішування осаду, зумовлене виділенням та підйомом бульбашок газів. Поєднання цього явища з частим або тривалим завантаженням метантенка, замість завантаження його великими порціями, дозволяє зменшити витрати на перемішування осаду.

В останні роки знаходить застосування спосіб перемішування вмісту метантенків біогазом. Перемішування біогазом супроводжується також збільшенням концентрації в осаді розчиненої вуглекислоти - акцептора водню, яка знижує його парціальний тиск і завдяки цьому поліпшує умови життєдіяльності метанових бактерій та збільшує вихід біогазу.

Підігрівання осаду в метантенках здійснюють з метою підтримання у ньому температур, оптимальних для мезофільного чи термофільного режимів зброджування. Більша частина теплової енергії використовується на підігрівання осаду, менша - припадає на компенсацію втрат тепла через огорожуючі конструкції.

Пристрої для підігрівання осаду можна поділити на дві групи: пристрої для підігрівання осаду перед його надходженням у метантенки і пристрої, які

подають тепло безпосередньо в метантенки.

При пониженні рівня осаду в метантенку в момент випуску зброженого осаду тиск у газовому просторі може впасти настільки, що утворюється вакуум. Це викликає надходження в газовий простір повітря, яке в суміші з газом у певних співвідношеннях утворює вибухову суміш. Тому, необхідно регулювати тиск газу в межах 0,1-0,2 м вод. ст., що досягається влаштуванням на лінії газопроводу газгольдера.

Біогаз, що одержують в метантенках у результаті процесу збродження осаду, містить 65-70 % метану і 25-30 % оксиду вуглецю (IV) за об'ємом; у невеликих кількостях містяться й інші складові: 2-4 % CO, до 1 % азоту, водень, а також до 1,5 % різних вуглеводнів (крім метану) і невелика кількість сірководню.

Надлишковий тиск біогазу на виході з метантенків становить 2000-4000 Па (200-400 мм вод. ст.), температура біогазу залежить від режиму збродження. Густина біогазу залежить від його складу і зазвичай дорівнює 1,0-1,2 кг/м³. Оскільки метан є основним компонентом біогазу, тому його можна використовувати як паливо. Використання 1 м³ біогазу при ККД = 100 % еквівалентне економії 0,714 кг умовного палива. Корисна теплота згоряння біогазу, як правило, не нижче 20 МДж/м³.

Через нерівномірність виходу біогазу на газопроводі метантенків звичайно влаштовують акумулятор - мокрий газгольдер.

Приклад розрахунку метантенка.

Розрахувати метантенк продуктивністю $Q_{\text{сум. доб.}} = 50000$ м³/добу, витрати осаду та активного мулу. Концентрація завислих речовин у стічній воді перед первинними відстійниками $C_{\text{ЗР}}^{\text{сум}} = 325$ мг/дм³, ефект очищення від завислих речовин $E = 58$ %. Приріст активного мулу в аеротенках $\Pi = 208$ мг/дм³, винесення активного мулу з вторинних відстійників $b = 15$ мг/дм³. Вологість осаду з первинних відстійників $W_{\text{ос}} = 95$ %, вологість ущільненого активного мулу $W_{\text{м}} = 97$ %. Концентрація ПАР у стічних водах на вході на очищення $C_{\text{ПАР}} = 10$ мг/дм³. Точність розрахунку три знаки після коми.

Для розрахунку метантенка або аеробного стабілізатора потрібно визначити витрату сухої речовини осаду:

$$Q_{\text{сух}} = \frac{C_{\text{ЗР}}^{\text{сум}} \cdot E \cdot k \cdot Q_{\text{сум. доб.}}}{10^6} = \frac{325 \cdot 0,58 \cdot 1,1 \cdot 50000}{10^6} = 10,368 \text{ т/доб.} \quad (1.1)$$

де $C_{\text{ЗР}}^{\text{сум}}$ - концентрація завислих речовин в суміші побутових і виробничих стічних вод міста, мг/дм³;

E - ефект затримання завислих речовин у первинних відстійниках у частках 1;

k - коефіцієнт, що враховує крупні частинки, які не уловлюються при відборі проб (рекомендується приймати рівним 1,1-1,2);

$Q_{\text{сум. доб}}$ - розрахункова витрата стічних вод, м³/добу.

Визначається витрата надлишкового активного мулу:

$$M_{\text{сух}} = \frac{Q_{\text{сум.доб.}} \cdot (\Pi - b)}{10^6} = \frac{50000 \cdot (208 - 15)}{10^6} = 9.65 \text{ т/доб.} \quad (1.2)$$

де Π - приріст активного мулу, мг/дм³;

b - концентрація активного мулу в стічній воді на виході з вторинних відстійників, 15 мг/дм³ (згідно вихідних даних).

Витрату беззольної речовини осаду ($Q_{\text{без}}$) та надлишкового активного мулу ($M_{\text{без}}$) визначають за формулами:

$$Q_{\text{без}} = \frac{Q_{\text{сух}} \cdot (100 - B_{\text{ос}}) \cdot (100 - Z_{\text{ос}})}{10^4} = \frac{10,37 \cdot (100 - 5) \cdot (100 - 30)}{10^4} = 6.894 \text{ т/доб.} \quad (1.3)$$

$$M_{\text{без}} = \frac{M_{\text{сух}} \cdot (100 - B_{\text{м}}) \cdot (100 - Z_{\text{м}})}{10^4} = \frac{9,65 \cdot (100 - 5) \cdot (100 - 30)}{10^4} = 6.417 \text{ т/доб.} \quad (1.4)$$

де $B_{\text{ос}}$ та $B_{\text{м}}$ - гігроскопічна вологість осаду та активного мулу, яка приймається 5-6 %;

$Z_{\text{ос}}$ та $Z_{\text{м}}$ - зольності, відповідно, осаду та активного мулу, які для побутових стічних вод приймають рівними 30%.

Витрати осаду та активного мулу фактичної вологості за умови, що їх густина ρ дорівнює 1 т/м³, визначають за формулами:

$$V_{\text{ос}} = \frac{100 \cdot M_{\text{сух}}}{(100 - W_{\text{ос}}) \cdot \rho} = \frac{100 \cdot 9.65}{(100 - 95) \cdot 1} = 193.000 \text{ м}^3/\text{доб.} \quad (1.5)$$

$$V_{\text{м}} = \frac{100 \cdot M_{\text{сух}}}{(100 - W_{\text{м}}) \cdot \rho} = \frac{100 \cdot 9.65}{(100 - 97) \cdot 1} = 321.667 \text{ м}^3/\text{доб.} \quad (1.6)$$

де $W_{\text{ос}}$ - вологість осаду, % (за вихідними даними);

$W_{\text{м}}$ - вологість ущільненого мулу, % (за вихідними даними).

Вміст сухої речовини в осаді:

$$S_{\text{сух}} = Q_{\text{сух}} + M_{\text{сух}} = 10.368 + 9.65 = 20.018 \text{ т/доб.} \quad (1.7)$$

Вміст беззольної речовини в осаді:

$$S_{\text{без}} = Q_{\text{без}} + M_{\text{без}} = 6,9 + 6,42 = 13.312 \text{ т/доб.} \quad (1.8)$$

Загальна витрата осаду та активного мулу буде складати:

$$V_{\text{заг}} = V_{\text{ос}} + V_{\text{м}} = 193 + 321.7 = 514.667 \text{ м}^3/\text{доб.} \quad (1.9)$$

Середня вологість суміші осаду та активного мулу буде дорівнювати:

$$W_{\text{сер}} = 100 \cdot \left(1 - \frac{S_{\text{сух}}}{V_{\text{заг}}}\right) = 100 \cdot \left(1 - \frac{20,02}{529,1}\right) = 96.111\%. \quad (1.10)$$

Середня зольність суміші осаду та активного мулу буде дорівнювати:

$$Z_{\text{сер}} = \left[1 - \frac{S_{\text{без}}}{O_{\text{сух}} \cdot \left(\frac{100 - B_{\text{ос}}}{100} \right) + M_{\text{сух}} \cdot \left(\frac{100 - B_{\text{м}}}{100} \right)} \right] \cdot 100 = \left[1 - \frac{13.32}{10.37 \cdot \left(\frac{100 - 5}{100} \right) + 9.65 \cdot \left(\frac{100 - 5}{100} \right)} \right] \cdot 100 = 30\%. \quad (3.11)$$

Робочий об'єм метантенка визначається за формулою:

$$V_{\text{мет}} = \frac{100 \cdot V_{\text{заг}}}{D} = \frac{100 \cdot 514.667}{9.11} = 5649 \text{ м}^3, \quad (1.12)$$

де D - добова доза завантаження осаду в метантенк, %, яка приймається в залежності від режиму зброджування та середньої вологості завантажуваного осаду. При $W_{\text{сер}} = 96,11\%$, $D = 9,11\%$ (додаток 1, таблиця Д.1.1 шляхом інтерполяції) для режиму зброджування - мезофільний.

При наявності в стічних водах поверхнево-активних речовин прийняту дозу завантаження необхідно перевірити за формулою:

$$D^{\text{ПАР}} = \frac{10 \cdot D_{\text{гр}}^{\text{ПАР}}}{C_{\text{ПАР}} \cdot (100 - W_{\text{сер}})}, \quad (1.13)$$

де $D^{\text{ПАР}}$ - гранично-допустиме завантаження робочого об'єму метантенків ПАР, яке для побутових стічних вод приймається рівним $65 \text{ г}/(\text{м}^3\text{-добу})$;

$C_{\text{ПАР}}$ - концентрація поверхнево-активних речовин в осаді, мг/г.

Концентрація поверхнево-активних речовин в суміші осаду та активного мулу визначається за виразом:

$$C_{\text{ПАР}} = \frac{a_o \cdot O_{\text{сух}} + a_m \cdot M_{\text{сух}}}{S_{\text{сух}}} = \frac{9 \cdot 10,37 + 5 \cdot 9,65}{10,37 + 9,65} = 7,072 \text{ мг/г}, \quad (1.14)$$

де a_o та a_m - концентрація ПАР в осаді та в активному мулі, мг/г, яка приймається в залежності від концентрації ПАР у стічній воді (додаток 1, таблиця Д.1.2). При концентрації ПАР у стічних водах $C_{\text{ПАР}} = 10 \text{ мг/дм}^3$ $a_o = 9 \text{ мг/г}$, $a_m = 5 \text{ мг/г}$.

Тоді за формулою (1.2):

$$D^{\text{ПАР}} = \frac{10 \cdot 65}{7.072 \cdot (100 - 96.111)} = 23.632 \text{ \%}.$$

Оскільки $D < D^{\text{ПАР}}$, то об'єм метантенків визначаємо за величиною D .

Якщо при перевірочному розрахунку виявиться, що $D > D^{\text{ПАР}}$, то об'єм метантенків визначають за величиною $D^{\text{ПАР}}$. Кількість метантенків приймається не менше двох, обидва робочі. Розміри типових метантенків наведено в додатку 1, таблиця Д.1.3.

Приймаються 4 метантенки за ТП 902-2-228 об'ємом $V_{Мет} = 1600 м^3$, діаметром 15 м, висотою верхнього конуса 2,35 м, циліндричної частини 7,5 м, нижнього конуса 2,6 м. Загальний об'єм метантенків $V_{Мет} = 4 \cdot 1600 = 6400 м^3$.

Максимально можливий розпад беззольної речовини суміші осаду та активного мулу визначається за формулою:

$$R_{гр} = \frac{R_o \cdot Q_{без} + R_M \cdot M_{без}}{S_{без}} = \frac{53 \cdot 6.894 + 44 \cdot 6.417}{13.312} = 48,661\%, \quad (1.15)$$

де R_o та R_M - максимально можливий розпад беззольної речовини осаду та активного мулу, який складає, відповідно, 53 та 44 %.

Фактичний розпад беззольної речовини буде складати:

$$R = R_{гр} - D^{\phi} \cdot K_p = 48.661 - 8.042 \cdot 0.552 = 44,22\%, \quad (1.16)$$

де K_p - коефіцієнт, який залежить від вологості $W_{сер} = 96,111\%$ та режиму зброджування - мезофільний (додаток 1 таблиця Д.1.4). $K_p = 0,53$;

D^{ϕ} - фактична доза завантаження метантенка, %.

$$D^{\phi} = \frac{100 \cdot V_{заг}}{V_{мет}} = \frac{100 \cdot 529,1}{6400} = 8,042\%. \quad (1.17)$$

Кількість беззольної та сухої речовини в збродженій суміші буде складати:

$$S_{без}^{зб} = \frac{S_{без} \cdot (100 - R)}{100} = \frac{(6,9 + 6,42) \cdot (100 - 44,3)}{100} = 7.425 \text{ т/доб}, \quad (1.18)$$

$$S_{сух}^{зб} = (S_{сух} - S_{без}) + S_{без}^{зб} = (20,018 - 13,312) + 7,425 = 14,131 \text{ т/доб}. \quad (1.19)$$

Зольність та вологість збродженної суміші визначаються за формулами:

$$Z_{заг}^{зб} = 100 \cdot \left[1 - \frac{100 \cdot S_{без}^{зб}}{S_{сух}^{зб} \cdot (100 - B_r)} \right] = 100 \cdot \left[1 - \frac{100 \cdot 7,425}{14,131 \cdot (100 - 5)} \right] = 44.689\%, \quad (1.20)$$

$$SW_{заг}^{зб} = 100 \cdot \left(1 - \frac{S_{сух}^{зб}}{V_{заг}} \right) = 100 \cdot \left(1 - \frac{14,131}{514,667} \right) = 97,254\%. \quad (1.21)$$

де B_r - гігроскопічна вологість збродженної суміші, яка приймається 5-6 %.

При метановому зброджуванні осаду утворюється біогаз із розрахунку 1 г газу на 1 г розкладеної беззольної речовини. Об'ємна вага газу (ρ_g) складає 1 кг/м³. Тоді витрата утвореного біогазу буде складати:

$$Q_g = \frac{1000 \cdot q_g \cdot S_{без}^{зб}}{\rho_g} = \frac{1000 \cdot 1 \cdot 7,42}{1} = 7425 \text{ м}^3/\text{доб}. \quad (1.22)$$

де q_g - питомий вихід газу, який становить 1 м³ на 1 кг беззольної речовини

осаду, що розклався в процесі зброджування.

Для регулювання тиску та зберігання газу у складі очисних споруд передбачаються газгольдери «мокрого типу», об'єм яких розраховується на 2-4 години перебування газу (τ_g). Розрахуємо на 4 години:

$$V_g = \frac{Q_g \cdot \tau_g}{24} = \frac{7420 \cdot 4}{24} = 1237.542 \text{ м}^3. \quad (1.23)$$

Розміри типових газгольдерів наведено в додатку 1, таблиця Д.1.5. Кількість газгольдерів приймається не менше двох.

Приймаємо 2 газгольдери «мокрого типу» об'ємом 600 м³, діаметром 11,48 м, висотою 15,4 м.

В таблиці 1.3 наведено вихідні дані для виконання практичного завдання.

Таблиця 1.3

Варіанти завдань								
Вар. №	Q _{сум. добу.} м ³ /добу.	C _{ЗР} ^{сум} , мг/дм ³	E, %	П, мг/дм ³	b, мг/дм ³	W _{ос} , %	W _м , %	C _{пар}
1	46000	320	58	210	15	93	98	5
2	47000	321	57,5	208	15,2	94	97,5	10
3	48000	322	57	206	15,4	95	97	15
4	49000	323	56,5	204	15,6	96	96,5	20
5	50000	324	56	202	15,8	97	96	25
6	51000	325	55,5	200	16	96	95,5	30
7	52000	326	55	202	16,2	95	98	5
8	53000	327	58	204	16,4	94	97,5	10
9	54000	328	57,5	206	16,6	93	97	15
10	55000	329	57	208	16,8	94	96,5	20
11	56000	330	56,5	210	17	95	96	25
12	57000	329	56	212	16,8	96	95,5	30
13	58000	328	55,5	214	16,6	97	98	5
14	59000	327	55	216	16,4	96	97,5	10
15	60000	326	58	218	16,2	95	97	15
16	59000	325	57,5	220	16	94	96,5	20
17	58000	324	57	222	15,8	93	96	25
18	57000	323	56,5	224	15,6	94	95,5	30
19	56000	322	56	226	15,4	95	98	5
20	55000	321	55,5	228	15,2	96	97,5	10

Практична робота № 2 РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРОФІЛЬТРІВ

Технологічний розрахунок електрофільтра полягає в розрахунку площі його активної зони за заданою кількістю газу, що очищається, і рекомендованої швидкості його в електрофільтрі, визначенні електричних параметрів роботи

електрофільтра і ефективності очищення газу в ньому [2].

Порядок розрахунку.

1) Вибирається тип електрофільтра;

2) Задається швидкість газу електрофільтрі;

3) Проводиться розрахунок площі активної зони електрофільтра (в залежності від заданої кількості газу, що очищується, і рекомендованої швидкості газу в електрофільтрі);

4) Визначаються електричні параметри роботи електрофільтра;

5) Визначення ефективності очищення газу в електрофільтрі.

Метод очищення в електрофільтрах газу від зважених у ньому часток пилу й рідини заснований на використанні явищ іонізації газових молекул в електричному полі високої напруги. Ці частки одержують заряд від іонів газу й осаджуються на електродах електрофільтра, а очищений газ виводиться з апарату.

Електрофільтр складається з корпусу, у якому розміщаються електроди, що осаджуються і коронуються. Залежно від характеристики газу й часток, що втримуються в ньому, корпус електрофільтра виготовляють зі сталі, алюмінію, цегли, залізобетону, свинцю, пластмаси й інших матеріалів.

За формою електродів, що осаджуються електрофільтри підрозділяють на трубчасті й пластинчасті.

Залежно від напрямку руху газу розрізняють горизонтальні й вертикальні електрофільтри.

По способу видалення часток, що осіли на електродах, електрофільтри можуть бути сухі й мокрі.

У сухих електрофільтрах осілі частки пилу віддаляються за допомогою механізмів струшування, під дією сил ваги вони зсипаються в бункер апарата, звідки виводяться через герметичні розвантажувальні пристрої.

У мокрих електрофільтрах осілі частки змиваються водою.

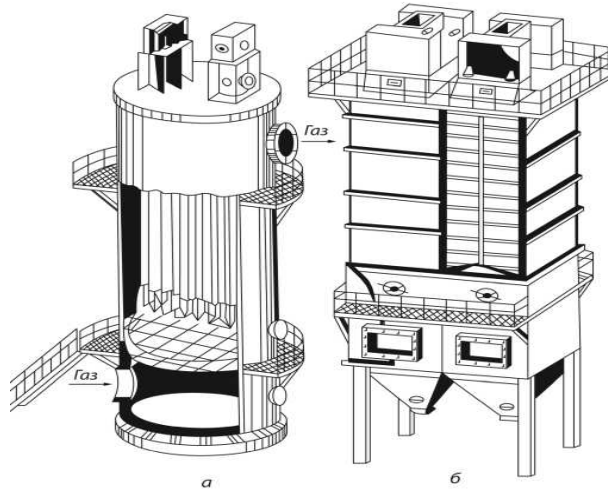
Залежно від числа полів електрофільтри можуть бути одне - і багатопільними.

Трубчасті електрофільтри. Вони являють собою однопільні апарати з вертикальним ходом газу. Електроди, що осаджують, виготовляють зі сталі, чавуну, міді, алюмінію й інших металів у формі труб круглого, квадратного або шестигранного перетину. Корпус трубчастих електрофільтрів роблять суцільним круглої або прямокутної форми (рисунок 2.1). Уніфіковані трубчасті електрофільтри типу УТ призначені для очищення від пилу й краплинних рідин коксового газу, газів вапняно- випалювальних печей й інших виробництв. Виготовляють двох типів: для неагресивних й агресивних середовищ.

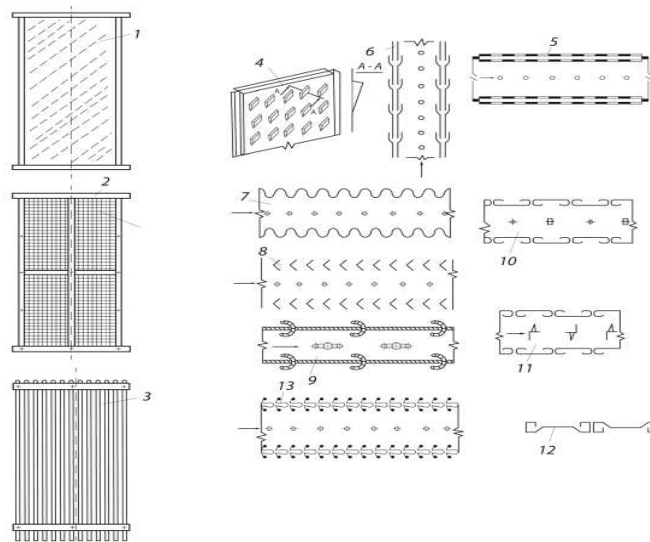
Пластинчасті електрофільтри. Пластинчасті електрофільтри застосовують для очищення газу від рідких і твердих часток. У пластинчастих електрофільтрах електроди, що осаджують виконують із пластин з гладкою або профільованою поверхнею, які розташовують на деякій відстані один від одного. Між пластинами поміщають електроди, що коронують, укріплені на рамах.

Електроди, що осаджують, мокрих пластинчастих електрофільтрів роблять із гладких пластин. У пластинчастих електрофільтрах, призначених, для сухого очищення газу від пилу, осаджувальні електроди роблять гладкими,

коробчастими й жолобчастими (рисунок 2.2).



а - із круглим корпусом типів ШМК і ШМВ; б - із прямокутним корпусом типу ДВП
Рисунок 2.1 -Електрофільтри трубчасті



1 - гладкі пластини; 2 - сітчасті; 3 - пруткові; 4 - кишенькові; 5 - профільовані; 6 - тюльпаноподібні; 7 - хвилясті; 8 - U-образні; 9 - E- образні; 10...12 -C- образні; 13 - W-образні

Рисунок 2.2 - Типи електродів, що осаджують

Гладкі електроди (1-3) виконують із листової сталі, смуг або прутків, укріплених на загальній рамі. До їхніх **переваг** відноситься простота конструкції, добрі електричні характеристики, а до **недоліків** - зрив і віднесення пилу при швидкості газу більше 1 м/с.

Коробчасті електроди (4-6) являють собою двох- або трьохстінні коробки, зовнішні стінки яких, звернені до коронуючих електродів, мають отвори різної форми, щілини або кишени. У цих електродах віднесення пилу менше. Це дозволяє робити очищення газу при швидкості потоку до 1,5 м/с. До недоліків таких електродів варто віднести складність їхнього виготовлення, велику металоємність, необхідність роботи електрофільтру при більш низькій напрузі

через виступаючі частини на поверхні електродів (кишенькового типу).

Жолобчасті електроди (7-13) практично виключають недоліки, властиві гладким і коробчастим електродам, і дають можливість робити очищення газу при швидкості до 2 м/с. Вони знаходять все більше застосування в нових типах електрофільтрів. Їх виготовляють зі сталі, алюмінію й інших металів.

Умови роботи електрофільтрів.

Конструктивно всі електрофільтри підрозділяють на одно- і двозонні. В однозонних електрофільтрах зарядка й осадження часток здійснюються в одній конструктивній зоні, де розташовані електроди, що коронують і осаджують. До цієї групи відносяться в основному всі трубчасті й пластинчасті електрофільтри, які застосовуються для очищення димових і технологічних газів.

У двозонних електрофільтрах зарядка й осадження часток відбувається в різних конструктивних зонах (рисунок 2.3).

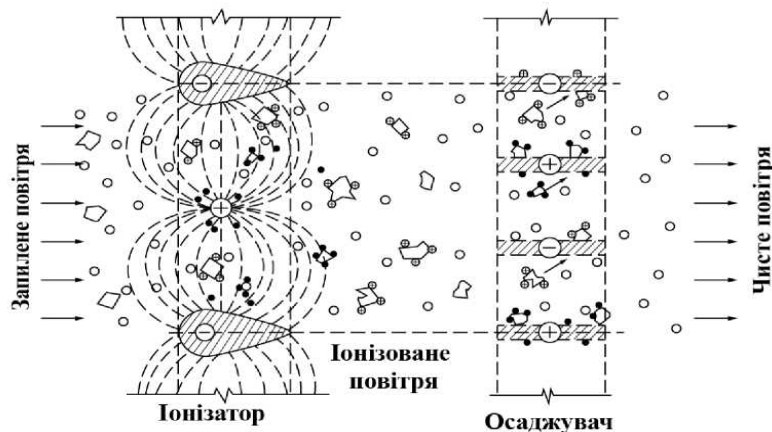


Рисунок 2.3 - Схема очищення у двозонному електрофільтрі

У першій зоні розміщується іонізатор - дроти, які перебувають під високою напругою, з негативним знаком потенціалу й трубки, що чергуються між ними, з позитивним знаком потенціалу.

Між проводами й трубками іонізатора відбувається інтенсивний коронний розряд, у якому пил, що втримується в газі, устигає тільки зарядитися, але не осісти. Заряджений пил осаджується в другій зоні - осаджувачі, що являє собою систему паралельних пластин, що чергуються, з позитивним і негативним знаками потенціалу. Такі двозонні електрофільтри застосовують для очищення повітря від мілкодисперсного пилу, бактерій й інших мікроорганізмів у системах приточної вентиляції.

Електрофільтри є одними з найбільш досконалих й ефективних апаратів для очищення технологічних газів від пилу й крапельок рідини, а також приточного вентиляційного повітря.

До позитивних експлуатаційних характеристик електрофільтрів варто віднести їх низький гідравлічний опір проходу газу й невелику витрату електроенергії.

До недоліків - висока вартість; неможливість очищення в них газу, що містить пил, який проводить струм, або частки, що погано проводять струм; необхідність у деяких випадках здійснювати кондиціонування газу і його грубе очищення

перед направленням до електрофільтру.

Ступінь очищення газу в електрофільтрах η у загальному виді виражається формулою:

$$\eta = 1 - e^{-\omega_n \cdot f_p}, \quad (2.1)$$

де e - основа натурального логарифма; ω_n - швидкість руху заряджених часток пилу до поверхні електродів, м/с; f_p - коефіцієнт, що характеризує геометричні розміри електрофільтра й швидкість газу в ньому і, який виражає питому поверхню осадження, м²/(м³с).

Залежність ступеня очищення η від показника ступеня $\omega_n f$ характеризується наступними даними (таблиця 21):

Таблиця 2.1

Залежність ступеня очищення η від показника ступеня $\omega_n f$

$\eta, \%$	60	80	90	95	97,5	98	99
$\omega_n f$	0,9	1,6	2,3	3,0	3,7	3,8	4,6

Для трубчастих електрофільтрів питому поверхню осадження виражають формулою:

$$f = \frac{2 \cdot L}{R \cdot v}, \quad (2.2)$$

де L – довжина труби (осаджувального електрода), м;

R – радіус труби, м;

v – швидкість газу в трубці, м/с.

Тоді ступінь очищення газу в трубчастому електрофільтрі η_{mp} може бути обчислена по формулі:

$$\eta_{mp} = 1 - e^{-v_n \cdot \left(2 \cdot \frac{L}{R} \cdot v\right)}. \quad (2.3)$$

Вказівки для проведення розрахунку.

Визначаємо площу активного перетину електрофільтра при швидкості газу v , та його кількості $Q = 1$ м³/с, в, м²:

$$F = \frac{Q}{3600 \cdot v}. \quad (2.4)$$

За каталогом вибираємо типорозмір електрофільтра з активною площею F_a , що є близькою до розрахункової площі F (див. додаток 2 табл. Д.2.1, Д.2.4).

За величиною активної площі F_a обраного електрофільтра уточнюємо швидкість газу в електрофільтрі, м/с:

$$v = Q / F_a \cdot 3600. \quad (2.5)$$

Обчислюємо відносну густину газів β (що дорівнює відношенню густини газів в робочих умовах до їх густини при стандартних умовах при $t = 20$ °С і $p = 101,3$ кПа):

$$\beta = \frac{p_{\text{бар}} + p}{101,3 \cdot 10^3} \cdot \frac{273 + 20}{273 + t}, \quad (2.6)$$

де $p_{\text{бар}}$ барометричний тиск, Па;

p - надлишковий тиск або розрідження в газоході перед електрофільтром, Па (приймається за вихідними даними, при розрідженні обирається знак «+», при надлишковому тиску: знак «-»);

t - температура газу, °С.

Розраховуємо критичну напруженість електричного поля при негативній короні, В/м:

$$E_0 = 3,04(\beta + 0,0311 \cdot \sqrt{\beta/R_1}) \cdot 10^6, \quad (2.7)$$

де β – відносна густина газів.

Радіус коронувального електрода R_1 визначається типом фільтра. Для прийнятого електрофільтра типу УГ радіус коронувального електрода складає $R_1 = 1 \times 10^{-3}$ м.

Розраховуємо критичну напругу корони (або різницю потенціалів між коронувальним й осаджувальним електродами), В:

$$U_0 = E_0 \cdot R_1 [\pi \cdot H/d - \ln(2\pi R_1/d)], \quad (2.8)$$

де H - відстань між коронуючим й осаджувальним електродами, м;

d - відстань між сусідніми коронувальними електродами в ряді, м (табл. Д.2.1).

У промислових електрофільтрах при звичайно вживаних значеннях $R_1 = 0,001 - 0,002$ м; значення критичної напруги перебуває в межах від 20 до 40 кВ.

Для електродфільтрів ЕГА $H = 0,275/2 = 0,1375$ м, а $d = 0,275$ м.

Для електрофільтрів УГ відстань між осаджувальним і коронувальним електродами, виходячи з табл. Д.2.1, складає:

$$H = 0,275 / 2 = 0,1375 \text{ м (для всіх типів).}$$

Визначаємо лінійну густину струму корони для пластинчастого електрофільтра, А/м:

$$i_0 = \frac{4\pi^2 kv}{d^2 \cdot 9 \cdot 10^9 [\pi H/d - \ln(2\pi R_1/d)]} U(U - U_0), \quad (2.9)$$

де U - напруга, що прикладена до електродів, за паспортними даними фільтру УГ складає $U = 80$ кВ,

k - рухливість іонів, для середніх умов коронного розряду рухливість може бути прийнята $k = 2,1 \times 10^{-4}$ м²/Ве,

ν - коефіцієнт, який залежить від взаємного розташування електродів (від значення H/d) та визначається за табл. Д.2.3.

Розраховуємо напруженість поля на пластинчастому електроді, В/м:

$$E_x = \sqrt{8i_0 H / 4\pi \epsilon_0 k d}, \quad (2.10)$$

де ϵ_0 - діелектрична проникність вакууму, $\epsilon_0 = 8,842 \cdot 10^{-12}$ Ф/м.

Знаходимо динамічну в'язкість окремих компонентів газової суміші (Па·с) за формулою:

$$\mu_t = \mu_0 \cdot \left[\frac{273+C}{T+C} \cdot \sqrt{\left(\frac{T}{273}\right)^3} \right], \quad (2.11)$$

де T - Абсолютна температура газу, К;

C - постійна Сезерленда для повітря $C = 124$, азоту $C = 114$, водяної пари $C = 961$, двоокису вуглецю $C = 254$, окису вуглецю $C = 100$, аміаку $C = 626$, двоокису сірки $C = 396$, кисню $C = 131$;

μ_0 - динамічну в'язкість окремих компонентів газової суміші при температурі $T_0 = 273,15$ К (див. таблицю Д.2.5).

Знаходимо молекулярна маса газової суміші за формулою:

$$M_{\text{сум}} = \frac{M_1 \cdot a_1}{100} + \frac{M_2 \cdot a_2}{100} + \dots + \frac{M_n \cdot a_n}{100} = \sum_{i=1}^n \frac{a_n \cdot M_n}{100}, \quad \text{г/моль.} \quad (2.12)$$

Знаходимо відношення величин молекулярної маси суміші $M_{\text{сум}}$ та динамічної в'язкості газової суміші $\mu_{\text{сум}}$:

$$D = \sum_{i=1}^n \frac{a_n \cdot M_n}{100 \cdot \mu_n}. \quad (2.13)$$

Тоді:

$$\mu_{\text{сум}} = \frac{M_{\text{сум}}}{D}. \quad (2.14)$$

Визначаємо теоретичну швидкість руху заряджених частинок різного радіусу r_i до осаджувальних електродів електрофільтра, м/с:

$$\omega_i = \frac{0,018 \cdot 10^{-10} \cdot E_x^2}{\mu_{\text{сум}}} r_i \quad (2.15)$$

Результати зводимо до таблиці 2.2.

Таблиця 2.2

Результати розрахунку ω_i

r_i , мкм	2,5	5	10	15	20	25
ω_i , м/с						

Розраховуємо питому поверхню осадження, $\text{м}^2/(\text{м}^3\text{с})$:

$$f_p = \frac{L}{v \cdot H}, \quad (2.16)$$

де L - активна довжина поля, м (приймається за технічними характеристиками електрофільтра, табл. А.1, А.4 з урахування кількості полів),

v - кількість газу, $\text{м}^3/\text{год}$ (згідно вихідних даних).

Для кожного діаметру частинок пилу визначаємо фракційну ступінь очищення:

$$\eta_i = 1 - e^{-(f_p \cdot \frac{\omega_i}{2})}. \quad (2.17)$$

Результати зводимо до таблиці 2.3.

Таблиця 2.3

Результати розрахунку η_i

r_i , мкм	2,5	5	10	15	20	25
η_i , м/с						

Знаходимо загальну ступінь очищення газу в електрофільтрі, %:

$$\eta = \sum \frac{\Phi_i \cdot \eta_i}{100}, \quad (1.18)$$

де Φ_i - масова частка частинок різних фракцій, %.**Приклад розрахунку**

Вихідні дані наведено в таблиці 2.4 - 2.6.

Таблиця 2.4

Вихідні данні

№	Вміст пилу, $\text{г}/\text{м}^3$	Швидкість газу, $\text{м}/\text{с}$	Кількість газу, Q , $\text{м}^3/\text{год}$	Температура газу, $^{\circ}\text{C}$	Вміст пилу, q , $\text{г}/\text{м}^3$	Розрядження в системі, p , Па
1	30	1,0	20 000	100	10	1500

Таблиця 2.5

Склад газу

№ варіанту	Компоненти газу, %			
	CO_2	O_2	H_2O	N_2
1	10	9,5	8,5	72

Таблиця 2.6

Фракційний склад пилу

r_i , мкм	2,5	7,5	15	20	30	40
% (по масі)	5	10	15	25	20	25

Визначаємо площу активної перетину електрофільтра, м²:

$$F = \frac{Q}{3600v} = \frac{20000}{3600 \cdot 1} = 5,55 \text{ м}^2.$$

За каталогом вибираємо типорозмір електрофільтра УГ1-2-10 з активною площею $F_a = 10 \text{ м}^2$, що є близькою до розрахункової площі F , $d = 0,275 \text{ м}$, $H = 0,1375 \text{ м}$.

За величиною активної площі F_a обраного електрофільтра уточнюємо швидкість газу в електрофільтрі, м/с:

$$v = \frac{Q}{3600 \cdot F_a} = \frac{20000}{3600 \cdot 10} = 0,556 \text{ м/с},$$

Обчислюємо відносну густину газів β (що дорівнює відношенню густини газів в робочих умовах до їх густини при стандартних умовах при $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ і $p_{\text{бар}} = 101,3 \text{ кПа}$):

$$\beta = \frac{p_{\text{бар}} - p}{1.013 \cdot 10^6} \cdot \frac{273 + 20}{273 + t} = \frac{1.013 \cdot 10^6 - 1500}{1.013 \cdot 10^6} \cdot \frac{273 + 20}{273 + 100} = 0.774.$$

Розраховуємо критичну напруженість електричного поля при негативній короні, В/м:

$$\begin{aligned} E_0 &= 3,04 \cdot (\beta + 0,0311 \cdot \sqrt{\beta/R_1}) \cdot 10^6 \\ &= 3,04 \cdot (0,774 + 0,0311 \cdot \sqrt{0,774/0,001}) \cdot 10^6 = 4,983 \cdot 10^6 \frac{\text{В}}{\text{м}}. \end{aligned}$$

Розраховуємо критичну напругу корони (або різницю потенціалів між коронувальним й осаджувальним електродами), В:

$$U_0 = E_0 \cdot R_1 \cdot [\pi \cdot H/d - \ln(2\pi R_1/d)] = 4,983 \cdot 10^6 \cdot 0,001 \cdot [3,14 \cdot 0,1375/0,275 - \ln(2 \cdot 3,14 \cdot 0,001/0,275)] = 26,66 \text{ кВ}.$$

Визначаємо лінійну густину струму корони для пластинчастого електрофільтра, А/м:

$$i_0 = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot k \cdot v}{d^2 \cdot 9 \cdot 10^9 \cdot [\pi \cdot H/d - 2,3 \cdot \lg(2 \cdot \pi \cdot R_1/d)]} \cdot U \cdot (U - U_0)$$

$$i_0 = \frac{4 \cdot 3.14^2 \cdot 2.1 \cdot 10^4 \cdot 0.08}{0.275^2 \cdot 9 \cdot 10^9 [3.14 \cdot 0,1375/0.275 - 2.3 \cdot \lg(2 \cdot 3.14 \cdot 0.001/0.275)] \cdot 80000 \cdot (80000 - 26660)} = 0.78 \text{ мА/м.}$$

Розраховуємо напруженість поля на пластинчастому електроді, В/м:

$$E_x = \sqrt{\frac{8 \cdot i_0 \cdot H}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \cdot k \cdot d}} = \sqrt{\frac{8 \cdot 0.78 \cdot 10^{-3} \cdot 0,1375}{4 \cdot 3,14 \cdot 8.842 \cdot 10^{-12} \cdot 0,275}} = 3.65 \cdot 10^5 \text{ В/м.}$$

Знаходимо динамічну в'язкість окремих компонентів газової суміші, Па·с:

$$\mu_{CO_2} = 0.137 \cdot 10^{-4} \cdot \left[\frac{273 + 254}{100 + 273 + 254} \cdot \sqrt{\left(\frac{100 + 273}{273}\right)^3} \right] = 1.839 \cdot 10^{-5},$$

$$\mu_{O_2} = 0.186 \cdot 10^{-4} \cdot \left[\frac{273 + 131}{100 + 273 + 131} \cdot \sqrt{\left(\frac{100 + 273}{273}\right)^3} \right] = 2.56 \cdot 10^{-5},$$

$$\mu_{H_2O} = 0.922 \cdot 10^{-4} \cdot \left[\frac{273 + 961}{100 + 273 + 961} \cdot \sqrt{\left(\frac{100 + 273}{273}\right)^3} \right] = 1.477 \cdot 10^{-5},$$

$$\mu_{N_2} = 0.166 \cdot 10^{-4} \cdot \left[\frac{273 + 114}{100 + 273 + 114} \cdot \sqrt{\left(\frac{100 + 273}{273}\right)^3} \right] = 2.157 \cdot 10^{-5}.$$

Знаходимо молекулярна маса газової суміші:

$$M_{\text{сум}} = \frac{M_1 \cdot a_1}{100} + \frac{M_2 \cdot a_2}{100} + \dots + \frac{M_n \cdot a_n}{100} = \sum_{i=1}^n \frac{a_n \cdot M_n}{100} = \frac{44 \cdot 10}{100} + \frac{32 \cdot 9.5}{100} + \frac{18 \cdot 8.5}{100} + \frac{28 \cdot 7.2}{100} = 29.13 \text{ г/моль.}$$

Знаходимо відношення величин молекулярної маси суміші $M_{\text{сум}}$ та динамічної в'язкості газової суміші $\mu_{\text{сум}}$:

$$D = \sum_{i=1}^n \frac{a_n \cdot M_n}{100 \cdot \mu_n}$$

$$= \frac{44 \cdot 10}{100 \cdot 1.839 \cdot 10^{-5}} + \frac{32 \cdot 9.5}{100 \cdot 2.56 \cdot 10^{-5}} + \frac{18 \cdot 8.5}{100 \cdot 1.477 \cdot 10^{-5}} + \frac{28 \cdot 7.2}{100 \cdot 2.157 \cdot 10^{-5}} = 1.396 \cdot 10^6.$$

Тоді:

$$\mu_{\text{сум}} = \frac{M_{\text{сум}}}{D} = \frac{29.13}{1,396 \cdot 10^6} = 2.087 \cdot 10^{-5}, \text{ Па·с.}$$

Визначаємо теоретичну швидкість руху заряджених частинок різного радіусу r_i до осаджувальних електродів електрофільтра, м/с:

$$\omega_{2.5} = \frac{0.018 \cdot 10^{-10} \cdot E_x^2}{\mu_{\text{сум}}} r_i = \frac{0,018 \cdot 10^{-10} \cdot 3,65 \cdot 10^5}{2.087 \cdot 10^{-5}} \cdot 2.5 \cdot 10^{-6} = 0.029.$$

Розраховані параметри заносимо в таблицю 2.7.

Таблиця 2.7

Результати розрахунку ω_i

r_i , МКМ	2,5	7,5	15	20	30	40
ω_i , м/с	0,029	0,086	0,172	0,23	0,345	0,46

Розраховуємо питому поверхню осадження, $\text{м}^2/(\text{м}^3\text{с})$:

$$f_p = \frac{L}{v \cdot H} = \frac{2,51 \cdot 2}{20000 \cdot 0.1375} = 36.509.$$

Як показує практика, дійсні швидкості частинок в електричному полі електрофільтра приблизно в два рази менше розрахованих. Тому при підрахунку показника ступеня для кожного розміру отримані значення частинок швидкість зменшуємо вдвічі (таблиця 2.8).

Таблиця 2.8

Результати розрахунку $f_{p \frac{\omega_i}{2}}$

r_i , МКМ	2,5	7,5	15	20	30	40
$f_{p \frac{\omega_i}{2}}$	0,525	1,574	3,147	4,197	6,295	8,393

Для кожного діаметру частинок пилу визначаємо фракційну ступінь очищення, після чого результати зводимо до таблиці 2.9.

$$\eta_i = 1 - e^{-(f_p \cdot \frac{\omega_i}{2})}.$$

Таблиця 2.9

Результати розрахунку η_i

r_i , МКМ	2,5	7,5	15	20	30	40
η_i , м/с	40,82	79,273	95,704	98,495	99,815	99,977

Знаходимо загальну ступінь очищення газу в електрофільтрі:

$$\begin{aligned} \eta &= \sum \frac{\Phi_i \cdot \eta_i}{100} \\ &= \frac{2.5 \cdot 40.82}{100} + \frac{10 \cdot 79.273}{100} + \frac{15 \cdot 95.704}{100} + \frac{25 \cdot 98.495}{100} \\ &\quad + \frac{20 \cdot 99.815}{100} + \frac{25 \cdot 99.977}{100} = 93.905\%. \end{aligned}$$

Висновок: Ступінь очищення газу в електрофільтрі становить 93,905%.

Завдання для розрахунку електрофільтра.

Розрахувати електричні параметри та ступінь очищення газу при використанні фільтра ЕГА або УГ, виходячи з даних варіанта (див. таблицю 2.11), складу газу (див. таблицю 2.12) та фракційного складу пилу (див. таблицю 2.10). Барометричний тиск $p_{бар}=1,013 \cdot 10^5$ Па. Склад газу наведено в таблиці 2.4.

Таблиця 2.10

Фракційний склад пилу

r_i , мкм	2,5	5,0	10	15	20	25
% (за масою)	5	10	15	25	20	25

Таблиця 2.11

Варіанти завдань

№	Тип електрофільтра	Швидкість газу, м/с	Кількість газу, V , м ³ /год	Температура газу, °С	Вміст пилу, q , г/м ³	Розрядження в системі, р, Па
1	2	3	4	5	6	7
1	УГ	1	20 000	100	10	1500
2	ЕГА	1,2	21 000	110	15	1600
3	УГ	1,4	22 000	120	20	1700
4	ЕГА	1,6	23 000	130	25	1800
5	ЕГА	1,8	24 000	120	30	1900
6	УГ	2,0	25 000	110	35	2000
7	УГ	1,9	26 000	100	40	2100
8	ЕГА	1,7	27 000	90	45	2200
9	УГ	1,5	28 000	90	50	2300
10	УГ	1,4	20 000	100	10	1500
11	ЕГА	1,3	21 000	140	15	1600
12	УГ	1,2	22 000	150	20	1700
13	ЕГА	1,1	23 000	160	25	1800
14	ЕГА	1,0	24 000	170	30	1900
15	УГ	0,9	25 000	180	35	2100
16	УГ	1,3	26 000	120	40	2400
17	ЕГА	1,4	27 000	190	45	2200
16	УГ	1,2	28 000	100	50	2300
19	ЕГА	1,7	29 000	110	55	1400
20	ЕГА	1,8	29 000	120	55	2600

Склад газу за варіантом завдання

№ варіанту	Компоненти газу, %			
	CO ₂	O ₂	H ₂ O	N ₂
1	2	3	4	5
1	14	5,5	8,5	72
2	10	8,4	9,1	72,5
3	12	6,5	7,9	73,6
4	15	6,5	8,5	70
5	16	6,5	5,5	72
6	9	7,6	9,9	73,5
7	14	6,5	8,5	71
8	15	6,5	6,5	72
9	11	7,8	8,7	72,5
10	10	5,5	11,5	73
11	9	7,5	10,5	73
12	11	8,4	9,6	71
13	12	6	12	70
14	13	6,5	7,5	73
15	14	7,5	6,5	72
16	9	7,6	9,9	73,5
17	8	9,5	9,5	74
18	16	6,5	6,5	71
19	11	10,9	8,1	70
20	10	10	10	70

Практична робота № 3. Розрахунок рукавного фільтра

Тканинні (рукавні) фільтри призначені для очищення неагресивних, невибухонебезпечних і не схильних до злипання та утворення конденсату газопилових сумішей від твердих частинок при температурі до 280°C. Основні властивості деяких тканин для фільтрування наведені в таблиці. 3.1.

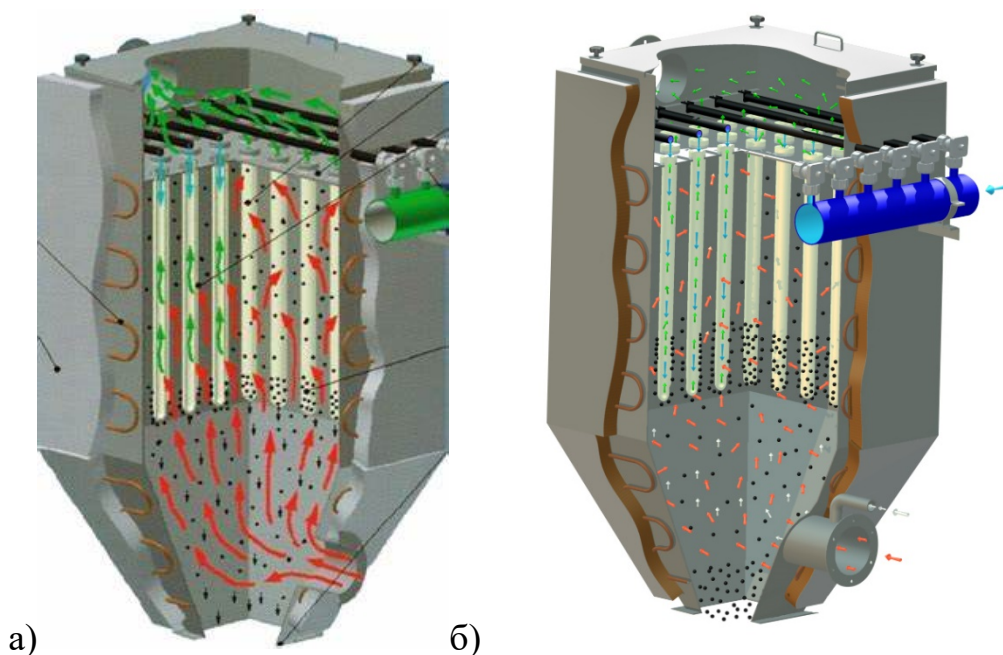
Таблиця 3.1

Основні властивості фільтрувальних тканин

Тканина	Товщина, мм	Повітронепроникність при $\Delta P=49\text{Па}$, $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{хв})$	Термостійкість, °C		Хімічна стійкість в середовищі		
			при тривалій дії	при короткочасній дії	кислота	луги	розчинники
Сукно №2	1,5	3	65-85	90-85	ДП	ДП	Х
Нітрон	1,6	7,5	120	150	Х-3	3	Х
Лавсан	1,4	4,0	130	160	Х	3-П	Х
Хлорин №5231	1,32	7,6	65-70	80-90	ДХ	ДХ	3-Х
Склотканина ТССНФ	0,22	2,7	240	315	Х	3-П	ДХ

Примітка. ДП - дуже погана; П - погана; 3 - задовільна; Х - хороша; ДХ - дуже хороша.

В якості фільтрувального матеріалу в рукавних фільтрах використовують різні тканини (бавовняні, шерстяні, нітронові, лавсанові тощо) високої міцності та підвищеної теплової і хімічної стійкості.



а) Очищення газу; б) регенерація фільтра
Рисунок 3.1 - Рукавний фільтр

Тканинні фільтри розрізняють за:

- формою фільтрувального елемента (рукавні, карманні);
- наявністю опорних конструкцій (каркасні, рамні);
- місцем розташування вентилятора відносно фільтра (всмоктувальний, нагнітальний);
- наявністю та формою корпусу для розташування тканин (прямокутні, циліндричні, безкамерні);
- числом секцій (однокамерні, багатосекційні);
- видом застосовуваної тканини;
- видом регенерації. Головною конструктивною ознакою для рукавних фільтрів є улаштування регенерації, згідно з якою ці фільтри поділяються на такі типи [2]:

1 – з регенерацією механічним струшуванням;

2 – з регенерацією зворотною продувкою атмосферним повітрям чи очищеним газом;

3 – з регенерацією механічним струшуванням в поєднанні з улаштуванням для регенерації зворотною продувкою;

4 – з регенерацією стиснутим повітрям.

Технологічні розрахунки фільтрувальних апаратів зводяться до визначення площі фільтрувальної перегородки, гідравлічного опору фільтрувальної перегородки і апарата в цілому, частоти і тривалості циклів регенерації фільтрувальних елементів [2].



Рисунок 2.2. Встановлення рукавів в рукавний фільтр

Приклад розрахунку рукавного фільтра

Визначити фільтрувальну площу та гідравлічний опір рукавного фільтра зі зворотною продувкою для очищення газу від пилу.

Вхідні дані: витрати газів, що очищуються, $Q = 35000 \text{ м}^3/\text{год}$, температура газу $t = 120 \text{ }^\circ\text{C}$, нормативне питоме навантаження $g_n = 2 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{хв.})$, концентрація пилу в газах $c_p = 20 \text{ г/м}^3$, медіанний діаметр частинок пилу $d_m = 20 \text{ мкм}$; час відключення секції на регенерацію $\tau' = 40 \text{ с}$. Вимоги до очищеного газу: вміст пилу не повинен перевищувати 30 мг/м^3 .

Визначаємо витрати газу при робочих умовах:

$$Q_p = \frac{Q \cdot T_r}{T_0} = \frac{35000 \cdot (273 + 120)}{3600 \cdot 273} = 13.996 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

Користуючись формулою знаходимо динамічну в'язкість газу при робочих умовах та $C = 124$:

$$\begin{aligned} \mu_t &= \mu_0 \left[\frac{T_0 + C}{T_r + C} \cdot \sqrt{\left(\frac{T_r}{T_0} \right)^3} \right] = 17.3 \cdot 10^{-6} \left[\frac{273 + 124}{(120 + 273) + 124} \cdot \sqrt{\left(\frac{120 + 273}{273} \right)^3} \right] \\ &= 22.95 \cdot 10^{-6}, \quad \text{Па} \cdot \text{с} \end{aligned}$$

Знаходимо питоме навантаження користуючись формулою:

$$q = q_n \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot C_4 \cdot C_5 = 2 \cdot 1.0 \cdot 0.95 \cdot 1.0 \cdot 0.73 \cdot 1.0 = 1.387 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{хв.}$$

де g_n - нормативне питоме навантаження, залежне від виду пилу та його схильність до агломерації;

C_1 - коефіцієнт, який характеризує особливість регенерації фільтрувальних елементів (додаток 3 табл. 3.2.1). За вхідними даними в нашому випадку $C_1 = 1,0$;

C_2 - коефіцієнт, який враховує вплив концентрації пилу на питоме газове навантаження. $C_2 = 0,95$ (додаток 3 табл. Д.3.2);

C_3 - коефіцієнт, який враховує вплив дисперсного складу пилу в газі $C_3 = 1$ (додаток 3 табл. Д.3.3);

C_4 - коефіцієнт, який враховує вплив температури газу. $C_4 = 0,73$ (додаток 3 табл. Д.3.4);

C_5 - коефіцієнт, який враховує вимоги до якості очищення (при концентрації пилу в очищених газах $\geq 30 \text{ мг/м}^3$ $C_5 = 1$, при 20 мг/м^3 $C_5 = 0,98$, при 10 мг/м^3 $C_5 = 0,95$, зі зменшенням необхідної концентрації C_5 зменшується і при 10 мг/м^3 $C_5 = 0,95$). $C_5 = 1$, враховуючи вимоги до очищеного газу.

Знаходимо швидкість фільтрування:

$$v_\phi = \frac{q}{60} = \frac{1.387}{60} = 2.3 \cdot 10^{-2} \text{ м/с.}$$

Знаходимо гідравлічний опір фільтрувальної перегородки, оцінивши попередньо тривалість циклу фільтрування $\tau = 900 \text{ с}$:

$$\begin{aligned} \Delta P_p &= K_n \cdot \mu \cdot v_\phi + K_{nc} \cdot \mu \cdot c_p \cdot v_\phi^2 \\ &= 1100 \cdot 10^6 \cdot 22.85 \cdot 10^{-6} \cdot 2.3 \cdot 10^{-2} + 6.5 \cdot 10^9 \cdot 22.85 \cdot 10^{-6} \cdot 900 \\ &\quad \cdot 20 \cdot 10^{-3} \cdot (2.3 \cdot 10^{-2})^2 = 2018 \text{ Па.} \end{aligned}$$

де: $K_n = 1100 \cdot 10^6$ (додаток 3 табл. Д.3.5), який характеризує опір фільтрувальної перегородки;

$K_{nc} = 6.5 \cdot 10^9 \text{ м/кг}$ (додаток 3 табл. Д.3.3). Це параметр опору шару пилу.

Визначаємо кількість регенерацій протягом 1 години:

$$N_p = \frac{3600}{\tau + \tau'} = \frac{3600}{900 + 40} = 3.83 \text{ год}^{-1}$$

Розраховуємо об'єм газу, який витрачається на зворотну продувку, умовно приймаючи швидкість газу при зворотній продувці рівну швидкості при фільтруванні:

$$Q'_p = Q_p \cdot N_p \cdot \tau'_p = 103.968 \cdot 3.83 \cdot 40 = 2144.03 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Визначаємо фільтрувальну площу апарата:

$$S_f = \frac{Q'_p + Q_p}{60 \cdot q} = \frac{13.996 \cdot 3600 + 2144.03}{60 \cdot 1.387} = 631 \text{ м}^2.$$

Для заданих умов приймаємо восьми секційний фільтри зі зворотною продувкою ФРКДІ-720 ($S_\phi=720 \text{ м}^2$) (додаток 3 табл. Д.3.1).

За формулою (3.2) знаходимо площу фільтрування, яка виключається під час регенерації:

$$S_r = \frac{N_c \cdot S_c \cdot \tau'_p \cdot N_p}{3600} = \frac{6 \cdot 120 \cdot 40 \cdot 3.83}{3600} = 30.638 \text{ м}^2.$$

де N_c - число секцій ($N_c = 6$), шт;

S_c - площа однієї секції ($S_c = 720/6 = 120$), м^2 .

Уточнюємо кількість газу, яка витрачається на зворотну продувку протягом 1 години:

$$Q'_p = v_\phi \cdot \tau'_p \cdot N_p \cdot N_c \cdot S_c = 2.3 \cdot 10^{-2} \cdot 40 \cdot 3.83 \cdot 6 \cdot 120 = 2550 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Остаточо визначаємо необхідну площу фільтрування при умові використання 8 секцій (фільтр ФРКДІ-720):

$$S_f = \frac{Q'_p + Q_p}{60 \cdot q} = \frac{2550 + 13.996 \cdot 3600}{60 \cdot 1.387} = 636 \text{ м}^2.$$

Проводимо порівняння часу циклу фільтрування з часом, який затрачений на регенерацію секцій. При умові постійної регенерації однієї із секцій:

$$\tau \geq (N_c - 1) \cdot \tau'_p$$

В дійсності:

$$900 \geq (6 - 1) \cdot 40 \\ 900 > 200.$$

Отже, на регенерацію відключається по чергово одна секція. Питоме навантаження при регенерації буде складати:

$$q' = \frac{Q_p}{60} + S_c \cdot q = \frac{13.996 \cdot 3600}{60} + 120 \cdot 1.387 \\ q' = \frac{13.996 \cdot 3600}{720 - 120} = 1,677 \text{ м}^2/\text{м}^3 \cdot \text{хв}.$$

Тобто, знаходиться в межах розрахункового, що забезпечує надійну

експлуатацію апаратів.

Завдання для розрахунку.

Визначити фільтрувальну площу та гідравлічний опір рукавного фільтра зі зворотною продувкою для очищення газу від пилу. В таблиці 3.2 наведено вихідні дані для виконання практичного завдання.

Таблиця 3.2

Вихідні данні

Q, м ³ /год	t, °C	q _n , м ³ /(м ² ·хв.)	d _m , МКМ	c _p , г/м ³	τ, с	C ₁
280000	140	2	15	20	60	0.7
300000	120	2	16	20	40	0.6
180000	100	1.7	14	60	50	0.7
230000	160	2.6	13	80	45	0.7
24000	80	2	15	10	40	1
38000	60	1.7	19	80	45	1
62000	40	1.7	20	60	40	1
98000	80	2	15	60	40	0.6
180000	100	1.7	13	80	40	0.7
200000	40	2	20	100	60	0.6
6800	140	2	13	10	40	0.7
50 000	120	1,7	19	20	55	1
7200	160	2.6	12	40	40	0,55
235000	120	1.7	13	60	50	1
2600	160	2.6	14	100	45	1
2600	120	1.7	19	80	60	1
720000	40	2	14	100	45	0.55
21000	100	2.6	16	60	60	1
29000	140	1.7	13	20	45	1
320000	120	2.6	20	100	40	0.55

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 4

РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ФІЛЬТРА ДЛЯ НЕЙТРАЛІЗАЦІЇ КИСЛИХ СТИЧНИХ ВОД

Виробничі стічні води від технологічних процесів багатьох галузей промисловості містять луги й кислоти, а також солі важких металів. Для попередження корозії матеріалів очисних споруд і трубопроводів, порушення біохімічних процесів у водоймах, а також для осадження зі стічних вод солей важких металів кислі й лужні стоки піддають нейтралізації [5].

Практично нейтральними вважаються води, що мають рН=6,5-8,5. Отже, нейтралізувати слід стічні води з рН меншим 6,5 і більшим 8,5. За умови скиду промислових стічних вод у водойми або міську каналізацію впливає, що найбільшу небезпеку становлять кислі стоки, які зустрічаються, до того ж, значно частіше, ніж лужні (кількість стічних вод з рН>8,5 незначна).

Реакція нейтралізації – це хімічна реакція між речовинами, які мають властивості кислоти та луг, що призводить до втрати характерних властивостей

обох сполук. Найбільш типова реакція нейтралізації у водних розчинах відбувається між гідратованими іонами водню й іонами гідроксиду, що містяться, відповідно, в сильних кислотах і лугах:



Як наслідок, концентрація кожного з цих іонів дорівнює тій, що властива самій воді, тобто активна реакція водного середовища наближається до $\text{pH}=7$.

Застосовують наступні способи нейтралізації:

- взаємна нейтралізація кислих і лужних стічних вод (нейтралізація змішуванням);
- нейтралізація шляхом додавання реагентів;
- фільтрування через нейтралізуючі матеріали;
- нейтралізація кислими димовими газами.

Вибір методу нейтралізації залежить від багатьох факторів, наприклад, виду й концентрації кислот, що забруднюють виробничі стічні води; витрат і режиму надходження відпрацьованих вод на нейтралізацію; наявності й вартості реагентів; місцевих умов тощо. Якщо на промисловому підприємстві є тільки кислі або лужні води, або неможливо забезпечити їхню взаємну нейтралізацію, застосовується реагентний метод нейтралізації, схему якого наведено на рис. 7.8. Цей метод найбільш широко використовується для нейтралізації кислих стічних вод. Вибір реагенту залежить від виду кислот, їхньої концентрації, розчинності солей, що утворюються внаслідок хімічної реакції.

Стічні води найбільш часто забруднені мінеральними кислотами: сірчаною H_2SO_4 , азотною HNO_3 , соляною HCl , а також їх сумішами. Для нейтралізації кислих вод можуть бути використані NaOH , KOH , Na_2CO_3 , NH_4OH (аміачна вода), CaCO_3 , MgCO_3 , цемент, доломіт ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$).

Нейтралізація соляно- та азотнокислих, а також сірчано-кислих стічних вод, коли концентрація сірчаної кислоти в них становить не більше 1,5 г/л, відбувається на безперервно діючих фільтрах. Для завантаження цих фільтрів застосовують такі матеріали, як доломіт, вапняк, магнезит, крейда, мармур та ін. Крупність фракцій завантаженого матеріалу дорівнює 3-8 см; розрахункова швидкість фільтрування залежить від його виду, але не перевищує 5 м/год; тривалість контакту становить не менше 10 хв [6].

Найбільше застосування для нейтралізації стічних вод одержали гашене й негашене вапно. Перевагами вапна є невисока вартість і менша мінералізація води при нейтралізації сірчаної, сірчистої, фосфорної і вугільної кислот. Однак утворення осаду при нейтралізації обумовлює необхідність будівництва пристроїв для освітлення нейтралізованої води.

Найбільш часто застосовують гашене вапно у вигляді вапняного молока, а при продуктивності нейтралізаційних установок більш 5 тон/добу (за вапном) доцільно застосування сухого методу дозування вапна. Для одержання

вапняного молока використовують комове (бажано без інертних добавок) або порошкоподібне будівельне вапно.

Тривалість процесу нейтралізації стічних вод залежить від їхнього складу, виду застосовуваного нейтралізуючого агента, температури та інше. При використанні їдкою натру нейтралізація протікає практично миттєво за будь-якою температурою.

Час перебування води в камері нейтралізації при використанні вапняного молока становить 5-30 хвилин в залежності від наявності у воді солей важких металів та інших домішок. При нейтралізації сильних кислот (HCl , HNO_3) час нейтралізації не перевищує 5 хвилин. Зі збільшенням інтенсивності перемішування або при використанні аерації, а також з підвищенням температури тривалість контакту зменшується.

Якщо нейтралізуючими агентами служать, наприклад, вапняк, доломіт, карбідний шлам ацетиленових станцій, час їхнього контакту з водою варто збільшувати до 1-3 годин. Тривалість перебування води в камері нейтралізації визначається експериментально в кожному конкретному випадку.

При нейтралізації стічних вод, що містять сірчану кислоту, вапняним молоком в осад випадає гіпс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Розчинність гіпсу мало змінюється з температурою. При переміщенні таких розчинів відбувається відкладення гіпсу на стінках трубопроводів та їхнє забивання. Для усунення забивання трубопроводів необхідно промивати їх чистою водою або додавати в стічні води спеціальні пом'якшувачі. Збільшення швидкості руху нейтралізованих вод сприяє зменшенню відкладень гіпсу на стінках трубопроводу.

На рисунку 4.1 наведено приклад вертикального фільтра-нейтралізатора, завантаженого доломітом.

Конструкція фільтрів передбачає вертикальний рух кислих стічних вод. При нейтралізації стічної води на вертикальному фільтрі висоту шару завантаженого матеріалу H визначають за емпіричною формулою С.А. Вознесенського:

$$H = K \cdot d^n \cdot (3 + \lg b) \cdot \sqrt{v}, \text{ см} \quad (4.1)$$

де K та n - емпіричні константи;

d - діаметр зерен завантаженого матеріалу, мм;

b - кількість кислоти, г-екв/л;

v - швидкість фільтрування, що звичайно дорівнює 4-8 м/год.

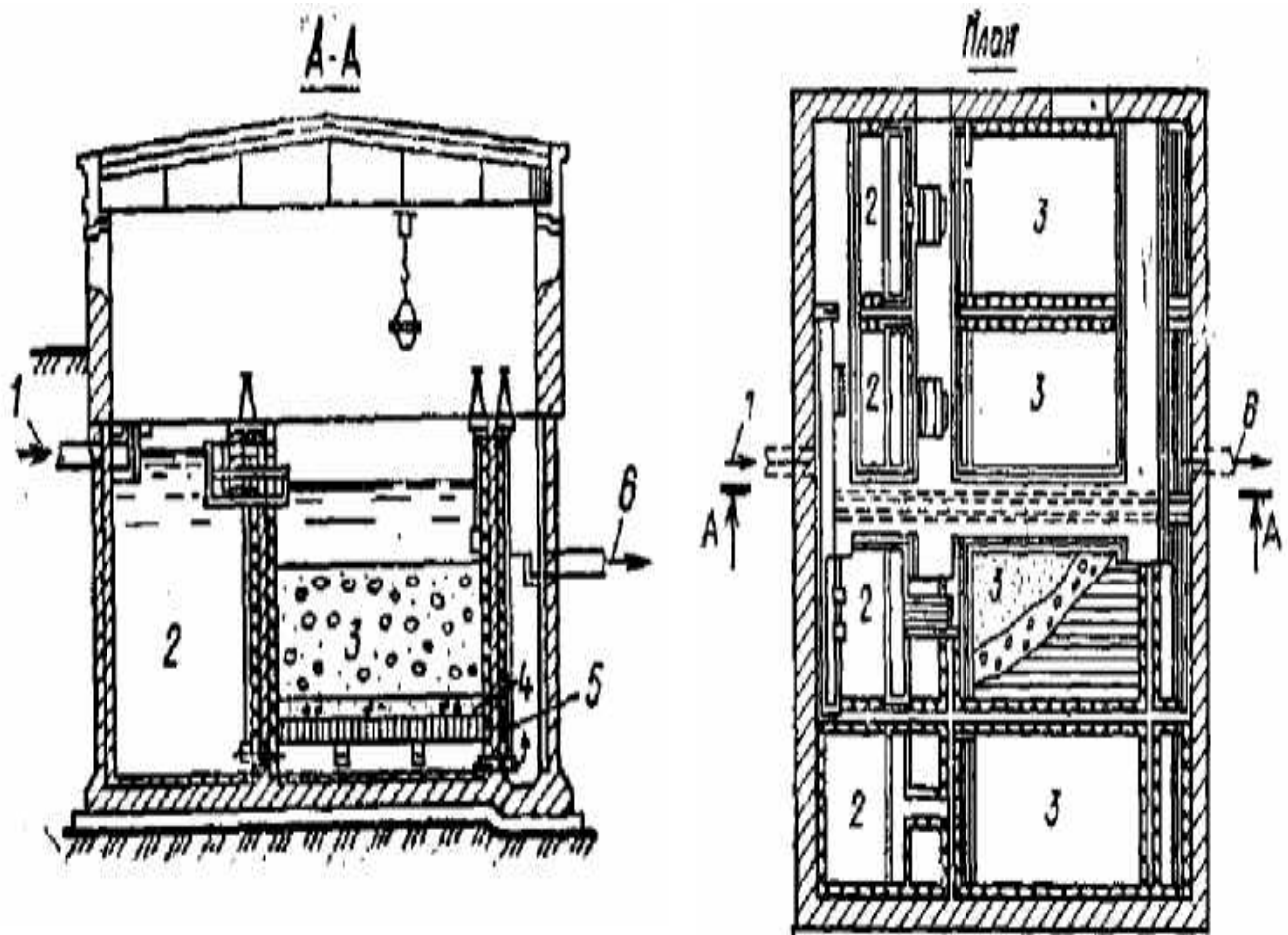
Величина n відносно постійна і в середньому дорівнює 1,47. Значення константи K залежить від сорту доломіту, наприклад, при використанні щолківського доломіту $K = 0,62$, а уральського - $K = 1,31$.

Рівняння 4.1 справедливе тільки для опису нейтралізації сірчаної кислоти; у разі нейтралізації розчинів інших кислот значення емпіричних констант встановлюють експериментально.

Якщо концентрація кислоти A в стічних водах виражена в г/л, то для

перерахунку її в кислотність г-екв/л можна скористатися перевідним коефіцієнтом a . Тоді:

$$b = a \cdot A, \text{ г-екв./л.} \quad (4.2)$$



1 - подача кислих стічних вод; 2 - приймальні камери; 3 - доломітові фільтри; 4 - гравій; 5 - дренаж;
6 - випуск нейтралізованих стічних вод

Рисунок 4.1 - Принципова схема вертикального доломітового фільтра-нейтралізатора

Так, коефіцієнт a для розчину сірчаної кислоти дорівнює 0,0204, соляної - 0,0277, азотної - 0,0159, оцтової - 0,0167. Якщо концентрація виражена у відсотках, то перерахунок на кислотність:

$$b = 10 \cdot a \cdot A, \text{ г-екв./л.} \quad (4.3)$$

Після визначення величини H підраховують площу фільтрування за такою формулою:

$$f = \frac{q}{v}, \text{ м}^2 \quad (4.4)$$

де q - витрата стічних вод, що нейтралізуються, $\text{м}^3/\text{с}$;

v - швидкість фільтрування, $\text{м}/\text{с}$.

Далі визначають добову витрату реагенту (завантаження), тобто:

$$M = \frac{q_p \cdot A \cdot Q}{1000}, \text{ Т/добу} \quad (4.5)$$

де q_p - витрата лужного реагенту на нейтралізацію (дані беруть із таблиці 4.1);

A - концентрація кислоти, $\text{кг}/\text{м}^3$;

Q - витрата стічних вод, $\text{м}^3/\text{добу}$.

Таблиця 4.1

Витрата реагентів для нейтралізації 100 % кислот і лугів, $\text{кг}/\text{кг}$

Луги	Кислоти			
	сірчана	соляна	азотна	оцтова
Вапно:				
негашене	<u>0,56</u>	<u>0,77</u>	<u>0,46</u>	<u>0,47</u>
	1,79	1,30	2,2	2,15
гашене	<u>0,76</u>	<u>1,01</u>	<u>0,59</u>	<u>0,62</u>
	1,32	0,99	1,70	1,62
Сода:				
кальцинована	<u>1,08</u>	<u>1,45</u>	<u>0,84</u>	<u>0,88</u>
	0,93	0,69	1,19	1,14
каустична	<u>0,82</u>	<u>1,10</u>	<u>0,64</u>	<u>0,67</u>
	1,22	0,91	1,57	1,50

Примітка. Числа в знаменнику показують витрату лугу, у чисельнику - кислоти.

Оскільки повне (100 %) використання активної частини завантаженого матеріалу фільтра практично неможливе, то вводиться коефіцієнт для визначення фактичної витрати матеріалу M_ϕ (наприклад, для доломіту $M_\phi = 1,5M$).

Тривалість роботи фільтра без перевантаження визначають за такою формулою:

$$t = \frac{P}{M_\phi}, \text{ год.} \quad (4.6)$$

Визначаємо масу завантаженого у фільтр матеріалу, що нейтралізує:

$$P = H \cdot f \cdot \gamma, \text{ Т} \quad (4.7)$$

де γ - щільність завантаженого матеріалу, що нейтралізує, $\text{т}/\text{м}^3$, зокрема для доломіту, вапна та мармуру вона становить $2,8 \text{ т}/\text{м}^3$; магнезиту – $3 \text{ т}/\text{м}^3$; крейди - $2,7 \text{ т}/\text{м}^3$.

Приклад розрахунку

Розрахувати основні параметри вертикального фільтра для нейтралізації

кислих стічних вод (висоту шару матеріалу необхідного для нейтралізації, площу фільтрування, добову витрату реагенту та тривалість роботи фільтра) за вхідними даними, що наведені в таблиці 4.2 .

Таблиця 4.2

Вихідні величини для розрахунку параметрів вертикального фільтра

Найменування показника	Умовне познач.	Одиниця виміру	Значення
1	2	3	4
Діаметр зерен матеріалу, що нейтралізує	d	мм	30
Концентрація кислоти	A	г/л	1,2
Швидкість фільтрування	v	м/год	4
Витрата стічних вод	Q	м ³ /добу	6310

Для розрахунку висоти шару матеріалу, що нейтралізує, необхідно знайти кислотність стічної води:

$$b = 0.0204 \cdot 1.2 = 0.0245, \text{ г-екв./л.}$$

Знаходимо висоту шару матеріалу, що нейтралізує:

$$H = 0.62 \cdot 30^{1.47} \cdot (3 + \lg \cdot 0.0245) \cdot \sqrt{4} \cdot 0.01 = 2.53 \text{ м.}$$

Визначаємо площу фільтрування:

$$f = \frac{6310}{4 \cdot 24} = 65.729, \text{ м}^2$$

Обчислюємо добову витрату реагенту:

$$M = \frac{0.76 \cdot 1.2 \cdot 6310}{1000} = 5.755 \text{ Т/добу,}$$

Розраховуємо тривалість роботи фільтра:

$$P = 2.53 \cdot 65.52 \cdot 2.8 = 470.72, \text{ т}$$

$$M_{\phi} = 1.5 \cdot M = 1.5 \cdot 5.75 = 8.632 \text{ т.}$$

Тривалість роботи фільтра без перевантаження:

$$t = \frac{470.72}{8.632} = 54.48 \text{ год.}$$

В таблиці 4.3 наведено вихідні дані для виконання практичного завдання.

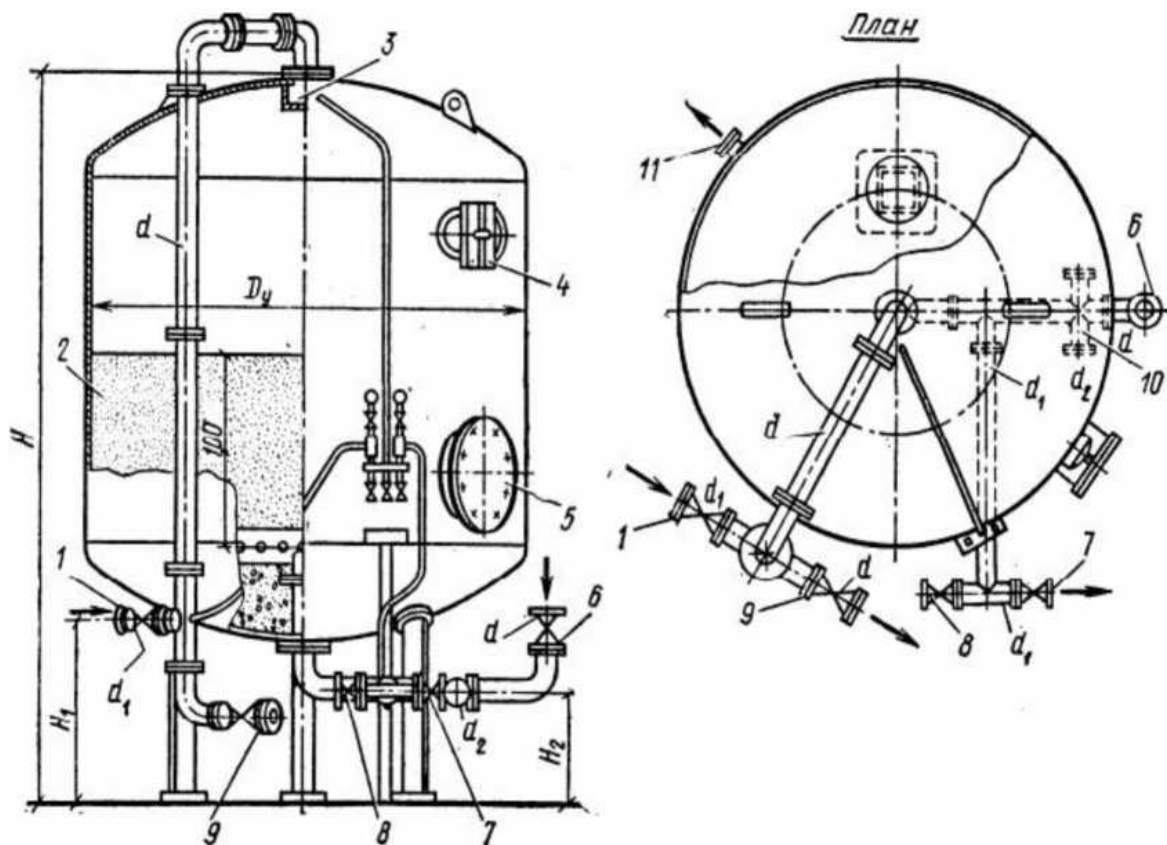
Вихідні дані для розрахунку параметрів фільтра-нейтралізатора

№ варіанту	Витрата стічних вод Q , м ³ /добу	Швидкість фільтрування v , м/год	Концентрація кислоти А, г/л	Кислота	Діаметр зерен d , мм	Матеріал для нейтралізації
1	6100	4	1,2	сірчана	26	доломіт
2	6050	5	1,3	соляна	27	магнезит
3	6000	6	1,4	азотна	28	крейда
4	5950	7	1,1	оцтова	29	вапно
5	5900	8	1,2	сірчана	30	магнезит
6	5850	4	1,3	соляна	31	крейда
7	5800	5	1,4	азотна	32	доломіт
8	5750	6	1,5	оцтова	31	магнезит
9	5700	7	1,3	сірчана	30	крейда
10	5650	8	1,4	соляна	29	вапно
11	5600	4	1,1	азотна	28	магнезит
12	5550	5	1,2	оцтова	27	крейда
13	5500	6	1,3	сірчана	26	доломіт
14	5450	7	1,4	соляна	25	магнезит
15	5400	8	1,5	азотна	24	крейда
16	5350	4	1,3	оцтова	26	вапно
17	5300	5	1,4	сірчана	28	магнезит
18	5250	6	1,1	соляна	30	крейда
19	5200	8	1,2	азотна	32	доломіт
20	5150	4	1,3	оцтова	34	магнезит

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 5 ГЛИБОКЕ ОЧИЩЕННЯ (ДООЧИЩЕННЯ) ВИРОБНИЧИХ СТІЧНИХ ВОД

Напірні вертикальні фільтри із зернистим наповненням застосовуються для механічного очищення виробничих стічних вод після їхнього гравітаційного відстоювання (рисунок 5.1). Фільтр являє собою сталевий вертикальний резервуар зазвичай заводського виготовлення і завантажується, як правило, кварцовим піском висотою шару в 1 м.

У напірних фільтрах очищення рідини відбувається зверху вниз, швидкість фільтрування перебуває в межах 50-120 м/год, а тривалість одного циклу становить 12-48 годин залежно від фізико-хімічних властивостей стічних вод. В очищеній воді залишковий вміст нафтопродуктів має становити 7-20 мг/л (початковий – 40-80 мг/л), механічних домішок – 10-20 мг/л (початковий – 30-60 мг/л).



1 -

подача води на очищення; 2 - фільтрувальний шар із зернистим завантаженням; 3 – верхній розподільний пристрій; 4 – контрольний еліптичний люк; 5 - круглий люк; 6 - підведення промивної води; 7 - відведення першого фільтрату; 8 - відведення очищеної води; 9 - відведення промивної води; 10 - підведення стиснутого повітря; 11- штуцер для гідравлічного завантаження фільтра
 Рисунок 5.1 – Схема напірного вертикального фільтра із зернистим завантаженням:

Сумарну площу фільтрів визначають за такою формулою:

$$F = \frac{Q_p + Q_{ц}}{24 \cdot v_p - n \cdot v_p \cdot t}, \text{ м}^2, \quad (5.1)$$

де Q_p - розрахункові витрати стічних вод на спорудах глибокого очищення, м³/год;

$Q_{ц}$ - загальні циркуляційні витрати, у тому числі витрати води на промивання фільтрів, барабаних сіток і скидання першого фільтрату, м³/год (в орієнтовних розрахунках слід приймати:

– $Q_{ц} = 0.025 \cdot Q_p$, коли $n = 1$;

– $Q_{ц} = 0.05 \cdot Q_p$, коли $n = 2$;

n - кількість циклів промивання одного фільтра на добу;

t - тривалість простою одного фільтра під час промивання, год;

v_p - розрахункову швидкість фільтрування визначають за формулою:

$$v_p = \frac{v_{\phi} \cdot (N - m)}{N}, \quad (5.2)$$

де N - загальна кількість фільтрів;

m - кількість фільтрів, що перебувають на ремонті (коли $N > 20$, то $m = 3$; якщо $N < 20$, то $m = 2$);

v_{ϕ} - швидкість фільтрування у форсованому режимі, тобто при максимальній подачі води й вимиканні частини фільтрів у зв'язку з ремонтом, м/год.

Приклад розрахунку

Визначити основні параметри фільтра глибокого очищення стічних вод (загальну площу фільтрування, розрахункову швидкість фільтрування, кількість фільтрів) за умовам наведеними в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1

Вихідні величини для розрахунку параметрів фільтра глибокого очищення стоків

Назва показника	Умовне познач.	Одиниця виміру	Значення
1	2	3	4
Розрахункові витрати стічних водна спорудах їх глибокого очищення	Q_p	м ³ /добу	69120,00
Кількість циклів промивання одного фільтра на добу	n	шт.	1
Тривалість простою одного фільтра протягом промивання	t	год	1
Швидкість форсованого фільтрування при найбільшому припливі стічної води	v_{ϕ}	м/год	14
Загальна кількість фільтрів	N	шт.	4

Визначаємо розрахункові витрати стічних вод:

$$Q_p = 69120/24 = 2880 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Загальні циркуляційні витрати води:

$$Q_{\text{ц}} = 0.025 \cdot Q_p = 0.025 \cdot 2880 = 72 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Знаходимо розрахункову швидкість фільтрування:

$$v_p = \frac{v_{\phi} \cdot (N - m)}{N} = \frac{14 \cdot (4 - 2)}{4} = 7 \text{ м/год.}$$

Обчислюємо загальну площу фільтрів:

$$F = \frac{Q_p + Q_{\text{ц}}}{24 \cdot v_p - n \cdot v_p \cdot t} = \frac{2880 + 72}{24 \cdot 7 - 1 \cdot 7 \cdot 1} = 18,35 \text{ м}^2.$$

Визначаємо діаметр фільтра:

$$F' = \frac{F}{N} = \frac{18.35}{4} = 4.6 \text{ м}^2,$$

$$D = \sqrt{\frac{F' \cdot 4}{\pi}} = \sqrt{\frac{4.6 \cdot 4}{3.14}} = 2.42 \text{ м.}$$

В таблиці 5.2 наведено вихідні дані для виконання практичного завдання.

Таблиця 5.2

Вихідні дані для розрахунку параметрів

№ варіанту	Q _p , м ³ /добу	n, шт.	t, год.	v _ф , м/с	N, шт.
1	2	3	4	5	6
1	68880	1	1	16	4
2	68640	2	1,1	15	5
3	68400	1	1,2	14	6
4	68160	2	1,3	13	7
5	67920	1	1,4	12	8
6	67680	2	1,5	11	9
7	67440	1	1,6	10	10
8	67200	2	1,7	9	11
9	66960	1	1,8	16	12
10	66720	2	1,9	15	13
11	66480	1	2	14	14
12	66240	2	1	13	15
13	66000	1	1,1	12	16
14	65760	2	1,2	11	17
15	65520	1	1,3	10	18
16	65280	2	1,4	9	19
17	65040	1	1,5	8	20
18	64800	2	1,6	12	21
19	64560	1	1,7	10	22
20	64320	2	1,8	11	23

Додаток 1

Таблиця Д.1.1

Добова доза завантаження в метантенк

Режим зброджування	Доза завантаження, %, при вологості осаду, %, не більше				
	93	94	95	96	97
Мезофільний	7	8	8	9	10
Термофільний	14	16	17	18	19

Таблиця Д.1.2

Вміст поверхнево-активних речовин в осаді та активному мулі

Вихідна концентрація ПАР в стічних водах, мг/дм ³	Вміст ПАР, мг/г сухої речовини	
	в осаді з первинних відстійників (a_o)	в надлишковому активному мулі (a_m)
5	5	5
10	9	5
15	13	7
20	17	7
25	20	12
30	24	12

Таблиця Д.1.3

Розміри типових метантенків

Корисний об'єм, м ³	Діаметр, м	Висота, м		
		верхнього конуса	циліндричної частини	нижнього конуса
1	2	3	4	5
1000	12,5	1,9	6,5	2,15
1600	15	2,35	7,5	2,6
2500	17,5	2,5	8,5	3,05
4000	20	2,9	10,6	3,5
6000	18	3,15	18	3,5
8000	22,6	4,45	16,3	3,7

Таблиця Д.1.4

Значення коефіцієнта K_p

Режим зброджування	Значення K_p при вологості осаду, %				
	93	94	95	96	97
Мезофільний	1,05	0,89	0,72	0,56	0,40
Термофільний	0,455	0,385	0,31	0,24	0,17

Таблиця Д.1.5

Розміри типових газгольдерів [5]

Типовий проект	Об'єм газгольдера, м ³	Діаметр резервуара, мм	Висота газгольдера, мм
ТП 7-07-01/66	100	7400	7450
ТП 7-07-02/66	300	9300	12500
ТП 7-07-03/66	600	11480	15400
ТП 707-2-5	1000	14500	15400
ТП 707-2-6	3000	21050	20100
ТП 707-2-7	6000	26900	24200

Додаток 2

Таблиця Д.2.1

Технічні характеристики електрофільтрів серії УГ

Показники	УГ1-2-10	УГ1-3-10	УГ1-2-15	УГ2-4-74	УГ3-3-88	УГ3-4-88	УГ1-3-15	УГ2-3-26	УГ-2-4-26	УГ-2-3-37	УГ2-4-37
Площа активного перетину F_a , м ² ,	10	10	15	44	44	88	15	26	26	37	37
Кількість полів	2	3	2	4	3	4	3	3	4	3	4
Крок між однаковими електродами, мм	275	275	275	275	275	275	275	275	275	275	275
Активна висота електродів, м	4,2	4,2	4,2	7,46	12,16	12,16	4,2	7,46	7,46	7,46	7,46
Активна довжина поля, м	2,51	2,51	2,51	2,51	3,95	3,95	2,51	2,51	2,51	2,51	2,51
Загальна площа осадження електродів, $F_{заг}$, м ²	420	630	630	6300	9200	12300	940	1690	2250	2360	3150
Габарити електрофільтру											
- довжина, м	9,6	14,1	9,6	18,6	18,8	24,8	14,1	14,1	18,6	14,1	18,6
- висота, м	12,3	12,3	12,3	15,4	21,8	21,8	12,3	15,4	15,4	15,4	15,4
- ширина по осях крайніх опор, м	3	3	4,5	12,0	9,0	9,0	4,5	4,5	4,5	6	9,0

Таблиця Д.2.2

Значення відстані d для електрофільтрів серії УГ

Марка електрофільтра	УГ2-2-10; УГ1-3-10; УГ1-2-15; УГ1-3-15	УГ2-4-74	УГ3-3-26; УГ3-4-26	УГ2-4-74	УГ3-3-88; УГ3-4-88	УГ2-3-26; УГ3-4-88	УГ2-3-26; УГ2-3-53 УГ2-4-26; УГ3-3-ИБ	УГ2-3-37; УГ2-4-37 УГ2-3-74; УГ2-4-53	УГ3-3-177, УГ3-4-177	УГ3-3-230; УГ3-4-230 УГ3-3-265; УГ3-4-265
d , м	0,23	0,19	0,17	0,15	0,14	0,12	0,11	0,1	0,1	0,1

Таблиця Д.2.3

Значення коефіцієнта ν

H/d	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
ν	0,08	0,068	0,046	0,035	0,027	0,022	0,0175	0,015	0,013	0,0115

Таблиця Д.2.4

Технічні характеристики електрофільтрів ЕГА

Показники	ЭГА1-10-6-4-2	ЭГА1-10-6-4-3	ЭГА1-10-6-6-2	ЭГА1-10-6-6-3	ЭГА1-14-7,5-4-3	ЭГА1-14-7,5-4-4	ЭГА1-14-7,5-6-2
Площа активного перетину F_a , м ² ,	16,5	16,5	16,5	16,5	28,7	28,7	28,7
Кількість полів	2	3	2	3	3	4	2
Крок між однаковими електродами, мм	300	300	300	300	300	300	300
Висота електродів, м	6,0	6,0	6,0	6,0	7,5	7,5	7,5
Активна довжина поля, м	2,56	2,56	3,84	3,84	2,56	2,56	3,84
Загальна площа осадження електродів, $F_{\text{заг}}$, м ²	630	950	950	1430	1430	1660	2210
Габарити електрофільтру							
- довжина, м	9,6	13,44	11,82	17,28	13,44	17,62	11,82
- висота, м	12,4	12,4	12,4	12,4	13,9	13,9	13,9
- ширина по осях крайніх опор, м	3,2	3,2	3,2	3,2	4,4	4,4	4,4

Таблиця Д.2.5

Динамічна в'язкість μ_0 окремих компонентів газової суміші при температурі $T_0=273,15$ К

Номер з/п	Газ	M [а. о. м.]	μ_0 , [$\times 10^{-6}$ Па·с]
1	CO ₂	44	13,8
2	N ₂	28	16,6
3	O ₂	32	18,6
4	Повітря	28,98	17,1
5	NH ₃	17	9,4
6	H ₂ O	18	9,22
7	CH ₄	16	10,28
8	H ₂ S	34	11,8
9	HCl	36,5	13,2
10	Cl ₂	71	12,5
11	H ₂	2	8,4

Додаток 3

Таблиця Д.3.1

Значення коефіцієнта C_1 , який враховує особливості регенерації фільтрувальних елементів

Вид фільтра	Коефіцієнт C_1
З імпульсним продуванням стиснутим повітрям з рукавами з тканини	1
З регенерацією шляхом зворотного продування і одноразовим струшуванням або коливанням рукавів	0,70-0,85*
З регенерацією шляхом зворотного продування	0,55-0,70**

* - менше значення приймається для фільтрів з рукавами з щільної тканини.

** - менше значення приймається для фільтрів з рукавами зі склотканини.

Таблиця Д.3.2

Значення коефіцієнта C_2

$C_{вх}, \text{Г/М}^3$	C_2	$C_{вх}, \text{Г/М}^3$	C_2
1	1,12	20	0,95
2	1,1	40	0,9
6	1,04	60	0,88
8	1,02	80	0,86
10	1	100	0,83

Таблиця Д.3.3

Значення коефіцієнта C_3 , який враховує вплив дисперсного складу пилу

$d_m, \text{МКМ}$	> 100	50-100	10-50	3-10	< 3
C_3	1,4	1,1	1,0	0,9	0,7

Таблиця Д.3.4

Значення коефіцієнта C_4 , який враховує вплив температури, $t^\circ\text{C}$

$t_r, ^\circ\text{C}$	20	40	60	80	100	120	140	160
C_4	1	0,9	0,84	0,78	0,75	0,73	0,72	0,70

Таблиця Д.3.5

Значення коефіцієнта K_n , який характеризує опір фільтрувальної перегородки

Тип фільтрувальної тканини	Вид пилу	Медіанний діаметр пилу, мкм	Коефіцієнт K_n , m^{-1}
Лавсан арт.136 і 21	цементний, кварцовий	10-20	$(1100-1500) \cdot 10^6$
Те саме	пари металів	2,5-3,0	$(2300-2400) \cdot 10^6$
Лавсан арт.86013 Склотканина	Те саме	2,5-3,0	$(2300-2400) \cdot 10^6$ $\cdot (1,2 \cdot 1,3)$
Лавсан арт.86013	Те саме	0,6	$(13000-15000) \cdot 10^6$

Таблиця Д.3.6

Параметр опору шару пилу K_{nc}

Вид пилу	Медіанний діаметр пилу, мкм	Параметр K_{nc} , м/кг
Цементний, кварцовий	12-20	$(6,5-16) \cdot 10^9$
Пари металів	3	$80 \cdot 10^9$

Таблиця Д.3.1

Фільтри з імпульсною продувкою

Технічна характеристика	ФРКІ-30	ФРКІ-90	ФРКІ-360	ФРКДІ-550	ФРКДІ-720	ФРКДІ-1100	ФРКІ-60
Фільтрувальна поверхня, м ²	30	90	360	550	720	1100	60
Число рукавів	36	108	288	216	288	432	72
Діаметр рукава, мм	130	130	130	135	135	135	135
Висота рукава, м	2	2	3	6	6	6	2
Число секцій	1	3	8	6	6	6	1
рахунковий надмірний тиск, кПа	5	5	5	5	5	5	5
Маса, т	1,28	2,99	8,86	18,4	31,3	31,3	1,28

Таблиця Д.3.2

Фільтри зі зворотною посекційною продувкою

Технічна характеристика	Марка фільтра						
	ФР-250	ФР-2800	ФР-5000	ФР-10000	ФРО-2400	ФРО-6000	ФРО-20000
Фільтрувальна поверхня, м ²	250	2800	5000	10000	2400	6000	20000
Число секцій	4	6	8	8	12	12	10
Число рукавів	288	2304	4032	3,7м-1920 4,7м-3840	504	648	2160
Діаметр рукава, мм	127/135	127	127	135	200	300	300
Висота рукава, м	2,3	3,1	3,1	3,7/4,7	8	10	10
Допустимий надмірний тиск в апараті, кПа	2,5	2,5	2,5	3,5			-
Допустиме розрідження в апараті, кПа					6	6	6
Маса, т	14,5	111,0	128,0	231,0	75,6	162,8	540

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Ковальчук В. А. Очистка стічних вод : навч. посіб. Рівне : ВАТ «Рівненська друкарня», 2002. 622 с.
2. Природоохоронні технології : навч. посіб. / Л. І. Северин та ін. Вінниця : ВНТУ, 2012. Ч. 1 : Захист атмосфери. 388 с.
3. Природоохоронні технології : навч. посіб. / В. Г. Петрук та ін. Вінниця : ВНТУ, 2014. Ч. 2 : Методи очищення стічних вод. 258 с.
4. Ковальчук В. А. Очистка стічних вод. Рівне : ВАТ «Рівненська друкарня», 2002. 622 с.
5. Природоохоронні та ресурсозберігаючі технології : методичні рекомендації до виконання курсової роботи для студентів спеціальностей 101 «Екологія» та 183 «Технології захисту навколишнього середовища» / Д. В. Кулікова, А. В. Павличенко. Дніпро : Національний гірничий університет, 2018. 84 с.
6. Методичні рекомендації призначені для проведення практичних занять та самостійної роботи з навчальної дисципліни «Управління та очистка стічних вод» для здобувачів вищої освіти освітнього ступеня «магістр» денної та заочної форми навчання спеціальності 183 «Технології захисту навколишнього середовища» освітньо-професійна програма «Технології захисту навколишнього середовища» / розробники: І. Пацева, О. Алпатова. Житомир : Житомирська політехніка, 2023. 45 с.

Навчально-методичне видання

Суліменко Сергій Євгенійович,
Єрємін Олександр Олегович,
Мешкова Анжеліка Геннадіївна

ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ МЕТАЛУРГІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Навчально-методичні рекомендації
до виконання практичних робіт з дисципліни
«Екологічні аспекти металургійних технологій»
для спеціальності 183 – Технології захисту навколишнього
середовища (бакалаврський рівень)

Електронне видання

Експертний висновок склав канд. техн. наук, доц. О. О. Гупало

Зареєстровано НМВ УДУНТ (№ 742 від 02.07.2024)

Формат 60x84_{1/16}. Ум. друк. арк. 2,73. Обл.-вид. арк. 1,58.
Зам. № 63

Видавець: Український державний університет науки і технологій
вул. Лазаряна, 2, ауд. 2216, м. Дніпро, 49010.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 7709 від 14.12.2022

Адреса видавця та дільниці оперативної поліграфії:
вул. Лазаряна, 2, Дніпро, 49010