

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

**О.І.СЕМЕНОВА  
Н.О.БУБЛІЄНКО  
Т.Л.ТКАЧЕНКО**

**ПРИРОДООХОРОННІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ОБЛАДНАННЯ  
(ПРИРОДООХОРОННІ ТЕХНОЛОГІЇ)**

**КУРС ЛЕКЦІЙ  
для студентів спеціальностей  
7.04010601, 8.04010601  
«Екологія та охорона навколишнього середовища»  
та 8.04010604 «Екологічний контроль та аудит»  
денної та заочної форм навчання**

Всі цитати, цифровий та фактичний матеріал, бібліографічні відомості перевірені. Написання одиниць відповідає стандартам

Підписи авторів \_\_\_\_\_  
»\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2011 р.

**СХВАЛЕНО**  
на засіданні кафедри  
біохімії та екологічного  
контролю  
як курс лекцій  
Протокол № 5  
від 18.10.2011 р.

# **КИЇВ НУХТ 2012**

**Семенова О.І., Бублієнко Н.О., Ткаченко Т.Л.** Природоохоронні технології та обладнання (Природоохоронні технології): Курс лекцій для студ. спеціальностей 7.04010601, 8.04010601 “Екологія та охорона навколишнього середовища” та 8.04010604 «Екологічний контроль та аудит» ден. та заоч. форм навч. – К.: НУХТ, 2012. – 74 с.

Рецензент **А.В.Котинський**, канд. техн. наук

**О.І.СЕМЕНОВА,**  
**Н.О.БУБЛІЄНКО,** кандидати техн. наук,  
**Т.Л.ТКАЧЕНКО**

© О.І.Семенова,  
Н.О.Бублієнко,  
Т.Л. Ткаченко, 2012  
© НУХТ, 2012

## **1. СУЧАСНІ ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ ВІТЧИЗНЯНИХ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ**

Харчова промисловість України є потужним народногосподарським комплексом, що об'єднує близько 25 підгалузей. Питома вага харчової і переробної промисловості в загальному обсязі промислового виробництва країни становить близько 18 % і за цим показником посідає друге місце в економіці країни.

Харчова промисловість чинить на навколишнє природне середовище значно меншу негативну дію, порівняно з такими галузями народного господарства, як гірничо-видобувна, хімічна, нафтопереробна, енергетична, металургійна, целюлозно-паперова тощо. Але значна частина технологічних процесів харчових підприємств зумовлює утворення та потрапляння у навколишнє середовище різноманітних за якісними та кількісними характеристиками викидів, скидів, відходів. Вони, потрапляючи в атмосферу, водойми та ґрунти, призводять до їх суттєвого забруднення.

Різні галузі харчової промисловості характеризуються утворенням специфічних викидів, що розрізняються кількістю, хімічним складом та шкідливістю для навколишнього середовища.

Так, джерелами викидів на харчових підприємствах є низка певних стадій технологічних процесів (транспортування, очищення, подрібнення, термічна та хімічна обробка, сушіння сировини та готової продукції); паросилове господарство; автотранспорт тощо.

Для захисту повітряного басейну необхідне здійснення комплексу заходів, які передбачають впровадження сучасних маловідходних, безвідходних, енергозберігаючих технологій, а також вискоєфективних пило- та газоочисних споруд.

Виробництво харчових продуктів на промислових підприємствах потребує значної кількості води, у тому числі питної якості. При виробництві деяких видів продукції (напої, консерви тощо) вода входить до складу готової продукції і не потрапляє до стічних вод. У той же час вода часто використовується для гідротранспортування сировини та напівпродуктів, миття сировини, тари, обладнання, приміщень тощо. Це зумовлює утворення значної кількості стічних вод, які характеризуються досить високою концентрацією органічних та неорганічних забруднюючих компонентів.

На сьогодні ці води скидаються на поля фільтрації, використання яких не лише не дає змоги очистити повною мірою стічні води, але і призводить до забруднення підземних вод, ґрунтів та атмосферного повітря. Або ж потрапляють на міські очисні споруди. Останні зазвичай використовують недосконалі технології і здебільшого працюють незадовільно, тому недостатньо очищена стічна вода може потрапляти в природні водойми. Впровадження сучасних ефективних та екологічно безпечних технологій очищення стічних вод набуває першочергового значення.

На деяких підприємствах харчової промисловості у значній кількості утворюються відходи, що у більшості випадків не утилізуються, а скидаються

на звалища. Це призводить до різкого погіршення стану навколишнього середовища та втрати цінних компонентів цих відходів. Особливо небезпечними у цьому відношенні є м'ясокомбінати, цукрові заводи, спирткомбінати тощо.

Упродовж тривалого часу харчові підприємства не мали мотивації щодо комплексної екологізації виробництв, що пояснювалось невеликим розміром плати за забруднення навколишнього середовища, необхідністю вкладання значних коштів для вирішення цих проблем, відсутністю реальних механізмів економічного стимулювання природоохоронних заходів тощо.

Але останнім часом, коли стала нагальною необхідність входження українських підприємств у світову економічну спільноту та одержання міжнародних сертифікатів щодо показників якості та безпеки продукції та екологічного стану виробництва, актуальність екологізації харчових підприємств різко зростає [5].

### ***Питання до самоперевірки***

1. Дайте загальну характеристику впливу харчової промисловості на стан навколишнього середовища.
2. Які стадії технологічних процесів є джерелом утворення пилогазових викидів на харчових підприємствах?
3. Яким чином вирішується проблема очищення стічних вод харчових підприємств?
4. Назвіть підприємства харчової промисловості, на яких утворюється найбільша кількість відходів.

## **2. ХАРАКТЕРИСТИКА СПОСОБІВ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД ХАРЧОВИХ ПІДПРИЄМСТВ ТА СХЕМИ ОЧИСНИХ СТАНЦІЙ**

Для очищення стічних вод застосовують механічні, хімічні, фізико-хімічні та біологічні способи. Зазвичай механічні та хімічні способи оброблення стоків мають допоміжний характер. Тому вони використовуються як перший етап до направлення стічних вод на основне очищення або як кінцеві етапи їх оброблення перед скиданням у природні водойми.

*Механічний* спосіб очищення передбачає вилучення із стічної води нерозчинених мінеральних та органічних домішок. Так, вилучення грубих забруднень здійснюється на ґратках; видалення піску – у пісковловлювачах; очищення стічних вод від завислих часточок переважно органічного походження – у відстійниках; доочищення – фільтруванням крізь шар різного за розміром та походженням зернистого матеріалу тощо.

Механічне очищення забезпечує видалення завислих речовин із стічних вод до 90 – 95 % і зниження вмісту органічних забруднень (за показником БСК (біохімічне споживання кисню)) до 20 – 25 %.

Під час *хімічного* очищення забруднення із стічних вод видаляються в результаті реакцій між ними та реагентами, що вводяться у воду. Найчастіше застосовуються нейтралізація стоків за допомогою вапна; знезараження хлором

стічних вод перед скиданням їх у водойми; озонування, коли під дією озону окиснюються органічні забруднення тощо.

Кислі та лужні стічні води, що мають *pH* менше 6,5 та більше 8,5, відповідно, піддаються нейтралізації з метою попередження корозії матеріалів каналізаційних очисних споруд, для запобігання порушення біохімічних процесів у спорудах біологічного очищення та у природних водоймах. Слід підкреслити, що небезпечнішими є кислі стічні води, які часто утворюються на підприємствах харчової промисловості.

*Фізико-хімічні* способи передбачають використання флотації, коагуляції, електрофлотації, електрокоагуляції, евапорації тощо. Такі способи дають можливість видалити із стічної води токсичні, біологічно неокиснювані сполуки; забезпечують досить високий ступінь очищення; установки можуть бути повністю автоматизовані.

*Біологічне* очищення дозволяє вилучити із стічних вод різні органічні домішки. Здійснюється біоценозом організмів, до якого входять бактерії, найпростіші, деякі більш високоорганізовані організми – водорості, гриби, черви, коловертки тощо. Всі вони пов'язані між собою в єдиний комплекс складними взаємовідносинами симбіотичного та антагоністичного характеру. Основну роль у процесах очищення відіграють бактерії, чисельність яких варіює від  $10^6$  до  $10^{14}$  клітин на 1 г сухої біомаси. Така різноманітність організмів біологічного очищення зумовлена наявністю у стічній воді органічних речовин різних класів.

Біологічна деструкція органічних забруднень може відбуватись у природних умовах (поля фільтрації, біологічні ставки, поля зрошення) та у штучних (біофільтри, аеротенки, метантенки).

Підбір споруд для очищення стічних вод здійснюють залежно від рівня їх забрудненості, хімічного складу та кількості; від необхідного ступеня очищення; місцевих умов тощо.

Для обробки низькоконцентрованих виробничих стічних вод, у яких переважають крупнодисперсні завислі часточки, перед скидання їх у міську каналізацію застосовується одна із найпростіших схем. Вона передбачає лише механічне очищення стічної води на ґратках, пісковловлювачах та відстійниках.

Часто застосовується схема, в основі якої лежить окрім попереднього механічного, ще й біологічне очищення стічних вод у природних умовах (на полях фільтрації чи землеробних полях зрошення).

Вона може бути запропонована лише при наявності значних територій несільськогосподарського призначення для облаштування цих споруд. Також слід враховувати значну залежність роботи споруд природного біологічного очищення від кліматичних, сезонних факторів, місцевих гідрогеологічних умов; можливе забруднення ґрунтових вод, атмосфери шкідливими речовинами при порушенні умов експлуатації. Після обробки на полях фільтрації чи землеробних полях зрошення знезараження води не потрібно.

Для очищення стічних вод із не дуже високим рівнем забрудненості (стічна рідина, що утворюється на хлібокомбінатах, заводах із виробництва безалкогольних виробів, деяких категорій молокозаводів тощо) застосовується

схема, яка передбачає використання після попередньої механічної обробки біологічне очищення із застосуванням високонавантажених біофільтрів. У схемі зазвичай передбачається рециркуляція стічної рідини у біофільтр після освітлення у вторинному відстійнику.

Такі відстійники не можуть бути використані одночасно як контактні резервуари при хлоруванні стічних вод, оскільки цим був би порушений процес біологічного очищення на високонавантажених біофільтрах. Тому як контактні резервуари у даному випадку застосовують окремі споруди.

Для обробки стічних вод харчової промисловості, концентрація забруднюючих речовин в яких не перевищує 2 000 мг  $O_2$ /л за хімічним споживанням кисню (ХСК), найчастіше застосовують схему повного біологічного аеробного очищення із використанням аеротенків як основної очисної споруди.

Так, після механічного очищення на ґратках, пісковловлювачах та первинних відстійниках, стічна рідина подається в аеротенк I ступеню, де в аеробних умовах відбувається окиснення забруднюючих речовин під впливом організмів активного мулу. Для забезпечення нормальної життєдіяльності цих організмів, для підтримання мулу у завислому стані та для перемішування мулу і стічної води, в аеротенк постійно подається повітря.

Розділення муло-водяної суміші відбувається у вторинному відстійнику після аеротенку I ступеню. Частина затриманого мулу – надлишковий активний мул – після зневоднення на мулових майданчиках направляється на використання у сільському господарстві як добриво.

Інша частина мулу – циркулюючий активний мул – після відновлення активності в регенераторі, повертається в аеротенк для підтримання у ньому постійної концентрації.

Для повного доочищення стічної води застосовується аеротенк II ступеню, де відбувається окиснення важкоутилізованих забруднюючих компонентів. Відділення мулу від стічної рідини здійснюється у вторинному відстійнику, мул з якого також частково повертається в аеротенк, а частково виводиться із системи на муловий майданчик.

Для знезараження очищеної води здійснюється її дезинфекція, після чого вона може скидатись у природні водойми.

Для очищення концентрованих стічних вод (ХСК більше 2 000 мг  $O_2$ /л), використовують анаеробно-аеробну обробку. Спершу на ґратках та пісковловлювачах із стічних вод вилучаються завислі крупнодисперсні часточки. Після цього рідина подається в метантенк, де відбувається вилучення основної маси забруднюючих речовин в анаеробних (безкисневих) умовах під впливом мікроорганізмів активного мулу. При цьому утворюється біогаз, який збирається в газгольдері, а потім поступає на спалювання у котельню підприємства. Отримане тепло забезпечує необхідний температурний режим у метантенку, а іноді може направлятись на задоволення енергетичних потреб основного виробництва.

Відокремлення анаеробного активного мулу від стічної води здійснюється у вторинному відстійнику. Такий активний мул містить цінні біологічно

активні речовини, що зумовлює його широке використання як добриво або добавку до корму сільськогосподарських тварин.

Для остаточного вилучення забруднюючих речовин із стічної рідини застосовуються аеротенки I та II ступенів, у які безперервно подається повітря для створення аеробних умов.

Муло-водяна суміш після аеротенків розділяється на складові у вторинних відстійниках. Частина мулу – циркулюючий активний мул – після регенераторів повертається в аеротенки для забезпечення постійної концентрації мулу у споруді. Надлишковий активний мул подається в метантенк на збродження з метою отримання додаткового біогазу.

Перед скиданням очищеної рідини у природні водойми обов'язково здійснюється її дезинфекція [13, с. 21 – 22; 15, с. 102 – 112].

### ***Питання до самоконтролю***

1. Назвіть основні способи очищення стічних вод.
2. Охарактеризуйте особливості механічного та біологічного очищення стічних вод.
3. Які очисні споруди застосовуються для біологічного очищення низько- та висококонцентрованих стічних вод?
4. Назвіть послідовність розташування основних споруд на станціях очищення стічних вод.

## **3. МЕХАНІЧНЕ ОЧИЩЕННЯ ВИРОБНИЧИХ СТІЧНИХ ВОД**

### **3.1. Очищення стічних вод на ґратках**

*Ґратки* використовуються для затримання грубих забруднень стічних вод – паперу, ганчірок, гілок, скла, кісток тощо. Ґратки складаються із паралельно розташованих сталевих стержнів, закріплених на металевій рамі. Нахил ґраток до горизонту становить, як правило, 45 – 90°.

Ґратки класифікують на групи:

1. *За шириною прорізів* – на грубі (розмір прорізів від 30 до 200 мм) та звичайні (від 5 до 25 мм).

Стержні ґраток зазвичай виробляють із металевих заготовок круглої, квадратної, прямокутної або іншої форми у поперечному перерізі. Як правило, використовуються стержні прямокутного перерізу.

2. *За конструктивними особливостями* – на нерухомі та рухомі, такі, що періодично чи безперервно вилучаються із стічних вод для очищення від затриманих забруднень.

3. *За способом очищення від відходів* – із ручним та механізованим очищенням. Ручне очищення застосовується при невеликих об'ємах стічних вод та незначному ступені їх забрудненості грубими завислими компонентами.

Для зручності очищення ґратки встановлюють під деяким кутом до горизонту – від 45 до 90° (рис. 3.1).

Затримані ґратками відходи підлягають сортуванню на конвеєрній лінії з метою вилучення тих компонентів, які не подрібнюються (метал тощо), після

чого направляються у дробарки. На практиці застосовуються ґратки-дробарки, які одночасно затримують тверді часточки, які містяться у воді, та подрібнюють їх.

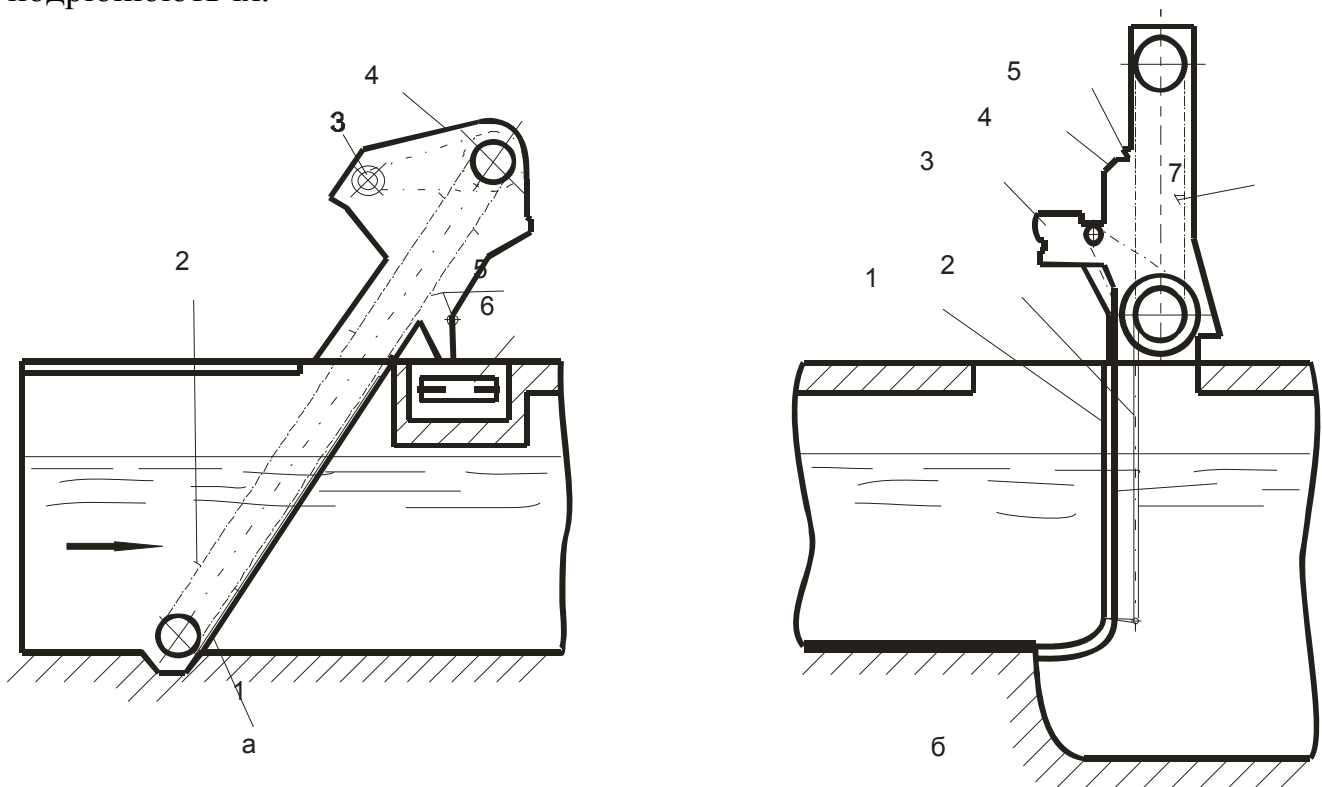


Рис. 3.1. Ґрабельні механізовані ґратки: а – нахилені; б – вертикальні;  
 1 – ґратки; 2 – граблина; 3 – привід механічних ґрабель; 4 – корпус;  
 5 – самоскид відходів; 6 – транспортер; 7 – направляюча граблина.

### 3.2. Очищення стічних вод на пісковловлювачах

*Пісковловлювачі* використовуються для затримування мінеральних домішок, що містяться в стічних водах. Ці споруди є важливим елементом процесу очищення.

Наявність піску в стічній рідині несприятливо впливає на роботу очисних споруд, оскільки пісок може накопичуватись у відстійниках, аеротенках, метантенках, зменшуючи їх корисний об'єм, порушуючи видалення осаду та негативно впливаючи на технологічний процес очищення.

Принцип дії пісковловлювачів базується на тому, що під впливом сили тяжіння неорганічні часточки, питома вага яких більша за питому вагу води, у процесі руху випадають в осад.

Тип пісковловлювача вибирають із врахуванням продуктивності очисних споруд, схеми очищення стічних вод та обробки їх осадів, характеристик завислих часточок тощо.

Пісковловлювачі бувають *горизонтальні*, в яких вода рухається в горизонтальному напрямку, з прямолінійним або круговим рухом рідини; *вертикальні*, в яких вода рухається вертикально вгору та пісковловлювачі з

гвинтовим (поступально-обертальним) рухом води. Останні залежно від способу створення гвинтового руху поділяються на *тангенціальні* та *аеровані*.

*Тангенціальні* пісковловлювачі мають круглу в плані форму, підведення стічної води в них здійснюється по дотичній. Такі особливості підведення води та рух її у споруді по колу, викликають обертальний рух потоку. При одночасному поступальному та обертальному русі створюється гвинтовий рух. Обертальний рух позитивно впливає на роботу пісковловлювача, оскільки сприяє відмиванню від піску органічних речовин та виключає їх випадення в осад. Саме тому, осад із тангенціальних пісковловлювачів містить значно менше органічних забруднень, порівняно з іншими типами цих споруд.

В *аерованих* пісковловлювачах поступальний рух води створюється за рахунок її подачі з одного боку споруди, а відведення – з протилежного. Обертальний рух забезпечується аерацією потоку, яку створює аератор, встановлений на одній із довгих сторін пісковловлювача на відстані 45 – 60 см від дна.

Найбільш широко використовують горизонтальні пісковловлювачі (рис. 3.2).

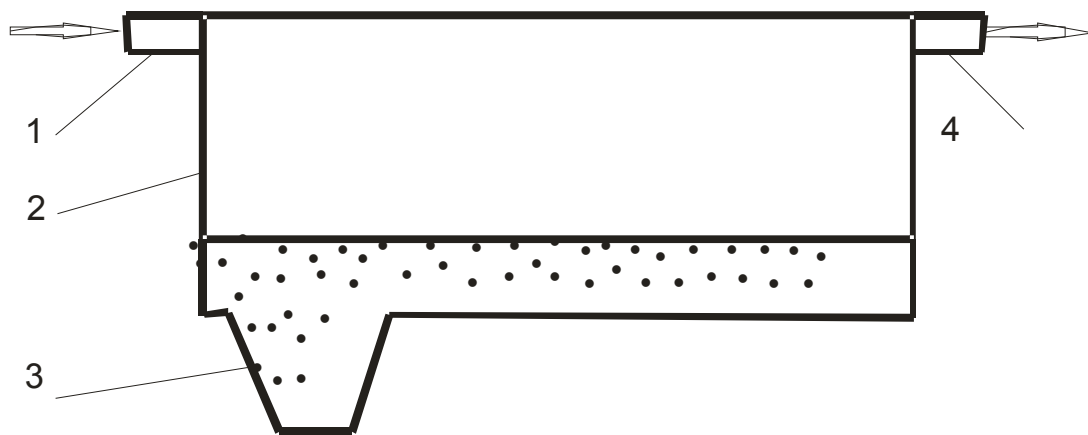


Рис. 3.2. Горизонтальний пісковловлювач: 1 – вхідний патрубок; 2 – пісковловлювач; 3 – збірник затриманого піску; 4 – вихідний патрубок.

Видалення осадів із пісковловлювачів відбувається за допомогою гідроелеваторів, грейферів, норій, ковшових елеваторів, піскових насосів тощо (рис. 3.3). Найчастіше застосовують гідроелеватори, тому що їх конструкція проста та надійна із-за відсутності рухомих елементів. Також вони забезпечують транспорт піску на значну відстань, при цьому відбувається його відмивання від органічних речовин.

Пісок, який затримується у пісковловлювачах, подається на піскові майданчики для зневоднення.

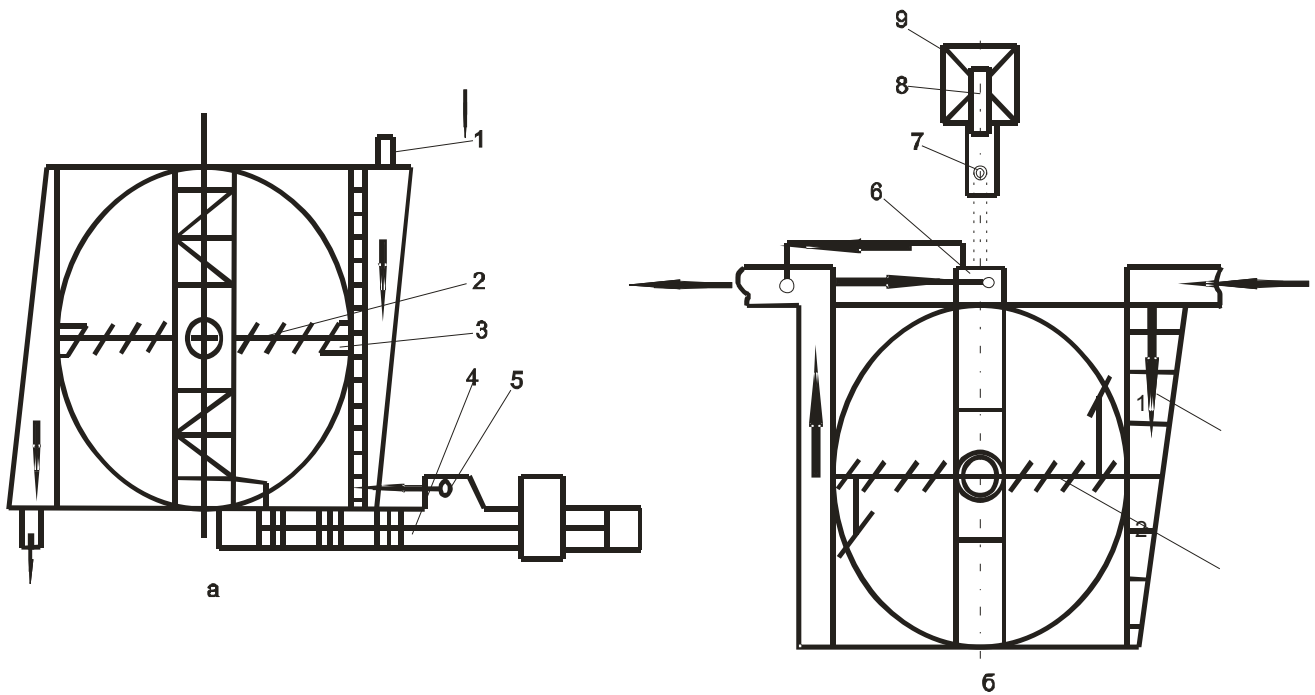


Рис. 3.3. Пісковловлювачі з пристроєм для відмивання та зневоднення піску:  
 а – механічним; б – гідравлічним; 1 – вхідний пристрій; 2 – скребковий механізм;  
 3 – ківш; 4 – класифікатор; 5 – рециркуляційний насос; 6 – пісковий насос;  
 7 – гідроциклон; 8 – пристрій для зневоднення; 9 – бункер для піску.

### 3.3. Очищення стічних вод у відстійниках

*Відстійники* використовуються для очищення стічних вод від нерозчинних речовин переважно органічного походження.

Їх застосовують або для попереднього оброблення стічних вод до направлення на наступні очисні споруди (*первинні* відстійники), або для освітлення води після споруд основного очищення (*вторинні* відстійники).

За конструктивними ознаками відстійники поділяють на горизонтальні, вертикальні та радіальні.

Тип відстійника необхідно вибрати із врахуванням прийнятої технологічної схеми очищення стічних вод і обробки їх осаду, пропускної здатності споруд, особливостей рельєфу майданчика, геологічних умов, рівня ґрунтових вод тощо.

Відстійники, що застосовуються для очищення стічних вод харчової промисловості, є проточними. Тобто відстоювання відбувається під час повільного руху стічної рідини через ці споруди.

У горизонтальних відстійниках рідина рухається горизонтально вздовж споруди; у вертикальних – знизу вгору; а в радіальних – від центру до периферії.

*Горизонтальний* відстійник (рис. 3.4) являє собою резервуар (зазвичай прямокутний у плані), який складається із декількох відділень (два і більше).

Вода підводиться на початок споруди, проходить вздовж відстійника до протилежного кінця і, освітлена, зливається у відповідний канал.

У спорудах такого типу створюються найкращі гідродинамічні умови для осадження завислих часточок, тому ефективність освітлення в них – найвища порівняно із відстійниками інших типів. Використовуються як первинні та вторинні відстійники, а також як контактні резервуари для хлорування стічних вод.

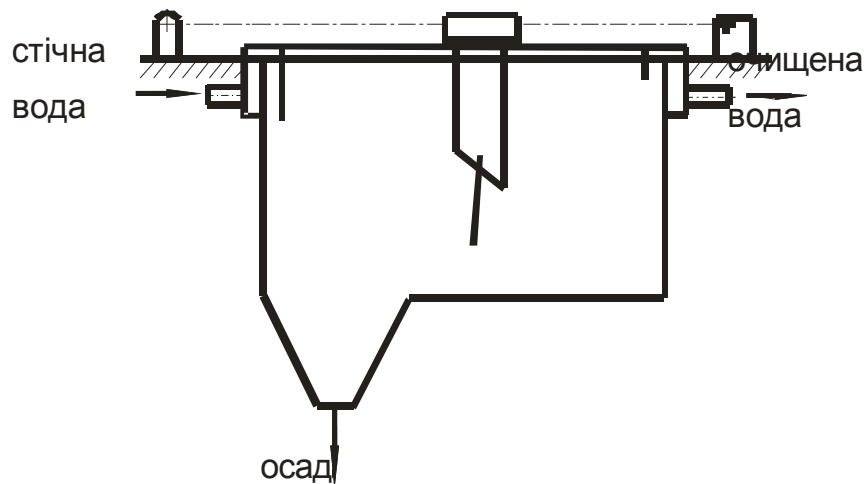


Рис. 3.4. Горизонтальний відстійник зі скребком на возику.

*Вертикальні* відстійники являють собою круглі або квадратні в плані резервуари з конусним або пірамідальним дном (рис. 3.5). Стічна вода підводиться до низу робочої частини відстійника центральною трубою. Після виходу із труби стічна рідина рухається знизу вгору до зливних жолобів, якими поступає у відповідний лоток. Під час руху стічної води відбувається відділення завислих часточок, питома вага яких більша за питому вагу води.

Відомі споруди також із периферійним та розосередженим впуском стічної води.

Вертикальні відстійники прості за конструкцією та в експлуатації, але, маючи недосконалу гідродинамічну систему, забезпечують порівняно низький ефект освітлення стічних вод (30 – 40 %). Також не рекомендується їх використовувати при високому рівні ґрунтових вод.

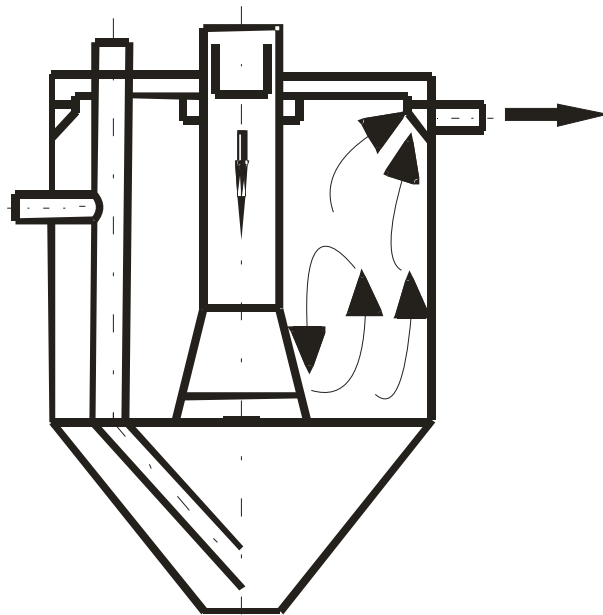


Рис. 3.5. Вертикальний відстійник із центральним впуском.

*Радіальний* відстійник (рис. 3.6) являє собою круглий неглибокий резервуар, вода в якому рухається від центра до периферії. Радіальні відстійники бувають із випуском води знизу чи зверху. В обох випадках вода поступає у відстійник центральною трубою, а освітлена вода зливається в круговий жолоб, звідки відводиться трубами чи лотками. Осад, що випав на дно, збирається до центру скребками і поступає в приямок, з якого під тиском шару води, висотою 1,5 м, видаляється трубами чи відсмоктується насосами.

Також застосовуються відстійники із периферійним впуском води, які при однаковій тривалості відстоювання забезпечують в 1,2 – 1,3 рази більший ефект освітлення порівняно із звичайними радіальними відстійниками. Це дає змогу збільшити пропускну здатність очисної споруди.

У радіальних відстійниках можливе утворення коловоротних областей, що знижує ефективність затримання завислих часточок.

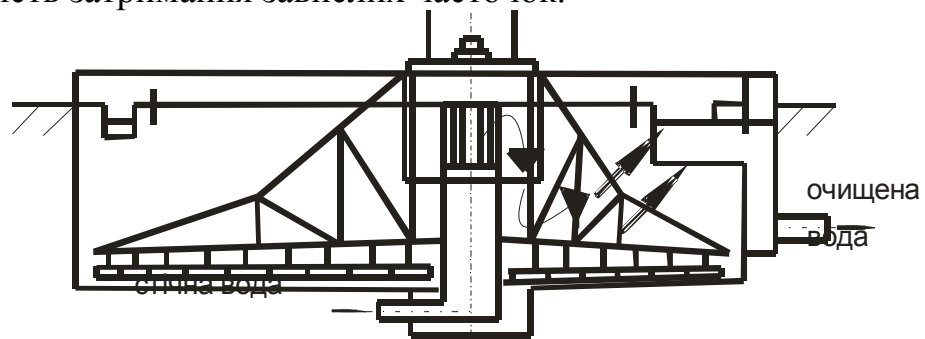


Рис. 3.6. Радіальний відстійник із центральним впуском.

### 3.4. Очищення стічних вод на фільтрах

Фільтрування застосовують найчастіше для доочищення стічних вод як один із останніх етапів їх обробки.

Залежно від вимог до якості води для доочищення застосовують фільтри із низхідним чи висхідним потоком рідини, радіальні одно- чи двошарові, аеровані, каркасно-насіпні тощо.

Як фільтруючий матеріал застосовують кварцевий пісок крупних фракцій, гравій, щебінь, керамзит, полістирол.

Найдоцільнішим є використання багатошарового фільтра, в якому величина гранул фільтруючого матеріалу зменшується по ходу руху стічної води.

Під час фільтрації часточки домішок затримуються у каналах та порах фільтруючого матеріалу, які мають прохідний переріз менший, ніж розмір часточки. Крім того, фільтрації сприяють і сили адгезії, тобто прилипання часточок домішок до гранул фільтруючого матеріалу.

Із часом фільтруючий матеріал забивається часточками домішок настільки, що помітно зменшується прохідний переріз каналів та отворів фільтра, продуктивність установки різко знижується. Тому періодично обов'язково потрібно замінити фільтроматеріал або його регенерувати.

Регенерація здійснюється зворотним пропусканням чистої води, обробкою хімічними реагентами тощо.

На рис. 3.7 представлена схема каркасно-насіпного фільтра, у якому стічна вода рівномірно розподіляється перерізом фільтра через отвори колектора. Низхідний потік стічної рідини проходить через фільтрувальні шари та виводиться із споруди. Регенерацію такого фільтра зазвичай здійснюють продуванням стиснутим повітрям із наступним зворотним промиванням чистою водою.

Швидкість фільтрування становить 0,0014 – 0,002 м/с для стічної води після відстійників; для стоків, які поступають після біологічного очищення – не більше 0,0028 м/с.

### 3.5. Мулові майданчики

Для часткового видалення вологи із осадів, затриманих у відстійниках, аеротенках, метантенках тощо застосовують *мулові майданчики*. Осад на них підсушується до вологості близько 75 %, внаслідок чого його об'єм зменшується в декілька разів.

Використовують мулові майданчики на природній основі, природній основі з дренажем, на штучному асфальто-бетонному покритті з дренажем, майданчики-ущільнювачі тощо.

На майданчиках повинні бути передбачені дороги для автотранспорту та засобів механізації, які забезпечують механізоване прибирання, завантаження та транспортування зневодненого осаду.

Майданчики складаються із ділянок землі (карт), які оточені з усіх боків земляними насипами. Вологим осадом періодично наповнюють карти шаром

0,2 – 0,3 м. Зневоднення осадів відбувається шляхом випаровування та фільтрації крізь ґрунт.

При проектуванні мулових майданчиків слід приймати: робочу глибину карт – 0,7 – 1 м; висоту огорожувальних насипів – на 0,3 м вище робочого рівня; ширину насипів у верхній частині – не менше 0,7 м; кількість карт – не

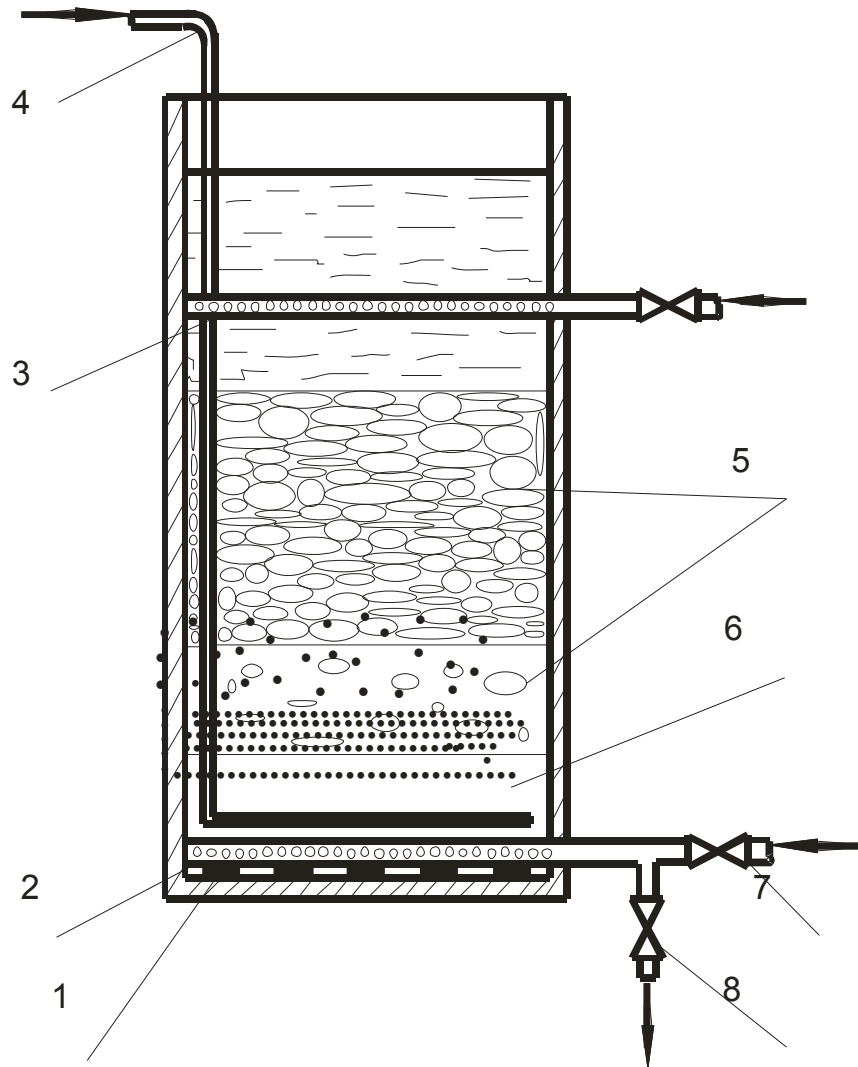


Рис. 3.7. Каркасно-насіпний фільтр: 1 – підтримуючий шар; 2 – перфороване дно; 3 – колектор; 4 – трубопровід для подачі стиснутого повітря; 5 – шар гравію; 6 – шар піску; 7 – вентиль для подачі води на регенерацію фільтра; 8 – трубопровід для відведення очищеної води.

не менше чотирьох [13, с. 60 – 62; 14, с. 286 – 353; 15, с. 112 – 147].

### ***Питання до самоконтролю***

1. Охарактеризуйте призначення ґраток.
2. Дайте класифікацію ґраток та їх характеристики.

3. Назвіть основні типи пісковловлювачів.
4. Охарактеризуйте різні типи відстійників. Назвіть їх переваги та недоліки.
5. Загальна характеристика фільтрів для доочищення стічних вод.
6. Призначення мулових майданчиків.

## **4. ФІЗИКО-ХІМІЧНЕ ОЧИЩЕННЯ ВИРОБНИЧИХ СТІЧНИХ ВОД**

### **4.1. Очищення стічних вод на флотаційних установках**

*Флотація* застосовується для вилучення із стічних вод нерозчинених домішок, які важко відділяються шляхом відстоювання (жири, масла, нафтопродукти тощо).

Найчастіше такий спосіб очищення стічних вод харчових підприємств застосовується для вилучення із них жировмісних компонентів, а також нафтовмісних забруднюючих речовин.

Високий вміст жиру у стічній рідині деяких підприємств харчової промисловості (олієжирові, м'ясокомбінати, молокопереробні заводи) зумовлює порушення роботи очисної станції. Це пояснюється тим, що жир, прилипаючи до внутрішніх поверхонь труб, обладнання, зменшує їх пропускну здатність; швидко загниває; наявність жиру у воді значно погіршує роботу аеротенків та виводить із ладу біологічні фільтри.

Флотація відбувається шляхом прилипання часточок нерозчинених домішок до бульбашок повітря, яке подається у стічну воду, і спливанні утворених флотокомплексів на поверхню рідини. На поверхні утворюється пінний шар із значно більш високою концентрацією часточок забруднювача, який видаляється з апарату.

Найчастіше застосовують механічну, напірну, пневматичну та електрофлотацію.

На рис. 4.1 зображена пневматична флотаційна установка.

### **4.2. Коагуляційне очищення стічних вод**

Для видалення із стічних вод дрібнодисперсних, колоїдних домішок застосовують також реагентну коагуляцію із наступним відстоюванням.

*Коагуляція* представляє собою процес злипання часточок від впливом реагентів із утворенням пластівців, які потім легко видаляються із стічної рідини.

У результаті коагуляції утворюються агрегати – більш крупні (вторинні) часточки, які складаються із скупчень дрібних (первинних).

Первинні часточки у таких агрегатах з'єднані силами міжмолекулярної взаємодії безпосередньо або через прошарок навколишнього (дисперсійного) середовища. Коагуляція супроводжується прогресуючим укрупненням часточок та зменшенням їх загальної кількості в об'ємі дисперсійного середовища.

Злипання однорідних часточок називається гомокоагуляцією, а різнорідних – гетерокоагуляцією.

Коагуляція забезпечує високу ефективність затримання забруднюючих речовин – до 90 %; дає змогу вилучити сполуки, які важко або взагалі не піддаються біологічному окисненню.

Але використання цього способу обробки стічних вод вимагає значних витрат реагентів; супроводжується утворенням великої кількості осаду високої вологості, який важко утилізується.

Як реагенти застосовують *коагулянти* (солі алюмінію або заліза, їх суміші тощо) та *флокулянти* (водорозчинні органічні полімери неіоногенного, аніонного, катіонного типів, амфотерні).

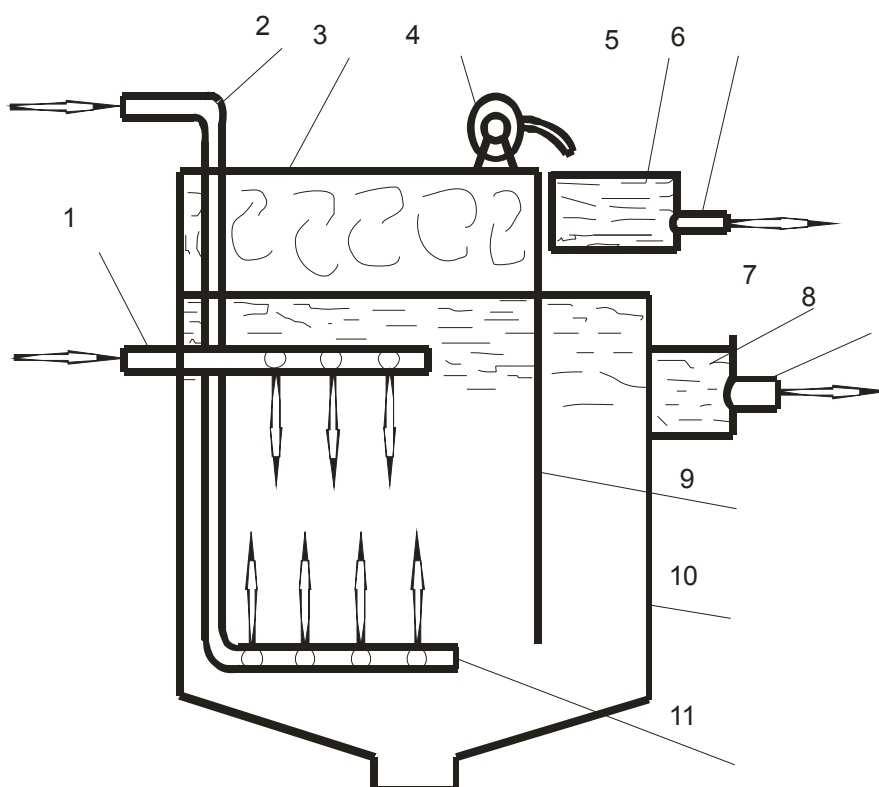
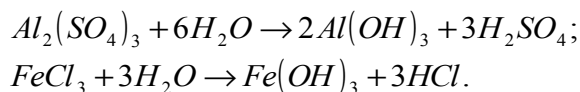


Рис. 4.1. Пневматична флотаційна установка: 1 – трубопровід для підведення стічної води; 2 – трубопровід для подачі повітря; 3 – кришка флотатора; 4 – відцентровий вентилятор; 5 – пінозбірник; 6 – трубопровід для відведення піни; 7 – прямок очищеної води; 8 – трубопровід для відведення очищеної води; 9 – вертикальна перегородка; 10 – флотатор; 11 – насадки.

При використанні таких коагулянтів як солі алюмінію та заліза в результаті реакції гідролізу утворюються малорозчинні у воді гідроксиди цих металів. Вони сорбують на пластівцеподібній поверхні завислі, дрібнодисперсні та

колоїдні речовини і за сприятливих гідродинамічних умов осідають на дні відстійника, утворюючи осад:



Утворені в процесі гідролізу кислоти слід нейтралізувати вапном.

Із метою зменшення витрат коагулянтів процес коагуляції слід здійснювати в діапазоні оптимальних величин  $pH$ . Так, значення  $pH$  при оптимальних умовах коагуляції: для  $Al(OH)_3$  – 4,5 – 7;  $Fe(OH)_2$  – 8,5 – 10,5;  $Fe(OH)_3$  – 4 – 6 та 8 – 10.

Розширенню оптимальних областей коагуляції (за температурою та  $pH$ ) сприяють флокулянти, які підвищують міцність утворених пластівців, зменшують витрати коагулянтів, підвищують надійність роботи та пропускну здатність очисних споруд.

При розчиненні у стічних водах флокулянти можуть перебувати в неіонізованому та іонізованому станах. Залежно від складу полярних груп флокулянти бувають:

- неіоногенні – це полімери, які містять неіоногенні групи (крохмаль, оксиетилцелюлоза, полівініловий спирт);
- аніонні – полімери з аніонними групами (натрій поліакрилат, натрій альгінат, лігносульфонати);
- катіонні – полімери, які містять катіонні групи (поліетиленімін, полімери вінілпіридину);
- амфотерні – полімери, які мають у своєму складі одночасно аніонні та катіонні групи (поліакриламід, білки).

Вид реагенту та його дозу слід вибирати залежно від характеру забрудненості стічних вод, необхідного ступеню їх видалення, місцевих умов тощо.

Для стічних вод деяких галузей промисловості та для міських стічних вод дози реагентів допускається приймати за табл. 4.1.

*Електрокоагуляція* полягає в пропусканні постійного електричного струму через стічну воду, при цьому застосовують металеві розчинні електроди. У воді іони металу піддаються гідролізу з утворенням гідроокису. Пластівці гідроокису сорбують часточки забруднень (рис. 4.2).

Процесу коагуляції є супутньою також флотація, оскільки в результаті електролізу води на електродах виділяються газоподібні кисень та водень.

Таблиця 4.1

**Дози реагентів для коагуляційного очищення стічних вод**

Стічні води	речовини Забруднюючі	Вміст забруднюючих речовин, мг/л	Реагенти	Доза реагенту, мг/л			
				солі алюмінію	солі заліза	аніонний флокулянт	катіонний флокулянт
1	2	3	4	5	6	7	8

Нафто-переробних заводів	Нафто-продукти	До 100	Солі	50 – 75	–	0,5	2,5 – 5
		100 – 200	алюмінію	75 – 100	–	1,0	5 – 10
		200 – 300	разом із аніонним флокулянт-ом або без нього; катионні флокулянти	100 – 150	–	1,5	10 – 15
Харчової промисловості	Емульсії масел та жирів	100	Солі	150	150	–	–
		300	алюмінію	300	300	0,5 – 3	–
		500	або заліза	500	500	0,5 – 3	–
		1000	разом із аніонним флокулянт-ом або без нього	700	700	0,5 – 3	–
Паперових і картонних фабрик	Суспензія целюлози	До 1 000	Солі	50 – 300	–	0,5 – 2	–
			алюмінію разом із аніонним флокулянт-ом Катионний флокулянт	–	–	–	2,5 – 20
Міські та побутові води	БСК <sub>повн.</sub>	До 300	Солі	30 – 40*	–	0,5 – 1,0	–
			алюмінію разом із аніонним флокулянт-ом або без нього	40 – 50*	–	–	–
	Завислі речовини	До 350	Солі заліза	–	40 – 50**	0,5 – 1,0	–
			разом із аніонним флокулянт-ом або без нього Катионний флокулянт	–	–	100 – 150*** 50 – 70***	0,5 – 1,0
				–	–	–	10 – 20

*Примітка.* Дози реагентів наведені за товарним продуктом, флокулянтів – за активним полімером, за винятком: \* – за  $Al_2O_3$ , \*\* – за  $FeSO_4$ , \*\*\* – за  $FeCl_3$ .

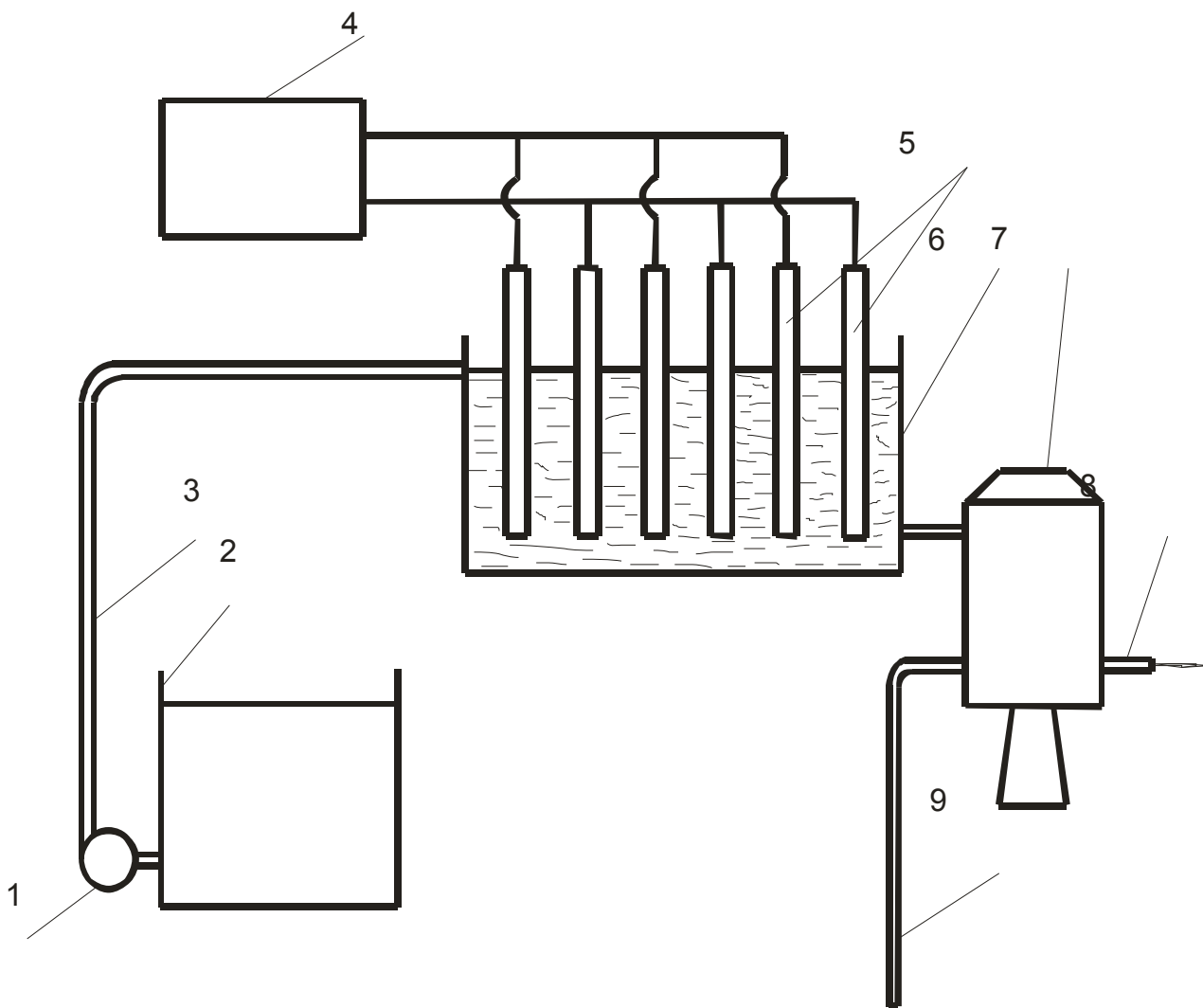


Рис. 4.2. Електрокоагуляційна установка: 1 – насос; 2 – збірник стічної води; 3 – трубопровід для подачі стічної води; 4 – вирівнювач струму; 5 – електроди; 6 – проточний електролізер; 7 – центрифуга; 8 – трубопровід для відведення забруднюючих компонентів; 9 – трубопровід для відведення очищеної води.

[11, с. 68 – 77].

### *Питання до самоконтролю*

1. У чому полягає суть процесу флотації? В яких випадках вона застосовується?
2. Назвіть основні способи флотації. Їх переваги та недоліки.
3. Основні етапи розрахунку флотатора.
4. У чому полягають особливості реагентної коагуляції?
5. Механізм електрокоагуляції. Які особливості розрахунку електрокоагуляторів?

### **5. ХІМІЧНЕ ОЧИЩЕННЯ ВИРОБНИЧИХ СТІЧНИХ ВОД**

## 5.1. Нейтралізація стічних вод

Стічні води багатьох підприємств харчової промисловості (молокопереробні, спиртові, дріжджові, виноробні тощо) мають показник *pH* нижче 6,5 або вище 8,5, тому скидати такі води у каналізацію та на очисні споруди без попередньої нейтралізації не дозволяється.

Нейтралізацію слід здійснювати наступними способами:

– *безпосереднє змішування* кислих та лужних стічних вод. Для перемішування таких вод використовують резервуари-усереднювачі для взаємної нейтралізації стічних вод;

– *фільтрування* через нейтралізуючі компоненти, яке здійснюється шляхом пропускання рідини через фільтруючі матеріали (вапняк, доломіт тощо). Цей спосіб є простим у застосуванні, дешевим, достатньо ефективним;

– додавання необхідного *реагенту*.

Дозу реагентів слід визначати із умови повної нейтралізації кислот чи лугів, що містяться у стічних водах; надлишок реагенту повинен становити 10 % розрахункової кількості.

Як реагенти для нейтралізації кислих стічних вод слід застосовувати вапно, крейду, магнезит, відходи лугів тощо. Найчастіше застосовують кальцій гідроксид (гашене вапно) у вигляді 5 % за активним кальцій оксидом вапнякового молока або відходи лугів (натрій гідроксид чи калій гідроксид).

Для нейтралізації лужних вод застосовують технічну сульфатну кислоту.

Реагент додають до стічних вод у вигляді розчину (спосіб мокрого дозування) або у вигляді сухого порошку (спосіб сухого дозування). Контакт реагенту із стічною водою, необхідний для завершення реакції, здійснюється у спеціальних резервуарах-нейтралізаторах, розрахованих на 10 – 15-хвилинне перебування в них рідини. Для виділення осаду, що утворюється у процесі реакції нейтралізації, використовують відстійники, розраховані на 2-годинне перебування стічної води в них.

## 5.2. Дезинфекція стічних вод

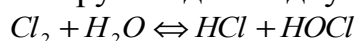
Під час очищення у стічних водах значно зменшується вміст хвороботворних мікроорганізмів, але повного знезараження досягти не вдається. Тому очищені води перед скиданням у природні водойми слід обов'язково дезінфікувати.

Знезараження може здійснюватись наступними способами: хлорування, озонування, термічна обробка, електроліз, ультрафіолетове опромінювання тощо.

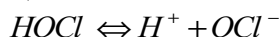
Більшість способів дезінфекції, забезпечуючи досить високий ступінь знезараження рідини, є енерговитратними, передбачають використання складного в експлуатації та дорогівартісного обладнання.

Тому найпоширенішим способом знищення хвороботворних бактерій у стічних водах було і є їх *хлорування* водним розчином газоподібного хлору та хлорного вапна.

Взаємодія газоподібного хлору з водою відбувається за рівнянням:



Гіпохлоритна кислота дисоціює:



Утворені гіпохлоритні іони  $\text{OCl}^-$  разом із недисоційованими молекулами гіпохлоритної кислоти пригнічують ферментні системи мікроорганізмів і тому мають бактерицидні властивості.

При дезинфекції стічних вод хлорним вапном реакція відбувається наступним чином:



Далі процес відбувається так, як і під час дезинфекції газоподібним хлором.

Широкому розповсюдженню хлорування для знезараження стічних вод сприяє його досить висока ефективність, помірна вартість, простота обладнання тощо [15, с. 287 – 292].

### ***Питання до самоконтролю***

1. Назвіть найбільш розповсюджені способи нейтралізації стічних вод.
2. Які реагенти застосовують для нейтралізації та способи їх введення?
3. Назвіть основні способи дезинфекції стічних вод. Які їх переваги та недоліки?
4. Що зумовлює бактерицидну активність сполук хлору?
5. Які є переваги і недоліки хлорування стічних вод?
6. Залежно від чого підбирається розрахункова доза активного хлору?

## **6. БІОЛОГІЧНЕ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД У ПРИРОДНИХ УМОВАХ**

Біологічне очищення стічних вод харчових підприємств здійснюється у природних та штучних умовах. Біологічне очищення у природних умовах відбувається на полях фільтрації, біологічних ставках, землеробних полях зрошення.

Підприємства харчової промисловості, а особливо цукрові заводи, спирткомбінати, крохмале-патокові підприємства, широко застосовують такий спосіб очищення стічної рідини.

Найрозповсюдженішим є біоочищення на полях фільтрації. Так, на цукро заводах на поля фільтрації поступають 84 % стічних вод, у біологічні ставки – 6 %, на землеробні поля зрошення – 3 %. Для обробки решти стічних вод застосовуються інші способи очищення.

*Поля фільтрації* представляють собою ділянки землі, придатні для біологічного очищення стоків шляхом їх фільтрації в ґрунт. При цьому відбувається окиснення органічних забруднень стічних вод різноманітними організмами ґрунту. Очищення йде завдяки життєдіяльності ґрунтових бактерій, грибів, водоростей, найпростіших, червів, членистоногих; основна роль належить бактеріям та ґрунтовим грибам.

Ці організми отримують поживні речовини із стічних вод, а необхідний для їх окиснення кисень – з атмосфери. Черви та членистоногі розпушують верхній шар ґрунту і цим сприяють додатковому проникненню кисню на глибину до 20

– 30 см, тому найбільш інтенсивна мінералізація органічних речовин відбувається у поверхневих шарах.

Мікроорганізми, що потрапляють у ґрунт разом із стічними водами частково гинуть, а частково пристосовуються до ґрунтових умов і разом із ґрунтовими бактеріями беруть участь у процесах розкладання органічних речовин.

Для забезпечення нормальної роботи полів фільтрації, на них скидають воду, попередньо освітлену, тобто значною мірою звільнену від завислих часточок.

Стічна вода, що подається на поля фільтрації, поступає на окремі ділянки (карти) системою розвідних каналів. Збирання та відведення профільтрованої очищеної води здійснюється за допомогою дренажу. Дренаж може бути відкритим – у вигляді канав по периметру карт, або закритим – складатись із дренажних труб, укладених по карті на глибині 1,5 – 2 м, і канав.

Поля фільтрації розташовують із підвітряного боку відносно житлових масивів на відстані, що залежить від витрат стічної рідини: при кількості стічних вод до 5 000 м<sup>3</sup>/добу цю відстань приймають 300 м; від 5 000 до 50 000 м<sup>3</sup>/добу – 500 м; більше 50 000 м<sup>3</sup>/добу – 1 000 м.

Поля фільтрації є простими в обслуговуванні; у весняно-літній період забезпечують певний ступінь очищення за умови розташування на ділянках із сприятливими гідрогеологічними та кліматичними умовами.

Але використання таких споруд для очищення має ряд суттєвих недоліків:

- поля фільтрації потребують значних площ землі, яка має бути виведена із сільськогосподарського використання. Так, цукрозаводу потужністю 3 000 т буряка на добу необхідно 70 – 80 га земляних площ під поля фільтрації;

- ефективність очищення та умови експлуатації дуже залежать від гідрогеологічних, кліматичних умов та пори року. Так, значно погіршується якість очищення в зимовий період; найбільш придатними для облаштування полів фільтрації є переважно піщані та супіщані ґрунти, інші ґрунти (торф'яні, глинисті тощо) до цього не придатні ;

- при тривалій експлуатації ґрунт частково або повністю втрачає свої фільтрувальні властивості і поля фільтрації фактично перетворюються на ставки-накопичувачі;

- використання таких споруд зумовлює забруднення атмосфери (особливо речовинами із неприємним запахом), ґрунтових вод, відкритих водоймищ тощо;

- втрачається значна кількість органічних та мінеральних речовин стічних вод.

*Біологічні ставки* – це штучні або природні неглибокі водойми, у яких відбувається самоочищення стічної води під впливом біоценозу організмів (бактерій, фіто- та зоопланктону).

Застосовують непроточні та проточні біоставки. Непроточний біоставок періодично наповнюється стічною водою та звільняється після її очищення. У проточному біоставку відбувається безперервний повільний рух стічної рідини від місця її впуску до місця випуску.

Очищення стічної рідини може відбуватись в аеробних та анаеробних умовах.

Анаеробні ставки мають глибину 2,5 – 3 м; навантаження за БСК становить 300 – 350 кг/(га·добу).

Аеробні біологічні ставки проектують із природною або штучною аерацією. Допускається очищати стічні води із БСК<sub>повн</sub> не більше 200 мг О<sub>2</sub>/л у ставках із природною аерацією та із БСК<sub>повн</sub> не більше 500 мг О<sub>2</sub>/л у ставках із штучною аерацією.

Перед ставками встановлюють ґратки із прорізами не більше 16 мм та відстійники, розраховані на не менш, ніж 30-тихвилинне відстоювання. Після ставків із штучною аерацією здійснюють відстоювання очищеної води протягом 2 – 2,5 год.

Біоставки розташовують на нефільтруючих або слабофільтруючих ґрунтах. Ставки облаштовують із підвітряного боку відносно житлової забудови для переважаючих вітрів теплого періоду року. Напрямок руху води у ставку повинен бути перпендикулярним цьому напрямку вітру.

Робота біологічних ставків, як і полів фільтрації, залежить від кліматичних умов, пори року тощо.

З метою покращання очищення стічної води (підвищення ефективності очищення, зменшення вмісту біогенних елементів – азоту та фосфору) у біологічних ставках використовують вищу водну рослинність – очерет, рогіз, комиш тощо. Такі рослини розмішують в останній секції ставка.

Також у біоставки вносять штучно вирощені зелені водорості (*Chlorella*, *Scenedesmus* тощо) у вигляді пасти або суспензії. Засівання здійснюється в одну карту у квітні – травні за температури не нижче 15 °С. Через 1 – 2 тижні спостерігається масовий розвиток водоростей і колір води стає інтенсивно зеленим. Після цього протягом 2 – 3 днів здійснюють розсів водоростей в інші карти. Через декілька тижнів стічні води очищаються до ХСК 7 – 30 мг О<sub>2</sub>/л.

*Землеробні поля зрошення* – це спеціалізовані комплексні водогосподарчі об'єкти, призначені для знешкодження стічних вод у процесі їх сільськогосподарського використання.

На полях зрошення, крім організмів, що містяться в ґрунті полів фільтрації, до складу біоценозу входять також вищі рослини. Вони сприяють видаленню біогенних елементів; їх корені покращують структуру ґрунту; деякі рослини сприяють розвитку специфічної мікрофлори, що значно підвищує родючість ґрунтів.

Зрошення стічними водами має дві мети: очищення стічних вод та підвищення родючості ґрунтів. При зрошенні стічними водами сільськогосподарських угідь у ґрунті відбувається руйнація органічних речовин, перетворення їх у сполуки, доступні для живлення рослин.

Існує класифікація стічних вод за цінністю їх для вирощування сільськогосподарських культур.

До *першої групи* належать стічні води крохмале-патокових, маслосиробних заводів, м'ясокомбінатів, які характеризуються наступним складом елементів живлення, мг/л: азот – 100, фосфор – 30, калій – 70.

До другої групи належать стічні води цукрових, дріжджових, консервних заводів тощо, які містять, мг/л: азот – 50 – 100, фосфор – 10 – 30, калій 30 – 70.

Внесення таких стічних вод дозволить зекономити азотні, фосфатні, калійні добрива.

До стічної рідини, що використовується на землеробних полях зрошення, висувається ряд вимог: вона не повинна містити в надлишковій кількості такі шкідливі чи баластні для сільськогосподарських рослин речовини, як натрій, хлор, сульфатний ангідрид тощо; повинна мати слабокислу, нейтральну чи слаболужну реакцію середовища; за високого вмісту завислих домішок (наприклад, стічні води цукрозаводів), необхідно її попередньо механічно очистити на ґратках, пісковловлювачах, відстійниках.

Стічні води різних підприємств харчової промисловості залежно від кількісних та якісних показників використовують для зрошення різних культур та різних типів ґрунтів. Так, наприклад, стічні води цукрозаводів краще придатні для зрошення чорноземів, сірих лісових ґрунтів, на яких вирощуються кормові, зернові культури та дерева за умови обов'язкового контролю за концентрацією та складом хімічних речовин у них [14, с. 391 – 409].

### ***Питання до самоконтролю***

1. Назвіть найбільш розповсюджені способи біологічного очищення стічних вод у природних умовах.
2. У чому полягає суть процесу очищення на полях фільтрації? Які живі організми беруть участь у цьому?
3. Яким чином інтенсифікують очищення у біологічних ставках?
4. Охарактеризуйте процес очищення на землеробних полях зрошення.
5. Назвіть основні вимоги до стічної рідини, яка використовується для зрошення.
6. Охарактеризуйте переваги та недоліки очищення стічних вод у природних умовах.

## **7. БІОЛОГІЧНЕ ОЧИЩЕННЯ ВИРОБНИЧИХ СТІЧНИХ ВОД У ШТУЧНИХ УМОВАХ**

### **7.1. Придатність стічних вод до біологічного очищення**

Виробничі стічні води, які утворюються на підприємствах різного профілю, характеризуються неоднорідністю якісного та кількісного складу. Вони містять неорганічні та органічні речовини з різною швидкістю окиснення, які перебувають у розчиненому, колоїдному чи завислому стані. Вміст таких речовин у стічних водах різних підприємств значно коливається. Все це зумовлює необхідність диференційованого підходу до вибору способу їх обробки.

Для визначення придатності стічних вод до біологічного очищення у штучних умовах враховують співвідношення між вмістом органічних та неорганічних компонентів; концентрацію забруднюючих речовин за хімічним споживанням кисню (ХСК); наявність необхідної для нормальної

життєдіяльності організмів активного мулу кількості біогенних елементів; показник  $pH$  середовища тощо.

*Придатність стічних вод до біологічного очищення:*

1. Біологічне очищення можливе за співвідношення між  $BCK_{повн}$  до ХСК не менше 0,75.

$$\frac{BCK_{повн}}{ХСК} \geq 0,75 \quad (7.1)$$

Недотримання цього співвідношення свідчить про суттєву нестачу у стічних водах органічних компонентів і переважання неорганічних речовин, які не можуть забезпечити метаболічні процеси організмів активного мулу.

2. Якщо ХСК стічних вод становить менше 2 000 мг  $O_2$ /л – застосовують аеробне біологічне очищення; вищий показник зумовлює необхідність застосування анаеробних технологій.

3. Перевіряють вміст біогенних елементів (азоту та фосфору), які необхідні для організмів активного мулу.

В аеробних умовах найоптимальніше співвідношення між загальним вмістом забруднюючих речовин за  $BCK_{повн}$  та концентрацією азоту і фосфору повинне бути в межах:

$$BCK_{повн} : N : P = 100 : 5 : 1 \quad (7.2)$$

В анаеробних умовах:

$$BCK_{повн} : N : P = (300 \div 500) : 7 : 1 \quad (7.3)$$

Крім основних біогенних елементів, для нормального розвитку організмів необхідні також інші компоненти, що зазвичай присутні у стічних водах харчових підприємств у достатній кількості.

Якщо вміст біогенних елементів суттєво відрізняється від оптимального, для біогенного збагачення стічних вод застосовують суперфосфат, ортофосфатну кислоту, амоній сульфат, карбамід, аміачну селітру, діамонійфосфат технічний тощо.

4. Важливе значення для функціонування очисних систем має  $pH$  середовища. Цей показник повинен бути в межах 6,5 – 8,5.

Іноді системи біологічного очищення можуть нормально працювати і при дещо вищих чи нижчих значеннях  $pH$ . Адже в біореакторі утворений при конкретних технологічних параметрах біоценоз здатен у певних межах змінювати  $pH$  та й сам адаптуватись до існування при певному неоптимальному значенні  $pH$ .

Надзвичайно несприятливим фактором є різке коливання  $pH$  стічної рідини, що потрапляє в реактор. Отже, для нормального очищення важливе не стільки значення  $pH$ , як стабільність цього показника протягом всього процесу.

5. Стічні води не повинні містити токсичних, шкідливих для життєдіяльності організмів активного мулу компонентів, які можуть сприяти пригніченню їх метаболізму або повній загибелі.

## 7.2. Очищення стічних вод у біофільтрах

*Біофільтри* – це споруди, в яких очищення стічних вод здійснюється шляхом фільтрації їх через шар крупнозернистого матеріалу, покритого біологічною плівкою аеробних організмів. Забруднюючі речовини стічної води сорбуються біоплівкою та під впливом організмів, із яких вона складається, піддаються окисненню (рис. 7.1).

Процес окиснення відбувається у присутності повітря, яке природним або штучним шляхом подається у споруду. Для очищення невеликої кількості низькоконцентрованих стічних вод застосовують біофільтри з природною подачею повітря; при більших об'ємах та високій концентрації забруднень застосовують штучну подачу повітря.

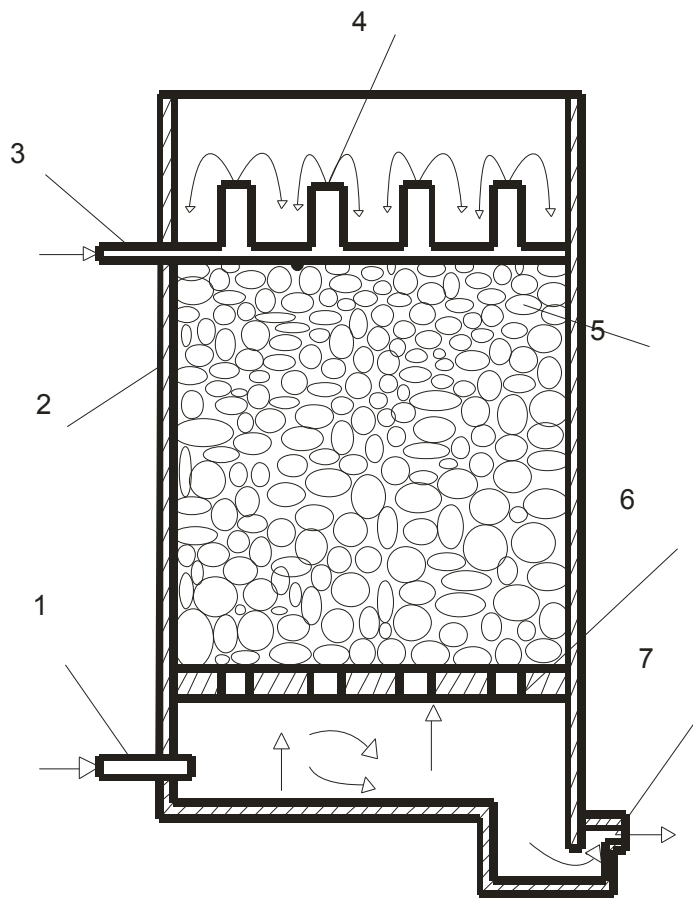


Рис. 7.1. Біологічний фільтр: 1 – трубопровід для подачі повітря; 2 – біофільтр; 3 – трубопровід для підведення стічної води; 4 – пристрої для розподілу стічної води; 5 – завантаження; 6 – ґратки для підтримання завантаження; 7 – трубопровід для відведення очищеної води.

Крупнозернистий матеріал, на поверхні якого розташована біоплівка називається *завантаженням*. Як фільтруючий матеріал для біофільтрів використовують щебінь, гальку, керамзит, пластмасові елементи тощо (рис. 7.2).

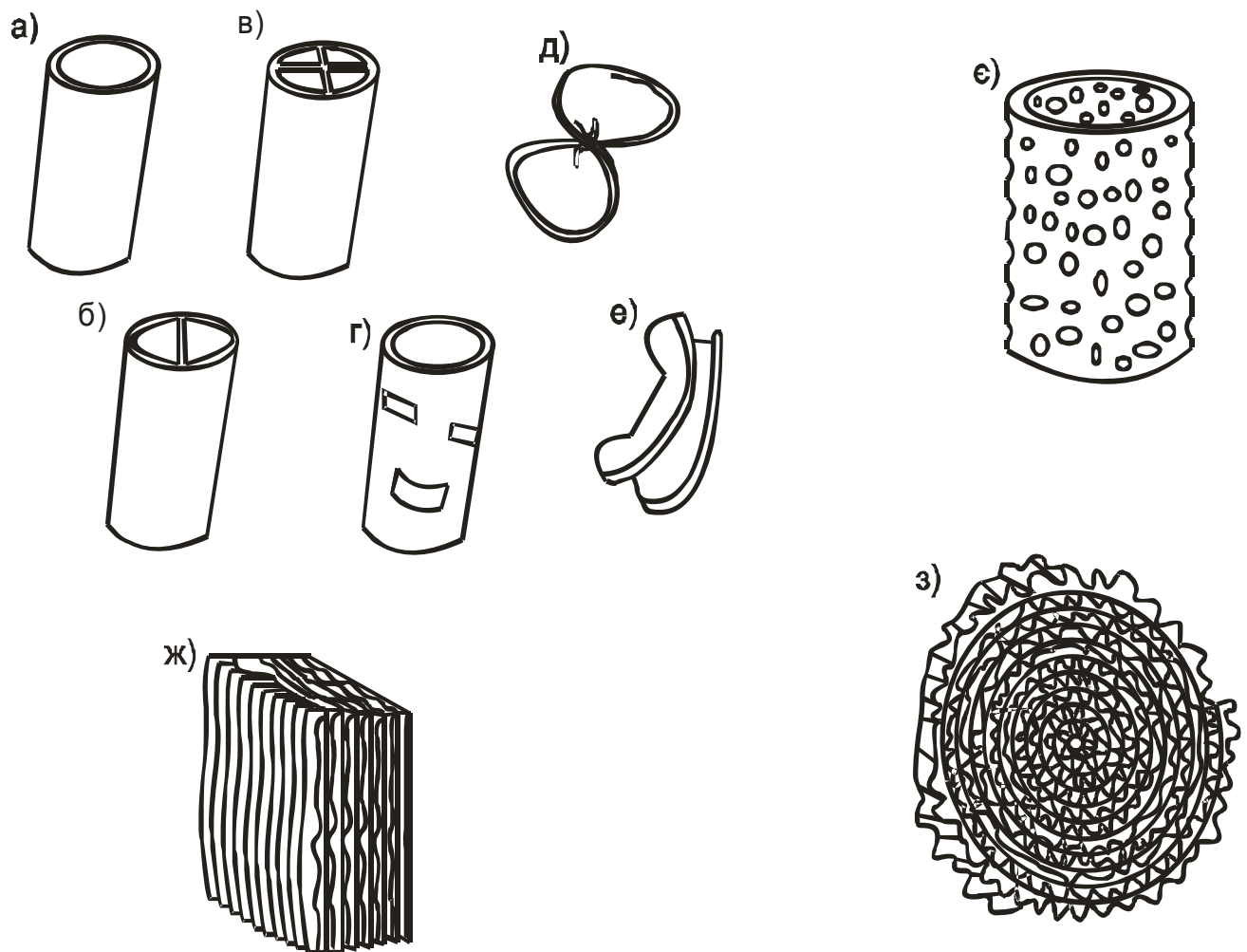


Рис. 7.2. Типи завантажень біофільтра: а – кільця Рашига; б – кільця з перетинкою; в – кільця із хрестоподібною перетинкою; г – кільця Палля; д – сідла Берля; е – сідла “Інталокс”; е – порожнисті циліндри з отворами; ж – жорстке блокове завантаження; з – м’яке завантаження.

Завантаження біофільтрів за висотою повинно бути виконано із матеріалів однакового розміру, із облаштуванням нижнього підтримуючого шару висотою 0,2 м, розміром 70 – 100 мм.

Біофільтри проектують у вигляді резервуарів із суцільними стінками та подвійним дном: нижнім суцільним, а верхнім – з отворами для підтримання завантаження. При цьому приймають: висоту простору між суцільним дном та дном з отворами – не менше 0,6 м; нахил нижнього дна до збірних лотків – не менше 0,01; повздовжній нахил збірних лотків – не менше 0,005.

Існують біофільтри періодичної та безперервної дії. Перші внаслідок малої пропускної здатності та високої вартості практично не застосовують.

Біофільтри безперервної дії поділяються на крапельні та високонавантажені.

### 7.2.1. Крапельні біофільтри

*Крапельні біофільтри* іноді називають зрошувальними або перколяторними. Поверхню крапельного біофільтру зрошують зверху рівномірно через невеликі проміжки часу; при цьому вода подається у вигляді крапель чи струменів (крапельні або зрошувальні) або у вигляді тонкого шару води (перколяторні).

Зазвичай, у крапельні біофільтри повітря поступає природним шляхом – зверху через відкриту поверхню біофільтру та знизу через дренаж. Природну аерацію здійснюють через вікна, розташовані рівномірно по периметру біофільтрів у межах простору між суцільним дном та дном з отворами. Площа вікон повинна становити 1 – 5 % площі біофільтра.

Такі біофільтри мають низькі навантаження (не більше 1 – 2 м<sup>3</sup> стічної води на 1 м<sup>2</sup> завантаженого матеріалу на добу), а також менший порівняно із високонавантаженими біофільтрами розмір фракцій завантаження (20 – 40 мм).

Крапельні біофільтри рекомендується проектувати на пропускну здатність не більше 1 000 м<sup>3</sup>/добу. Вони використовуються для повного біологічного очищення стічної рідини до 15 мг О<sub>2</sub>/л за БСК<sub>20</sub>.

### 7.2.2. Високонавантажені біофільтри

*Високонавантажені біофільтри* відрізняються від крапельних значно більшим навантаженням стічних вод. Вони мають характерні конструктивні та експлуатаційні ознаки.

*Конструктивні відмінності* високонавантажених біофільтрів:

1. Збільшення крупності елементів завантаженого матеріалу (40 – 70 мм за всією висотою завантаження).

2. Використання штучної подачі повітря, яке вводиться вентиляторами у простір між суцільним дном та дном з отворами під тиском 980 Па. Біофільтри із штучною подачею повітря називають *аерофільтрами*.

3. Збільшення (за необхідності) висоти шару фільтруючого завантаження.

*Експлуатаційні особливості* високонавантажених біофільтрів.

1. Обов'язкове зрошення всієї поверхні біофільтра стічною водою.

2. Збільшення навантаження стічних вод на 1 м<sup>2</sup> поверхні з метою створення природних умов для самовільного промивання фільтрів. Для таких біофільтрів навантаження становить 10 – 30 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·добу), тобто в 10 – 15 разів більше, ніж для крапельних.

3. Розбавлення (за необхідності) стічних вод очищеною рідиною, тобто введення рециркуляції.

Високонавантажені біофільтри класифікують за декількома ознаками.

1. *За принципом дії* – ті, що працюють з повним або неповним біоочищенням.

2. *За способом подачі повітря* – з природною та штучною подачею. Якщо висота завантаження в біофільтрах невелика (1,5 – 2 м), то штучна аерація необов'язкова.

3. *За режимом роботи* – з рециркуляцією та без рециркуляції. Якщо концентрація забруднень стічних вод незначна (БСК<sub>повн</sub> не вище 300 мг О<sub>2</sub>/л) та витрати води достатні для самовільного промивання фільтра, то рециркуляція

стічної рідини необов'язкова. При вищих концентраціях забруднюючих речовин рециркуляція бажана, а в деяких випадках обов'язкова. Необхідність рециркуляції визначається розрахунком.

4. *За кількістю ступенів* – одно- та двоступеневі. Двоступеневу роботу біофільтра передбачають тоді, коли необхідне повне біологічне очищення і біофільтри I ступеню не можна запроектувати необхідної висоти. У цьому випадку в біофільтрі I ступеню буде здійснюватись неповне очищення стічної води, а в біофільтрі II ступеню – доочищення.

5. *За висотою* – низькі (до 2 м) та високі (від 2 м і вище).

6. *За конструктивними особливостями завантаження* – з об'ємним завантаженням (щебінь, керамзит, гравій) та площинним (металеві сітки, пластмасові плівки, синтетичні тканини, кільця з керамічних та пластмасових елементів тощо).

Іноді застосовують також *дискові біофільтри* (рис. 7.3). На обертальних дисках, занурених у стічну воду, утворюється біоплівка, організми якої здійснюють окиснення сорбованих на ній забруднюючих речовин. Стічна вода подається у ємність із напівкруглим дном через впускний отвір, а відводиться із протилежного боку.

Диски мають діаметр 2 – 3 м і обертаються із швидкістю 1 – 40 об/хв. Відстань між дисками 15 – 20 мм. Такі споруди прості та надійні в експлуатації, потребують незначних витрат енергії для насичення води киснем.

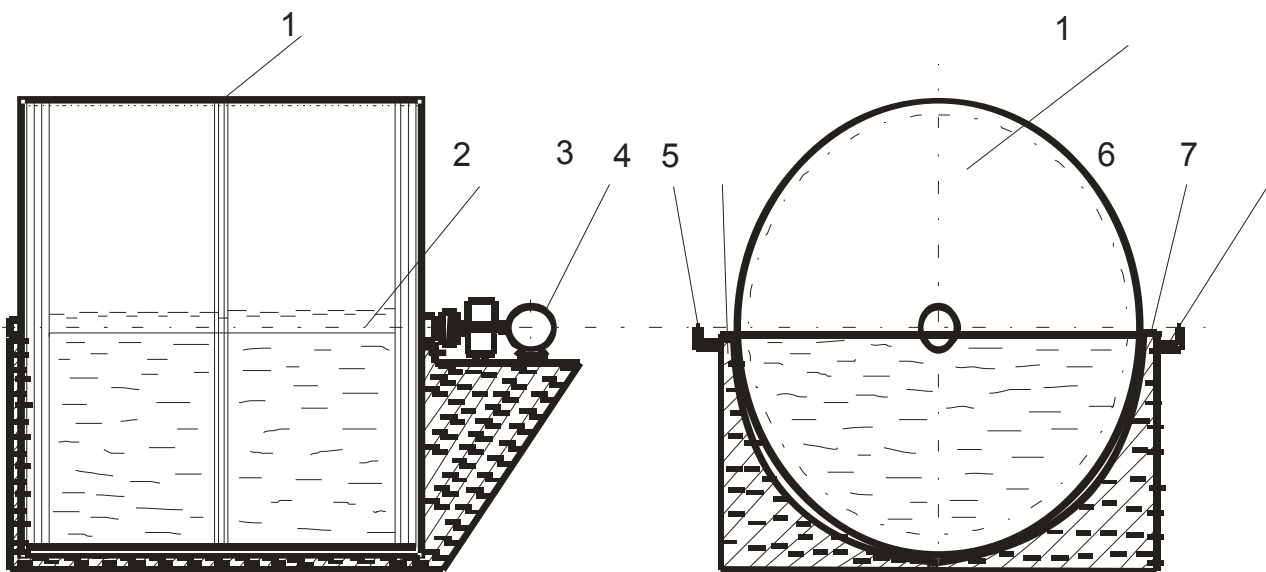


Рис. 7.3. Дисковий біофільтр: 1 – дисковий блок із пластин; 2 – вал; 3 – привід дискового блоку; 4, 7 – підвідний і відвідний лотки; 5 – ванна; 6 – водозлив.

### 7.3. Очищення стічних вод в аеротенках

*Аеротенк* – це резервуар, в якому відбувається процес аеробного окиснення забруднюючих речовин стічних вод під впливом організмів

активного мулу. Для нормальної життєдіяльності організмів-мініралізаторів та для підтримання мулу у завислому стані в аеротенк постійно подається повітря.

Активний мул представляє собою біоценоз організмів, здатних сорбувати на своїй поверхні та окиснювати у присутності повітря органічні речовини стічної рідини. Активно працюючий мул утворює компактні пластівці середнього розміру.

Процес біологічного очищення стічних вод в аеротенках поділяється на три стадії.

На першій відбувається змішування стічної води з активним мулом, адсорбція забруднень та окиснення легкоокиснювальних речовин. Це супроводжується зниженням забруднень за БСК на 40 – 80 % із повним споживанням розчиненого кисню. Тривалість стадії зазвичай 0,5 – 2 години.

Друга стадія включає окиснення повільноокиснювальних речовин, регенерацію активного мулу шляхом переробки сорбованих на ньому органічних забруднюючих речовин. Швидкість споживання кисню на цій стадії значно нижча, ніж на першій.

Третя стадія передбачає здійснення процесу нітрифікації амонійних солей. Швидкість споживання кисню знову зростає.

Термін “активний” означає, що біомаса активного мулу:

1. Представляє собою мікрофлору, що містить усі ферментні системи, необхідні для деградації забруднень.

2. Має поверхню із високою адсорбційною здатністю.

3. Здатна утворювати стабільні флокули, які легко осаджуються при відстоюванні.

Робота аеротенка оцінюється за глибиною очищення від забруднень, виходом надлишкового активного мулу, витратами повітря чи енерговитратами на аерування, часом аерування, концентрацією мулу тощо.

Класифікують аеротенки за наступними ознаками:

1. *За структурою потоку* – аеротенки-витискувачі, аеротенки-змішувачі та аеротенки із розосередженим впуском стічної рідини (аеротенки проміжного типу).

2. *За способом регенерації* активного мулу – аеротенки з окремо розташованими регенераторами та аеротенки, сполучені з регенераторами.

3. *За навантаженням* на активний мул – високонавантажені, звичайні та низьконавантажені. Навантаження визначається як відношення маси поданих у реактор за добу забруднюючих речовин до абсолютно сухої біомаси активного мулу аеротенку.

До високонавантажених аеробних систем належать ті, у яких навантаження  $N$  більше 0,5 кг БСК на добу на 1 кг мулу; у звичайних  $0,2 < N < 0,5$ , кг/(кг добу); у низьконавантажених  $0,07 < N < 0,2$ , кг/(кг добу).

4. *За кількістю ступенів* – одно-, дво- та багатоступеневі.

5. *За конструктивними ознаками* – прямокутні, круглі, комбіновані, протиточні тощо.

6. *За типом систем аерації* – з пневматичною, механічною, комбінованою.

В аеротенках-витискувачах (рис. 7.4, а) вода та мул подаються на початок споруди, а суміш відводиться з протилежного боку. Швидкість споживання кисню та навантаження на активний мул максимальні на початку ємності та мінімальні наприкінці. Якщо повітря подається рівномірно всією довжиною аеротенка, то на початку процесу може спостерігатись глибокий дефіцит кисню. Умови розвитку популяції мікроорганізмів у цій системі оптимальні лише в якійсь середній частині споруди, де дотримується оптимальне співвідношення між рівнем живлення та наявністю розчиненого кисню.

Такі аеротенки чутливі до залпових скидів стічної води. Типові аеротенки-витискувачі рекомендуються для очищення стічної рідини із БСК<sub>повн</sub> не більше 500 мг О<sub>2</sub>/л. Оскільки на підприємствах харчової промисловості забрудненість стічних вод, як правило, вища, такі очисні споруди використовують на другому ступені обробки рідини.

Стічна вода та мул в аеротенках-змішувачах (рис. 7.4, б) підводяться та відводяться рівномірно вздовж довгих сторін споруди. Приймається, що суміш, яка поступає, дуже швидко змішується із вмістом усієї споруди. Аеротенки-змішувачі мають умови культивування кращі, ніж витискувачі. Навантаження на мул, швидкості вилучення забруднень та споживання кисню постійні по всьому об'єму споруди. Активний мул перебуває в одній стадії розвитку культури, обумовленій величиною навантаження на нього. Умови існування культури близькі до оптимальних.

Такі споруди застосовуються на I етапі біоочищення стоків. Але, якість очищення, за інших рівних умов, може іноді бути дещо нижчою, ніж в аеротенках-витискувачах, оскільки особливості гідродинамічної структури потоку обумовлюють імовірність потрапляння частини свіжої стічної води у відвідну систему.

При розосередженій подачі води (рис. 7.4, в) повне навантаження за забруднюючими речовинами досягає максимуму наприкінці аеротенку. Ступінь очищення може бути досить високим, оскільки у процесі руху суміші в аеротенку, забруднення, що раніше потрапили у нього, встигають переробитись організмами і наприкінці споруди реальний рівень живлення може відповідати стану мулу із високою окиснювальною здатністю.

Такі аеротенки, як і аеротенки-витискувачі, мають важливий недолік: відсутність оптимальних умов кисневого режиму у споруді. Але загальна маса мулу в аеротенку з розосередженою подачею води вище, ніж у витискувачі, тому і пропускна здатність цього аеротенку також вище.

Розосереджену подачу стоків можна здійснити таким чином, щоб навантаження на мул залишалось постійним по всій довжині аеротенку. Для цього стічні води подають в аеротенк не рівномірно, а з витратами, що постійно зменшуються по довжині споруди. Це точно відповідає зменшенню концентрації мулу внаслідок розбавлення, що дозволяє досягати рівномірного навантаження на мул.

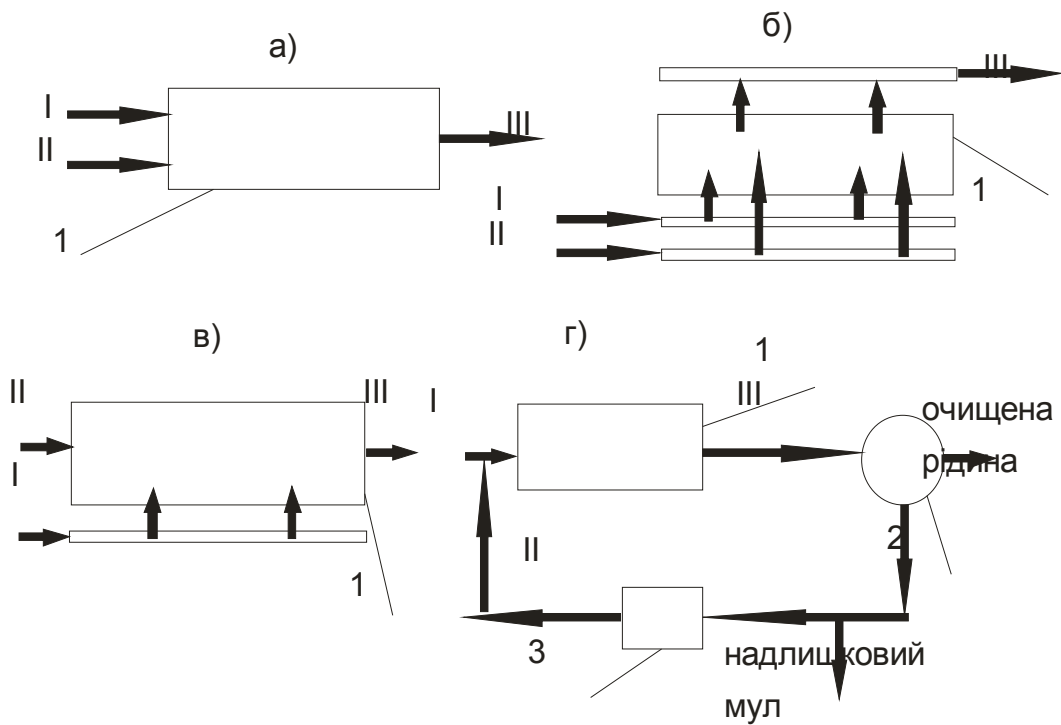


Рис. 7.4. Схеми потоків в аеротенках різних типів: а – аеротенк-витискувач; б – аеротенк-змішувач; в – аеротенк із розосередженим впуском води; г – аеротенк із регенератором; 1 – аеротенк; 2 – вторинний відстійник; 3 – регенератор; I – стічна вода; II – активний мул; III – муло-водяна суміш.

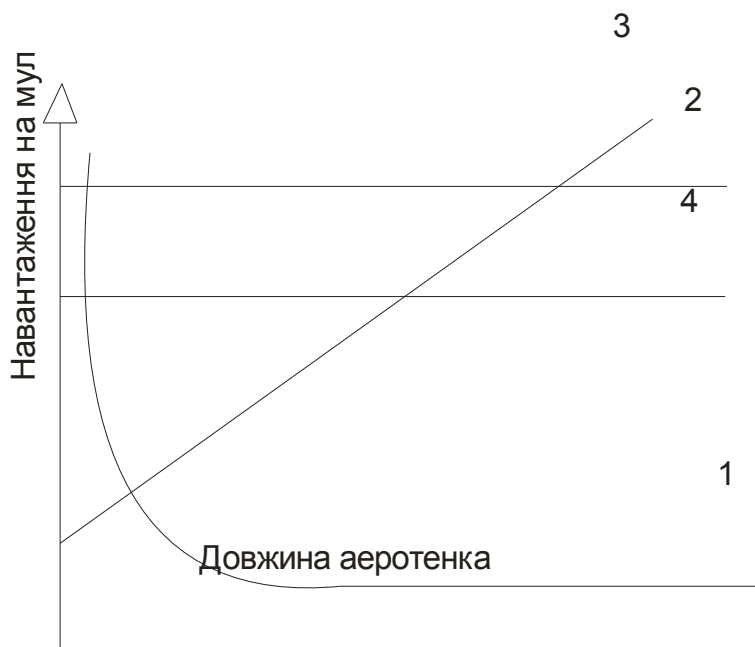


Рис. 7.5. Розподілення навантаження на мул в аеротенках різних типів: 1 – витискувач; 2 – змішувач; 3 – із розосередженою подачею води; 4 – аеротенк типу АНР.

Такий аеротенк із нерівномірно розподіленою подачею рідини (АНР) поєднує в собі переваги змішувача і витискувача. Мул у спорудах типу АНР перебуває в одній певній фазі розвитку, швидкості вилучення забруднень та їх окиснення (споживання кисню) постійні, можливість потрапляння неочищеної води у відповідну систему зведена до мінімуму. Загальна маса мулу, а, відповідно, і пропускна здатність у таких спорудах вищі, ніж у витискувачах.

На рис. 7.4 (г) представлена технологічна схема аеротенка із регенератором. Суміш очищеної стічної води та активного мулу подається після аеротенку у вторинний відстійник, де активний мул відокремлюється від рідини. Частина мулу, яка називається *циркуляційний активний мул*, повертається в аеротенк для підтримання постійної концентрації.

Природне розмноження організмів активного мулу постійно збільшує його кількість, що уповільнює процес очищення внаслідок зниження навантаження на мул, погіршення кисневого режиму, веде до перевитрат повітря на регенерацію та збільшення об'єму аераційних споруд. Тому приріст мулу (*надлишковий активний мул*) слід безперервно видаляти із системи.

Циркуляційний активний мул перед поверненням в аеротенк потрапляє в регенератор. У ньому відбувається аерування активного мулу протягом певного часу, що сприяє мінералізації адсорбованих ним забруднюючих речовин та відновленню активних властивостей мулу.

На рис. 7.5 показано розподіл навантаження на активний мул у розглянутих типах аеротенків.

Експлуатація станцій аерації часто супроводжується утворенням стійкої піни в аеротенках. Ця піна дуже в'язка та має товщину 0,5 – 30 см.

Основною характеристикою піни, окрім її стабільності, є висока концентрація біологічних агентів (масова частка 5 – 10 %), в основному ниткоподібних мікроорганізмів *Nocardia*, *Microthrix parvicella*, *Rhodococcus*.

Утворення піни не супроводжується особливим шкідливим впливом на процеси окиснення, але має неестетичний вигляд, і, накопичуючись у вторинному відстійнику, збільшує кількість завислих компонентів у вихідній рідині. Крім того, при висиханні чи руйнуванні піна може ставати причиною неприємного запаху, а заходи із її видалення збільшують вартість експлуатації установки.

За необхідності в аеротенках здійснюють заходи з локалізації піни – зрошення водою через спеціальні пристрої або застосування хімічних антивспінювачів. Застосування останніх повинно бути узгоджено із органами санітарно-епідеміологічної служби та охорони рибних запасів.

#### **7.4. Анаеробна обробка стічних вод та осадів**

Для анаеробного зброджування стічних вод та осадів застосовують метантенки, в яких відбувається процес розкладу забруднюючих речовин під впливом мікроорганізмів анаеробного активного мулу. В результаті цього утворюється біогаз, основними компонентами якого є метан та вуглекислий газ.

*Метантенки* – це циліндричні резервуари із конічним дном, у яких для прискорення процесу здійснюють підігрівання суміші (рис. 7.6). Залежно від

температурного режиму розрізняють мезофільне та термофільне бродіння. Вибір режиму зброджування слід здійснювати із врахуванням способів наступної обробки і утилізації осадів та стічних вод, а також санітарних вимог.

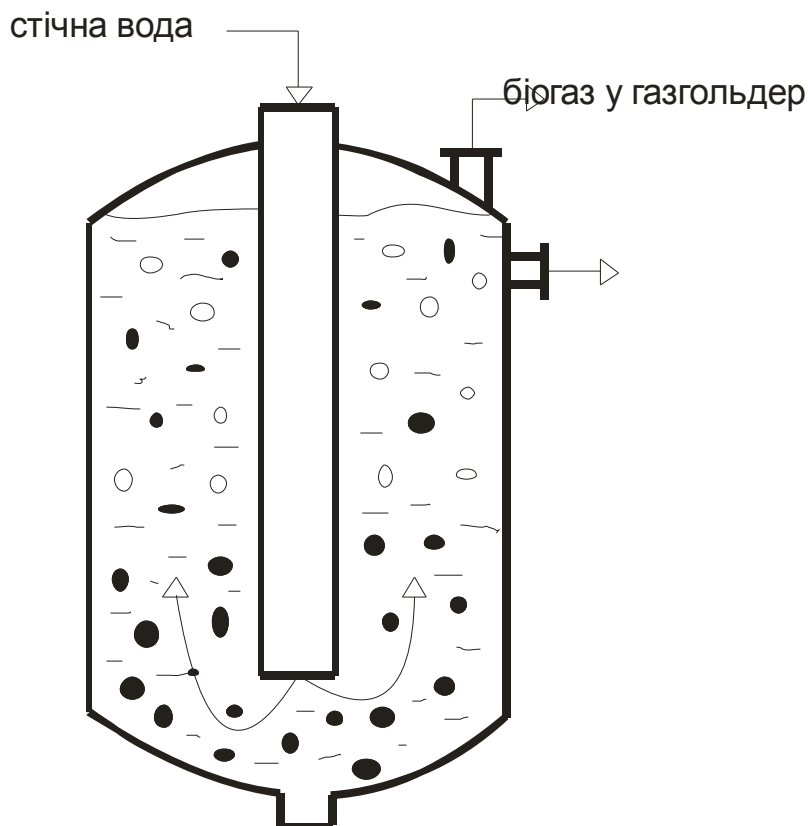


Рис.7.6. Метантенк

Анаеробна технологія очищення стічних вод має ряд суттєвих *переваг* порівняно із загальноприйнятою аеробною:

– розширюється діапазон стічних вод, придатних до біологічного очищення: з'являється можливість очищати води з ХСК понад 2 г  $O_2$ /л. Аеробні ж технології дають змогу ефективно вилучати забруднюючі речовини із стічної рідини з ХСК до 2 г  $O_2$ /л, адже при підвищеній концентрації органічних речовин різко зростає потреба у кисні, необхідному для їх окиснення. Застосування навіть удосконалених аераторів не вирішує питання, оскільки жодні аераційні системи не можуть перевищити межу розчинності кисню у воді;

– анаеробний процес здійснюється з меншим споживанням біогенних добавок, що важливо при обробці стічних вод та осадів, які мають їх дефіцит. Так, стічні води із співвідношенням  $BCK_{повн}:N:P$ , рівним  $(300\div 500):7:1$  цілком придатні для анаеробного очищення, тоді як аеробна технологія потребувала б додавання біогенних елементів із доведенням цього співвідношення до  $100:5:1$ ;

– ліквідуються проблеми, пов'язані з піноутворенням при обробці стічних вод, що містять поверхнево-активні речовини;

– полегшується автоматизований контроль та керування процесом біологічного очищення. Продукти анаеробного збродження – проміжні (леткі жирні кислоти) та кінцеві (біогаз) – кількісно легко визначаються, що спрощує автоматизацію анаеробних процесів порівняно із аеробними;

– підвищення рівня максимально допустимих навантажень в анаеробних реакторах дозволяє зменшити об'єми споруд біологічного очищення і, відповідно, площу, що вони займають, а також капітальні витрати на 1 т окиснених органічних забруднень;

– значно скорочується кількість утвореного біологічного мулу. Порівняння аеробних та анаеробних способів очищення стоків показало, що в аеротенках при окисненні маси органічних речовин, еквівалентних 1 т забруднень за ХСК, утворюється 400 – 600 кг важкоутилізованого мулу, а в анаеробних реакторах лише 20 – 150 кг;

– з'являється можливість без попередньої санітарної обробки використовувати як добриво або добавку до кормів надлишкову біомасу від реакторів, що працюють в термофільному режимі, оскільки вона не містить гельмінтів, насіння бур'янів та термочутливої патогенної мікрофлори;

– анаеробний активний мул збагачується біологічно активними речовинами, містить всі необхідні елементи (азот, фосфор, калій тощо), збагачується вітамінами кобаламінової групи. Так, в активному мулі концентрація вітаміну В<sub>12</sub> може досягати 45 – 50 мкг/г сухих речовин залежно від умов проведення процесу;

– у процесі метанового зброджування утворюється біогаз. До його основних компонентів належать метан та вуглекислий газ, співвідношення між якими коливається від 50 : 50 до 80 : 20 % залежно від умов проведення процесу та характеристик субстрату. Енергетична цінність 1 м<sup>3</sup> біогазу, що містить 60 % метану, становить 22 – 24 МДж і є еквівалентною 0,65 – 0,7 л умовного палива. З 1 м<sup>3</sup> біогазу можна отримати від 1,6 до 2,3 кВт·год електроенергії.

Найбільш ефективними способами використання біогазу є перетворення його в джерело теплової, механічної та електричної енергії. Одним із найпростіших шляхів використання біогазу є спалювання в котлах низького тиску. Більш перспективним є використання біогазу для отримання електричної енергії, що може привести до утворення власної енергетичної бази. Отже, біогаз є газоподібним паливом, який використовується як альтернативне джерело енергії. Завдяки утилізації біогазу частково або повністю компенсуються витрати енергії на анаеробне очищення стоків.

Таким чином, метанове бродіння дає можливість перевести очисні споруди у розряд самоокупних, економічно вигідних допоміжних виробництв, що зумовлено отриманням прибутку від реалізації біогазу та надлишкового анаеробного мулу, зниженням витрат на добавку біогенних солей тощо, а також вирішити складні екологічні проблеми очищення висококонцентрованих стічних вод та утилізації осадів.

Для регулювання тиску та витрат газу слід передбачати мокрі газгольдери, об'єм яких розраховується на 2 – 4-годинний вихід газу, а тиск газу приймається 150 – 250 мм вод. ст. (1,5 – 2,5 кПа) [15, с. 208 – 255, 287 – 292; 13, с. 35 – 39].

### ***Питання до самоконтролю***

1. У чому полягає особливість розрахунку придатності стічної води до очищення в аеробних та анаеробних умовах?
2. Що таке біофільтри? Дайте їх характеристику.
3. Які особливості експлуатації крапельних біофільтрів?
4. Що таке аерофільтри? Назвіть конструктивні та експлуатаційні особливості високонавантажених біофільтрів.
5. Наведіть класифікацію високонавантажених біофільтрів.
6. Що таке дискові біофільтри?
7. Класифікація аеротенків. Назвіть переваги та недоліки різних типів аеротенків.
8. Які типи аерації застосовують в аеротенках?
9. Назвіть переваги анаеробних технологій порівняно з аеробними.
10. Які особливості експлуатації метантенків?

## **8. УМОВИ СКИДАННЯ СТІЧНИХ ВОД**

### **8.1. Скидання у каналізаційну мережу**

До системи каналізації населених пунктів приймаються виробничі стічні води, які не порушують роботу каналізаційних мереж та споруд, забезпечують безпеку їх експлуатації та можуть бути знешкоджені разом із стічними водами населених пунктів відповідно до вимог і нормативів.

Стічні води, які підлягають прийманню до міської каналізаційної мережі, *не повинні*:

- містити горючі домішки та розчинені газоподібні речовини, здатні утворювати вибухонебезпечні суміші;
- містити речовини, які здатні захаращувати труби, колодязі, ґратки або відкладатись на їх поверхнях (сміття, ґрунт, абразивні порошки та інші грубодисперсні зависі, гіпс, вапно, пісок, металеву та пластмасову стружку, жири, смоли, мазут, пивну дробину, хлібні дріжджі тощо);
- містити тільки неорганічні речовини або речовини, які не піддаються біологічному розкладу;
- містити речовини, для яких не встановлено гранично допустимих концентрацій (ГДК) для води водойм або токсичних речовин, що перешкоджають біологічному очищенню стічних вод, а також речовин, для визначення яких не розроблено методи аналітичного контролю;
- містити небезпечні бактеріальні, вірусні, токсичні та радіоактивні забруднення;
- містити синтетичні поверхнево-активні речовини (СПАР), які важко руйнуються;

- мати температуру вище 40 °С;
- мати *pH* нижче 6,5 або вище 9,0;
- мати хімічне споживання кисню (ХСК) вище біологічного споживання кисню (БСК<sub>5</sub>) більше ніж у 2,5 рази;
- мати БСК, яке перевищує вказане в проєкті очисних споруд каналізації даного населеного пункту;
- містити забруднюючі речовини з перевищенням допустимих концентрацій, установлених місцевими Правилами приймання.

Категорично *забороняється* скидати в міську каналізаційну мережу:

- кислоти, розчинники, розчини, які містять або утворюють при змішуванні зі стічними водами сірководень, сірковуглець, оксид карбону, ціаністи сполуки, легколеткі вуглеводні та інші токсичні, горючі та вибухонебезпечні речовини;
- концентровані регенераційні, маточні та кубові розчини, а також конденсат, нормативно чисті, дренажні, дощові води (при повній роздільній системі каналізації);
- стічні води, в яких містяться радіоактивні, токсичні речовини, солі важких металів і бактеріальні забруднення, у т.ч. стічні води інфекційних лікувальних закладів і відділень;
- стічні води підприємств, взаємодія яких може призвести до утворення емульсій, токсичних або вибухонебезпечних газів, а також великої кількості нерозчинних у воді речовин.

Такі стічні води перед випуском у каналізацію населеного пункту повинні бути знешкоджені та знезаражені на локальних очисних спорудах із обов'язковою утилізацією або похованням утворених осадів.

Вимоги до складу стічних вод, які дозволено скидати у каналізаційну мережу наведено у табл. 8.1.

Для комунальних споруд повного біологічного очищення стічних вод встановлюються такі нормативи гранично допустимого вмісту забруднюючих речовин, дозволені для скидання у водні об'єкти (мг/л):

- біохімічне споживання кисню (БСК<sub>5</sub>) – не більше 15;
- хімічне споживання кисню – не більше 80;
- завислі речовини – не більше 15.

Нормування гранично допустимого скидання інших забруднюючих речовин у водні об'єкти здійснюється місцевими органами Міністерства екології та природних ресурсів України за умови, що досягнута категорія якості води при цьому не погіршиться.

## **8.2. Скидання у природні водойми**

Відповідно до вимог Водного кодексу України скидання стічних вод у водні об'єкти допускається лише за умови наявності нормативів гранично допустимих концентрацій (ГДК) та встановлених нормативів гранично допустимого скиду (ГДС) забруднюючих речовин.

Водокористувачі зобов'язані здійснювати заходи щодо запобігання скиданню стічних вод чи його припинення, якщо вони:

– можуть бути використані у системах оборотного, повторного і послідовного водопостачання;

Таблиця 8.1

**Вимоги до складу і властивостей стічних вод підприємств для безпечного відведення їх каналізаційною мережею**

№	Показники якості стічних вод	Допустимі величини
1.	Температура, °С	не вище 40
2.	<i>pH</i>	6,5 – 9,0
3.	БСК, г/м <sup>3</sup>	згідно з проектом міських очисних споруд або не більше 350
4.	Завислі речовини та ті, що впливають, г/м <sup>3</sup>	згідно з проектом міських очисних споруд або не більше 500
5.	Нерозчинні масла, смоли, мазут	не дозволяється
6.	Нафта, нафтопродукти, г/м <sup>3</sup>	не більше 20
7.	Жири рослинні та тваринні, г/м <sup>3</sup>	не більше 50
8.	Хлориди, г/м <sup>3</sup>	не більше 350*
9.	Сульфати, г/м <sup>3</sup>	не більше 400*
10.	Сульфіди, г/м <sup>3</sup>	не більше 1,5
11.	Кислоти, горючі суміші, токсичні та розчинені газоподібні речовини, здатні утворювати в мережах та спорудах токсичні гази	не дозволяється
12.	Концентровані маточні та кубові розчини	не дозволяється
13.	Будівельне, промислове, господарсько-побутове сміття, ґрунт, абразивні речовини	не дозволяється
14.	Радіоактивні речовини**, епідеміологічно небезпечні бактеріальні та вірусні забруднення	не дозволяється

\* – ці нормативи зростають відповідно до вмісту даних солей у воді місцевого водопроводу.

\*\* – до уваги беруться радіоактивні забруднення з активністю, що перевищує фон місцевого господарсько-побутового стоку.

– містять цінні відходи, що можуть бути вилучені;

– містять промислову сировину, реагенти, напівпродукти та кінцеві продукти підприємств у кількості, що перевищує встановлені нормативи технологічних відходів;

– містять речовини, щодо яких не встановлено гранично допустимі концентрації;

– перевищують гранично допустимі скиди токсичних речовин та містять збудників інфекційних захворювань;

– за обсягом скидання забруднюючих речовин перевищують гранично допустимі нормативи;

– призводять до підвищення температури води водного об'єкта більш ніж на 3 °С порівняно з його природною температурою в літній період;

– є кубовими залишками, шламами, що утворюються в результаті їх очищення і знезараження.

Скидати стічні води, використовуючи рельєф місцевості (балки, пониззя, кар'єри тощо), забороняється.

Під час скидання стічних вод або іншої господарської діяльності, що впливає на стан водних об'єктів, які використовуються для *господарсько-питних і культурно-побутових потреб*, норми якості води або (у випадках природного перевищення цих норм) її природний склад і властивості, мають дотримуватись:

– на ділянках водних об'єктів у межах населених пунктів;

– у водотоках впродовж 1 км вище найближчого за течією пункту водокористування (водозабору для господарсько-питного водопостачання, місця купання або організованого відпочинку, території населеного пункту);

– у водоймах – на акваторії в межах 1 км від пункту водокористування.

Під час скиду стічних вод або проведення іншої господарської діяльності, що впливає на стан *рибогосподарських* водотоків і водойм, норми якості води або (у випадках природного перевищення цих норм) її природний склад і властивості мають дотримуватись у межах рибогосподарської ділянки, починаючи з контрольного створу або пункту, визначеного в кожному конкретному випадку органами Міністерства екології та природних ресурсів України, але не далі 500 м від місця скиду.

Для правильного визначення допустимого вмісту забруднюючих речовин у стічних водах, допустимих до скиду у водойми, у кожному випадку слід мати докладні дані щодо їх кількості та складу, а також дані детального дослідження водойм, що характеризують місцеві гідрометеорологічні та санітарні умови.

Розрахунки для визначення допустимого вмісту забруднюючих речовин у стічній рідині здійснюють за кількістю завислих речовин; допустимою величиною БСК у суміші річкової води та стічних вод; за споживанням стічними водами розчиненого кисню; температурою води; забарвленістю; сольовим складом; ГДК токсичних речовин; за зміною *pH* тощо [17; 21; 22].

### ***Питання до самоконтролю***

1. Назвіть основні вимоги до стічних вод, які дозволено до скидання у міську каналізаційну мережу.

2. Що забороняється скидати до каналізаційної мережі?

3. У яких випадках заборонено скидання стічних вод у природні водойми?

4. Назвіть вимоги, що висуваються до скидання стічних вод у водойми різних видів водокористування.

5. За якими показниками здійснюють розрахунки для визначення допустимого вмісту забруднюючих речовин у стічній рідині?

## 9. ОЧИЩЕННЯ ВИКИДІВ ХАРЧОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

Основними джерелами забруднення атмосферного повітря є електричні станції; промислові підприємства, у тому числі харчові; автотранспорт; сільське господарство тощо.

Для запобігання негативного впливу на атмосферу необхідно здійснювати наступні заходи:

– технологічні, які передбачають зменшення викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря шляхом зміни технологій;

– санітарно-технічні, які спрямовані на вловлювання та знешкодження забруднюючих речовин газопилових потоків перед їх викидом в атмосферне повітря;

– планувальні, які враховують напрям вітру та інші чинники при відносному розташуванні промислових підприємств і житлових будівель;

– контрольні, які передбачають виробничий, державний та інші види контролю кількісного та якісного складу викидів.

Для визначення ступеню забруднення повітря та впливу того чи іншого компонента на навколишнє середовище та здоров'я людини використовують такі поняття: гранично допустимі концентрації шкідливих речовин (ГДК), гранично допустимі викиди (ГДВ), санітарно-захисні зони (СЗЗ) тощо.

ГДК встановлюють головні санітарні інспекції на основі результатів складних комплексних наукових досліджень, лабораторних експериментів, а також відомостей, одержаних під час та після різних аварій на виробництвах, природних катастроф тощо.

*ГДК шкідливої речовини* – це такий її вміст у природному середовищі, який не знижує працездатності та не погіршує самопочуття людини, не шкодить її здоров'ю у разі постійного контакту, а також не викликає небажаних наслідків у нащадків.

Для атмосферного повітря встановлені такі значення гранично допустимих концентрацій, мг/м<sup>3</sup>:

– *максимальна разова ГДК (ГДК<sub>м.р.</sub>)* – це така концентрація шкідливої речовини в атмосферному повітрі населених пунктів, яка не викликає рефлекторних реакцій в організмі людини внаслідок 20-хвилинної дії;

– *середньодобова ГДК (ГДК<sub>с.д.</sub>)* – така концентрація шкідливої речовини в атмосферному повітрі населених пунктів, яка не чинить прямої або опосередкованої шкідливої дії в умовах невизначеного довгого цілодобового вдихання;

– у виробничих приміщеннях встановлено значення гранично допустимих концентрацій вмісту речовин у повітрі робочої зони – *ГДК робочої зони (ГДК<sub>р.з.</sub>)*. Це така концентрація речовин, яка за щоденної роботи (крім вихідних

днів) протягом 8 годин або іншої тривалості, але не більше 41 год на тиждень за весь робочий стаж, не може спричинити захворювань, включаючи віддалені відхилення у стані здоров'я.

*Робочою зоною* називають простір, висотою до 2 м над рівнем підлоги або майданчика, на якому розміщено місця постійного чи тимчасового перебування працюючих.

Усі шкідливі речовини за ступенем дії на людину поділяють на чотири класи небезпечності:

– *надзвичайно небезпечні (I клас)* – значення ГДК у повітрі робочої зони не перевищує  $0,1 \text{ мг/м}^3$ ;

– *високонебезпечні (II клас)* – значення ГДК<sub>р.з.</sub> перебуває у межах  $0,1 - 1 \text{ мг/м}^3$ ;

– *помірнонебезпечні (III клас)* – значення ГДК<sub>р.з.</sub> в інтервалі  $1,1 - 10 \text{ мг/м}^3$ ;

– *малонебезпечні (IV клас)* – значення ГДК<sub>р.з.</sub> понад  $10 \text{ мг/м}^3$ .

Для попередження забруднення атмосфери, крім ГДК, введено нормативи безпосередньо на викиди шкідливих речовин з кожного джерела. Стандартом передбачено встановлення величини гранично допустимого викиду шкідливих речовин в атмосферу ГДВ, г/с.

*Гранично допустимий викид (ГДВ)* – це кількість шкідливих речовин, що викидається за одиницю часу і в сумі з викидами інших джерел населеного пункту з урахуванням їх розсіювання, не створить приземної концентрації домішок на межі санітарно-захисної зони, що буде перевищувати ГДК.

*Санітарно-захисні зони (СЗЗ)* – це ділянки землі навколо підприємства, які відокремлюють їх від житлових масивів з метою зменшення шкідливого впливу цих підприємств на здоров'я людини. СЗЗ повинні бути розташовані із підвітряного боку підприємств та озеленені, що сприяє зменшенню атмосферного забруднення та зниженню рівня шуму.

Ширина СЗЗ залежить від характеру і потужності виробництва, досконалості технологічних процесів, рівня несприятливих чинників, рози вітрів, застосування газо- і пилоочисних пристроїв, наявності протишумових, протівібраційних та інших захисних заходів.

Згідно із санітарними нормами промислові підприємства, теплові та атомні електростанції, санітарно-технічні споруди та інші об'єкти розділені на 5 класів.

Перший клас поділяють на підкласи: 1А із СЗЗ завширшки 3 000 м та 1Б – 1 000 м. Для об'єктів II класу ширина СЗЗ – 500 м; III класу – 300 м; IV класу – 100 м; V класу – 50 м. Підприємства харчової промисловості належать до об'єктів V класу.

### **9.1. Загальна характеристика способів очищення газопилових потоків харчових підприємств**

Технологічний процес на багатьох підприємствах народного господарства супроводжується інтенсивним забрудненням атмосферного повітря.

Залежно від місця утворення газопилові потоки промислових підприємств поділяються на:

– *хвостові гази* – це потоки, які утворюються наприкінці певної стадії технологічного процесу. Вони характеризуються високим рівнем забрудненості та належать до організованих викидів. Такі викиди повинні піддаватись очищенню;

– *абгази* – це потоки, які утворюються на проміжних стадіях технологічного процесу і відводяться в атмосферне повітря через абгазні лінії. Останні існують на підприємстві для відведення газів при порушенні технологічного процесу, при утворенні надлишкового тиску в апараті тощо. Ці викиди мають високу концентрацію забруднюючих речовин і повинні поступати в очисні системи;

– *гази аспіраційних систем* – це потоки, які відводяться від технологічного обладнання місцевими системами витяжної вентиляції. Ці викиди мають організований характер і значну забрудненість. Вони повинні підлягати очищенню;

– *вентиляційні гази* – це потоки, які відводяться із робочих приміщень системами загальнообмінних витяжних вентиляцій. Мають невисокий рівень забрудненості і можуть не очищуватись;

– *аераційне повітря* – це потоки, які утворюються в процесі природної вентиляції за рахунок зміни вітрового і теплового тиску.

За місцем розташування джерела забруднення поділяють на:

– *високі або незатінені*, що знаходяться в зоні недеформованого вітрового потоку (високі труби, що видаляють забруднення на висоту, більшу за висоту будівлі в 2,5 рази);

– *низькі або затінені*, розташовані на висоті, меншій у 2,5 рази за висоту будівлі;

– *наземні*, які розташовані близько до земної поверхні.

За геометричною формою джерела:

– *точкові* – труби, дахові вентилятори;

– *лінійні* – відкриті вікна, близько розташовані витяжні шафи.

За режимом роботи бувають викиди періодичні та безперервні, залпові та миттєві.

Особливу небезпеку становить значне пиловиділення, характерне для переважної більшості харчових підприємств.

Пил спричиняє безпосередню несприятливу дію на працюючих, призводить до погіршення роботи та скорочення періоду експлуатації обладнання. Деякі види пилу (цукровий, борошняний тощо) за певних умов утворюють у повітрі вибухонебезпечні суміші та характеризуються підвищеною пожежонебезпекою.

Удосконалення систем пиловловлювання, окрім вирішення цих проблем, має також економічне значення, оскільки дозволяє зберегти значну кількість цінних продуктів (цукру, борошна, крохмалю тощо).

Для правильного вибору пилоочисного обладнання, розробки нових та удосконалення існуючих пристроїв, для здійснення технологічних заходів із зменшення пилоутворення необхідно знати властивості пилу.

### 9.1.1. Основні властивості пилу

*Пил* – це сукупність подрібнених часточок твердої речовини, що перебувають у завислому стані в повітряному середовищі. Пилом також прийнято називати сукупність часточок, що вже піддалися осадженню.

Пил класифікують за декількома ознаками, у тому числі за походженням; залежно від матеріалу, з якого він утворений тощо.

Залежно від *походження*, тобто способу отримання, розрізняють пил природний та промисловий. Перший утворюється у результаті процесів, не пов'язаних безпосередньо із виробництвом. Це пил, який виділяється при ерозії ґрунтів, вивітрюванні гірських порід тощо. Значна частина пилу виникає у технологічних процесах, пов'язаних із транспортуванням, зберіганням, обробкою різних матеріалів.

Залежно від *матеріалу*, із якого пил утворюється, він може бути органічним та неорганічним.

*Органічний пил*, у свою чергу, буває рослинного (борошняний, тютюновий, цукровий) та тваринного походження (кістковий, сухих молочних продуктів).

*Неорганічний пил* поділяється на мінеральний (цементний, вапняковий) та металічний (сталевий, чавунний, мідний).

Пил харчової промисловості є дуже різноманітним за основними властивостями. Спільним є те, що основним компонентом його є органічні речовини. Але до складу пилу входять також мінеральні домішки, оскільки у процесі вирощування, збирання та переробки сировини до складу його потрапляють мінеральні компоненти. Також для харчової промисловості характерним є те, що співвідношення органічних і мінеральних частин пилу протягом технологічного процесу постійно змінюється. Так, у вапнякових відділеннях цукрових заводів виділяється неорганічний пил.

До основних фізико-хімічних властивостей пилу належать дисперсність (ступінь подрібнення), густина, здатність до злипання, питома поверхня, нижня та верхня межі вибуху, електричні властивості тощо.

*За дисперсністю* пил поділяється на 5 груп:

I – дуже крупнодисперсний пил – розмір понад 140 мкм;

II – крупнодисперсний пил – 40 – 140 мкм;

III – середньодисперсний пил – 10 – 40 мкм;

IV – дрібнодисперсний пил – 1 – 10 мкм;

V – дуже дрібнодисперсний пил – менше 1 мкм.

Пил може представляти собою *монодисперсну* систему, тобто складатись із часточок приблизно однакової величини, та *полідисперсну* – до складу його входять часточки різного розміру. Промисловий пил, у тому числі пил харчової промисловості, є переважно полідисперсним.

Дисперсний склад пилу значною мірою визначає фізичні та хімічні властивості пилу, характер та умови розповсюдження його у повітряному середовищі. Так, тонкодиспергований пил осаджується дуже повільно або практично зовсім не осаджується.

Основне питання пилоловлювання – вибір пилоочисного обладнання – в основному визначається дисперсним складом пилу.

Важливим параметром пилу є його *густина*. Розрізняють дійсну та уявну густину часточок пилу, а також насипну густину шару пилу.

*Уявна густина* часточок – це відношення маси до всього об'єму; *дійсна* – це відношення маси до об'єму в абсолютно щільному стані (без урахування порожнин). Для суцільних (непористих) часточок значення уявної густини чисельно співпадає з дійсною.

*Насипна густина* шару пилу рівна відношенню маси шару до його об'єму та залежить не лише від пористості часточок пилу, але і від процесу формування пилового шару. Насипна густина злежаного пилу приблизно в 1,2 – 1,5 рази більше, ніж у свіжонасипаного.

*Здатність часточок пилу до злипання* визначається міцністю шару пилу на розрив і визначається в Па. Розрізняють 4 групи пилу за цією ознакою:

- I – пил, не здатний до злипання ( $P \leq 60$  Па);
- II – пил, який важко злипається ( $60 \leq P \leq 300$  Па);
- III – помірнозліплюваний пил ( $300 \leq P \leq 600$  Па);
- IV – пил, який сильно злипається ( $P > 600$  Па).

*Сипучість пилу* – це кут, який утворюється при вільному насипанні пилу. При збільшенні частки вологи в пилу зменшується його сипучість.

*Питомий електричний опір* – це омичний опір  $1 \text{ м}^3$  пилу зі стороною  $1 \text{ м}$  проходженню електричного струму.

За величиною питомого електричного опору розрізняють:

– пил із малим питомим електричним опором (менше  $10^2$  Ом·м), який при контакті з електродом миттєво втрачає свій заряд і набуває заряду, який відповідає знаку електроду. При цьому між електродом і часточкою виникають сили відштовхування, які повертають часточку пилу в газовий потік. Такі види пилу не вловлюються електрофільтрами;

– пил із питомим електричним опором від  $10^2$  до  $10^8$  Ом·м, який добре осаджується на електродах і легко видаляється з них при струшуванні;

– пил з питомим електричним опором більше  $10^8$  Ом·м, який найважче вловлюється в електрофільтрах, оскільки на електродах часточки розряджаються повільно, що значною мірою заважає осадженню нових часточок.

У реальних умовах зниження питомого електричного опору пилу можливо здійснити змочуванням запиленого газопилового потоку.

Деякі види пилу, у тому числі переважна більшість пилу харчових підприємств, утворюють із повітрям *вибухонебезпечні* суміші, тобто такі суміші, які за певних умов здатні до вибуху. Якщо відсутня хоча б одна із цих умов, вибух не відбудеться.

Такими умовами є:

– концентрація пилу в повітрі у певних межах, які називаються нижня та верхня межі вибуху. *Нижня межа вибуху* – це мінімальний вміст пилу у повітрі, достатній для виникнення вибуху. *Верхня межа* – максимальна кількість завислого у повітрі пилу, при якому вибухоутворення припиняється, незважаючи на наявність інших необхідних умов;

– джерело тепла достатньої температури та потужності у запиленій зоні;

– живлення киснем, достатнє для забезпечення процесів горіння.

Вибухо- та пожежонебезпечні види пилу поділяються на 4 класи:

I – найвибухонебезпечніший пил із нижньою межею вибуху до  $15 \text{ г/м}^3$  (пил соняшникового шроту, цукровий пил);

II – вибухонебезпечний пил із нижньою межею вибуху  $16 - 65 \text{ г/м}^3$  (пил крохмальний та борошняний);

III – найбільш пожежонебезпечний пил із температурою самозаймання у купі, в потоці повітря до  $250 \text{ }^\circ\text{C}$  (тютюновий пил);

IV – пил із температурою самозаймання за тих же умов понад  $250 \text{ }^\circ\text{C}$ .

### **9.1.2. Класифікація пилогазоочисного обладнання**

Усі способи очищення газопилових викидів поділяють на 3 групи: механічні, фізико-хімічні та біологічні.

Вибір певного способу очищення газопилових викидів визначається техніко-економічним розрахунком та залежить від: концентрації та фізико-хімічних властивостей забруднюючих речовин у викиді та необхідного ступеню очищення; об'єму газопилового викиду та його температури; наявності супутніх газоподібних домішок та пилу; потреби у продуктах утилізації; розмірів майданчика для спорудження очисних установок тощо.

*Механічні* способи застосовують для видалення із викидів пилу на основі використання гравітаційних, інерційних, відцентрових та інших сил.

Залежно від особливостей процесу відокремлення твердих часточок від газової фази розрізняють:

– *сухе пиловловлювання*, яке здійснюється за допомогою циклонів, пилоосаджувальних камер, механічних та електрофільтрів.

Забезпечує високий ступінь видалення забруднюючих компонентів із викиду; дає можливість повернути затриманий пил у виробництво; більшість із таких апаратів є простими в експлуатації та недорогими. Іноді використання таких пристроїв обмежується специфічними властивостями пилу (пожежо- та вибухонебезпечністю; високою гідрофільністю);

– *мокре пиловловлювання* полягає у використанні скрубєрів, пінних апаратів, циклонів із водяною плівкою тощо.

Такі апарати характеризуються високою ефективністю роботи; пожежо- та вибухобезпечністю; можливістю повернення вловленого пилу у вигляді розчинів у виробництво (розчини цукрового та крохмального пилу). У деяких випадках таке пиловловлювання супроводжується утворенням мокрої шлами, що важко утилізується.

*Фізико-хімічні способи* очищення промислових викидів від газоподібних забруднювачів залежно від характеру перебігу процесу поділяють на:

– *абсорбція* – розділення газоповітряної суміші на складові шляхом поглинання одного або декількох газових компонентів (абсорбатів) рідким поглиначем (абсорбентом) із утворенням розчину. Наприклад, для видалення із технологічних викидів аміаку використовують як поглинальну рідину воду.

Ефективність роботи таких установок є досить високою ( $90 - 95 \%$ ), утворені шлами можуть використовуватись для подальшого перероблення та отримання корисних компонентів;

– *адсорбція* – поглинання газоподібних домішок твердими активними речовинами (адсорбентами). Як адсорбенти застосовують активоване вугілля, силікагель, цеоліти. Так, для видалення SO<sub>2</sub> із викидів використовують деревне активоване вугілля.

Адсорбери забезпечують високий ступінь очищення, але процеси регенерації адсорбентів є досить енерговитратними.

– *хемосорбція* – промивання викидів розчинами реагентів, що зв'язуються хімічно із забруднюючими домішками. Це один із найрозповсюдженіших способів очищення відхідних газів від оксидів нітрогену за допомогою вапнякового розчину;

– *термічна нейтралізація* відхідних газів – застосовується для очищення газових потоків від токсичних речовин та таких, що мають неприємний запах. Спосіб базується на здатності токсичних горючих компонентів окиснюватись до менш токсичних у присутності кисню та за високої температури.

Такі апарати мають невеликі розміри, є досить простими в обслуговуванні, забезпечують високу ефективність знешкодження токсичних речовин, але є енерговитратними та при спалювання деяких газів (особливо тих, що містять фосфор, галогени) характеризуються утворенням продуктів реакції, які за токсичністю перевищують початковий газовий викид;

– *каталітичне спалювання* – використовують для перетворення токсичних компонентів промислових викидів у нешкідливі або менш шкідливі шляхом використання каталізаторів (платина, паладій, оксиди купруму, мангану тощо).

Такий процес відбувається дуже швидко, що дозволяє зменшити розміри апарата. Окрім того, перетворення відбуваються за нижчих температур, порівняно із термічною нейтралізацією, що зменшує витрати на процес очищення.

*Біохімічні* способи очищення промислових викидів ґрунтуються на здатності мікроорганізмів руйнувати та перетворювати певні сполуки. Розкладання речовин відбувається під впливом ферментів, які виробляються цими мікроорганізмами.

Зокрема, мікроорганізми здатні добре метаболізувати ароматичні, аліфатичні гетероциклічні та ациклічні хлорвмісні сполуки; здатні споживати аміак, сірчистий газ, сірководень тощо.

Біоочищення використовується для видалення із викидів речовин із неприємним запахом.

Реактори, що використовуються для біологічного очищення викидів, поділяються на мокрі та сухі.

У *мокрих реакторах* або біофільтрах забруднений газ пропускають через шар насадки, на якій розташована біологічно активна плівка мікроорганізмів, що постійно зрошується водою. Забруднюючі речовини переносяться із газу в рідину, а потім окиснюються мікрофлорою біоплівки.

*Сухий реактор* – це апарат із насадкою з біологічно активного сорбуючого матеріалу (компост, торф), через який пропускають забруднені гази. Мікроорганізми споживають забруднюючі речовини викиду та перетворюють їх на нетоксичні.

Біологічне очищення характеризується високою ефективністю процесу та безпечністю для навколишнього середовища і набуває останнім часом значного поширення.

## 9.2. Механічне очищення газопилових викидів

### 9.2.1. Циклони

Для видалення пилу із газопилових викидів широкого застосування набули циклони різних типів. Вони забезпечують очищення від сухого, крупнодисперсного, не схильного до злипання пилу.

Розповсюдженість циклонів у пилоочисних системах пояснюється простотою конструкції; надійністю в експлуатації при порівняно незначних капітальних та експлуатаційних витратах; досить високою ефективністю вилучення крупнодисперсних забруднюючих речовин.

Основними *недоліками* циклонів є їх незначна фракційна ефективність при уловлюванні пилу розміром до 10 мкм та неможливість застосування при очищенні викидів, що містять пил високої пожежо- та вибухонебезпеки.

Для пиловловлювання використовуються різноманітні типи циклонів, які відрізняються один від одного формою, співвідношенням елементів тощо.

Залежно від *співвідношення циліндричної та конічної частин* корпусу ( $h_{\text{ц}}$  та  $h_{\text{к}}$ ) розрізняють циклони циліндричні ( $h_{\text{ц}} > h_{\text{к}}$ ) – ЦН-11, ЦН-15, ЦН-24, конічні ( $h_{\text{ц}} < h_{\text{к}}$ ) – СК-ЦН-34, СК-ЦН-34м, СДК-ЦН-33 та перехідної форми ( $h_{\text{ц}} \approx h_{\text{к}}$ ) тощо.

Залежно від *способу підведення пилового потоку* є циклони із тангенційним та спіральним підведенням.

Використовуються циклони із обертанням потоку запиленого повітря *за та проти* годинникової стрілки.

Також циклони поділяють на установки *великої потужності* (мають великий діаметр та забезпечують очищення значної кількості викиду) та циклони *високої ефективності* (порівняно невеликий діаметр – до 500 – 600 мм).

Залежно від витрат викиду, що подається на очищення, циклони можуть установлюватись по одному (*одиначні циклони*) або об'єднуватись у групи із декількох апаратів (*групові циклони*).

На підприємствах харчової промисловості циклони широко застосовуються для вилучення зернового пилу, пилу сушеного жому на цукрових заводах, кісткового пилу на м'ясопереробних підприємствах, казеїнового пилу на молокозаводах; як перший ступінь очищення викидів від борошняного пилу на хлібокомбінатах тощо.

Запилене повітря потрапляє через патрубок у циклон (рис. 9.1) по дотичній до внутрішньої поверхні корпусу та здійснює там обертально-поступальний рух.

Під дією відцентрової сили часточки пилу переміщуються радіально, притискаючись до стінок циклона. Відокремлення часточок пилу від газу відбувається при повороті газового потоку на  $180^\circ$  (у момент переходу

низхідного потоку у висхідний). Звільнившись від пилу, газовий потік потрапляє у внутрішню трубу і виходить нею із циклона.

Циклони використовують як єдиний ступінь очищення лише для вловлювання пилу, незначна кількість часточок якого менше 10 мкм, а також за умови викиду очищеного повітря в атмосферу на значній висоті.

Зазвичай циклони рекомендується використовувати для попереднього вилучення крупнодисперсної фракції пилу, встановлюючи їх перед рукавними фільтрами, електрофільтрами тощо.

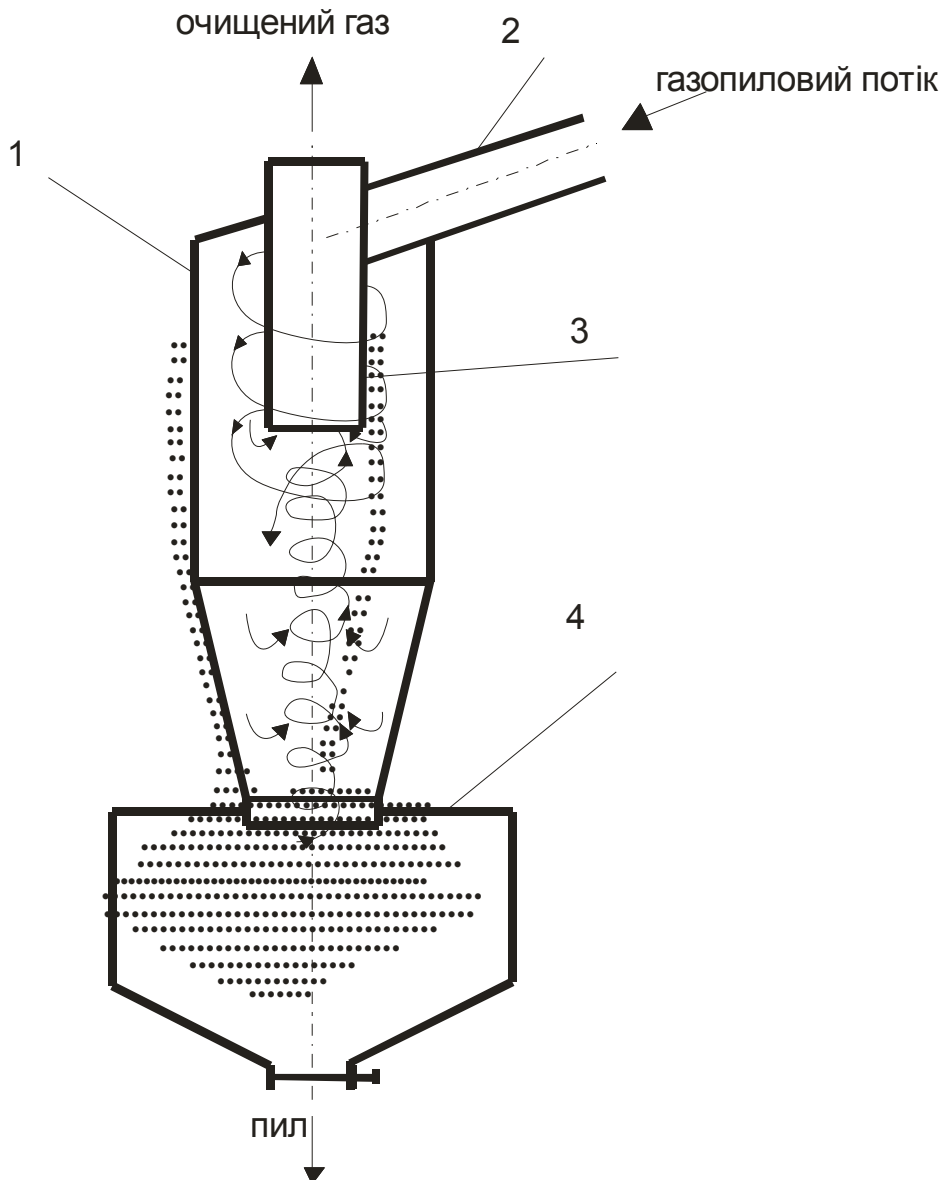


Рис. 9.1 . Циклон: 1 – корпус ; 2 – вхідний патрубок ; 3 – труба для відведення очищеного газу ; 4 – бункер .

### 9.2.2. Фільтри

Видалення пилу із газопилового викиду у фільтрах відбувається під час проходження запиленого потоку через шар пористого матеріалу (тканини, спеціальний папір, кокс, порцелянові кільця тощо).

Класифікація фільтрів ґрунтується на типі фільтрувальної перегородки, конструкції фільтра та його призначенні, ефективності очищення.

Так, за *типом фільтрувальної перегородки* фільтри бувають із:

- зернистим шаром (нерухомі вільно насипані зернисті матеріали);
- гнучкими пористими перегородками (тканина, повсть, пінополіуретан, губчаста гума);
- напівжорсткими пористими перегородками (плетені та тканинні сітки, пресовані спіралі та стружка);
- жорсткими пористими перегородками (пориста кераміка, пористі метали).

Процес фільтрації ґрунтується на декількох фізичних явищах:

- аерозольні часточки затримуються в порах та каналах, що мають переріз менший за розміри часточки;
- дія сил інерції – при зміні напрямку руху запиленого потоку часточки відхилюються від цього напрямку та осаджуються;
- броунівський рух – значною мірою визначає переміщення високодисперсних часточок;
- дія гравітаційних сил, електростатичних сил – аерозольні часточки та матеріал фільтра можуть мати електричні заряди або бути нейтральними.

Із часом у фільтруючому шарі накопичуються затримані часточки, що ускладнює процес очищення. Для підтримання режиму фільтрації у необхідних межах, здійснюють *регенерацію фільтра*, яка полягає у видаленні затриманих у фільтруючому шарі часточок.

У харчовій промисловості для механічного очищення викидів широко розповсюджені апарати, в яких фільтруючим елементом є циліндричні або конічні рукави із спеціальної фільтрувальної тканини – *рукавні фільтри*.

Рукавні фільтри застосовуються для обробки значних об'ємів повітря із високим вмістом пилу та забезпечують при цьому високий ступінь очищення (до 99,9 %).

Ці пристрої здатні вилучати часточки розміром до 1 мкм та менше, тобто забезпечують тонке очищення газопилового потоку.

Такі фільтри рекомендується застосовувати для очищення викиду від сухого, не схильного до злипання пилу.

Пил, який містить вологу, масла, негативно впливає на роботу фільтра, оскільки заліплює тканину суцільним щільним шаром і порушує процес фільтрації. Крім того, накопичення пилу із високим вмістом масел у рукавах зумовлює підвищену пожежну небезпеку.

Саме тому рукавні фільтри широко застосовуються для очищення викидів від борошняного, тютюнового пилу та не рекомендуються для вловлювання пилу, утворюваного на олієжирових підприємствах та цукрового пилу тощо.

Рукавні фільтри можуть використовуватись як єдиний ступінь очищення (вловлювання борошняного пилу) або як апарат для тонкого доочищення викидів після циклонів (зерновий; казеїновий; жомовий пил).

Застосовуються всмоктувальні та нагнітальні рукавні фільтри.

*Всмоктувальні* фільтри встановлюють до вентилятора (їх рукави перебувають під розрідженням), а *нагнітальні* – після вентилятора (їх рукави – під надлишковим тиском).

Недоліком нагнітальних фільтрів є викид повітря після них безпосередньо у приміщення (за наявності нещільностей у рукавах відбувається інтенсивне потрапляння пилу у приміщення); складність регенерації фільтрів; проходження запиленого повітря через вентилятор викликає швидше його зношування.

Недоліком всмоктувальних фільтрів є наявність значного підсмоктування повітря.

Фільтрувальні тканини, які застосовуються у рукавних фільтрах, повинні мати наступні властивості:

- забезпечувати високу ефективність очищення;
- мати високу пилову ємність;
- забезпечувати достатню швидкість фільтрації;
- мати здатність до регенерації;
- мати високу довговічність (стійкість до стирання та іншого механічного впливу);
- характеризуватись низькою гігроскопічністю;
- мати невисоку вартість.

Так, у рукавних фільтрах застосовуються фільтрувальні тканини бавовняні, вовняні, синтетичні (нітрон, лавсан), із скловолокна; у деяких тканинах використані волокна різного походження.

У корпусі фільтра (рис. 9.2) встановлюють необхідну кількість рукавів, усередину яких подається запилене повітря. Часточки забруднюючих речовин осідають у тканині та утворюють пиловий шар на внутрішній поверхні рукавів. Очищене повітря виходить із фільтра через відвідний патрубок.

При досягненні максимально допустимого перепаду тиску на фільтрі його відключають від системи та здійснюють регенерацію.

Під час очищення тканини видаляється значна частина верхнього шару пилу, але всередині тканини (між волокнами) залишається певна його кількість (залишковий шар), що разом із тканиною утворює фільтруючий шар та забезпечує високу ефективність очищення викиду у фільтрі після його регенерації.

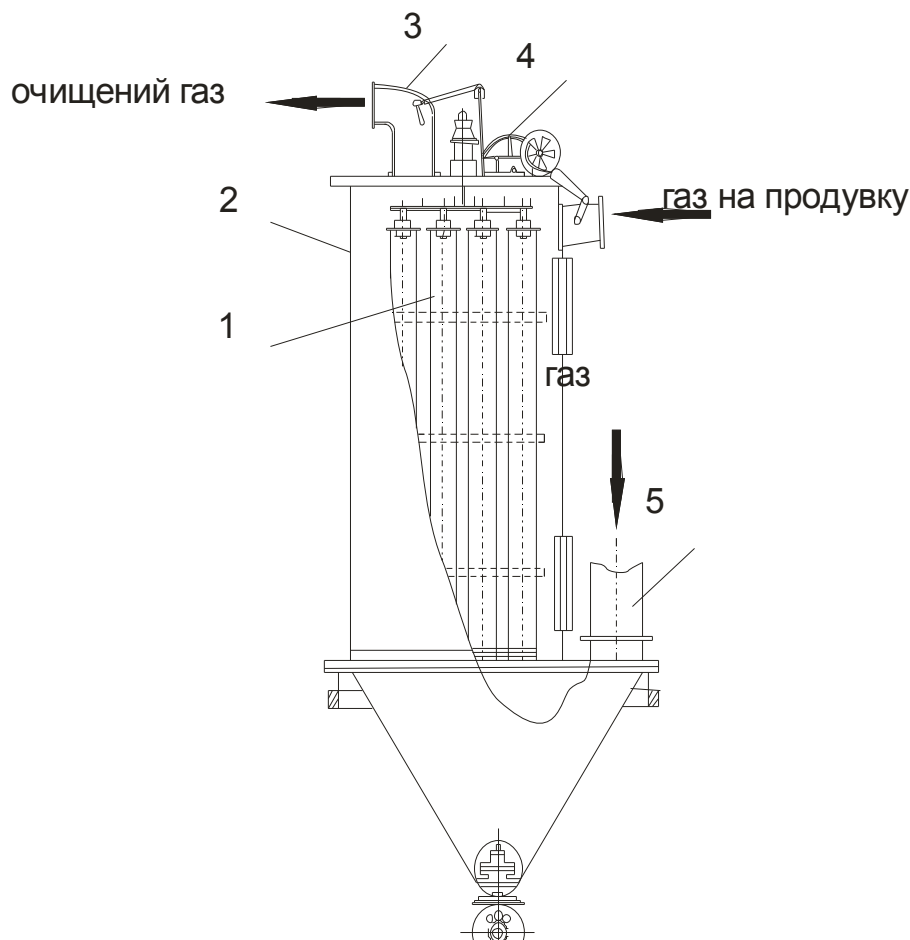


Рис. 9.2. Рукавний фільтр: 1 – рукав; 2 – корпус; 3 – вихідний патрубок; 4 – пристрій для регенерації; 5 – вхідний патрубок.

### 9.2.3. Пилоосаджувальні камери

Одним із найпростіших пиловловлюючих пристроїв є пилоосаджувальні камери.

Пилова часточка, що внесена потоком повітря у камеру, перебуває під дією двох сил: за рахунок кінетичної енергії потоку, в якому вона зависла, часточка переміщується в горизонтальному напрямку, а під дією гравітаційних сил вона осідає на дно камери.

Тобто, довжина камери прямо пропорційна її висоті, а отже, чим нижча камера, тим швидше пилова часточка під час руху потрапить на дно камери.

Із цього слідує, що для зменшення висоти доцільно розділити камеру на декілька паралельних каналів за допомогою горизонтальних перегородок. За цим принципом облаштована поличкова пилоосаджувальна камера.

Для зручності видалення пилу полички розташовують поворотними чи під нахилом.

Із метою посилення ефекту осадження за рахунок використання сил інерції застосовують камери, до верхньої частини яких прикріплюють ланцюги, стрижні тощо.

Пилоосаджувальні камери різних типів зображені на рис. 9.3.

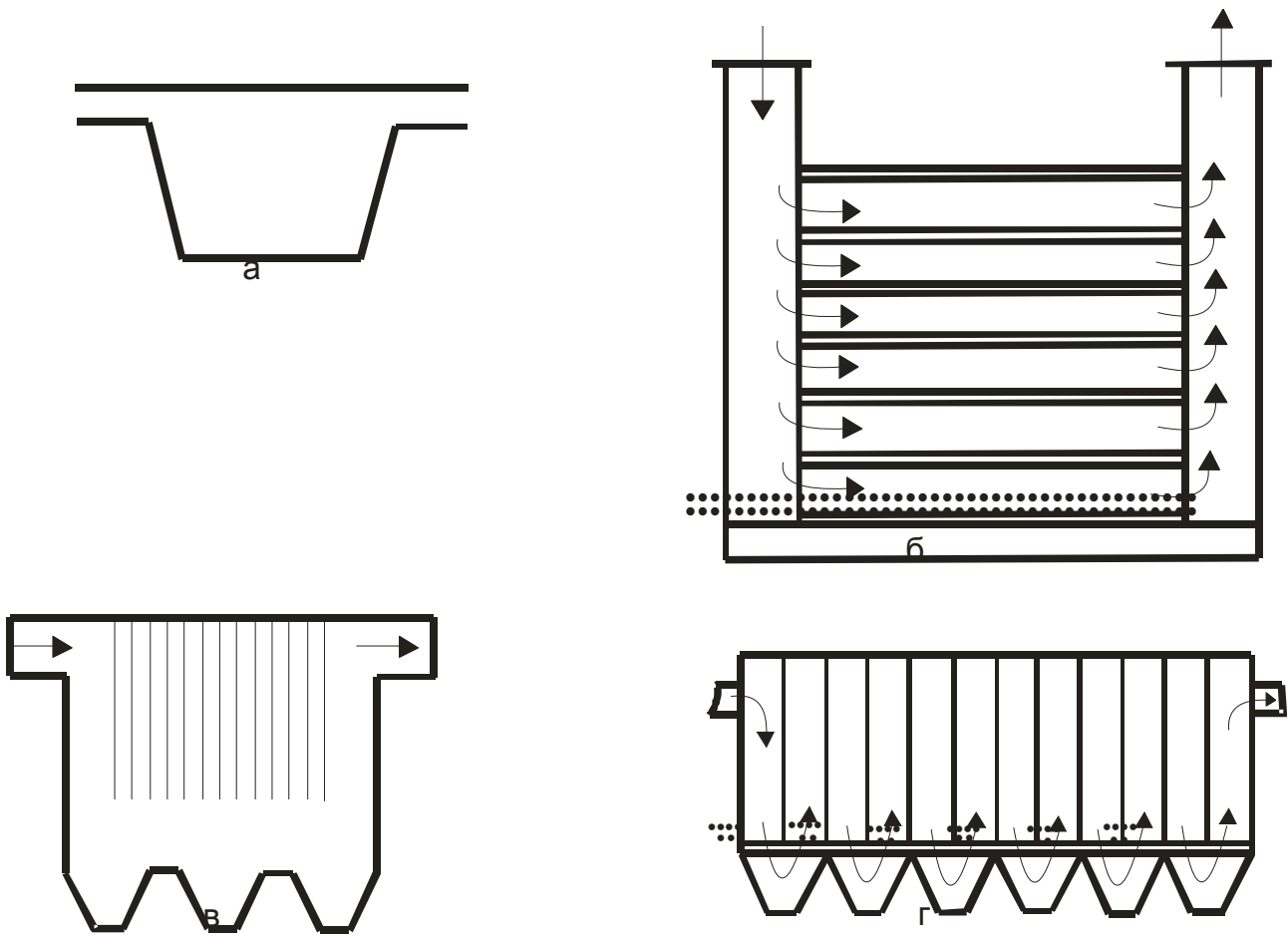


Рис. 9.3. Пилоосаджувальні камери: а – звичайного типу; б – полицкова; в – із підвішеними стрижнями; г – лабіринтна.

Для забезпечення нормальної роботи пилоосаджувальної камери необхідно, щоб повітря рівномірно рухалось через неї. Тому на вході в камеру встановлюють сітки, ґратки та інші пристрої для вирівнювання потоку повітря. Максимальна швидкість руху через камеру зазвичай не перевищує 3 м/с.

Пилоосаджувальні камери виготовляють із цегли, бетону та інших неметалевих матеріалів, які не піддаються корозії.

*Перевагами* такого типу обладнання є простота пристрою, нескладність експлуатації, довговічність.

Істотними *недоліками* камер є можливість осадження лише найбільших фракцій пилу, тоді як тонкі фракції виносяться із апарату повітряним потоком; досить великі розміри установки; не дуже високий ступінь очищення (до 60 %).

На підприємствах харчової промисловості пилові камери застосовуються для вловлювання декстринового пилу крохмале-патокових підприємств, що

пояснюється переважанням крупних фракцій у ньому, а також вмістом кислоти, яка унеможлиблює використання інших очисних установок.

Для вловлювання цукрового пилу застосовують пилові камери, заповнені гарячою водою. Цукровий пил, який осаджується, поглинається водою, а утворений цукровий розчин періодично повертається у виробництво.

#### **9.2.4. Електрофільтри**

Електричні фільтри призначені для високоефективного очищення технологічних газів, аспіраційного повітря від твердих чи рідких часточок, що утворюються в технологічних процесах різних галузей промисловості. Електрофільтри поширені в енергетиці, чорній та кольоровій металургії, будівельній та хімічній промисловостях тощо.

Основними *перевагами* електрофільтрів є:

- мають широкий діапазон продуктивності;
- забезпечують високий ступінь очищення – до 99,9 %;
- мають низький гідравлічний опір – 0,2 кПа;
- можуть уловлювати тверді та рідкі часточки розміром від 0,01 мкм до десятків мкм.

У районах із помірним кліматом електротехнічне обладнання розташовують зазвичай на відкритому повітрі; у суворих кліматичних умовах – в опалювальних приміщеннях. Для запобігання конденсації вологи на внутрішніх частинах, корпус електрофільтра теплоізолюють.

На підприємствах харчової промисловості електрофільтри зазвичай застосовують для вилучення із викидів завислих у них часточок пилу.

Процес очищення складається із наступних стадій:

- пилові часточки, переміщуючись із потоком газу в електричному полі, отримують заряд;
- заряджені часточки рухаються до електродів із протилежним знаком;
- пилові часточки осаджуються на цих електродах;
- пил, що був осаджений на електродах, видаляється.

Основними елементами електрофільтра є коронувальний та осаджувальний електроди. Перший являє собою натягнутий дріт у трубці або між пластинками; другий – поверхню трубки або пластини, які оточують коронувальний електрод.

Якщо в електричному полі між електродами створити певну напругу, повітря іонізується і створює позитивні та негативні заряди. Заряджені частинки, переміщуючись під впливом електричного поля, зіштовхуються із пиловими часточками, завислими у газовому потоці, та передають їм електричний заряд. Заряджені пилові часточки переміщуються до протилежно заряджених електродів та осідають на них.

Із часом, кількість пилу, що накопичується на електродах, знижує ефективність пиловловлювання. Для запобігання цього явища та підтримання оптимальної ефективності роботи електрофільтрів, електроди періодично звільнюють від пилу струшуванням або промиванням.

Залежно від напрямку руху газу електрофільтри поділяються на *горизонтальні* та *вертикальні*.

Залежно від форми осаджувальних електродів розрізняють *трубчасті* та *пластинчасті* електрофільтри (рис. 9.4).

Трубчасті електрофільтри складаються із великої кількості елементів, що мають круглий або стільниковий переріз. По осі трубчастого елемента розташований коронувальний електрод.

У пластинчастому електрофільтрі є велика кількість паралельних пластин, між якими натягнуті коронувальні електроди.

Ефективність очищення викиду в електрофільтрі залежить від багатьох факторів: хімічних властивостей та фізичних параметрів потоку, що подається на очищення; властивостей пилу, завислого у потоці (електричні та хімічні властивості, дисперсність); концентрації пилу; від параметрів роботи самого електрофільтра – напруги, сили струму тощо.

Електрофільтри, як складніше та більш дорогі обладнання, що забезпечує тонке очищення повітря, зазвичай компонують з іншими пилоочисними апаратами, які встановлюють на початкових ступенях очищення. Це дозволяє підвищити економічність використання електрофільтрів та забезпечує більш повне очищення.

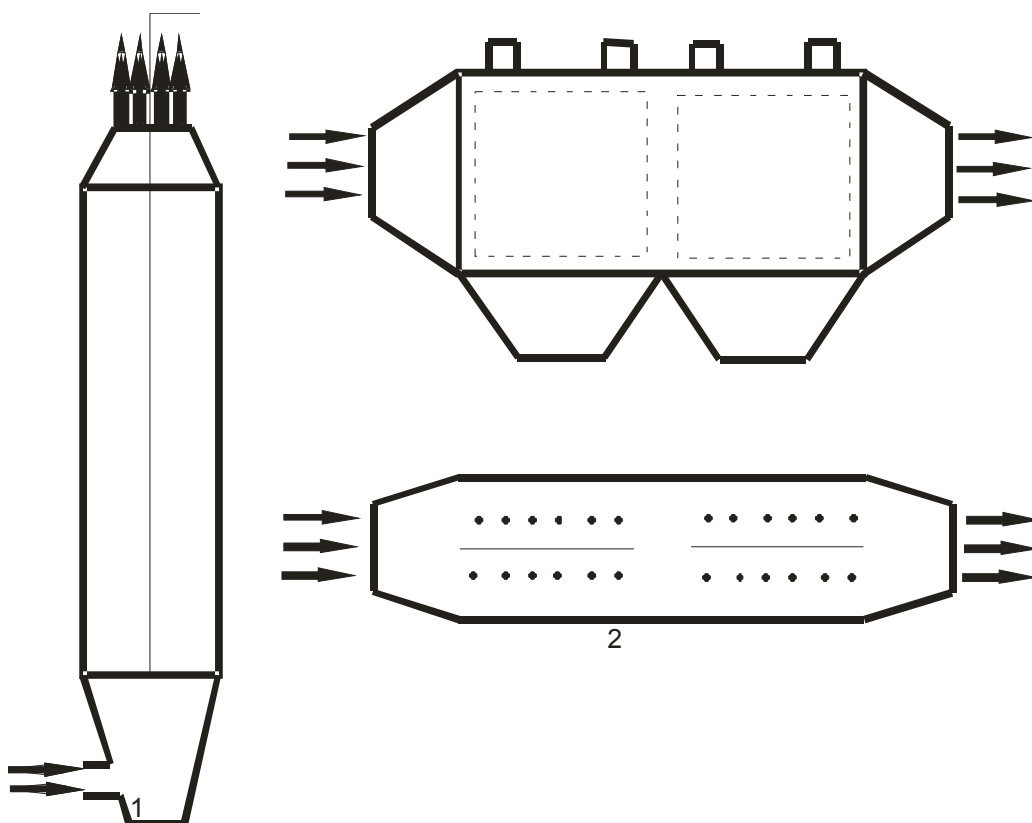


Рис. 9.4. Види електрофільтрів залежно від форми осаджувальних електродів:  
1 – трубчасті; 2 – пластинчасті.

### 9.2.5. Апарати для мокрого пиловловлювання

Апарати для мокрого пиловловлювання широко розповсюджені, оскільки характеризуються високою ефективністю очищення від пилу, а також можливістю очищення гарячих та пожежо- і вибухонебезпечних газів.

Недоліками мокрих пиловловлювачів є винесення вологи в атмосферу та утворення відкладень у відхідних газоходах при охолодженні газів до температури точки роси; необхідність утворення оборотних систем подачі води у пиловловлювач; утворення у процесі очищення шламу, що потребує спеціальних систем для його переробки.

Останній недолік є несуттєвим для харчової промисловості, оскільки утворений шлам (розчини цукрового пилу, пилу сушених молочних продуктів тощо) повертається у виробництво, що покращує економічні показники.

Апарати мокрого очищення працюють за принципом осадження часточок пилу на поверхні крапель або плівки рідини під дією сил інерції та броунівського руху.

Сили інерції діють на часточки пилу та краплі рідини під час їх зближення. Ці сили залежать від маси крапель та часточок, а також від швидкості їх руху. Часточки пилу малого розміру (менше 1 мкм) не мають достатньої кінетичної енергії та при зближенні зазвичай огинають краплі і не вловлюються рідиною. Броунівський рух характерний для часточок малого розміру. Для досягнення високої ефективності очищення газу від часточок домішок за рахунок броунівського руху слід зменшити швидкість руху газового потоку в апараті.

Окрім цих основних сил на процес осадження впливають: турбулентна дифузія, взаємодія електрично заряджених часточок, процеси конденсації, випаровування тощо. У всіх випадках очищення газу в мокрих пиловловлювачах важливим фактором є здатність до змочування часточок рідиною (чим вона краща, тим ефективнішим є процес очищення).

Конструктивно мокрі пиловловлювачі поділяють на скрубери Вентурі, форсункові та відцентрові скрубери, апарати ударно-інерційного типу, барботажно-пінні апарати тощо.

У харчовій промисловості такі очисні установки застосовують для вловлювання цукрового, вапнякового, желатинового, крохмального, глюкозного пилу, пилу сухого молока та молочних продуктів тощо.

Серед апаратів мокрого очищення із осадженням часточок пилу на поверхню крапель досить часто використовують *скрубери Вентурі* (рис. 9.5).

Основною частиною його є сопло Вентурі 2, у конфузорну частину якого підводиться запилений потік та через відцентрові форсунки 1 рідина для зрошування.

У конфузорній частині сопла відбувається розгін газу від вхідної швидкості 15 – 20 м/с до швидкості у вузькому перерізі сопла 30 – 200 м/с та більше.

Процес осадження часточок пилу на краплях рідини зумовлений масою рідини, розвитою поверхнею крапель та високою відносною швидкістю часточок рідини та пилу в конфузорній частині сопла. Ефективність очищення

значною мірою залежить від рівномірності розподілу рідини перерізом конфузорної частини сопла.

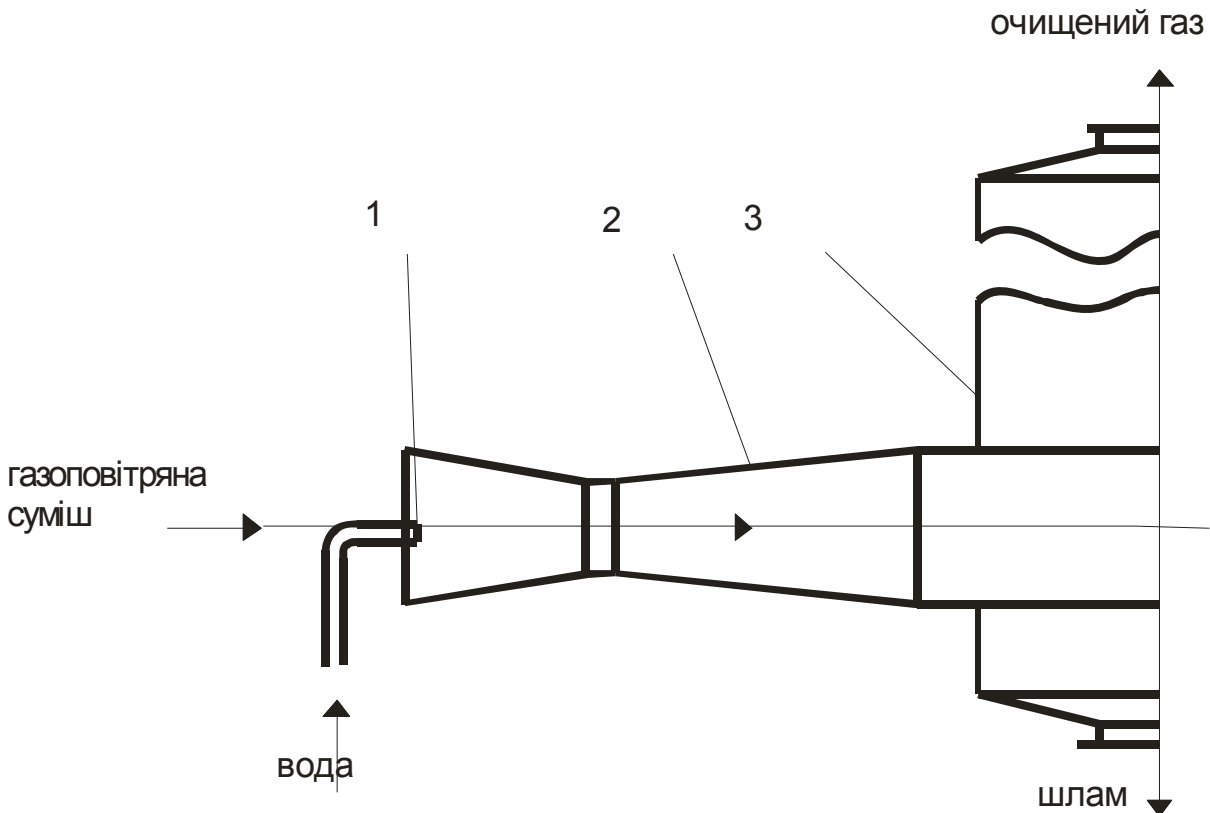


Рис. 9.5. Скрубер Вентурі: 1 – відцентрові форсунки; 2 – сопло Вентурі; 3 – краплеуловлювач.

У дифузійній частині сопла потік гальмується до швидкості 15 – 20 м/с та потрапляє у краплеуловлювач 3. Останній зазвичай виконують у вигляді прямого циклону.

Скрубери Вентурі забезпечують високу ефективність очищення аерозолів із середнім розміром часточок 1 – 2 мкм із початковою концентрацією домішок до 100 г/м<sup>3</sup>. Питомі витрати води на зрошення 0,1 – 6 л/м<sup>3</sup>.

Круглі скрубери Вентурі застосовують при витратах газу до 80 000 м<sup>3</sup>/год. За більших витрат та більших розмірах труби можливості рівномірного розподілу зрошувальної рідини перерізом труби погіршуються, тому застосовують декілька паралельно працюючих круглих труб або труби прямокутного перерізу.

Різновидом апаратів для вловлювання пилу осадженням часточок на краплях рідини є *форсункові скрубери* (рис. 9.6).

Запилений газовий потік потрапляє у скрубер патрубком 3 та направляється на дзеркало води, де осаджуються найкрупніші часточки пилу. Газовий потік та дрібнодисперсний пил, розподіляючись перерізом корпусу 1,

піднімаються вгору назустріч потоку крапель, які подаються у скрубер форсунками 2. Питомі витрати води становлять 3 – 6 л/м<sup>3</sup>, гідравлічний опір апарату до 250 Па при швидкості руху потоку газу в корпусі скрубера 0,7 – 1,5 м/с.

У циклонах із водяною плівкою ефект дії апарату порівняно із звичайним циклоном посилюється тим, що пил, який відкидається до стінок циклону, поглинається водою і перетворюється на шлам. Це запобігає вторинному викиду пилу, відкинутого на стінки.

У таких циклонах, як і в інших апаратах мокрого пилоочищення, внаслідок зволоження пилу та повітря, небезпека вибуху та займання пилу практично усувається.

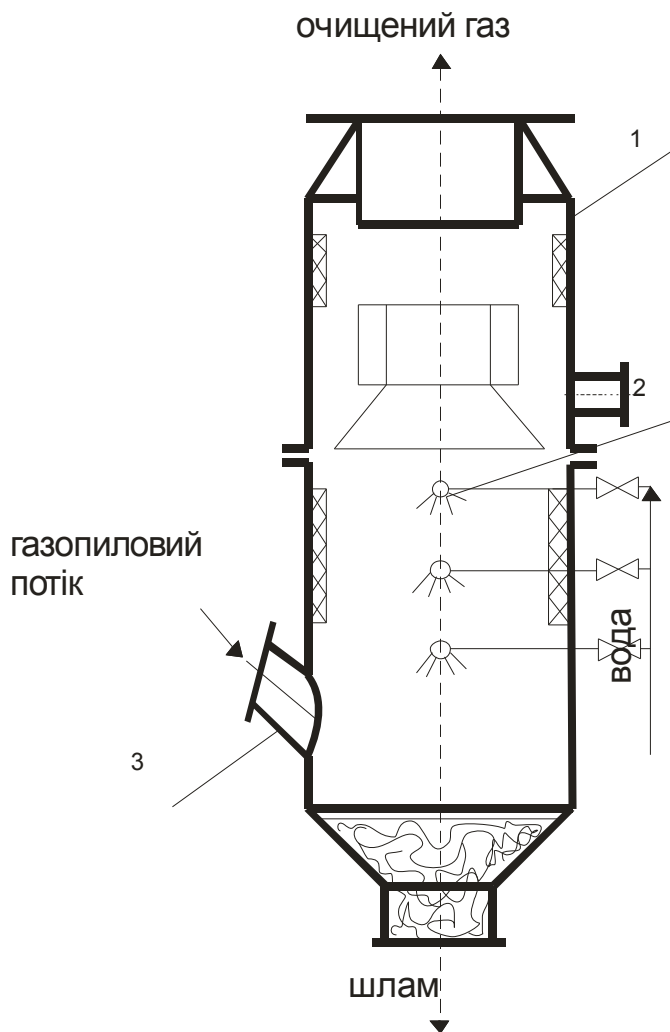


Рис. 9.6. Форсунковий скрубер: 1 – корпус; 2 – форсунки; 3 – патрубок для підведення газопилового потоку.

В апаратах відцентрового типу (рис. 9.7) часточки пилу відкидаються на плівку рідини 2 під впливом відцентрових сил, які виникають під час обертання

газового потоку в апараті за рахунок тангенціального розташування вхідного патрубку 5 у корпусі апарату.

Плівка рідини товщиною не менше 0,3 мм створюється подачею води через сопла 1 та безперервно стікає вниз, захоплюючи у бункер 4 часточки пилу. Питомі витрати води 0,09 – 0,18 л/м<sup>3</sup>.

Ефективність очищення газу від пилу в апаратах такого типу залежить від діаметра корпусу апарату 3, швидкості газу у вхідному патрубку, дисперсності та змочуваності пилу. Так, із збільшенням діаметра апарату ефективність очищення знижується.

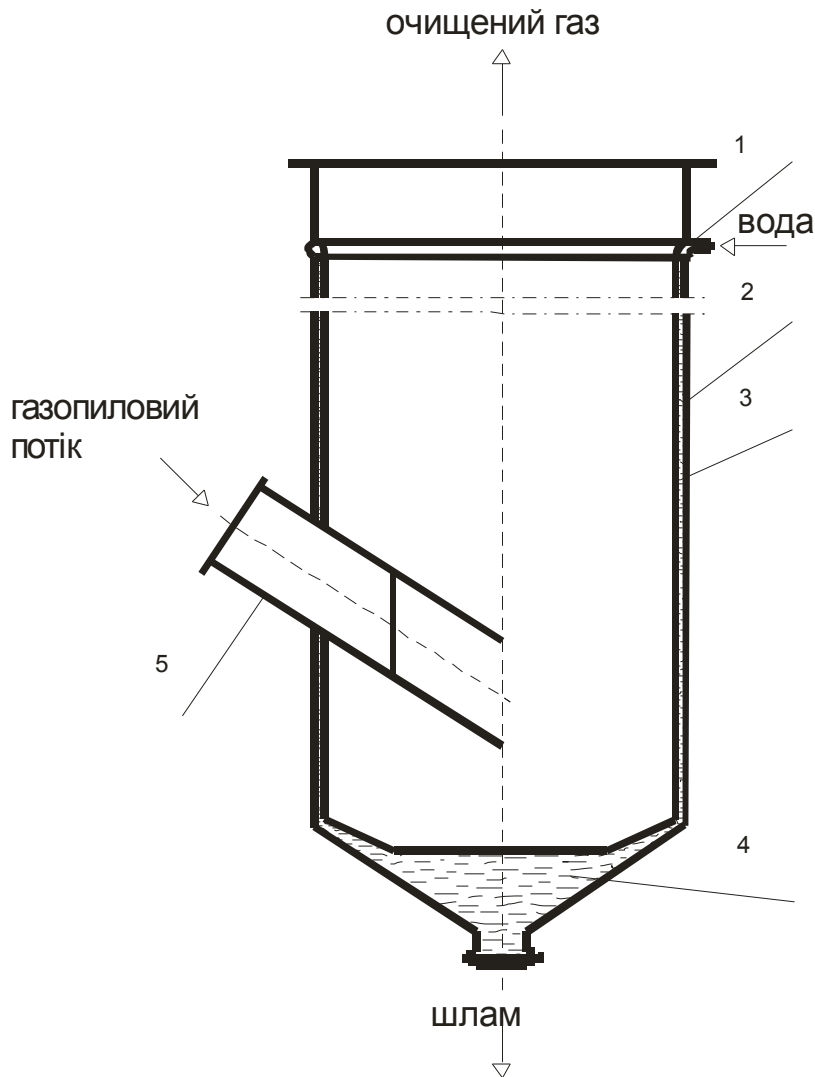


Рис. 9.7. Відцентровий скрублер: 1 – сопла; 2 – плівка рідини; 3 – корпус апарату; 4 – бункер; 5 – вхідний патрубок.

До мокрих пиловловлювачів належать також *барботажно-пінні системи*. Процес очищення відбувається тим ефективніше, чим більше поверхня

контакту фаз між запиленним газом та рідиною. Це досягається диспергуванням рідини на краплі або газу на безліч бульбашок, які формують піну.

Пінні газоочисні системи бувають однополичні та двополичні; із відведенням води через зливний пристрій над ґратками або із повним протіканням води через отвори ґраток.

Апарати із зливними пристроями дозволяють працювати при значних коливаннях навантаження по газу та рідині. Вибір кількості поличок залежить від ступеню забрудненості газу (при концентрації пилу у викиді не більше  $0,02 \text{ кг/м}^3$  слід застосовувати однополичні апарати).

Газопиловий потік подається в корпус 1 барботажно-пінного пиловловлювача (рис. 9.8) під ґратки 3, проходить через отвори у них та через шар рідини і піни 2, очищаючись від пилу за рахунок осадження часточок на поверхні газових бульбашок. Очищене повітря виходить через верхню частину споруди.

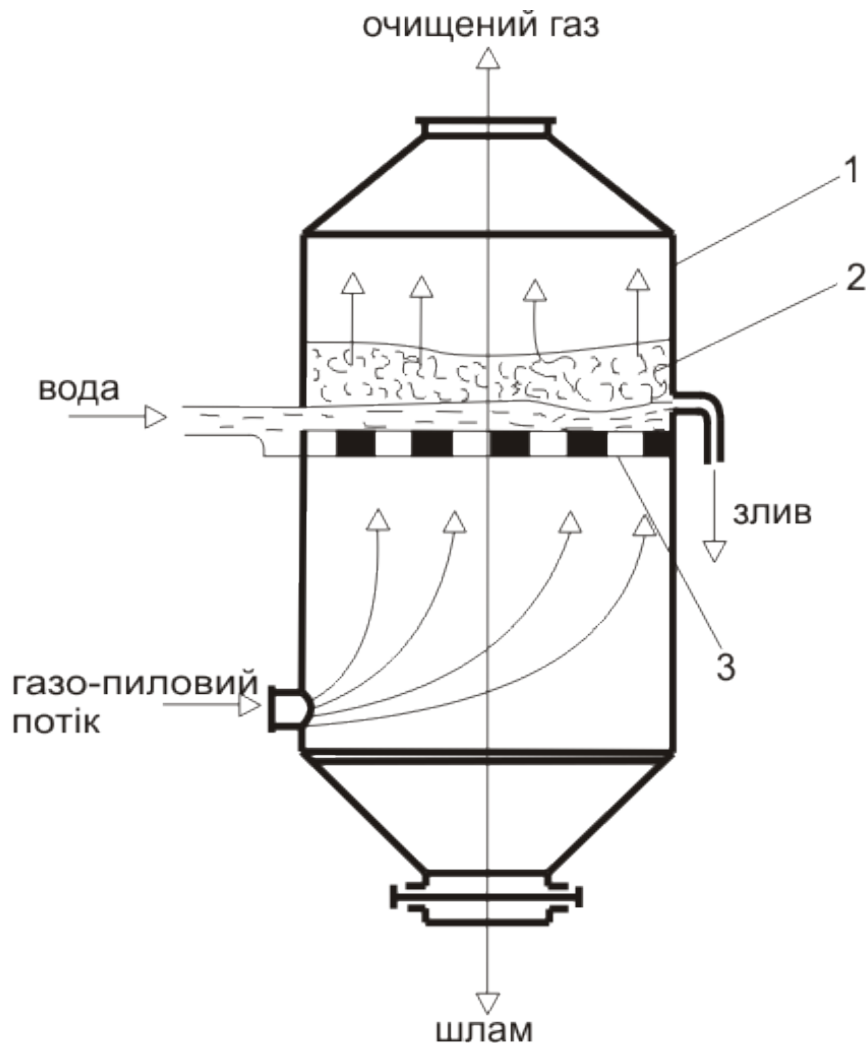


Рис. 9.8. Барботажно-пінний пиловловлювач із переливними ґратками:

1 – корпус; 2 – шар рідини і піни; 3 – ґратки.

Такі апарати дають можливість досягнути ефективності очищення 96 – 97 % при питомих витратах води 0,4 – 0,5 л/м<sup>3</sup>, але є чутливими до нерівномірності подачі газопилового потоку. Також іноді спостерігається засмічування ґраток.

### 9.3. Фізико-хімічне очищення газових потоків

#### 9.3.1. Адсорбери

*Адсорбція* – це процес поглинання одного або декількох компонентів із газової суміші твердими тілами.

Газова фаза, в якій перебуває компонент, що підлягає видаленню, називається *носієм* (газ-носієм); компонент, який поглинається – *адсорбтивом*; речовина, яка вже поглинута – *адсорбатом*; а тверді тіла (поглиначі) – *адсорбентами*.

Найчастіше як адсорбенти у промисловості застосовують активовані вугілля, силікагелі, алюмогелі та молекулярні сита (цеоліти), які характеризуються високою пористістю. Так, питома поверхня активованого вугілля досягає 10<sup>5</sup> – 10<sup>6</sup> м<sup>2</sup>/кг.

Процеси адсорбції ґрунтуються на силах фізичної та хімічної взаємодії. При *фізичній адсорбції* молекули газу прилипають до поверхні твердого тіла під впливом сил міжмолекулярної взаємодії (сили Ван-дер-Ваальса). Перевагою цього є оборотність процесу. За певних умов поглинутий компонент легко десорбується без зміни хімічного складу. Оборотність такого процесу виключно важлива, якщо економічно вигідно регенерувати адсорбент чи рекуперувати адсорбований газ.

В основі *хімічної складової процесу* адсорбції є хімічна взаємодія між адсорбатом та адсорбентом. Такий процес зазвичай є необоротним. Тому якщо передбачається регенерація адсорбенту або рекуперація адсорбату, то адсорбуюче середовище слід вибирати таким чином, щоб переважали процеси фізичної адсорбції.

Процес адсорбції закінчується встановленням адсорбційної рівноваги між адсорбентом та адсорбатом. Умовою рівноваги є рівність хімічних потенціалів обох фаз. Із збільшенням тиску адсорбтиву в об'ємі збільшується частота потрапляння молекул адсорбату на поверхню адсорбенту; пропорційно цьому зростає швидкість адсорбції та збільшується рівноважна кількість адсорбованих молекул.

Адсорбовані молекули можуть переміщуватись поверхнею, здійснюючи при цьому коливальні рухи, то наближаючись до поверхні, то віддаляючись від неї. Час, протягом якого молекула перебуває на поверхні, називається *часом адсорбції*. Із збільшенням температури час адсорбції зменшується: чим вища температура, тим інтенсивнішими є коливальні рухи, та більша імовірність того, що у процесі таких коливань зв'язок молекули із поверхнею буде розірваний та вона покине поверхню. Процес, при якому адсорбовані молекули покидають поверхню, називається *десорбція*.

*Швидкість адсорбції (десорбції)* – це відношення кількості молекул, що адсорбуються (десорбуються) за одиницю часу, до одиниці поверхні або маси адсорбенту. Якщо швидкості адсорбції та десорбції рівні, встановлюється адсорбційна рівновага. У стані рівноваги кількість адсорбованих молекул залишається постійною скільки завгодно довго, якщо є незмінними зовнішні умови (тиск, температура тощо).

*Регенерацію* адсорбентів здійснюють нагріванням насиченого адсорбенту до температури, що перевищує робочу, або продуванням його паром чи гарячим газом.

Адсорбери забезпечують високий ступінь очищення, але процеси регенерації адсорбентів є досить енерговитратними.

Конструктивно адсорбери виконують у вигляді вертикальних (рис. 9.9),

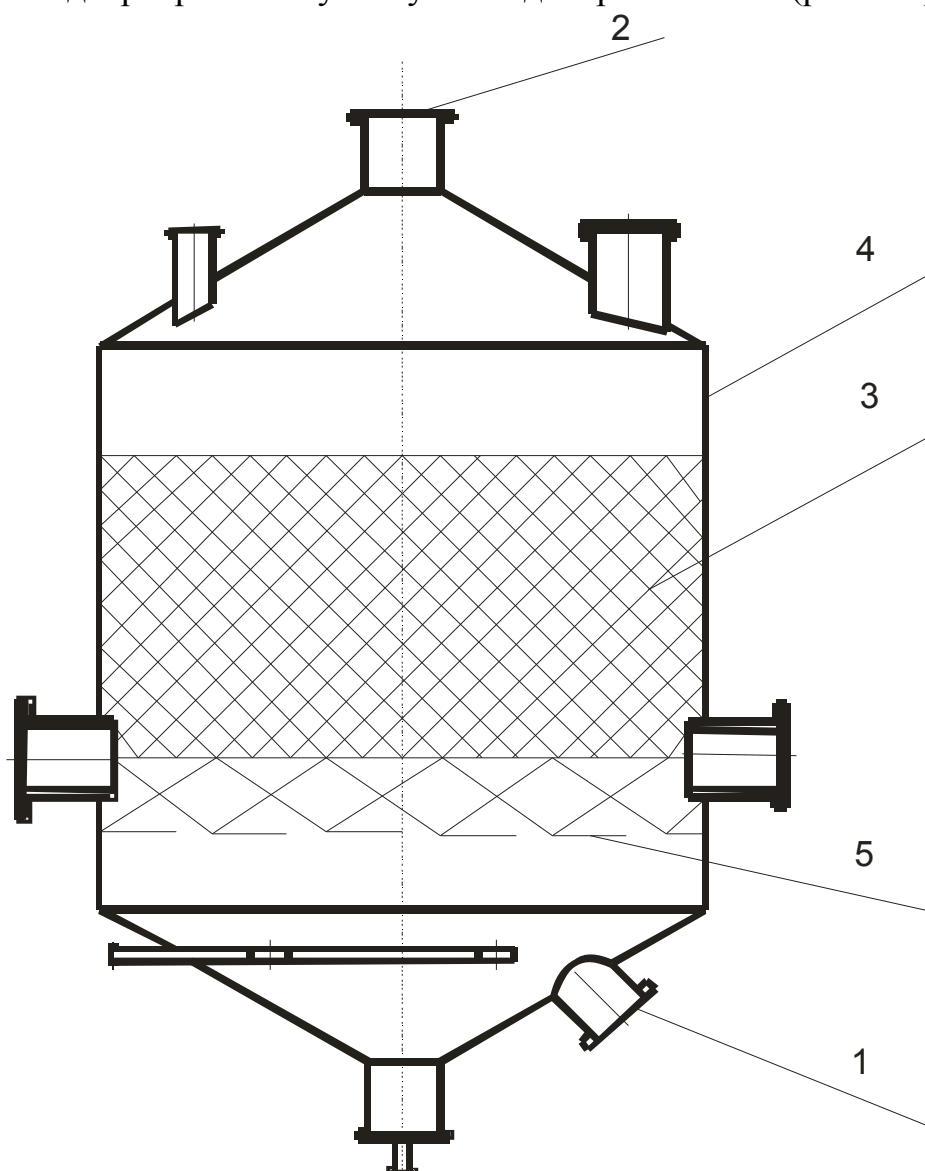


Рис. 9.9. Адсорбер: 1 – вхід газоповітряної суміші; 2 – вихід очищеного газу; 3 – шар адсорбента; 4 – корпус адсорбера; 5 – ґратки.

горизонтальних або кільцевих ємностей, заповнених пористим адсорбентом, через який фільтрується газовий потік. Вибір конструкції визначається швидкістю газової суміші, розміром часточок адсорбенту, необхідним ступенем очищення тощо.

Вертикальні адсорбери зазвичай застосовують при невеликих об'ємах газу; горизонтальні ж і кільцеві при високій продуктивності, що може досягати десятків та сотень м<sup>3</sup> на годину.

Фільтрація газу відбувається через нерухомий (*адсорбери періодичної дії*) або рухомий шар адсорбенту (*адсорбери безперервної дії*). Найпоширенішими є адсорбери періодичної дії, в яких період контакту газового потоку із твердим адсорбентом чергується із періодом регенерації адсорбенту.

Установки періодичної дії характеризуються конструктивною простотою, але мають низькі допустимі швидкості газового потоку і, як наслідок, підвищену металоємність та громіздкість.

Рух адсорбенту у щільному шарі під дією сил тяжіння або у висхідному потоці очищуваного газу забезпечує безперервну роботу установки, що дозволяє ефективніше використовувати адсорбційну здатність сорбенту та спростити умови експлуатації обладнання. Недоліком такого способу є значні втрати адсорбенту за рахунок ударів часточок одна об одну та стирання стінками апарату.

Адсорбцію застосовують для видалення із викидів летких вуглеводнів, органічних розчинників (ефірів, ацетону тощо), сірководню, сульфур оксидів, парів отруйних речовин, радіоактивних газів.

### 9.3.2. Абсорбери

*Абсорбція* полягає у розділенні газоповітряної суміші на складові шляхом поглинання одного або декількох газових компонентів (*абсорбатів*) рідким поглиначем (*абсорбентом*) із утворенням розчину.

Рушійною силою є градієнт концентрації на межі фаз газ – рідина. Розчинений у рідині компонент газоповітряної суміші завдяки дифузії швидко проникає у внутрішні шари абсорбенту. Процес відбувається тим швидше, чим більша поверхня розділення фаз, турбулентність потоків та коефіцієнти дифузії, тобто у процесі проектування абсорберів особливу увагу слід звертати на організацію контакту газового потоку із рідким розчинником та вибір поглинальної рідини (абсорбенту).

Головною умовою під час вибору абсорбенту є розчинність у ньому компоненту, що буде вилучатись, та її залежність від температури та тиску. Якщо розчинність газів при 0 °С та парціальному тиску 101,3 кПа становить сотні грам на 1 кг розчинника, то такі гази називають добре розчинними.

Для видалення із технологічних викидів таких газів, як аміак, гідроген хлорид або гідроген фторид, доцільно використовувати як поглинальну рідину воду, оскільки їх розчинність у воді – сотні г/кг.

При поглинанні ж із газів сірчистого ангідриду або хлору витрати води будуть значними, оскільки розчинність їх становить соті частки грама на 1 кг води. У деяких випадках замість води застосовують водні розчини сульфїтної кислоти, в'язкі масла тощо.

Організація контакту газового потоку із рідким розчинником здійснюється пропусканням газу через насадкову колону; розпиленням рідини; барботажем газу через шар абсорбуючої рідини.

Залежно від реалізованого способу контакту газ – рідина розрізняють: насадкові башти: форсункові та відцентрові скрубери, скрубери Вентурі; барботажно-пінні, тарілчасті та інші скрубери.

Загальний вигляд протиточної насадкової башти наведено на рис. 9.10.

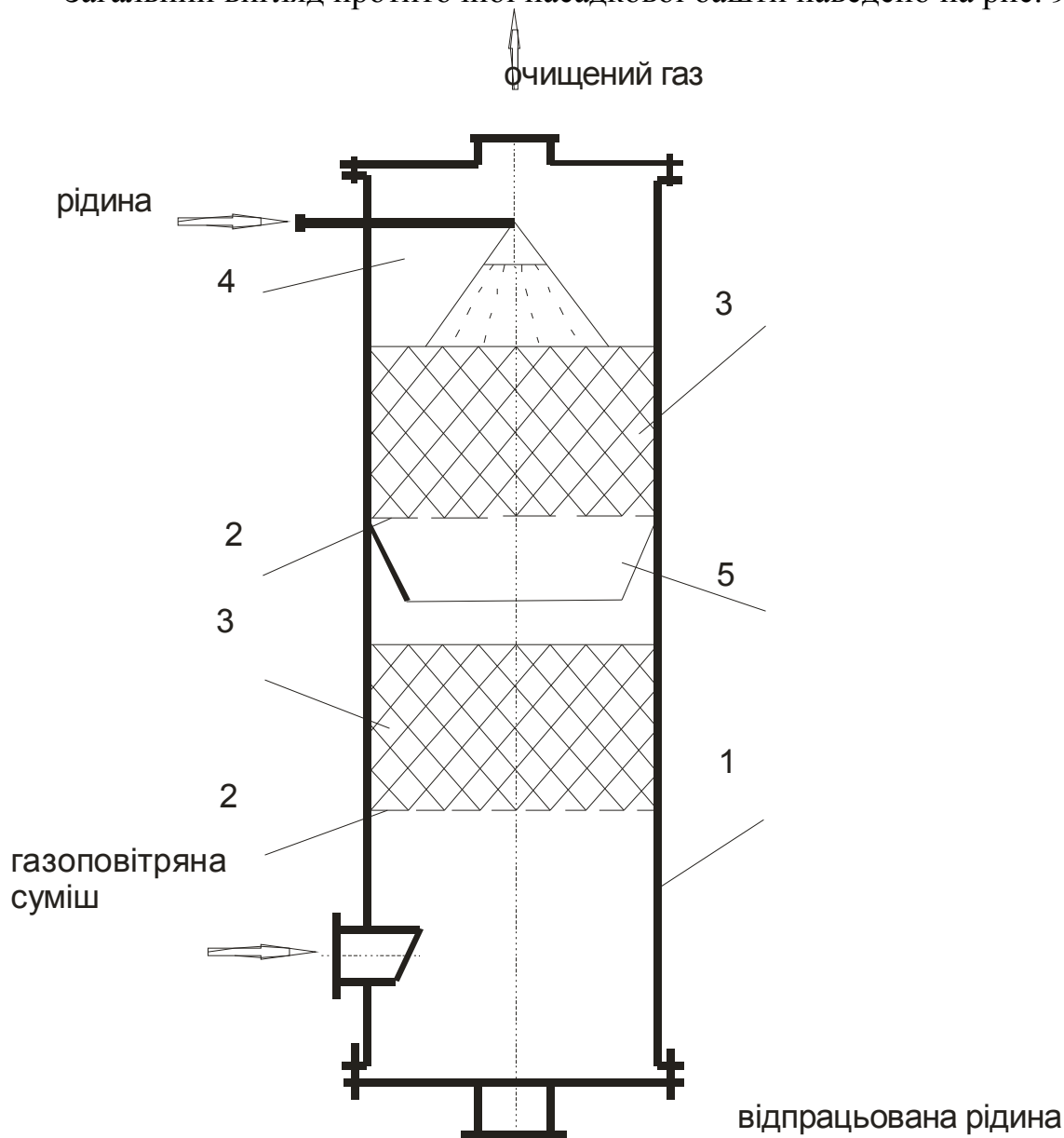


Рис. 9.10. Абсорбер: 1 – корпус; 2 – ґратки; 3 – насадки; 4 – розподілювач рідини; 5 – перерозподілювач рідини.

Забруднений викид входить у нижню частину башти, а очищене повітря виходить через верхню частину. У верхню частину за допомогою розбризкувачів вводять чистий поглинач, а з нижньої – відбирають відпрацьований розчин.

Рідину, яка виводиться із абсорбера, регенерують, десорбуючи забруднюючу речовину, та повертають у процес очищення викиду. Хімічно інертна насадка, яка заповнює внутрішній вміст колони, призначена для збільшення поверхні рідини, яка розтікається по ній у вигляді плівки.

Насадку виробляють із кераміки, порцеляни, пластмаси у вигляді тіл різної геометричної форми (рис.9.11).

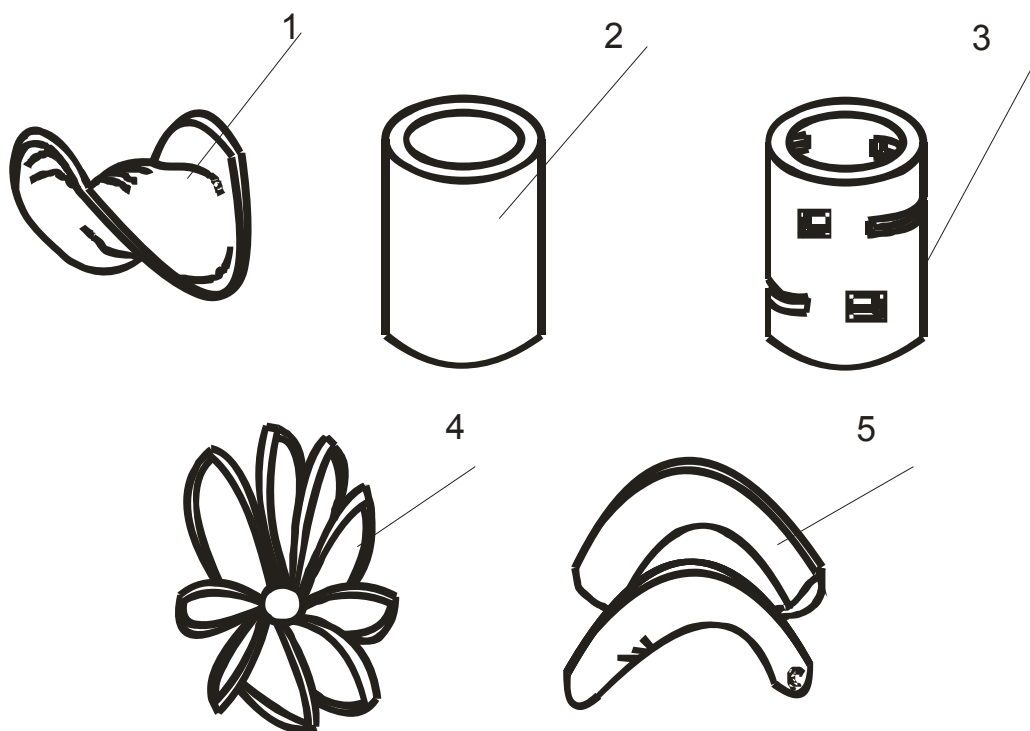


Рис. 9.11. Форми стандартних елементів насадок:

- 1 – сідло Берля; 2 – кільце Рашига; 3 – кільце Палля;  
4 – розетка Теллера; 5 – сідло “Інталокс”.

*Десорбцію* розчиненого газу (або регенерацію розчинника) здійснюють зниженням загального тиску (або парціального тиску) домішки; підвищенням температури; використанням обох способів одночасно.

Ефективність роботи таких установок є досить високою (90 – 95 %), утворені шлами можуть використовуватись для подальшого перероблення та отримання корисних компонентів.

### 9.3.3. Хемосорбція

Хемосорбція ґрунтується на поглинанні газів та парів твердими або рідкими поглиначами із утворенням малолетких або малорозчинних хімічних

сполук. Поглинальна здатність хемосорбенту майже не залежить від тиску, тому хемосорбція більш вигідна при невеликій концентрації шкідливих компонентів у відхідних газах.

Більшість реакцій, що відбуваються у процесі хемосорбції є екзотермічними та оборотними, тому із підвищенням температури розчину утворена хімічна сполука розкладається із виділенням початкових елементів. На цьому принципі ґрунтується механізм десорбції хемосорбенту.

Для здійснення процесу хемосорбції використовують насадкові башти, пінні та барботажні скрубери, розпилювальні апарати типу труб Вентурі та апарати із різними механічними розпилювачами. У промисловості розповсюджені апарати із рухомою насадкою, до переваг яких належать висока ефективність розділення при помірному гідравлічному опорі, а також велика пропускна здатність.

На рис. 9.12 наведена принципова схема скрубера із рухомою насадкою.

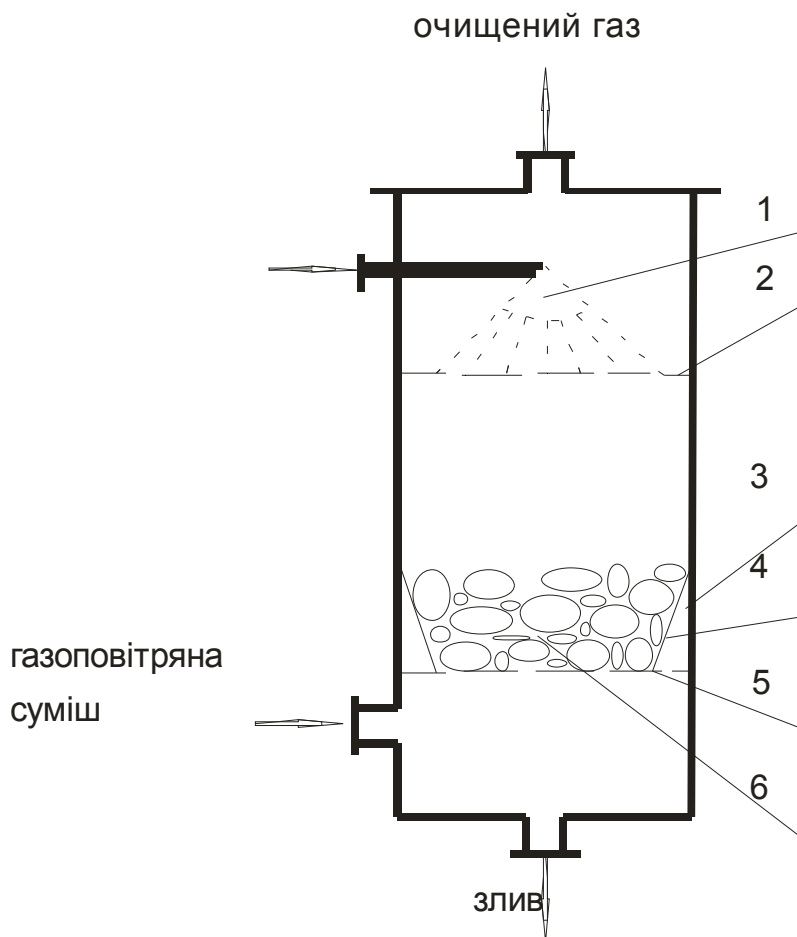


Рис. 9.12. Скрубер із рухомою насадкою: 1 – зрошувальний пристрій; 2, 5 – верхня і нижня опірні обмежувальні ґратки; 3, 6 – кільцева і центральна зони опірних ґраток; 4 – усічений кільцевий елемент.

У верхній частині апарату встановлений зрошувальний пристрій 1, а під ним розташовані верхня 2 та нижня опірні 5 обмежувальні ґратки, між якими розміщена рухома насадка. До опірних ґраток меншою основою прикріплений кільцевий елемент 4, який розділяє простір опірних ґраток на кільцеву 3 та центральну 6 зони. Як насадкові тіла використовують порожнисті, суцільні та перфоровані кулі, а також кільця, півкільця, кубики, схрещені суцільні та перфоровані диски.

Газовий викид подається в апарат під опірні ґратки і розділяється на два потоки: центральний та кільцевий. Під час проходження кільцевої зони потік газу звужується, збільшує швидкість руху, вступає у контакт із елементами рухомої насадки, які притиснуті до стінки, та переміщує їх від стінки у центральний потік. Насадка здійснює пульсаційний рух у центральному та прилеглому до стінки апарату потоках, турбулізує взаємодіючі фази та забезпечує високу ефективність обробки газу рідиною. У тих випадках, коли в результаті процесу випадає осад, рухома насадка видаляє його зі стінок корпусу апарату або опірних ґраток.

Хемосорбція – один із розповсюджених способів очищення відхідних газів від оксидів нітрогену за допомогою вапнякового розчину. Цей процес здійснюється у скруберах Вентурі із форсунковим зрошенням газів хемосорбуючим вапняковим розчином. Ефективність очищення – 80 – 85%.

#### **9.3.4. Термічна нейтралізація**

*Термічна нейтралізація* ґрунтується на здатності горючих токсичних компонентів (гази, пари, речовини із неприємним запахом) окиснюватись до менш токсичних у присутності вільного кисню та високій температурі газової суміші. Цей спосіб часто застосовується, якщо об'єми викидів є значними.

Термічна нейтралізація шкідливих домішок газових викидів у багатьох випадках має переваги перед іншими фізико-хімічними способами (абсорбцією, адсорбцією). Відсутність шламу, невеликі габарити очисних установок, простота їх обслуговування, пожежна автоматизація їх роботи, висока ефективність знешкодження токсичних речовин та інші позитивні характеристики є причиною досить широкого розповсюдження таких способів очищення викидів у промисловості.

Область застосування способу термічної нейтралізації обмежується характером утворюваних у результаті окиснення продуктів реакції. Так, під час спалювання газів, що містять фосфор, галогени, сульфур, утворюються продукти реакції, які за токсичністю багаторазово перевищують початковий газовий викид.

Тому спосіб термічного знешкодження застосовується для викидів, які містять токсичні компоненти органічного походження, але без галогенів, сульфуру та фосфору.

Розрізняють три схеми термічної нейтралізації газових викидів: пряме спалювання, термічне окиснення та каталітичне спалювання.

Пряме спалювання у полум'ї та термічне окиснення відбувається при температурах 600 – 800 °С; каталітичне спалювання – при 250 – 450 °С. Вибір схеми нейтралізації визначається хімічним складом забруднюючих речовин, їх

концентрацією, початковою температурою газових викидів, витратами та гранично допустимими нормами викиду забруднюючих речовин.

*Пряме спалювання* слід застосовувати лише у тих випадках, коли відхідні гази забезпечують підведення значної частини енергії, необхідної для здійснення процесу. Із економічних міркувань цей внесок має перевищувати 50 % загальної теплоти згоряння.

При проектуванні пристроїв прямого спалювання слід знати межі загоряння чи вибуху спалюваних викидів у суміші із повітрям. Ці дані свідчать про те, чи буде такий вид газоподібних відходів підтримувати горіння без додаткового підведення палива. Для безпеки транспортування спалювання газів у промислових масштабах здійснюється при концентраціях горючих компонентів не більше 25 % від нижньої межі вибуху.

Одна із проблем, які ускладнюють здійснення прямого спалювання, пов'язана з тим, що температура полум'я може досягати 1 300 °С. При наявності достатнього надлишку повітря та тривалому витримуванні газу за високої температури це веде до утворення нітроген оксидів. Тобто процес спалювання, знешкоджуючи забруднюючі речовини одного типу, стає джерелом забруднюючих речовин іншого типу.

Прикладом процесу прямого спалювання є спалювання вуглеводнів, які містять токсичні гази, безпосередньо у факелі, тобто у відкритому пальнику, направленому вертикально вгору. Факел застосовують головним чином для спалювання горючих відходів, обробка яких іншими способами є ускладненою.

Існують установки для здійснення прямого спалювання шкідливих домішок у замкнутій камері. Основні вимоги, які висуваються до конструкцій таких камер – забезпечення високого ступеню турбулентності газового потоку та часу перебування його в камері впродовж 0,2 – 0,7 с.

Системи вогняного знешкодження забезпечують ефективність очищення 90– 99 %, якщо час перебування шкідливих компонентів у високотемпературній зоні не менше 0,5 с і температура знешкодження газів, що містять вуглеводні, не менше 500 – 650 °С, а тих, що містять карбон оксиди – 660 – 750 °С.

*Термічне окиснення* застосовують або коли відхідні гази мають високу температуру, але не містять необхідної кількості кисню, або коли концентрація горючих домішок настільки низька, що вони не забезпечують підведення теплоти, необхідної для підтримання полум'я.

Найважливішими факторами, які враховуються при проектуванні пристроїв термічного окиснення є час, температура та турбулентність. Час в апараті повинен бути достатнім для повного згоряння горючих компонентів і зазвичай становить 0,3 – 0,8 с. Турбулентність характеризує ступінь механічного перемішування, необхідного для забезпечення ефективного контактування кисню та горючих домішок.

Робочі температури залежать від характеру горючих домішок. Так, для окиснення вуглеводнів раціональний інтервал температур 500 – 760 °С, для окиснення карбону оксидів 680 – 800 °С, при знешкодженні запахів шляхом окиснення 480 – 680 °С.

У тих випадках, коли температура відхідних газів є недостатньою для здійснення процесу окиснення, потік газів підігрівають у теплообміннику, а потім пропускають через робочу зону, в якій спалюють природний або який-небудь інший висококалорійний газ. При цьому горючі компоненти відхідних газів доводять до температур, що перевищують точки їх samozагорання, і вони згорають під впливом кисню, який зазвичай присутній у потоці забрудненого газу. При нестачі кисню його вводять у потік за допомогою повітродувки, ежектуванням або вентилятором.

Основною перевагою термічного окиснення є відносно низька температура процесу, що дозволяє зменшити витрати та уникнути значного утворення нітроген оксидів.

*Каталітичний спосіб* застосовують для перетворення токсичних компонентів промислових викидів у нешкідливі або менш шкідливі для навколишнього середовища шляхом використання каталізаторів.

Цей спосіб вигідно відрізняється від спалювання та термічного окиснення короткотривалістю процесу (іноді достатньо декількох часток секунди), що дозволяє зменшити габарити апарата.

Окрім того, при пропусканні газоподібних викидів через шар каталізатора температура, необхідна для здійснення процесу істотно знижується (до 300 °С). Все це дозволяє зменшити загальні витрати на процес очищення.

Ступінь знешкодження викидів таким способом досягає 85 – 95 %.

Для здійснення каталітичного процесу необхідна невелика кількість каталізатора, розташованого таким чином, щоб забезпечити максимальну поверхню контакту із газовим потоком.

Каталітичний шар повинен створювати помірно низький перепад тиску, забезпечувати структурну доцільність та довговічність каталізатора. У більшості випадків каталізаторами є метали (платина, паладій та інші) або їх сполуки (оксиди купруму, мангану тощо). Каталізаторна маса виконується у вигляді кульок, кілець, пластин або дротів у формі спіралі.

Об'єм каталізаторної маси визначають, виходячи із максимальної швидкості знешкодження газу, яка, у свою чергу, залежить від природи та концентрації шкідливих речовин у відхідних газах, температури та тиску каталітичного процесу та активності каталізатора.

Здійснення каталітичних процесів іноді ускладнюється можливим порушенням роботи каталізатора деякими домішками газового викиду. Наявність у викиді феруму, плюмбуму, кремнію та фосфору, а також сполук сульфуру скорочує термін використання багатьох каталізаторів або пригнічує їх активність.

Істотний вплив на швидкість та ефективність каталітичного процесу має температура газу. Для кожної реакції, яка відбувається у газовому потоці, характерна так звана мінімальна температура початку реакції, нижче якої каталізатор не виявляє активності.

Ця температура залежить від природи та концентрації речовин, які знешкоджуються (табл. 9.1).

**Температура початку реакції каталітичного спалювання**

Шкідлива речовина	Температура початку реакції, °С	Шкідлива речовина	Температура початку реакції, °С
Альдегіди	173 – 234	Карбону оксиди	316 – 343
Ацетилен	207 – 241	Пропан	293 – 332
Бензин	261 – 298	Розчинник	260 – 400
Бензол	277 – 300	Тринітротолуол	219 – 250
Ксилол	200 – 340	Толуол	200 – 250
Лаки	316 – 371	Фенол	216 – 427
Нітротолуол	265 – 297	Етанол	261 – 293

Також слід враховувати, що для кожного каталізатора існує граничний температурний рівень. У багатьох каталізаторів максимальна робоча температура становить 800 – 850 °С. Перевищення цього рівня зумовлює зниження активності, а потім руйнування каталізатора [1; 8; 18; 24].

### **Питання до самоконтролю**

1. Що таке ГДК шкідливої речовини?
2. Охарактеризуйте класи небезпечності шкідливих речовин за ступенем їх дії на людину.
3. Охарактеризуйте норматив ГДВ. У чому полягають особливості його розрахунку?
4. Назвіть основні властивості пилу та дайте їх коротку характеристику.
5. Які основні способи очищення газопилових викидів промислових підприємств ви знаєте?
6. У чому полягає принцип роботи циклону? Які його переваги та недоліки?
7. Охарактеризуйте особливості застосування та принцип роботи рукавних фільтрів.
8. Назвіть способи регенерації рукавів.
9. Дайте загальну характеристику роботи пилових камер.
10. Як працює електрофільтр? У чому його переваги та недоліки?
11. Назвіть основні апарати для мокрого пиловловлювання та охарактеризуйте принцип їх дії.
12. У чому полягає суть процесу адсорбції? Назвіть основні типи адсорберів та охарактеризуйте процес десорбції.
13. Охарактеризуйте принцип дії та класифікацію абсорберів.
14. Які апарати найчастіше використовуються для здійснення процесу хемосорбції?
15. Охарактеризуйте основні схеми термічної нейтралізації газових викидів.

## 10. СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

### 10.1. Основна

1. *Белевицкий А.М.* Проектирование газоочистительных сооружений / Белевицкий А.М. – Л.: Химия, 1990. – 228 с.
2. *Воронов Ю.В.* Водоотведение и очистка сточных вод. / Ю. Воронов, С.Яковлев – М.: Издательство Ассоциации строител. вузов, 2006. – 704 с.
3. *Екологічна біотехнологія* / О.В. Швед, О.Б. Миколів, О.З. Комаровська-Порохнявець, В.П. Новіков. – У 2 книгах. – Львів: Львівська політехніка, 2010. – 792 с.
4. *Запольський А. К.* Водопостачання, водовідведення та якість води / Запольський А. К. – К.: Вища шк., 2005. – 671 с.
5. *Запольський А.К.* Екологізація харчових виробництв / А. Запольський, А.Українець. – К.: Вища шк., 2005. – 423 с.
6. *Зейфман Е.А.* Интенсификация процессов очистки сточных вод от биогенных элементов / Зейфман Е.А., Лебедева Е.А., Тихановская Г.А. – Вологда.: ВоГТУ, 2003. – 121 с.
7. *Кузнецов И.Е.* Оборудование для санитарной очистки газов: Справочник / Кузнецов И.Е., Шмат К.А., Кузнецов С.И. – К.: Техніка, 1989. – 304 с.
8. *Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию* / [Ю.И. Дытнерский, Г.С. Борисов, В.П. Брыков и др.]– М.: Химия, 1991. – 496 с.
9. *Охрана окружающей среды* / [С.В.Белов, Ф.А.Барбинов, А.Ф.Козьяков и др.]. – М.: Высш. шк., 1991. – 319 с.
10. *Очистка производственных сточных вод [Электронный ресурс]* / С.В.Яковлев, Я.А.Карелин, Ю.М.Ласков, Ю.В.Воронов. – М.: Стройиздат, 1985. – 335 с. – Режим доступа до сайту: <http://prom-truba.ru/>.
11. *Очистка сточных вод предприятий мясной и молочной промышленности* / С.М. Шифрин, Г.В. Иванов, Б.Г.Мишуков, Ю.А.Феофанов. – М.: Легкая и пищевая пром-сть, 1981. – 272 с.
12. *Проектирование сооружений для очистки сточных вод* / Всесоюз. комплекс. н.-и. и конструкт.технолог. ин-т водоснабжения, канализации, гидротехн. сооружений и инж. гидрогеологии. – М.: Стройиздат, 1990. – 192 с. – (Справочное пособие к СНиП).
13. *СНиП 2.04.03–85.* Канализация. Наружные сети и сооружения [Электронный ресурс]. – М.: Стройиздат, 1985. – 125 с. – Режим доступа до сайту: <http://www.ventportal.com/node/167>.
14. *Федоров Н.Ф.* Канализация / Н.Федоров, С. Шифрин – М.: Высшая школа, 1968. – 592 с.
15. *Яковлев С.В.* Канализация: (Водоотведение и очистка сточных вод) / С. Яковлев, Ю. Ласков. – М.: Стройиздат, 1987. – 319 с.

### 10.2. Додаткова

16. *Анцыпович И.С.* Охрана окружающей среды на предприятиях мясной и молочной промышленности / И. Анцыпович, Л.Попенко – М.: Агропромиздат, 1986. – 255 с.

17. *Водний кодекс України* [Електронний ресурс]. – Затверджено постановою Верховної Ради України від 6.06.1995 р. № 214/95-ВР, [зі змінами і доповненнями, внесеними](#) у 2000 – 2010 рр. – Режим доступу до сайту: [http://search.ligazakon.ua/l\\_doc2.nsf/link1/Z950213.html](http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/Z950213.html).

18. *Державні санітарні правила охорони атмосферного повітря населених місць (від забруднення хімічними та біологічними речовинами)* [Електронний ресурс]. – Затверджено наказом Міністерства охорони здоров'я України від 9.07.97 № 201, [зі змінами і доповненнями, внесеними](#) у 2000 р. – Режим доступу до сайту: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=803>.

19. *Державні санітарні правила планування та забудови населених пунктів* [Електронний ресурс]. – Затверджено наказом Міністерства охорони здоров'я України від 19.06.96 № 173, [зі змінами і доповненнями, внесеними](#) у 2007 та 2009 рр. – Режим доступу до сайту: [http://jobsafety.com.ua/ids\\_op/date\\_full/1034\\_227\\_1.html](http://jobsafety.com.ua/ids_op/date_full/1034_227_1.html).

20. *Пархомец А.П.* Биологическая очистка сточных вод сахарных заводов / *А. Пархомец, И. Сергиенко* – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984. – 112 с.

21. *Правила охорони поверхневих вод від забруднення зворотними водами* [Електронний ресурс]. – Затверджено постановою Кабінету Міністрів України від 25.03.99 № 465. – Режим доступу до сайту: [http://search.ligazakon.ua/l\\_doc2.nsf/link1/КР990465.html](http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/КР990465.html)

22. *Правила приймання стічних вод підприємств у комунальні та відомчі системи каналізації населених пунктів України* [Електронний ресурс]. – Затверджено наказом Державного комітету будівництва, архітектури та житлової політики України від 19.02.2002 р. № 37. – Режим доступу до сайту: <http://zakon.nau.ua/doc/?code=z0403-02>; <http://zakon.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?nreg=z0403-02>.

23. *Цыганков С.П.* Биологическая очистка сточных вод предприятий пищевой промышленности / *Цыганков С.П.* – М.: Агропромиздат, 1988. – 165 с.

24. *Штокман Е.А.* Очистка воздуха от пыли на предприятиях пищевой промышленности / *Штокман Е.А.* – М.: Агропромиздат, 1989. – 312 с.

## ЗМІСТ

1. СУЧАСНІ ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ ВІТЧИЗНЯНИХ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ.....	3
<i>Питання до самоконтролю</i> .....	4
2. ХАРАКТЕРИСТИКА СПОСОБІВ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД ХАРЧОВИХ ПІДПРИЄМСТВ ТА СХЕМИ ОЧИСНИХ СТАНЦІЙ.....	4
<i>Питання до самоконтролю</i> .....	7
3. МЕХАНІЧНЕ ОЧИЩЕННЯ ВИРОБНИЧИХ СТІЧНИХ ВОД.....	7
3.1. Очищення стічних вод на ґратках.....	7
3.2. Очищення стічних вод на пісковловлювачах.....	8
3.3. Очищення стічних вод у відстійниках.....	10
3.4. Очищення стічних вод на фільтрах.....	13
3.5. Мулові майданчики.....	13
<i>Питання до самоконтролю</i> .....	14
4. ФІЗИКО-ХІМІЧНЕ ОЧИЩЕННЯ ВИРОБНИЧИХ СТІЧНИХ ВОД.....	15
Очищення стічних вод на флотаційних установках.....	15
4.2. Коагуляційне очищення стічних вод.....	15
<i>Питання до самоконтролю</i> .....	19
5. ХІМІЧНЕ ОЧИЩЕННЯ ВИРОБНИЧИХ СТІЧНИХ ВОД.....	20
Нейтралізація стічних вод.....	20
5.2. Дезинфекція стічних вод.....	20
<i>Питання до самоконтролю</i> .....	21
6. БІОЛОГІЧНЕ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД У ПРИРОДНИХ УМОВАХ..	21
<i>Питання до самоконтролю</i> .....	24
7. БІОЛОГІЧНЕ ОЧИЩЕННЯ ВИРОБНИЧИХ СТІЧНИХ ВОД У ШТУЧНИХ УМОВАХ.....	24
7.1. Придатність стічних вод до біологічного очищення.....	24
7.2. Очищення стічних вод у біофільтрах.....	26
Крапельні біофільтри.....	28
7.2.2. Високонавантажені біофільтри.....	28
7.3. Очищення стічних вод в аеротенках.....	30
7.4. Анаеробна обробка стічних вод та осадів.....	33
<i>Питання до самоконтролю</i> .....	36
8. УМОВИ СКИДАННЯ СТІЧНИХ ВОД.....	36
8.1. Скидання у каналізаційну мережу.....	36
8.2. Скидання у природні водойми.....	37
<i>Питання до самоконтролю</i> .....	39
9. ОЧИЩЕННЯ ВИКИДІВ ХАРЧОВИХ ПІДПРИЄМСТВ.....	40
9.1. Загальна характеристика способів очищення газопилових потоків харчових підприємств.....	41
9.1.1. Основні властивості пилу.....	43
9.1.2. Класифікація пилогазоочисного обладнання.....	45
9.2. Механічне очищення газопилових викидів.....	47
9.2.1. Циклони.....	47
9.2.2. Фільтри.....	49

9.2.3. Пилоосаджувальні камери.....	51
9.2.4. Електрофільтри.....	53
9.2.5. Апарати для мокрого пиловловлювання.....	55
9.3. Фізико-хімічне очищення газових потоків.....	60
9.3.1. Адсорбери.....	60
9.3.2. Абсорбери.....	62
9.3.3. Хемосорбція.....	64
9.3.4. Термічна нейтралізація.....	66
<i>Питання до самоконтролю.....</i>	<i>69</i>
10. СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	70
10.1. Основна.....	70
10.2. Додаткова.....	70

Навчальне видання

ПРИРОДООХОРОННІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ОБЛАДНАННЯ  
(ПРИРОДООХОРОННІ ТЕХНОЛОГІЇ)

КУРС ЛЕКЦІЙ  
для студентів спеціальностей  
7.04010601, 8.04010601  
«Екологія та охорона навколишнього середовища»  
та 8.04010604 «Екологічний контроль та аудит»  
денної та заочної форм навчання

Укладачі: Семенова Олена Іванівна  
Бублієнко Наталія Олександрівна  
Ткаченко Тетяна Леонідівна

Редактор  
Комп'ютерна верстка

Підп. до друку 00.00.00 р. Обл.–вид. арк. ... . Наклад пр. Вид. № ..... . Зам.  
№ ... .

---

РВЦ НУХТ 01610 Київ, вул. Володимирська, 68  
www.book.nuft.edu.ua  
Свідоцтво про реєстрацію серія ДК № 1786 від 18.05.04 р.