

## Лекція 4

### Тема: Біологічні методи очищення води

#### План

1. Очисні споруди, принципи та методи їх роботи
2. Екстенсивні способи очищення стічних вод.
3. Інтенсивні способи очищення стічних вод.

#### 1. Очисні споруди, принципи та методи їх роботи

Кількісний і якісний склад мікрофлори різних природних джерел води різноманітний. Він залежить, насамперед, від забруднення води. Особливо різноманітний склад мікроорганізмів у стічних водах. Загальна кількість у мл активного мулу стічних вод становить 10-20 млрд. клітин.

У зв'язку з бурхливим розвитком промисловості і ростом населення міст різко зростає кількість різноманітних стічних вод, які неочищеними спускають і відкриті водойми. Саме цей фактор є основним джерелом забруднення води.

Стічні води можна поділити на дві категорії:

1. Води, які містять нетоксичні органічні речовини (побутові відходи разом з фекаліями; води підприємств харчової та целюлозної промисловості). Вони не несуть загрози гідробіонтів.

2. Води, які містять токсичні продукти, а також радіоактивні речовини (відходи з підприємств металургійної та хімічної промисловості, ксенобіотики). Вони створюють умови, несутимісні з життям.

**За походженням** стічні води поділяються на природні, побутові і промислові.

Промислові і побутові стічні води є постійним джерелом забруднення довкілля. Тому їх очищення й утилізація є важливою складовою сучасної біотехнології. Застосування тільки хімічних методів очищення стічних вод і їх зливу у водойми без попереднього біологічного очищення абсолютно виключне. Метод такого очищення базується на використанні специфічних біологічних угруповань, що мають назву **активний мул**.

Хімічний склад СВ постійно змінюється, тому для їх очищення необхідно застосовувати складні угруповання мікроорганізмів, що включають різні бактерії, водорості, найпростіші тощо. Шляхом узгодженого метаболізму вони поглинають домішки з води. У різних очисних спорудах використовують активний мул індивідуального складу.

Способи біологічного очищення стічних вод класифікують по-різному.

Розрізняють:

- екстенсивні (пасивні) та інтенсивні (активні) методи очищення;
- за використанням методів очищення – фізичні, фізико-хімічні, біологічні;
- всі процеси які йдуть за участі бактерій – аеробні і анаеробні.

**Процеси аеробного очищення :**

- ріст бактерій у суспензії (процеси активного мулу, нітрифікація та керовані лагуни);
- ріст бактерій на несучій поверхні (за допомогою різних біофільтрів).

**Процеси анаеробного очищення:**

- ріст бактерій у суспензії (процеси анаеробного засвоєння органічних сполук);
- ріст бактерій на несучій поверхні (за допомогою анаеробних біофільтрів).

**Методи контролю за якістю води:** біологічні, хімічні, фізико-хімічні.

1. Методи біологічного контролю: - спостереження за якісним і кількісним складом мікрофлори активного мулу, біоплівки (особливо грибної, що закупорює отвори між наповнювачами, зменшує аерацію і веде до загибелі біоплівки);

2. Хімічні методи контролю: хімічне споживання кисню (ХСК), біохімічне споживання кисню (БСК), муловий індекс (МІ).

**Хімічне споживання кисню** – характеризує загальний вміст у воді органічних та неорганічних речовин, які здатні реагувати зі сильними окислювачами, і виражається в одиницях кількості кисню, який втрачається на їх окислення.

**Біохімічне споживання кисню** – кількість кисню (мг), яка необхідна для окислення органічних речовин, що містяться у 1 л стійкої води у результаті аеробних процесів.

**Муловий індекс** – показує об'єм, який займає 1г активного мулу після повторного відстоювання. Його зростання свідчить про набухання активного мулу, тобто про негативні зміни його структури.

## 2. Екстенсивні способи очищення стічних вод

До екстенсивних методів належить очищення **СВ** у біологічних ставках, полях зрошення і полях фільтрації, які забезпечують ефективність очищення води до 99,9%. У таких випадках додаткова дезінфекція, як правило, не потрібна.

**Біологічні ставки** – належать до споруд біологічного очищення, у яких під дією природного біоценозу активного мулу проходить окислення органічних забруднень. Як правило, вода, що виходить зі ставків, не містить патогенну мікрофлору. Бактерицидну дію щодо патогенів проявляють метаболіти одноклітинних водоростей і вищої водної рослинності.

Застосовуються для очищення **СВ** заводів органічного синтезу, нафтохімічних підприємств.

- з природною аерацією

- зі штучною аерацією

**Поля фільтрації** – використовують винятково для очищення **СВ**. На них подають максимальну кількість рідини.

**Поля зрошення** – призначені для вирощування сільськогосподарської продукції, тому вода на них подається при необхідності (періодично, через 5 діб). **СВ** підвищують якість ґрунту, вони багаті на доступними для рослин формами азоту, фосфору, калію.

Недоліки цих споруд – низька окислювальна здатність, сезонність роботи, потреба у великих територіях, некерованість процесу тощо.

## 3. Інтенсивні способи очищення стічних вод

### **Очисні споруди з аеробними процесами**

Традиційний метод штучного біологічного очищення **СВ** за допомогою активного мулу аеротенків. (запропонований ще у 1914 р. Е. Ардерном і В.Т. Локкетом).

**Аеротенки** – резервуари, в яких **СВ**, що очищається, і активний мул насичуються повітрям і перемішуються.

**СВ** після ретельного механічного очищення від різного сміття, піску, домішок, що осідають чи спливають, потрапляє в споруду (глибина -4-6м, довжина 50-250м, ширина -3-11 м.), де за постійної аерації очищається гідробіоценозом активного мулу. Після тривалого очищення (6-24 і більше годин) вода надходить у **вторинний відстійник**, у якому звільняється від активного мулу, а потім потрапляє для третинного фізико-хімічного доочищення (іноді після хлорування) у проміжні водойми (ставки) і, нарешті, у річку чи інше джерело. Частина активного мулу, що осідає, повертають до аеротенка.

Проблему за такої технології створює надлишковий мул, який містить віруси, мікроорганізми, яйця гельмінтів, а також іони і солі важких металів, біологічно стійкі, токсичні та мутагенні сполуки, які пригнічують життєдіяльність мікроорганізмів активного мулу.

Порушення роботи аеротенка переважно пов'язують з розбуханням мулу, коли пластинки погано осаджуються у вторинному відстійнику, внаслідок чого вони виносяться разом з очищеною водою. Основною причиною цього явища є розвиток нитчастих бактерій або плісневих грибів, які заважають осадженню флокулів мулу.

**Біологічне очищення вважають повним**, якщо біохімічне споживання кисню повністю очищеної води становить менше 20 і **неповним** – більше 20 мг/л.

**Біофільтрація** – для очищення виробничих **СВ** у штучних умовах за допомогою **біологічних фільтрів**.

Найважливішою складовою частиною біофільтру є завантажувальний матеріал. За типом завантажувального матеріалу всі біофільтри поділяють на дві категорії:

- з об'ємним завантаженням (краплинні, високо навантажувальні, баштові);
- з площинним завантаженням (з жорстким засипним, жорстким блоковим і м'яким завантаженням).

У біофільтрах з об'ємним завантаженням використовують гравій, керамзит, з площинним – шифер, листи пластмаси, синтетичні тканини.

Пропускна здатність біофільтрів визначається площею поверхні сорбційних процесів біоплівки і можливістю вільного доступу повітря.

Для того, щоб не відбувалося замулювання поверхні біофільтра, застосовують рециркуляцію.

**Рециркуляція** – це повернення частини очищеної води для розведення вихідної **СВ**. Це збільшує вміст розчинного кисню в суміші, що подається на біофільтр; вирівнює концентрацію біоплівки за висотою споруди, вирівнює піки концентрації забруднень, значно зменшує навантаження на біофільтр.

Біофільтри класифікують на кілька категорій:

**1. Краплинні біофільтри** – використовують для очищення **СВ** різних виробництв.

**2. Занурюючі біофільтри** – очищають СВ каніфольно-екстракційних заводів, термічної переробки сланців, виробництва каучуку.

**СВ** у резервуарі аерується внаслідок занурення і обертання валу з дисками, на яких наростає біоплівка (товщиною до 4 мм). Це сприяє підтримуванию активного мулу в суспендованому стані.

Мікрофлора мулу представлена бактеріями родів *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Corynebacterium*, *Arthrobacter*, *Sarcina*, *Nocardia*.

**3. Біотенки – біофільтри**. Це споруда, що складається з корпусу і розміщених всередині нього один над одним шарів наповнювачів. Стічна вода стікає вниз. При цьому **СВ** омиває зовнішні частини елементів, на яких утворюється біоплівка.

На відміну від активного мулу, у якому якісний склад мікроорганізмів практично однаковий, в усіх частинах очищення, на різних рівнях біофільтра створюється свої мікробоценози, що сильно відрізняються за кількісним і якісним складом, що обумовлює поетапне очищення води. Спочатку утилізуються речовини, що більш легко засвоюються мікроорганізмами, потім – важкодоступні речовини.

Використання активного мулу і біофільтрів – інтенсивні методи очищення, які значною мірою залежать від температури, рН середовища, концентрації розчинного кисню.

### **Очисні споруди з анаеробними процесами..**

До очисних споруд з анаеробними процесами відносяться анаеробні фільтри, метантенки, септиктенки та двоярусні відстійники.

**1. Анаеробні біофільтри** – закриті резервуари, через які вода профільтровується потоком без кисню. Анаеробні біофільтри за принципом роботи займають проміжне місце між звичайними біофільтрами і метантенками. Біоплівка в них закріплена на матеріалі завантаження, а процеси окислення супроводжуються метаноутворенням.

При анаеробному очищенні забруднених СВ, що складається в основному з осадів, частіше використовують метантенки, септиктенки і двоярусні відстійники (система решіток і первинних відстійників). У спорудах проходить мікробіологічне розкладання органічної речовини в анаеробних умовах, при цьому:

- відбувається зміна фізичної структури осаду і полегшується його висушування;
- зменшення маси осаду шляхом перетворення органічних речовин у газу бродіння і розчинні солі жирних кислот;
- утилізація горючих газів бродіння у паливо;
- утворення добрива;

- поліпшення санітарної безпеки осаду (важливо при використанні його як добрива на полях).

Залишок твердої фази СВ називається *септичним мулом*, його використовують у якості добрива та палива.

**2. Метантенки** – використовують для першого ступеня очистки висококонцентрованих СВ. В них відбувається інтенсивний метаногенез.

Цей спосіб зброджування органічних відходів є найбільш перспективним у вирішенні екологічних і енергетичних проблем, що дає змогу агропромисловим комплексам перейти на самостійне енергопостачання завдяки одержанню біогазу.

У метантенках здійснюється тільки збродження осадів з первинних відстійників, надлишкового активного мулу і біоплівки.

**3. Септиктенки і двохярусні відстійники** призначені для одночасного осадження речовин зі стічної рідини і анаеробного розкладу вихідного осаду.

При розкладанні осадів розрізняють дві фази: кислу (водневу) і лужну (метанову).

У кислій фазі карбонвмісні речовини розкладаються з утворенням легких кислот (оцтова, молочна, масляна), спиртів, ацетону,  $\text{CO}_2$ , і  $\text{H}_2$ .

У лужній фазі в основному відбуваються процеси, пов'язані з накопиченням метану. За участю анаеробних метанових бактерій відбувається метанове бродіння, у результаті якого утворюються  $\text{CH}_4$  і  $\text{CO}_2$ . Крім цього, метан утворюється в результаті відновлення  $\text{CO}_2$ , коли донором Гідрогену є масляна кислота або молекулярний водень – продукти розкладання речовин у кислій фазі.

**Метантенк** – це закрита камера різної конструкції, звантажена муловим осадом з відстійників. Процес відбувається завдяки швидкому перемішуванню і штучному підігріву цієї маси до  $+30-35^\circ\text{C}$ , внаслідок чого в ній розвиваються мезофільні мікроорганізми. Підвищення температури до  $+50-55^\circ\text{C}$  не тільки підвищує розпад, але і призводить до глибшого розвитку термофільних анаеробних мікроорганізмів, які мають швидкий обмін речовин унаслідок високої активності ферментів.

**Септиктенк, або перегнівач** – це горизонтальний відстійник через який повільно протікає концентрована СВ, а осад, що випадає, перегниває протягом тривалого часу.

Процес очищення СВ у ньому відбувається значно повільніше. СВ підлягає освітленню протягом 1-4 діб, а осад зберігається 6-12 місяців. Газу, які виділяються при розкладанні осаду під час бродіння, піднімаються у вигляді бульбашок, забираючи у верхні шари частинки осаду, що злипаються і утворюють на поверхні септиктенка прошарок, який потім ущільнюється. На прошарку поселяються плісеневі гриби, які пронизують його своїми гіфами. Це сприяє встановленню анаеробних умов і частково зберігає тепло, що забезпечує оптимальні умови для мікроорганізмів, які здійснюють анаеробний розклад органічної частини осаду.

**Дох'ярусні відстійники (емери, або емшераські басейни)** – призначені для виділення осаду з СВ і одночасно для його анаеробного розкладу тим же комплексом мікроорганізмів, що і в метантенку. В емшерах цей процес закінчується швидше, ніж у септиктенку, але повільніше, ніж у метантенку.

СВ повільно протікає горизонтальним коридором, суспендовані частини осідають, провалюються крізь щілини і попадають у нижню частину відстійника, де проходить їх біохімічне розкладання. Мул, який перегнив, періодично виводиться з дна відстійника через мулову трубу, а на його місце всмоктується мул з шару, розміщеного вище.

**5. Біоконвеєр** – прямотечійна багатоступінчаста система очищення води.

Технологічна суть **біоконвеєра** полягає в тому, що на шляху води, яку потрібно очистити, розміщені гідробіонти – анаеробні бактерії, аеробні мікроорганізми (копіотрофи, оліготрофи), найпростіші, фільтратори, хижачки. Дані групи організмів населяють резервуари зі стічними водами і, перебуваючи на своїх «робочих місцях», використовують з води розчинені у ній органічні сполуки і біомасу відмерлих організмів. У результаті на виході отримують чисту воду і в сотні разів меншу кількість біомаси.

Важливим є те, що у біоконвеєрі, на відміну від біологічного очищення іншими способами, кожен гідробіонт вільний у своєму виборі «місця проживання». Це дуже важливо, адже тільки вільний організм працює з максимальною продуктивністю.

#### Основні переваги такої схеми очищення:

1. У біореакторів можна очищати будь-які (природні, зливові, побутові, промислові стічні) води, що містять надзвичайно отруйні сполуки або речовини, очистити воду від яких неможливо не тільки традиційними біологічними, а й різноманітними фізико-хімічними методами. Це розчинені органічні сполуки, навіть гранично токсичні, канцерогенні чи мутагенні, за будь-яких концентрацій.
2. Біоконвеєр дає змогу доводити якість очищеної води до будь-якого заданого ступеня чистоти.
3. Біоконвеєр знімає проблему надлишкової біомаси, оскільки вона споживається і мінералізується у трофічному ланцюгу. Причому, що більша кількість трофічних рівнів задіяна у біоконвеєрі, то менша біомаса залишається в очищеній воді. Досить мати в очисній споруді трофічний ланцюг у 2-3 ланки, щоб зменшити кількість надлишкової біомаси у 100-1000 разів.
4. Регулярні насадки дають змогу організувати відповідний трофічний ланцюг гідробіонтів, що різко (на порядок) зменшує кількість надлишкової біомаси, бо вона споживається і мінералізується у трофічному ланцюгу, а її зольність при цьому зростає майже вдвічі. Така біомаса легко осідає, добре віддає воду, займає невеликий об'єм і не становить екологічної небезпеки.

Отже, прямотечійна система очищення води за допомогою іммобілізованих на регулярних волокнистих насадках мікроорганізмів-деструкторів найнебезпечніших забруднень, а також більш організованих гідробіонтів – седиментаторів, хижаків, фільтраторів – дає змогу очищувати будь-які промислові стічні води й одержувати воду бажаного ступеня чистоти.

Подальше вивчення механізму іммобілізації водяних організмів, взаємодії окремих груп гідробіонтів між собою, з'ясування основних технологічних параметрів роботи запропонованих систем і біоценозів сприятиме розширенню можливостей цього дуже перспективного, економічно прийнятого та екологічно бездоганного методу очищення води.

Також, для індустріального очищення стічних вод необхідно використовувати не тільки окремі штами мікроорганізмів – деструкторів тих чи інших органічних речовин, не тільки конгломерат прокаріотів – активний мул, а й максимальну кількість (в ідеалі – всіх) існуючих у природі гідробіонтів. Саме це й передбачає запропонований біоконвеєр, біотехнологія очищення води якого виходить за межі класичної біотехнології, яка за визначенням Європейської біотехнологічної федерації, передбачає «одночасне використання біохімії, мікробіології та хімічної технології для технологічного (промислового) застосування корисних властивостей мікроорганізмів і культур тканин».

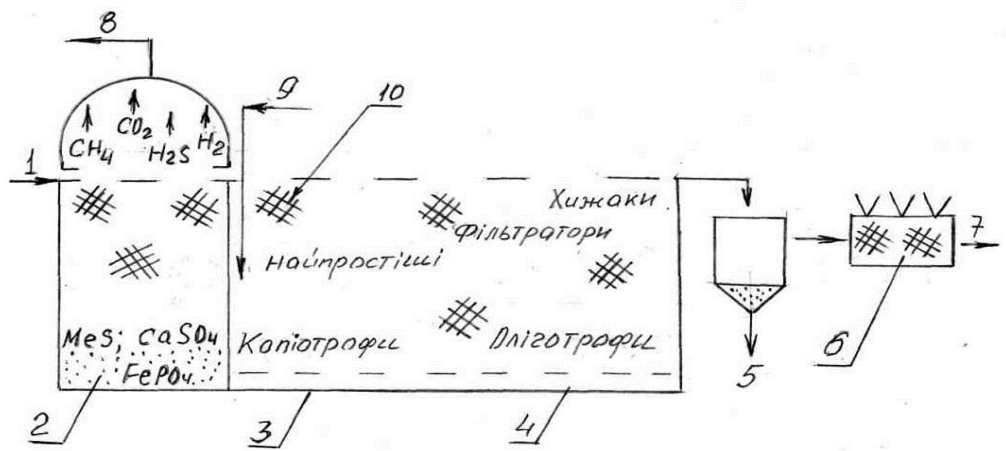
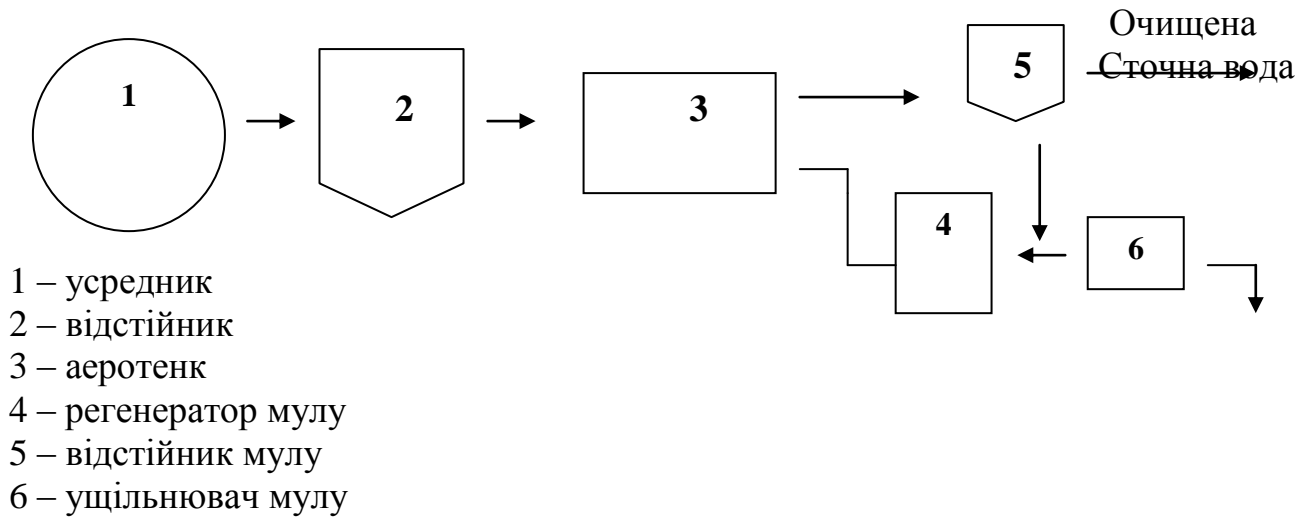


Рис. 4 – Біоконвер: 1) стічна вода; 2) анаеробний біореактор; 3) аеробний біореактор; 4) зоореактор; 5) осад; 6) фітореактор; 7) чиста вода; 8) біогаз; 9) повітря; 10) носій типу «вія».

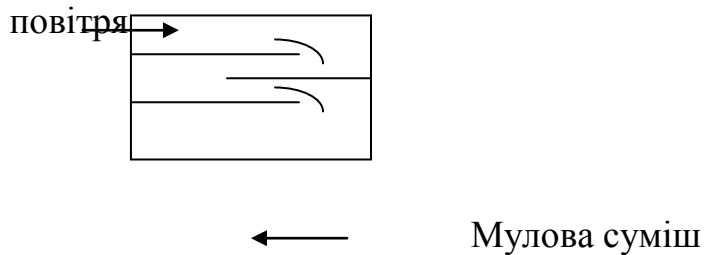
## 1. Схема системи очистки аеробних стоків



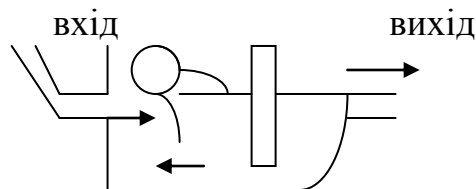
Аеротенки вибирають з урахуванням специфіки стоків

**1. Аеротенк коридорний** Працює за принципом витіснення. Малоінтенсивний, відкритий.

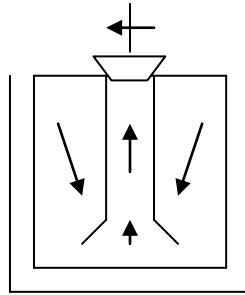
Стоки мул



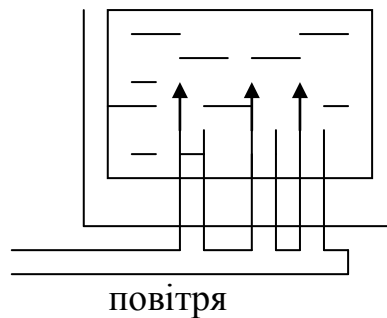
**2. Система Кессенера** Поверховий аератор відкритого типу з обмеженою глибиною аерації. Масообмін до  $1,3 \text{ кг O}_2$  на  $1 \text{ кВт}\cdot\text{г}$  електроенергії



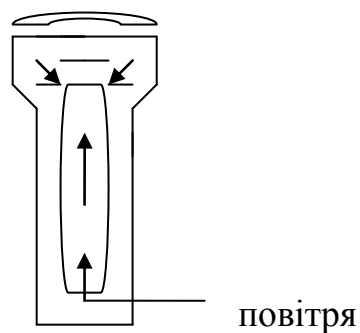
3. Система «Симплекс» Турбінний аератор; відкритий. Масообмін до 2,3 кг O<sub>2</sub> на 1 кВт/г



4. Аератор с керамічними розповсюджувачами повітря. Відкрита система, відбувається інтенсивна аерація (потрібен компресор).

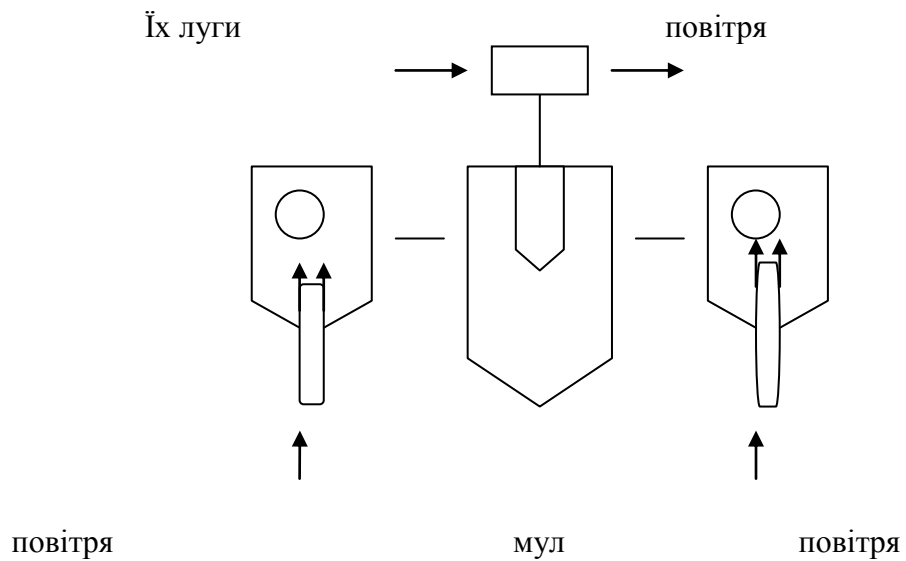


5. Колонний вежний або ерліфний аератор Низька турбідизація середовища (потрібен компресор). Закритий, має 50-60 м у висоту. Енерговитрати малі 0,5 кВт ч на 1 кг O<sub>2</sub>.



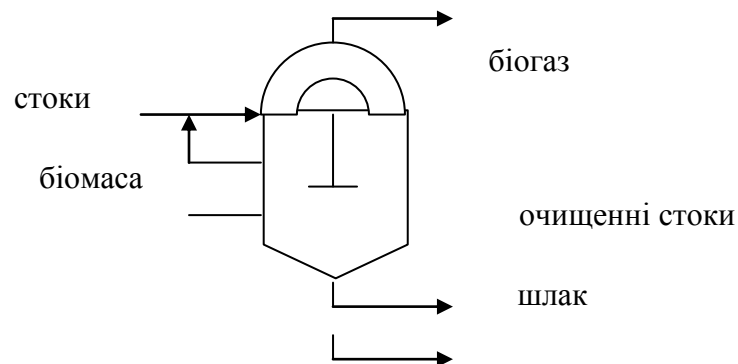


**6. Інжекційний** з рециркуляцією мулу і спалюванням органічних речовин, які містяться у відпрацьованому газі. Закритий, інтенсивна аерація (потрібен компресор).



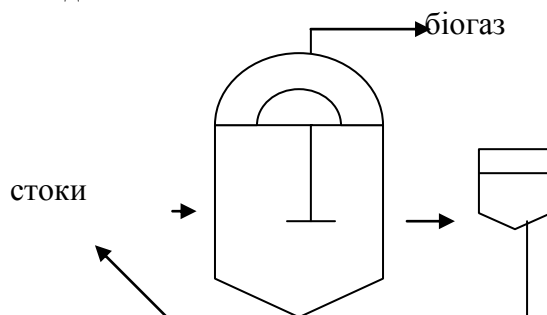
**1) традиційний біореактор метанового бродіння**

Це герметичні металеві або залізобетонні ємкості у вигляді вертикальних циліндрів, в яких відбувається повільне перемішування газом або механічною мішалкою. Повна заміна субстрату відбувається через 10-20 діб.



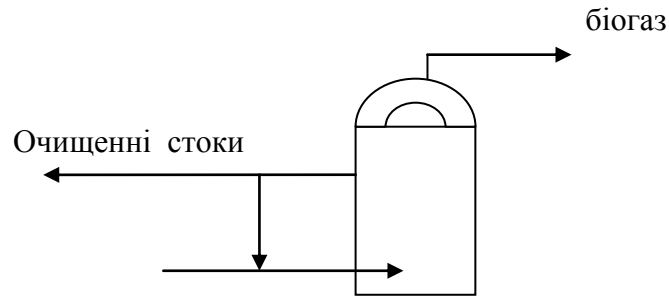
**2) контактний біореактор**

Цей апарат має механічну мішалку, яка здійснює повне перемішування в об'ємі реактора, є її відстійник (сепаратор біомаси), біомаса частково повертається до біореактора. Повна заміна субстрату відбувається через 5-15 діб.



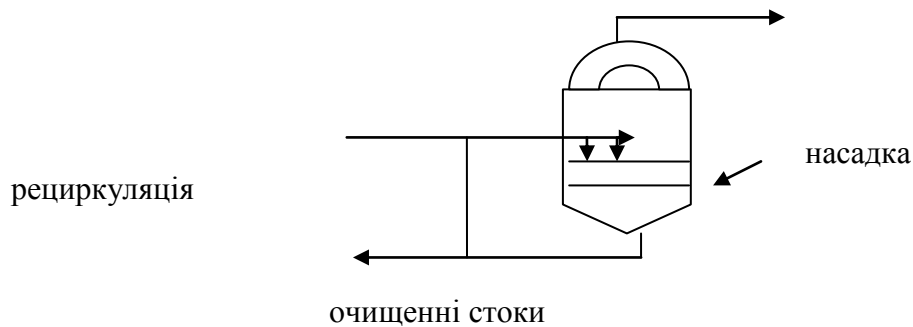
### 3) біореактор «киплячого шару»

Являє собою циліндр. Стоки подаються знизу зі швидкістю, яка забезпечує утворення киплячого шару носія (піску, поліпенопласту) з біомасою.



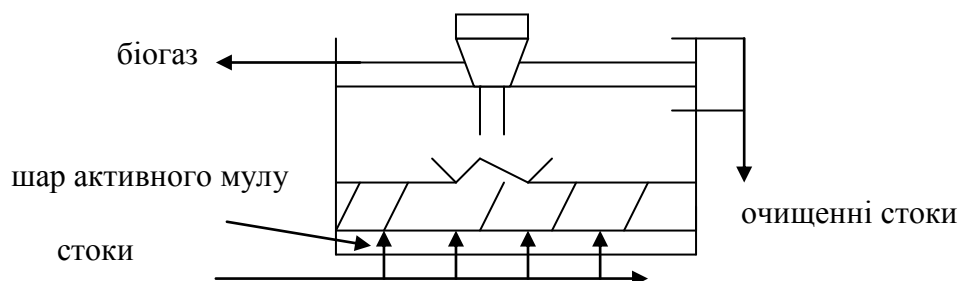
### 4) анаеробний фільтр

Являє собою вертикальний циліндр з насадкою твердого пористого носія, до якого прикріплюється анаеробна мікрофлора. Стоки подаються знизу і зверху і подаються через шари насадки.



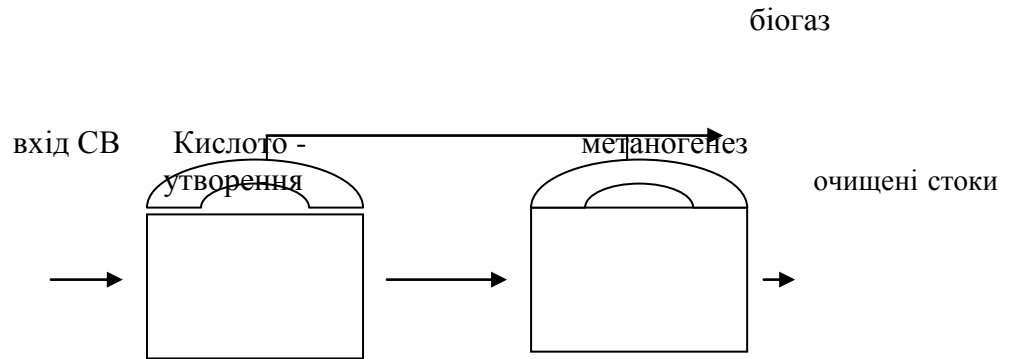
### 5) біореактор з шаром біомаси (активного мулу)

Січні води рівномірно розподіляються по площині нижньої частини реактора і направляються вгору зі швидкістю, яка забезпечує утворення гранул біомаси крихкого шару, у верхній частині є пристрій для розподілу твердої, рідкої і газоподібної фракції.



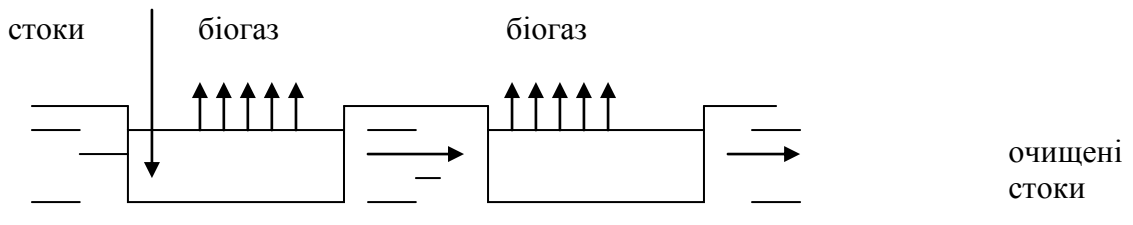
### 6) двоступеневий біореактор

Ферментаційний простір поділено на дві частини: у першій реалізується процес біодеградації субстрату і кислого утворення, а в другому біогенез.



### 7) анаеробні лагуни

Система відстійників, в яких стоки знаходяться від декількох тижнів до 2 місяців, гази вільно виділяються в атмосферу.



### Анаеробний двоступеневий процес "Таман" з наступною доочисткою паперового заводу

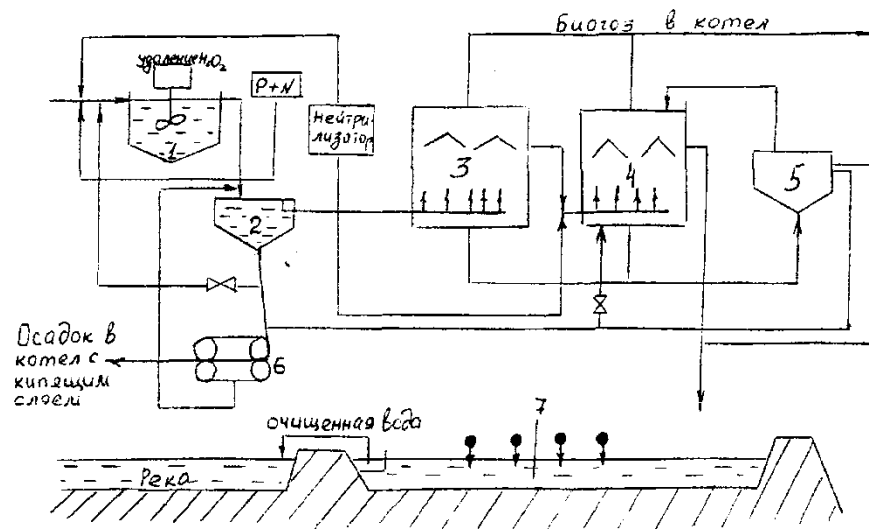


Рис. 5.1 – емкість для розбавлення стоків; 2 – первинний відстійник - пастка; 3 - метантенк для кислотного бродіння (I ступінь); 4 - метантенк для метаногенезу (II ступінь); 5 – вторинний відстійник; 6 - стрічковий фільтр-прес; 7 - аерирований став

Фінською фірмою "Тампелла" запропонована раціональна система очистки стоків харчових і паперових заводів. Біореактор "Таман" сконструйований з урахуванням можливості реалізації двостадійного процесу (кисла і метаногенна стадії), причому на метаногенній стадії

застосовується гранулоподібний шлам. Інтенсифікація метаноутворення забезпечується в результаті виносу із зони метаногенезу свіжого субстрату з важливими інгібіторами, а також наявності в другій зоні великої маси метаноутворюючих бактерій. Обидві зони можуть бути розміщені в одному вертикальному циліндрі, який розділений горизонтальною перегородкою на верхню зону об'ємом  $300 \text{ м}^3$  і нижню -  $350 \text{ м}^3$ .

Ця система очистки ефективно працює на заводі, який виробляє в рік 63 млн. л молока, 3000 т сировини, 2000 т масла, 1,2 тис. т паперу.