

Біологічні науки

УДК 504

Яремчук Аліса Василівна

учитель-методист, учитель біології,

"спеціаліст вищої категорії"

Лицей № 3 Коростишівської міської ради

Yaremchuk Alisa

Teacher-Methodologist, Biology Teacher,

"Specialist of the highest Category"

Lyceum № 3 of the Korostyshiv City Council

**ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ТА ТЕХНОЛОГІЇ БІОЛОГІЧНОГО
ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД
RESEARCH OF METHODS AND TECHNOLOGIES OF BIOLOGICAL
WASTEWATER TREATMENT**

***Анотація.** Досліджується вплив продуцентів біогазу. Акцентується увага на екологічній складовій технології виробництва біопалива. Розглянуті основні методи очищення стічних вод. Запропоноване обладнання для реалізації виробництва біогазу з відходів сільськогосподарських та комунальних підприємств для кращих умов розвитку і активного метаболізму мікроорганізмів при біологічному очищенні стічних вод.*

***Ключові слова:** очищення стічних вод, біогаз, біологічне очищення, мікроорганізми.*

***Summary.** The influence of biogas producers is studied. Emphasis is placed on the environmental component of biofuel production technology. The main methods of wastewater treatment are considered. The offered equipment for realization of production of biogas from wastes of agricultural and*

municipal enterprises for the best conditions of development and active metabolism of microorganisms at biological sewage treatment

Key words: *wastewater treatment, biogas, biological treatment, microorganisms.*

Вступ. Важливим напрямом ресурсозбереження на сучасному етапі розвитку цивілізації є розроблення технологій виробництва біопалива і перш за усе біогазу з органічних відходів.

Аргументом на користь біогазу є необхідність вирішення на сучасному рівні екологічних проблем, що виникають при утилізації відходів. Однією з основних тенденцій у розгортанні екологічно безпечного виробництва продукції рослинництва і тваринництва є розвиток комплексних технологій з використанням процесів метанового зброджування при утилізації біомаси, в результаті якого утворюється біогаз. Для виробництва біогазу придатними є різноманітні відходи агропромислового комплексу, які містять целюлозу та інші цукри. У сільськогосподарських та побутових відходах за певних умов виникають біохімічні процеси, які називаються ферментацією. У результаті ферментації із сільськогосподарських відходів одержують не лише біогаз, але й концентровані органічні добрива, які є цінним продуктом для застосування в сучасних технологіях вирощування культур - системах органічного землеробства тощо.

В багатьох країнах Європи відновились інтенсивні експериментальні пошуки ефективної технології метанової ферментації, що дає можливість виробництва біогазу з різної сировини сільськогосподарського походження. У результаті широкомасштабних досліджень було створено технологію безкисневої переробки сільськогосподарських відходів, відому сьогодні в усьому світі. Її реалізація у різних регіонах має свою специфіку. В Європі внаслідок низьких температур застосовують додаткове

підігрівання для забезпечення необхідної температури метанової ферментації. У більшості випадків використовують комплексні системи, які виробляють з біогазу одночасно теплоту та електроенергію, проте їх недоліком є високі одиничні інвестиційні витрати. У порівнянні з іншими носіями енергії біогаз відрізняється своєю перспективністю, особливо для сільської місцевості.

Виробництво біогазу з різних видів сільськогосподарських відходів, головним чином з гною, є традиційною технологією в ряді країн. Біогазові установки отримали широке розповсюдження в Західній Європі, де приблизно 3/4 їх припадає на невеликі установки з ємністю реакторів від 100 до 300 м³, утилізуючих в основному відходи тваринництва. Біля 90 більш великих промислових біогазових установок з робочим об'ємом реактора до 5000 м³ застосовуються для переробки стоків гною. Доцільність автономного енергозабезпечення ферм з власного джерела енергії та необхідність зменшення шкідливих викидів в оточуюче середовище роблять енергетичний біогазовий блок обов'язковим елементом сучасних тваринницьких комплексів.

Зараз загальна кількість промислових біогазових установок на території ЄС складає близько 750 одиниць, з них найбільше (500) знаходиться у Німеччині, в Австрії – 120, в Італії – 70, у Швейцарії – 59 і в Данії – 40. Сьогодні в Данії існує близько 20 великих централізованих об'єктів типу САД (Centralised Anaerobic Digestion), що обслуговують господарства у радіусі 10 – 15 кілометрів. В Австрії функціонують 3 об'єкти такого типу, у Швеції - 8, в Італії – 5 і в Німеччині — 3. Великі САД-системи щорічно постачають з аграрних кооперативів по декілька сот тонн сільськогосподарських відходів. Перевагами централізованих систем є можливості використання передових технологій знезаражування та звільнення від великої кількості баластних речовин у сировині

Утворений в результаті метанової ферментації біогаз є джерелом теплової або електричної енергії. Енергетична цінність біогазу залежить від частки метану і в середньому складає $17 \text{ МДж/м}^3 - 23 \text{ МДж/м}^3$. З одного метра кубічного гноївки можна отримати близько 20 м^3 біогазу з енергетичною цінністю $20 \text{ МДж/м}^3 - 25 \text{ МДж/м}^3$. Після виділення з біогазу двоокису вуглецю шляхом розчинення його у лужній воді можна отримати газ із вмістом до 95% метану, тоді його енергетична цінність зросте до 36 МДж/м^3 [1].

В Україні представлені розробки дослідних та промислових зразків обладнання для реалізації виробництва біогазу з відходів сільськогосподарських та комунальних підприємств [2-6]. Обсяги виробництва біогазу з агропромислової сировини в Україні можна оцінити на рівні 1,6 млн. тонн умовного палива (рис. 1). Враховуючи сучасні технологічні можливості використання зеленої маси, як вихідної сировини, для одержання біогазу, потенціал біогазового палива можна вважати істотно більшим. За попередніми оцінками, із сировинної бази України при частковому використанні ріллі й пасовищ для вирощування біомаси та органічних відходів тваринницьких комплексів можна одержувати енергію у кількості до $2 \cdot 10^{10} \text{ МДж/рік}$. Таким чином, напрямки технологічних і технічних розробок дозволяють забезпечити виробництво екологічно чистої продукції тваринництва і рослинництва для дитячого, дієтичного і профілактичного харчування, усунути забруднення навколишнього середовища при одночасному зменшенні енергетичних і матеріальних витрат.

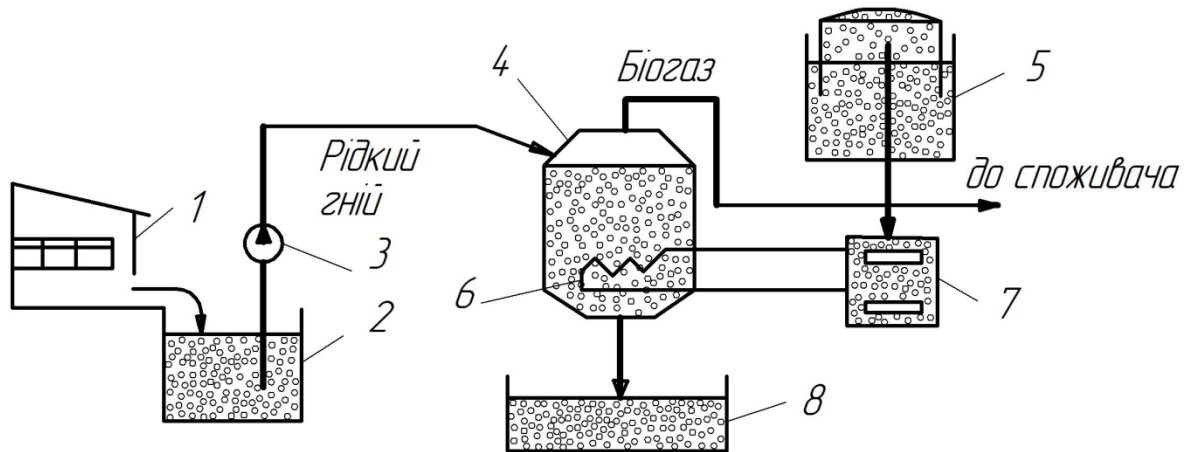


Рис. 1. Технологічна схема виробництва біогазу:

1 – ферма; 2 – навозоприймач; 3 – насос; 4 – метантенк; 5 – газгольдер; 6 – теплообмінник; 7 – казан; 8 – гнієсховище

Очищення стічних вод

Мікробний синтез біогазу здійснюється консорціумом різноманітних мікроорганізмів, серед яких присутні продуценти метану, як основної складової утвореного газу.

Утилізація і знешкодження стічних вод складає одну з найважливіших екологічних проблем теперішнього часу і в цьому напрямку напрацьовано безліч різноманітних технологічних прийомів, в основі яких лежать біохімічні та фізико-хімічні процеси деградації компонентів забруднення стічних вод [7].

Біологічне очищення може реалізуватися у штучно створених умовах. Цей процес можна контролювати і регулювати, а, отже, інтенсифікувати. Саме можливість регулювання ступеню очищення привела до створення різноманітних технологічних прийомів, критерієм ефективності яких є ступінь очищення, тобто екологічний чинник, і вартість очищення – економічний чинник. У загальному випадку, знаючи принцип метаболізму мікроорганізмів, в тому числі і продуцентів біогазу можна досягти будь-якого ступеня очищення, але обмеженням по організації тієї або іншої технології може бути її вартість, яка, перш за все

в період експлуатації очисних споруд залежить від енерговитрат і чисельності обслуговуючого персоналу.

Високу і стабільну якість очищення стічних вод можуть забезпечити аераційні споруди, в яких сорбцію і деструкцію здійснюють мікроорганізми (активний мул), що знаходяться в зваженому стані в стічній воді. Разом з тим аеротенки, окиснювальні канали, керовані ставки мають суттєві недоліки:

- значні витрати електроенергії (0,4 кВт·ч – 0,6 кВт·ч на 1 м³ міських стічних вод);
- ненадійність роботи повітродувок, вентиляторів високого тиску, механічних аераторів в тривалій експлуатації.

Серед використовуваних методів очищення виробничих і побутових стічних вод, біологічне очищення є економічно вигідним, а іноді і єдино можливим. В основі технології біологічного очищення лежить використання активного мула, або біоплівки, що є скупченням живих і мертвих мікроорганізмів, і вони є першопричиною деструктивних біохімічних процесів.

При виборі технології утилізації та знешкодження стічних вод керуються наступними основними положеннями:

- типом (характеристикою) води (осадів) за її походженням – побутові, промислові, дощові та ін., причому основними параметрами, що визначають технологію очистки є кількість води, що поступає на очистку, концентрація в ній забруднень, здатних до метаногенезу, наявність чи відсутність токсичних елементів;

- необхідністю максимального зменшення кількості стічних вод і зниження вмісту в них забруднень – ефективність очистки;
- можливість і економічна доцільність виділення із стічних вод цінних компонентів і їх подальша утилізація;

- повторним використанням стічних вод (очищених і неочищених) в технологічних процесах і системах оборотного водопостачання;
- мінімальне скидання стічних вод у водоймище;
- очисною спроможністю водоймища, куди направляється вода після очистки.

Маючи ці дані можна вибрати схему для перевірки декількох способів очистки. На підставі експериментальних досліджень з урахуванням техніко-економічних показників вибирають оптимальний спосіб очищення стічних вод [8-9].

Органічні забруднення стічних вод і методи їх контролю

Для вибору системи очистки та розрахунку її ефективності потрібно мати інформацію стосовно характеристики забруднень [10]. У воді знаходиться достатньо широкий спектр забруднень, і їх можна класифікувати за дисперсним складом, хімічним складом, можна поділити на органічні та неорганічні та ін.

Для вибору показника, що визначає якісні характеристики СВ або іншого субстрату, його здатність до біологічної конверсії продуцентами біогазу застосовують показник концентрації вуглецевмісних речовин. Традиційно, найбільш поширеним показником, що характеризує забрудненість води речовинами є хімічне споживання кисню – ХСК. Цей показник претендує на узагальнюючий характер підкреслюючи те, що під час окиснення при визначенні ХСК з окислювачем реагують не тільки органічні речовини, але і деякі неорганічні компоненти води. Як правило, неорганічних речовин у питній та стічній воді, що реагують з окислювачем небагато, тому визначення ХСК зв'язують тільки з органічними речовинами. Метод контролю ХСК відносять до групових методів, так як він визначає сумарну кількість органічних речовин, що взаємодіють з окислювачами різної сили. Хімічна окиснюваність визначається за допомогою окислювачів двох типів:

- слабкий – перманганат калію ($KMnO_4$), в цьому випадку назва методу та виду окиснення носить назву «перманганатна окиснюваність»;
- сильний окислювач – біхромат калію ($K_2Cr_2O_7$ у кислому середовищі) або йодат калію KIO_3 .

Біхроматну та йодатну окиснюваність називають ХСК.

В якості базового органічного забруднювача фіксуються сполуки вуглецю, тому показник ХСК співвідносять з кількістю вуглецю – вуглецевий субстрат. Наприклад, між ХСК та загальною кількістю вуглецю у стічній воді тваринницьких комплексів існує залежність виду:

$$ХСК = 45,04 C - 2,16$$

Після аеробного очищення

$$ХСК = 30,86 C - 0,38$$

Для приблизних розрахунків можна прийняти, що співвідношення $ХСК/C = 40$.

Біхроматна методика визнається як арбітражна, так як по ній окислюється майже 100% органічних речовин.

Біохімічне споживання кисню. Для характеристики води з точки зору їх екологічної оцінки використовують показник – біохімічного споживання кисню. БСК - кількість кисню, споживана на біохімічне окиснення забруднюючих речовин, що містяться в стічних водах, в певний інтервал часу.

Вміст у воді органічних забруднень, які можуть бути окислені мікроорганізмами в процесі їх метаболізму, визначають як біохімічну окиснюваність. При цьому частина використаних органічних речовин витрачається на енергетичні потреби мікроорганізмів, а інша частина – на синтез клітинної речовини. Частина поллютантів, що витрачається на енергетичні потреби, окислюється мікроорганізмами до кінцевих продуктів розкладання, склад яких залежить від виду компоненту, що

окислюється, окисно-відновних і кислотно-лужних умов середовища, в загальному вигляді: CO_2 , H_2O , NH_4 , (NH_3) , SO_4 , (H_2S) , HPO_4 (у дужках вказані сполуки, що редукуються мікроорганізмами в анаеробних умовах). Продукти окиснення - метаболіти виводяться з клітини в зовнішнє середовище. Для здійснення метаболізму багато мікроорганізмів як акцептор електронів і протонів використовують кисень. Кількість кисню, необхідного мікроорганізмам на весь цикл реакцій отримання енергії і синтезу носить назва БСК - біологічна потреба в кисні. БСК визначають аналітично, по різниці концентрації кисню в початковій, аналізованій пробі води і після процесу метаболізму мікроорганізмів, через 5 або 20 діб (у останньому випадку значення БСК називають повним) при цьому кількість нітритів складає 0,1 мг/л.

Співвідношення між $\text{BSK}_{20}/\text{BSK}_5$ 1,5-1,8.

Для приблизних розрахунків приймають

$$\text{ХСК} = 1,43\text{BSK}_n$$

Визначення БСК вважають правильним, якщо до кінця інкубації в склянці залишається від 3 до 5 міліграма $\text{O}_2/\text{дм}^3$. Розчинність кисню у воді при атмосферному тиску визначається температурою; при 20°C у дистильованій воді розчиняється 9,17 міліграм $\text{O}_2/\text{дм}^3$, отже максимальне значення БСК, визначуване при цій температурі складе 6,17 $\text{мгO}_2/\text{дм}^3$. Специфічною ознакою BSK_n є те, що цей показник визначає дійсні потреби у кисні при очистці води у діючих спорудах.

Суттєвий елемент визначення – бактеріальна затравка – рідина що містить бактерії що здатні розкладати органічні речовини СВ (адаптований біоценоз). Для контролю побутових стоків це внесення непотрібне – у воді є достатня кількість сапрофітів.

Господарсько-побутові стоки відносяться до найбільш стабільних за складом, видам СВ. Визначено, що від кожної людини за добу формується такий спектр забруднень:

- зважені речовини – 65г;
- органічні речовини визначені по рівню БСК20 – 75г;
- азоту амонійного (NH₃) – 8г;
- фосфатів – (P₂O₅) 3,3;
- хлоридів – 9г;
- ПАР – 2,5г.

Концентрація забруднень дорівнює

$$C = (a1000)/q,$$

де а – норма забруднень на 1 людину, [г/добу];

q – норма водовідведення, [дм³/добу].

Для конкретного виробництва можна виділити 4 групи СВ, що класифікуються по концентрації забруднень:

- слабозабруднені;
- забруднені;
- сильно забруднені або концентровані;
- токсичні.

При виборі системи очищення визначають характер стічної води, яка може бути класифікована, як слабозабруднений, забруднений, сильнозабруднений або концентрований, токсичний сток.

Для слабозабруднених стоків, що можуть бути передані в систему міського каналізування СВ без попередньої обробки:

- рН=6,0 – 8,5;
- БСК_{повн} ≤ 500 мг/л;
- ХСК/БСК_{повн} ≤ 1,5;
- загальний солевміст ≤ 1г/л, в тому числі вміст сульфатів ≤ 100мг/л та хлоридів ≤ 300мг/л.

До забрудненого стоку відносяться викиди, які можуть бути передані в систему каналізації підприємства від місць утворення без попередньої обробки. Але для загального стоку підприємства може знадобитися

локальна очистка перед скидом води у каналізацію. Цей сток може бути охарактеризований такими показниками:

- $6,0 > \text{pH} > 8,5$;
- $\text{БСК}_{\text{повн}} > 500 \text{ мг/л}$;
- $\text{ХСК/БСК}_{\text{повн}} > 1,5$.

Сильнозабруднені або концентровані стоки утворюються на окремих ділянках виробництва і потребують спеціальної обробки перед скидом води у каналізацію. Локальна очистка для цих вод технічно можлива та економічно доцільна.

До четвертої групи – токсичні стоки відносяться води для яких або не існує технічних систем локального очищення, або вони економічно не вигідні.

Мінеральні забруднення стічних вод і розчинені гази

Найбільш простим типом забруднення у воді є неорганічні - мінеральні частки. В цій ситуації ми маємо справу з неоднорідною системою, що складається з декількох фаз.

У стічних водах неорганічну частину забруднень складають солі, властиві водопровідній воді і що утворюються в процесі обмінних реакцій в організмі людини, зокрема фосфати і амонійні солі [11].

У виробничих стічних водах у високих концентраціях можуть знаходитися специфічні мінеральні речовини: олово, мідь, свинець, цинк, кадмій, різні кислоти і ін. Мінеральні забруднення, в основний склад яких входять зважені речовини, представлені піском і глинистими частинками, що потрапляють в побутові води при митті овочів і фруктів, прибирання приміщень і т.д. Характер і кількість мінеральних поллютантів виробничих стічних вод визначається видом діяльності підприємства. Це можуть бути мінеральні речовини аналогічні для господарський-побутових стічних вод або специфічні - окалина, цементний пил та ін.

Наявність розчинених газів в стічних водах свідчить про біохімічні

процеси в них. Розчинений кисень свідчить про досить високий ступінь очищення, присутність іонів амонію (або аміаку), сполук сірки - про протікаючий процес амоніфікації білків, при чому в аеробних умовах сірка присутня у вигляді сульфат-іона, а в анаеробних умовах сірка відновлюється до сірководню або сульфід-іона; поява метану може бути обумовлена процесом метаногенезу, що протікає в анаеробних умовах.

Способи очищення та технічна реалізація

Утилізація і знешкодження стічних вод – це набір технологічних прийомів, в основі яких лежать біохімічні (біотехнологічні) або фізико-хімічні процеси деградації шкідливих компонентів стічних вод.

Використання природного біологічного очищення (лагуни, плато, ґрунтове очищення) скорочується як в нашій країні, так і у ряді індустріальних розвинених країн зарубіжжя.

Як альтернатива природному біологічному очищенню використовується біологічне очищення в штучно створених умовах або біотехнологічне очищення. Воно протікає значно інтенсивніше. Цей процес можна контролювати і регулювати, а, отже, інтенсифікувати. Саме можливість регулювання ступеню очищення привела до створення різноманітних технологічних прийомів, критерієм ефективності яких є ступінь очищення, що досягається, тобто екологічний чинник, і вартість очищення – економічний чинник.

У загальному випадку, знаючи принципові основи метаболізму мікроорганізмів, можна добитися будь-якого ступеня очищення, але обмеженням по організації тієї або іншої технології (обладнання) може бути її вартість, яка, перш за все у період експлуатації очисних споруд залежить від енерговитрат і чисельності обслуговуючого персоналу.

Високу і стабільну якість очищення стічних вод можуть забезпечити аераційні споруди, в яких сорбцію і деструкцію здійснюють мікроорганізми (активний мул), що знаходяться в зваженому

(суспендованому стані) в стічній воді, що очищається. Разом з тим аеротенки, окиснювальні канали, ставки з аерацією мають суттєві недоліки: значна витрата електроенергії (0,4 - 0,6 кВт/год на 1 м³ міських стічних вод); ненадійність роботи повітродувок, вентиляторів високого тиску, механічних аераторів, що знаходяться в тривалій експлуатації.

Промислові стічні води різного походження – від різних галузей, для очистки яких найчастіше використовують біологічні методи, умовно можна розділити на три групи.

В першу групу відносять ті, що забруднені органічними речовинами без специфічних токсичних забруднень. В основному це стічні води підприємств харчової промисловості. Біологічна очистка цих стоків зазвичай не представляє собою великих труднощів.

Другу категорію складають стічні води, які мають у своєму складі забруднення, що біохімічно окисляються, а також токсичні сполуки. В деяких випадках попереднє видалення токсичних сполук створює можливість подальшої біологічної очистки.

Третю категорію стічних вод представляють деякі види стоків, що не мають органічних забруднень і забруднених в основному кисневмісними солями. Біологічна очистка таких стоків основана на можливості мікроорганізмів використовувати окислені сполуки азоту, хрому, хлору в якості кінцевого акцептора водню при зв'язаному окисленні органічних речовин побутових стічних вод чи відходів виробництв.

Сучасні станції очищення стічних вод вважаються промисловими комплексами, які продукують очищену воду.

Способи очищення умовно можна розділити на декілька блоків (стадій):

- механічне видалення забруднень;
- фізико-хімічна корекція складу СВ;
- біологічна деградація (біодеградація) компонентів СВ;

- фізико-хімічна або біологічна обробка осадів;
- фізико-хімічна підготовка води до скиду у прийомник води.

Перелік цих способів дозволив сформуванати декілька уніфікованих схем очистки з використання блоку біодеградації.

Комплекс очисних споруд включає чотири основні блоки і відповідні до їх функцій види обладнання (в цьому випадку, на відміну від попередньої класифікації по способам, дана більш конкретна класифікація по блокам):

- блок механічного очищення;
- блок біологічного (хімічного) очищення;
- блок знезараження води;
- блок обробки осадів.

У блоці механічного очищення з води вилучаються нерозчинні речовини (забруднення), при цьому вони (забруднення) розділяються на 2 блоки:

- переважно неорганічні (пісок, камінці, та ін);
- переважно органічні (розчинені та нерозчинні).

Послідовність видалення різних забруднень обумовлена ступенем їх дисперсності і питомою масою [12].

На першій стадії очищення воду проціджують через ґрати, що затримують крупні речовини – викиди.

На наступній стадії вода звільняється від важких мінеральних забруднень, що осідають (пісок, каміння).

Нарешті, на останній стадії механічного очищення в первинних відстійниках виділяють частину зважених речовин, які в результаті седиментації утворюють осад, який зазвичай називають сирим. Сирий осад і інші органічні відходи передаються на споруди обробки осаду для знешкодження і стабілізації.

Друга стадія. Біологічне очищення реалізується в штучно створених

умовах. Воно базується на здатності різних груп мікроорганізмів використовувати компоненти цих вод як ефективні джерела енергії і матеріалу для побудови свого тіла. Ідея біологічного очищення запозичена людиною у природи, де постійно йдуть складні біохімічні процеси розкладання органічних речовин за участю різноманітних організмів.

Біологічний спосіб очищення може здійснюватися в аеробних і анаеробних умовах. Аеробні методи застосовують в основному для малоконцентрованих субстратів, оскільки в аеробних умовах значна частина забруднень використовується мікроорганізмами в конструктивному метаболізмі, внаслідок чого утворюється надмірна біомаса, пропорційна масі знятих забруднень.

Третя стадія. Після біологічного очищення води процес закінчується її знезараженням. Для цього на станціях очищення стічних вод зазвичай застосовують хлор.

В практиці очистки стічних вод також застосовують реагентні методи: коагуляцію, флокуляцію, осадження забруднень, фільтрування, флотацію, адсорбцію, іонний обмін, зворотний осмос та ін.

До споруд біологічного очищення відносяться аеротенки, біофільтри, біологічні ставки і ін.

Умови випуску СВ після очистки. В тому випадку, коли підприємство має власні очисні споруди і при цьому воно розташоване у місті, де є міські очисні споруди, тоді до попередньо очищеної води пред'являються такі вимоги:

- в них не повинно бути забруднень, які можуть порушити нормальний ритм роботи каналізації і очисних споруд.

Ці виробничі води не повинні містити:

- зважених і спливаючих речовин в кількості більше 500 мг/л;
- речовин, здатних засмічувати труби каналізаційної мережі або відкладатися на стінках труб;

- речовин, що мають руйнуючу дію на матеріал труб і елементи споруд каналізації;
- горючих забруднень і розчинених газоподібних речовин, здатних утворювати вибухонебезпечні суміші в каналізаційних мережах і спорудах;
- шкідливих речовин в концентраціях, що перешкоджають біологічному очищенню стічних вод або скиданню їх у водоймище (з урахуванням ефекту очищення).

Температура цієї води не повинна перевищувати 40°C.

Біологічні агенти у складі активного мулу. Складності очищення стічних вод обумовлена надзвичайною різноманітністю забруднень в стоках, кількість і склад яких постійно змінюється в наслідок появи нових виробництв і зміні технологій тих, що існують.

Спосіб очищення стічних вод активним мулом є найбільш універсальним і широко вживаним при обробці стоків. Використання технічного кисню, високоактивних симбіотичних культур мулу, стимуляторів біохімічного окиснення, різного роду вдосконалених конструкцій аеротенків, метантенків, аераційного устаткування і систем відділення активного мулу дозволили у декілька разів підвищити продуктивність методу біологічного очищення. Значні резерви приховані також в області інтенсифікації масообміну.

Всі відомі системи біологічного очищення рідких стоків промислового, господарсько-побутового та змішаного походження можна розділити на дві групи – екстенсивні і інтенсивні.

До екстенсивних відносять способи, що безпосередньо не пов'язані з керуванням культивуванням мікроорганізмів:

- поля зрошування,
- поля фільтрації,
- біоставки (біоплато).

У основі інтенсивних способів лежить діяльність активного мулу або біоплівки, тобто те, що природно виникає з біоценозу, який формується на кожному конкретному виробництві залежно від складу стічних вод (СВ) і вибраного режиму очищення. Формування біоценозу – процес достатньо тривалий і такий, що йде постійно в ході очищення стічної води в промислових апаратах.

На підставі означеної класифікації існує достатньо спрощена класифікація очисних споруд на природні та штучно створені. В них всіх основну роль виконує біоценоз активного мулу, який може існувати в різних культуральних формах (зовнішня форма учасників біоценозу).

У штучних умовах біологічне очищення застосовують в аеротенках, біофільтрах та метантенках. У цих умовах процес очищення відбувається інтенсивніше, оскільки створюються кращі умови для розвитку і активного метаболізму мікроорганізмів (рис. 1).

Всю відому сукупність споруд біологічного очищення у штучно створених умовах доцільно розділити на три групи за характеристикою типу розташування в них активного мулу:

- коли активний мул знаходиться у воді у вільному (зваженому) стані
 - хлопок активного мулу;
- коли активний мул закріплений (імобілізований) на нерухомому матеріалі, а стічна вода тонким шаром стікає по матеріалу завантаження – біоплівка;
- коли поєднуються обидва варіанти розташування біомаси.

Першу групу споруд складають аеротенки, циркуляційні окиснювальні канали, окситенки; другу – біофільтри; третю – занурені біофільтри, біотенки, аеротенки із заповнювачами та метантенки.

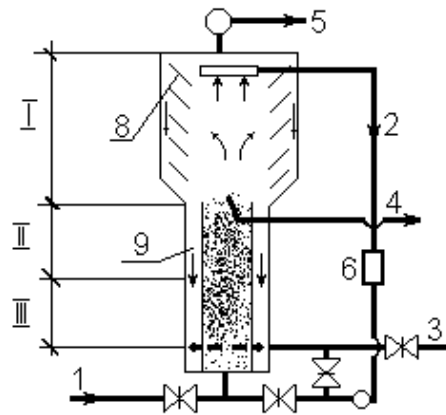


Рис. 2. Схема анаеробної біосорбційої установки:

I – зона розподілу; II – зона гранульованого псевдозрідженого активного мулу; III – зона псевдозрідженого адсорбенту; 1 – вода на очищення; 2 – вода на рециркуляцію і на промивку фільтру; 3 – очищена вода; 4 – відведення надмірного мулу; 5 – відведення метану; 6 – водонагрівач; 7 – вентуз; 8 – тонкошаровий муловідділювач; 9 – зернистий фільтр доочистки

Метантенки можуть бути циліндричними, прямокутними, шаро- і яйцеподібними резервуарами (рис. 2).

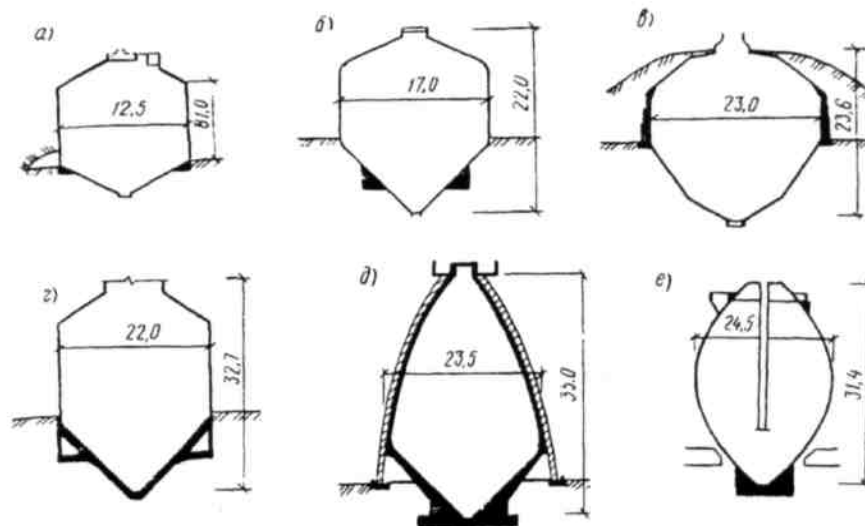


Рис. 3. Розвиток та використання конструкцій метантенків (за даними фірми «Альфа-Лаваль», Швеція):

а - Баден-Баден, 1250 м³; б – Вісбаден, 3000 м³; в – Вупперталь, 6100 м³; г – Штутгарт, 7500 м³; д – Дюссельдорф, 8000 м³

Підтримка оптимальної температури є одним з найважливіших чинників процесу зброджування. У природних умовах утворення біогазу відбувається при температурах від 0°C до 97°C, але з урахуванням оптимізації процесу переробки органічних відходів для отримання біогазу і біодобрих виділяють три температурні режими:

- психрофільний температурний режим визначається температурами до (20°C - 25°C),
- мезофільний температурний режим визначається температурами від 25°C до 40°C ,
- термофільний температурний режим визначається температурами зверху 40°C.

Ступінь бактеріологічного виробництва метану збільшується із збільшенням температури. Але, оскільки кількість вільного аміаку теж збільшується із ростом температури, процес зброджування може сповільнитися. Біогазові установки без підігріву реактора демонструють задовільну продуктивність тільки при середньорічній температурі біля 20°C або вище або коли середня денна температура досягає щонайменше 18°C. При середніх температурах в 20°C -28°C виробництво газу непропорційно збільшується. Якщо ж температура біомаси менша 15°C, вихід газу буде такий низький, що біогазова установка без теплоізоляції і підігріву перестане бути економічно вигідною.

Для біогазових установок, які працюють на змішаному гної КРС, свиней і птахів, оптимальною температурою для мезофільного температурного режиму є 34°C - 37°C, а для термофільного 52°C - 54°C. Психофільний температурний режим дотримується в установках без підігріву, в яких відсутній контроль за температурою. Найбільш інтенсивне виділення біогазу в психофільному режимі відбувається при 23°C. На практиці поширеніші два температурні режими, це термофільний і мезофільний. У кожного з температурних режимів є свої переваги і

недоліки. Переваги термофільного процесу зброджування – це підвищена швидкість розкладання сировини і, отже, вищий вихід біогазу, а також практично повне знищення хвороботворних бактерій, що містяться в сировині. До недоліків термофільного розкладання можна віднести: велика кількість енергії, потрібна на підігрів сировини в реакторі, чутливість процесу зброджування до мінімальних змін температури і декілька нижча якість отримуваних біодобрих.

Процес біометанації дуже чутливий до змін температури. Ступінь цієї чутливості у свою чергу залежить від температурних рамок, в яких відбувається переробка сировини. При процесі ферментації можуть бути допустимі зміни температури в межах:

- психрофільний температурний режим: $\pm 2^{\circ}\text{C}$ в годину;
- мезофільний температурний режим: $\pm 1^{\circ}\text{C}$ в годину;
- термофільний температурний режим: $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ в годину.

При мезофільному режимі зброджування зберігається високий амінокислотний склад біодобрих, але знезараження сировини не таке повне, як при термофільному режимі.

Висновки. Життєдіяльність метаноутворюючих бактерій можлива тільки за відсутності кисню в реакторі біогазової установки, тому потрібно стежити за герметичністю реактора і відсутністю доступу в реактор кисню, тобто забезпечувати анаеробні умови роботи в апараті.

Процес анаеробного зброджування згущених осадів і робота метантенків оцінюється за виходом біогазу з 1 кг і розпаду, які залежать від навантаження осадів за фактичною вологістю та беззольній речовині на 1м^3 . Стабільність процесу визначається постійністю підтримання технологічних параметрів. Питомий вихід біогазу для режиму мезофільного зброджування – $18,9\text{ м}^3/\text{м}^3$ за добу ($0,4\text{ м}^3/\text{кг}$ беззольної речовини осадів, що завантажуються). У вітчизняній практиці вихід біогазу при зброджуванні осадів стічних вод складає $12\text{ м}^3/\text{м}^3$ - $15\text{ м}^3/\text{м}^3$ за

добу. Регулюється процес зброджування шляхом зміни ступеня згущення осадів, що завантажуються, нагріванням та перемішуванням всього об'єму маси, що зброджується. Створення оптимальних умов для проходження процесу сприяє більш глибокому розпаду вуглецевих сполук осаду і тим самим інтенсифікує газовиділення.

Література

1. Біогаз. Енергія майбутнього. Сучасний стан досліджень / Б.В. Маслич, В.К. Маслич // Ринок інсталяцій. 2001. №2. С. 34–38.
2. Закон України "Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення" № 4004–ХІІ від 24.02.1994 р. та Закон України "Про внесення змін до Закону України "Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення" № 2915–ІІІ від 19.01.2002 р.
3. Закон України "Про відходи" № 187/98-ВР від 05.03.1998 р.
4. Закон України "Про внесення змін до Закону України "Про охорону атмосферного повітря" № 2556-ІІІ від 21.06.2001 р.
5. Державні санітарні правила планування та забудови населених пунктів. ДСП № 173–96. Затв. Наказом МОЗ України від 19.06.1996 р., № 173.
6. Burke D.A. *Diary Waste Anaerobic Digestion Handbook*. Environmental Energy company: Olimpia. 2001. Державні санітарні правила і норми "Вода питна. Гігієнічні вимоги до якості води централізованого господарсько-питного врдопостачання ". ДСанПіН № 383–96. Затв. Наказом МОЗ від 23.12.1996 р. № 383.
7. Биологическая очистка сточных вод и отходов сельского хозяйства: Динамические модели и оптимальное управление / А.Ю. Гараев, Л.Г. Седых, М.Ж. Кристапсонс, А.П. Гриберг, В.Э. Давидс; под ред М.Ж. Кристапсонса. Рига: Зинатне, 1991. 173 с.

8. Калюжный С.В. Высокоинтенсивные анаэробные технологии очистки промышленных сточных вод // Катализ в промышленности. 2004. № 6. С. 42-50.
9. Lyberatos G. Modeling of anaerobic digestion – a review / G. Lyberatos, I.V. Skiadas // Global Nest. 1999. Vol.1. № 2. P. 63–76.
10. Barampouti E.M.P A mathematical model for the estimation of anaerobic sludge activity / E.M.P. Barampouti, S.T. Mai, A.G. Vlyssides // 8th International conference on environmental science and technology (8 – 10 September 2003). Greece, Lemons island: 2003. P. 72–78.
11. Simeonov I. Modeling and extremum seeking control of the anaerobic digestion [Электронный ресурс] / I. Simeonov, N. Noykova, Stoyanov S. 2004.
12. Мельник В.М., Ружинська Л. І. Математичне моделювання процесів сушіння при виготовленні твердого біопалива з надлишкового мулу [Текст] // Наука і техніка сьогодні. 2022. №5(5). С. 484-492.