

рост эффективности очистки наблюдается при увеличении длительности перемешивания до 8 мин., на участке от 8 до 12 мин. эффективность очистки замедляется и возрастает лишь от 97,5 до 98% для раствора с исходной концентрацией 50 мг/дм³ и от 96 до 97% для раствора с исходной концентрацией 25 мг/дм³. В дальнейшем эффективность очистки возрастает еще менее значительно.

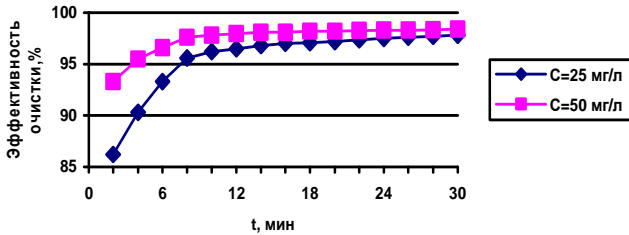


Рис.5 – Зависимость эффективности очистки от длительности перемешивания (масса ТД в обоих случаях составляет 2 г на 100 мл раствора)

Из полученных результатов следует, что при использовании термически модифицированного дефеката для очистки модельных растворов, высокая эффективность очистки (около 98-99%) достигается при добавке ТД 2 г на 100 мл раствора при длительности перемешивания 10 мин.

Получено 15.01.2010

УДК 628.336.6

С.Б.КОЗЛОВСЬКА, канд. техн. наук

ЗАТ «УкркомунНДПрогрес», м.Харків

К.Б.СОРОКІНА, канд. техн. наук

Харківська національна академія міського господарства

ОБЛАДНАННЯ АНАЕРОБНОГО ЗБРОДЖУВАННЯ ОСАДІВ СТИЧНИХ ВОД З МЕТОЮ ОТРИМАННЯ ТА УТИЛІЗАЦІЇ БІОГАЗУ НА КОМУНАЛЬНИХ ОЧИСНИХ СПОРУДАХ ВОДОВІДВЕДЕННЯ

Виконано аналіз основних чинників, параметрів роботи та особливостей обладнання споруд анаеробного зброджування осадів стічних вод, які впливають на стабільність процесу утворення біогазу.

Выполнен анализ основных факторов, параметров работы и особенностей оборудования сооружений анаэробного сбраживания осадков сточных вод, влияющих на стабильность процесса образования биогаза.

The analysis of main factors, work parameters and features of buildings equipment of sewages fallouts anaerobic stabilizing is executed, influencing on the stability of biogas formation process.

Ключові слова: анаеробне зброджування, осади стічних вод, біогаз, біометаногенез.

Метанове "зброджування", або біометаногенез – давно відомий процес перетворювання біомаси в джерело енергії. Анаеробний біохімічний метод застосовують також для обробки осадів первинних відстійників і надлишкового активного мулу очисних споруд каналізації. Зброджування називають метановим, тому що воно здійснюється метаноутворюючими бактеріями, а одним із основних кінцевих продуктів розпаду органічних речовин є метан [1].

Світовий досвід використання технології анаеробної переробки осадів стічних вод та інших органічних відходів для одержання біогазу з метою його подальшої утилізації свідчить про рентабельність та перспективність її впровадження [2].

Метою даної роботи є аналіз факторів, що впливають на протікання процесу анаеробного зброджування осадів стічних вод, а також на параметри й стабільність процесу утворення біогазу.

Анаеробне зброджування – складний мікробіологічний процес мінералізації, в ході якого органічна речовина без доступу повітря трансформується в газоподібний метан (CH_4) та діоксид вуглецю (CO_2). Цей процес умовно можна поділити на три основні стадії: гідроліз, утворення кислот (кислотогенна стадія) і утворення метану (метаногенна стадія). Продукти метаболізму кожної стадії є субстратом для наступної стадії.

Відповідно до сучасних уявлень [3], анаеробне метанове зброджування включає чотири взаємопов'язаних стадії (рис.1):

I. Стадія ферментативного гідролізу нерозчинних складних органічних речовин з утворенням більш простих розчинних речовин.

II. Стадія кислотоутворення з виділенням коротколанцюжних летучих жирних кислот (ЛЖК), амінокислот, спиртів, а також водню та вуглекислого газу (кислотогенна стадія).

III. Ацетогенна стадія перетворення ЛЖК, амінокислот та спиртів в оцтову кислоту, що дисоціює на аніон ацетату та катіон водню.

IV. Метаногенна стадія – утворення метану з оцтової кислоти, а також в результаті реакції відновлення воднем вуглекислого газу.

В процесі анаеробного зброджування приймають участь п'ять груп бактерій: ферментативні кислотогени; ацетогени, що утворюють водень; ацетогени, що використовують водень; метаногени, що відновлюють вуглекислий газ; метаногени, що використовують ацетат.

Основними спорудами при анаеробній обробці осадів стічних вод є метантенки. Це ємнісні споруди, які називаються реакторами або резервуарами метантенків, для зброджування органічної речовини, в

яких процеси інтенсифікуються підігрівом і перемішуванням завантаженого субстрату із зрілим збродженим субстратом.

Залежно від виду, кількості зброджуваного субстрату та режиму зброджування метантенки мають різні конструктивні виконання. Як відомо, найбільш характерні форми метантенків: овальна або яйцеподібна, циліндрична з конічною верхньою або нижньою частиною, циліндрична з конічною верхньою та нижньою частинами [2, 3].

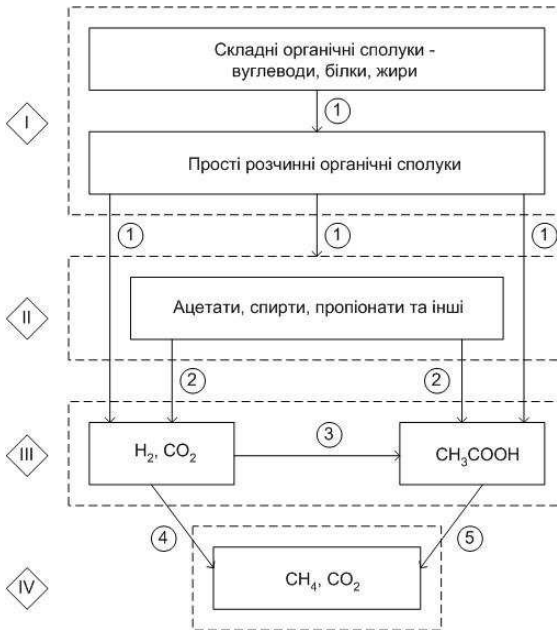


Рис. 1 – Схема анаеробного метанового зброджування осаду стічних вод:

I – гідроліз; II – кислотогенез; III – ацетогенез; IV – метаногенез;

- 1 – ферментативні кислотогени; 2 – ацетогени, що утворюють водень; 3 – ацетогени, що використовують водень; 4 – метаногени, що відновлюють вуглекислий газ; 5 – метаногени, що використовують ацетат.

Реактори овальної форми створюють найкращі умови для перемішування, відводу осадів і руйнування плаваючої кірки [3].

В циліндричних реакторах умови для току рідини та перемішування субстрату менш сприятливі [3]. Такі реактори потребують значних питомих витрат енергії. Перевага їх в технологічності виготовлення (використовуються сталь і залізобетонні плити). Циліндричні реактори з конічною верхньою та нижньою частинами

забезпечують видалення зверху кірки, знизу відстояного субстрату (шламу).

Виходячи з характеристики процесу зброджування та його технології, можна виділити такі основні вимоги до реакторів:

- абсолютна герметичність стінок, що перешкоджає газообміну;
- герметичність для рідини;
- збереження міцності в статичному стані при дії власної сили тяжіння та маси завантаженого субстрату;
- достатня товщина теплоізоляції;
- корозійна стійкість;
- надійність процесів завантаження і розвантаження;
- доступність внутрішнього простору для обслуговування.

До числа факторів, які впливають на діяльність бактерій та, відповідно, на вихід біогазу, відносять: температуру, кислотність середовища, співвідношення C/N, наявність летучих кислот, поживних речовин, токсичних матеріалів тощо [2-4].

Температура – один із важливіших факторів процесу анаеробного зброджування. Виділяють чотири температурні зони життєдіяльності бактерій, °C: криофільна – нижче 10; психрофільна – від 10 до 30; мезофільна – від 30 до 40; термофільна – вище 50.

При низьких значеннях температури швидкість процесу утворення метану невелика, але згідно з теорією – зі збільшенням температури на кожні 10-15 °C вона повинна подвоюватись. Оптимальні температурні зони – це мезофільна та термофільна. Однак з енергетичної точки зору більш доцільний мезофільний режим зброджування (рис.2).

Для стабілізації процесів анаеробного зброджування осадів стічних вод та інтенсифікації роботи метантенків необхідно забезпечити:

- попередню підготовку осаду, яка складається з видалення грубодисперсних включень (проціджування осаду) та удосконалення роботи піскоуловлювачів для зменшення мінеральної складової осаду первинних відстійників;

- безперервне завантажування-розвантажування осадів, що дасть можливість стабілізувати швидкість анаеробного розкладання органічної складової зброджуваного осаду і забезпечить рівномірне виділення біогазу протягом доби;

- перемішування осаду в резервуарах метантенків з оптимальною інтенсивністю (рис.3), що забезпечить ефективне використання всього об'єму резервуару, виключить утворення мертвих зон, розшарування осаду, відкладання мінералізованого осаду та утворення кірки, а також сприятиме вирівнюванню температурного поля та покращенню газо-

утворення;

- підтримання оптимальної температури режиму зброджування (мезофільного 32-35 °С, термофільного 52-55 °С);

- завантажування попередньо підігрітого осаду вважається за краще, тому що надходження холодного осаду сповільняє процес анаеробного зброджування;

- нагрівання завантажуваного осаду (рис.4) краще робити в теплообмінниках, тому що подача пари до резервуару метантенків збільшує вологість зброджуваного осаду, веде до повної втрати конденсату та збільшує експлуатаційні витрати. Крім того, висока температура пари (вище 100 °С) негативно впливає на анаеробні мікроорганізми.

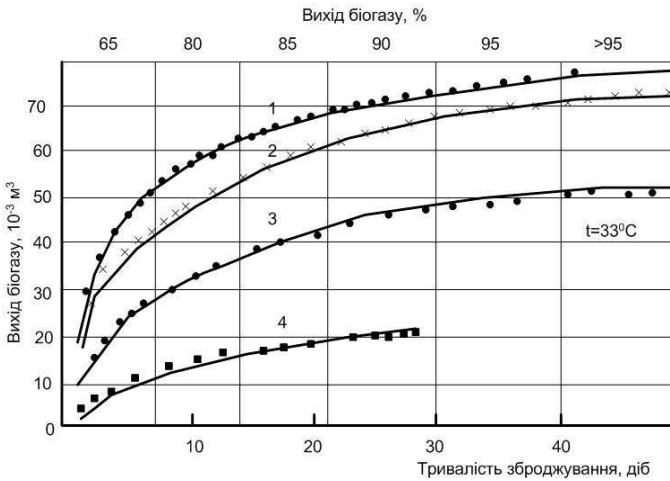


Рис.2 – Вихід біогазу при тривалому доброджуванні осаду:
1-3 – сирий осад в дозі відповідно 8, 12 і 16%; 4 – активний мул в дозі 8%.

Анаеробне бродіння – це комплексний процес, який при високому навантаженні стає нестабільним. Він характеризується вхідними параметрами біомаси й устаткування та вихідними – якістю продукції, продуктивністю, взаємопов'язаними регульованими і нерегульованими процесами. Завдання автоматизації технології анаеробного бродіння зводиться до розробки алгоритмів керування та реалізації їх засобами автоматики, які мають забезпечити оптимальну техніко-економічну ефективність.

Для забезпечення оптимального режиму процесу бродіння слід здійснювати контроль таких параметрів: температури; рН біомаси;

рівня біомаси; вмісту органічної речовини в біомасі; тиску біогазу; дози завантаження - вивантаження біомаси; об'єму біогазу.

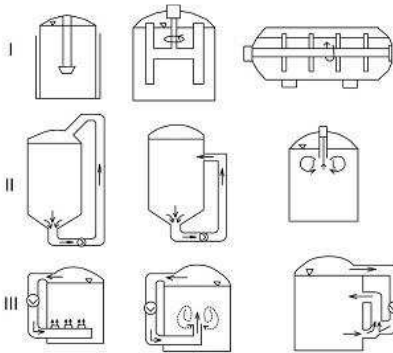


Рис.3 – Схеми пристроїв для перемішування:

I – механічні; II – гідравлічні; III – газові.

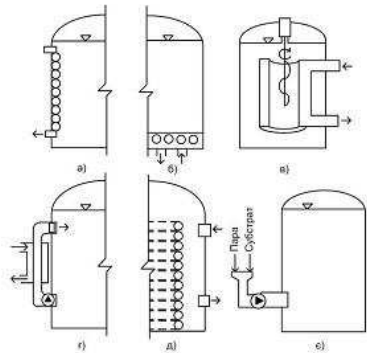


Рис.4 – Схеми нагрівальних пристроїв: а – настінного; б – донного;

в – розміщеного у опалювальному циліндрі; г – розміщеного за реактором; д – у вигляді змійовика; е – що використовує пару.

Під оптимальним зброджуванням осадів в основному слід розуміти відповідність таким вимогам:

- сучасні метантенки, як правило, завантажують сирим осадом з відносно високим вмістом твердої речовини (~6-8%), з метою економії об'єму реакторів;
- підвищений вміст твердої речовини потребує інтенсивного перемішування для можливості роботи у режимі схожим з реакторним;
- зважаючи на підвищений вміст твердої речовини вже не відбувається розшарування осаду і тому не проводиться відвід мулової води;
- метантенки працюють в режимі реакторів, тобто безперервно з завантаженням протягом 24 годин.

Залежно від продуктивності установки й потрібного ступеня стабілізації, виходячи з наступних способів ліквідації або використання збродженого осаду та враховуючи, що процес стабілізації йде асимптотично та через 15 діб вже досягається ступень розкладу приблизно на рівні 95% від ступеню розкладу за 20 діб, проектують більші метантенки навіть у разі меншого часу перебування.

Суттєвим пунктом оптимізації анаеробного зброджування осадів є задача як можна більшої мінімізації кількості осаду, щоб зменшити об'єм реакторів [3, 4]. Оскільки осад первинних відстійників і надлишковий мул в основному мають різні властивості з ущільнення, страте-

гічний підхід до досягнення високого вмісту сухої речовини несхожий. Гравітаційне ущільнення надлишкового мулу (враховуючи його високу вологість та низьку здатність до цього процесу) спільно з осадом первинних відстійників (як це практикувалось раніше шляхом зворотного завантаження надлишкового мулу до первинних відстійників) сьогодні вже стає недоцільним. Осад первинних відстійників і надлишковий мул повинні роздільно відбиратись і ущільнюватись. Осад первинних відстійників може бути без труднощів гравітаційно ущільнений до вологості 95-92%.

Надлишковий мул має високу вологість 99,2-99,6%. У разі гравітаційного ущільнення надлишкового мулу можуть досягатися величини вологості 96,5-97,3%, так що враховуючи кількість рідкого мула, яка зростає внаслідок заходів з вдосконалення очищення стічних вод, сьогодні у світі майже завжди застосовується механічне згущення надлишкового мулу.

Зменшення вологості викликає деякі складності при його транспортуванні.

Метантенки сьогодні експлуатуються як повністю прямоточні реактори з перемішуванням. Тому завантаження має проводитися по можливості безперервно та рівномірно протягом доби. В установках, починаючи із завантаження більше 200 м³/добу сирого осаду це можливо при дотриманні мінімальних умовних проходів та швидкостей течії в системі завантаження без побоювання появи відкладень або закупорювань [4].

Взагалі сирий осад для досягнення рівномірного розподілу субстрату має завантажуватися в метантенки вже попередньо підігрітим та змішаним із збродженим осадом. Співвідношення суміші сирого осаду та збродженого осаду повинно складати приблизно 1:10.

Безперервне завантаження є суттєвою частиною оптимального режиму збродження, як з точки зору процесу, так і з точки зору обладнання (величина накопичувальних газгольдерів, нагрів тощо).

Спосіб перемішування має бути розрахований так, щоб загальний об'єм збродження перемішувався не менше п'яти разів на добу. Для внутрішнього перемішування об'єму субстрату є такі методи:

- перемішування зовнішніми насосами;
- мішалка збродженого осаду;
- газова продувка;
- мішалки.

В зв'язку з тим, що нині, як правило, метантенки працюють у високо навантаженому режимі, має бути передбачено інтенсивне перемішування. Для достатньо інтенсивного перемішування за допо-

могою різних методів приблизно можна виходити з даних про питомі витрати енергії. При виборі метода перемішування необхідно враховувати, що цей метод знаходиться у тісному зв'язку з величиною метантенка та його формою. Обидва параметри не можуть розглядатися окремо.

Метантенки працюють як прямоточні реактори, тобто при завантаженні метантенка сирим осадом автоматично витісняється адекватна кількість збродженого осаду. В класичних робочих системах відведення осаду здійснюють через трубопровід відведення осаду з нижнього кінця конічної частини та регульований за висотою телескопічний пристрій, а потім надходить у бункер для осаду. З нижньої частини реактора, з одного боку, проводять відведення максимально ущільненого осаду, з другого – відведення піску, що містить осад.

Враховуючи, що нині метантенки експлуатуються подібно реактору та вже відсутнє відведення мулової води, можна заключити, що розподіл сухої речовини у нутрі метантенку приблизно однаковий. Виходячи з цього припущення осад можна відводити також з поверхні в головці метантенка. Перевага відведення з головки метантенка в тому, що піна та плаваючі речовини по можливості рівномірно виносяться разом з осадом через систему відведення [2, 3]. Ця, так звана, система витиснення дозволяє підтримувати постійний рівень осаду в метантенку та запобігати небезпеці пошкодження змішувача збродженого осаду в результаті неправильної установки телескопічного пристрою при роботі із змішувачем збродженого осаду. Проте, в будь-якому випадку має бути додатково встановлений основний випуск з нижньої частини метантенка.

Останнім часом поширились випадки, коли в метантенках утворюється піна. При цьому мова йде не про класичну піну метантенків, яка може утворюватися під час пуску в експлуатацію або внаслідок неправильної експлуатації – причиною у більшості випадків є сирій осад, який завантажується в метантенк. Справа в тому, що останнім часом в аераційних спорудах почали попадатися в деяких випадках ниткоподібні організми, наприклад, *Microthrix parvicella*, які разом з надлишковим мулом надходять в метантенки і там значною мірою сприяють піноутворенню. Тому метод відведення осаду з поверхні в головці метантенка – надійніший підхід до розв'язання цієї експлуатаційної проблеми.

Надлишковий мул піддається анаеробному збродженню набагато складніше, ніж осад первинних відстійників. Тому для покращення здатності до розкладу надлишкового мулу останнім часом застосо-

вують у великому обсязі та з успіхом установки для подрібнення надлишкового мулу з використанням потужного ультразвуку.

Шляхом подрібнення досягається суттєве поліпшення розкладу органічної сухої речовини при анаеробному зброджуванні та значне збільшення кількості біогазу. Крім того, зменшується кількість сухої речовини в збродженому осаді, а отже і вартість зневоднення відповідно знижується.

Додатковою, але значною перевагою подрібнення надлишкового мулу є те, що повністю подавляється піна у метантенках, яка виникає від схильного до піноутворення надлишкового мулу [3].

Український науково-дослідний інститут прогресивних технологій в комунальному господарстві (ЗАТ «УкркомунНДПрогрес», м.Харків) пропонує комплекс споруд для одержання і утилізації біогазу метантенків для очисних споруд м.Харкова, що вирішує проблему зниження енерговитрат при очищенні стічних вод за рахунок використання постійно відновних нетрадиційних джерел енергії, які є на очисних спорудах каналізації. Такий комплекс вирішує ряд завдань: технологічних, що забезпечують одержання стабілізованого незагниваючого осаду (нові метантенки); енергетичних, які дозволяють компенсувати значну частину електричної та теплової енергії, що витрачається на роботу повітродувних машин і технологічне нагрівання осаду; екологічних, що знижують забруднення атмосфери метаном і ліквідують сморід [5].

Цей комплекс споруд включає:

- 1 – споруди для забезпечення стабільності процесу зброджування осадів у метантенках (видалення грубодисперсних включень з рідких осадів);
- 2 – споруди зі зброджування осадів та отримання біогазу (метантенки нової конструкції);
- 3 – споруди з утилізації біогазу з отриманням електроенергії;
- 4 – споруди для утилізації вторинного тепла для підігріву осадів.

Важливою перевагою такої технології є можливість забезпечення автономним енергозабезпеченням станцій біологічного очищення стічних вод при аварійних режимах в енергомережах.

Попередні розрахунки показують ефективність пропонованої технології. Очікуване вироблення біогазу для міст України з населенням понад 200 тис. чоловік складе не менше 100 млн. м³/рік (калорійністю 5500 ккал/м³), що еквівалентно 200 млн. кВт/год. за рік електроенергії, або 70 тис. т умовного палива.

1.Ковальчук В.А. Очистка стічних вод. – Рівне: ВАТ «Рівненська друкарня», 2003. – 622 с.

2. Гюнтер Л.И., Гольдфарб Л.Л. Метантенки. – М.: Стройиздат, 1991. – 128 с.
3. Туровский И.С. Обработка осадков сточных вод. – М.: Стройиздат, 1988. – 256 с.
4. Алексеев В.И., Винокурова Т.Е., Пугачев Е.А. Проектирование сооружений переработки и утилизации осадков сточных вод с использованием элементов компьютерных информационных технологий. – М.: АСВ, 2003. – 176 с.
5. Козловская С.Б., Сорокина Е.Б. Энергосберегающая технология утилизации биогаза метантенков на городских очистных сооружениях канализации // Вестник Одесской гос. академии строительства и архитектуры. Вып.19. – Одесса: ОДАБА, 2005. – С.14-18.
Отримано 11.01.2010

УДК 628.33

Т.А.ШЕВЧЕНКО

Харьковская национальная академия городского хозяйства

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ УДАЛЕНИЯ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ БЫТОВЫХ СТОЧНЫХ ВОД С ПРИМЕНЕНИЕМ АКТИВИРОВАННЫХ РАСТВОРОВ РЕАГЕНТОВ

Проанализировано влияние активированного раствора коагулянта на степень структурно-механической гидратации гидроксида алюминия и изменение сил сцепления загрузки контактного осветлителя при доочистке бытовых сточных вод.

Проаналізовано вплив активованого розчину коагулянту на ступінь структурно-механічної гідратації гідроксиду алюмінію та зміну сил зчеплення завантаження контактного освітлювача при доочистці побутових стічних вод.

In article influence of the activated solution coagulant on a degree of structural-mechanical hydration hydroxide of aluminum and change of coupling forces of loading contact filter is analyzed at additional cleaning household sewage.

Ключевые слова: биогенные элементы, эвтрофикация, структурно-механическая гидратация, активированный раствор коагулянта.

К биогенным элементам относятся вещества, входящие в состав организмов и имеющие определённое биологическое значение, в том числе азот, фосфор, сера, кремний, железо, кальций, медь, кобальт и многие другие.

Наиболее важными биогенными элементами для физиологического развития активного ила при биологической очистке сточных вод следует признать азот, фосфор, серу, железо. Это так называемые макробиогенные вещества, в значительных количествах накапливающиеся в биомассе активного ила – до 6-8% азота и 2% фосфора в сухой массе ила [1].

Исследования [2, 3] показали, что причиной массового развития сине-зеленых водорослей, вызывающих эвтрофикацию водных объектов, является высокое содержание в водоемах азота и фосфора, посту-