

МЕТОДИ ПОПЕРЕДНЬОЇ ОБРОБКИ ОСАДІВ СТІЧНИХ ВОД

Філоненко О.О., Жукова В.С.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, filonenko.oleksandra@iit.kpi.ua

Вступ. В процесі біологічного очищення стічних вод утворюється велика кількість осаду, а саме надлишковий активний мул. Такий осад може містити токсичні речовини, хвороботворні мікроорганізми, важкі метали та деякі органічні забруднення, що створює неприємні запахи. Неналежне використання та утилізація осаду стічних вод спричиняє серйозний вплив на навколишнє середовище та загрозу здоров'ю населення. Станції очищення стічних вод стикаються з економічними та екологічними обмеженнями не лише через дедалі суворіші правила, але й через збільшення кількості утвореного осаду стічних вод. Зазвичай 40-50% загальних експлуатаційних витрат припадає на стадію утилізації осаду. Таким чином, просування економічно доцільних методів обробки осаду є одним з важливих завдань для енергоефективного управління відходами [1].

В даний час на практиці застосовано кілька методів утилізації осаду стічних вод, наприклад захоронення відходів, компостування, сушіння-спалювання, анаеробне зброджування та переробка на будівельні матеріали [2]. Серед них анаеробне зброджування є перспективним для обробки осаду стічних вод, оскільки цей спосіб сприяє видаленню запахів та хвороботворних мікроорганізмів, стабілізації осаду і, що більш важливо, дає змогу отримати відновлювану енергію у вигляді метану. Це може покрити частину енергетичних потреб для обробки осаду стічних вод або, певною мірою, зменшити залежність людини від викопного палива. З цих причин анаеробне зброджування осаду знижує експлуатаційні витрати на очисні споруди [3].

Метою даної роботи є аналіз існуючих методів попередньої обробки стічних вод, які допомагають оптимізувати анаеробне зброджування та збільшити вихід біогазу.

Матеріали та методи. Здійснено аналіз літературних джерел, присвячених дослідженню методів попередньої обробки осаду стічних вод. Осад було отримано від вторинних відстійників та аеротенків міських очисних споруд. Під час випробувань об'єм і склад утвореного біогазу у реакторах реєстрували щодня протягом першого тижня та кожні наступні 2–5 днів. Випробування тривали 50 днів, доки щоденне утворення метану протягом трьох послідовних днів не становило <1% від накопиченого об'єму метану. Вміст метану в експериментах визначали за допомогою газової хроматографії. Ефективність гідролізу кількісно оцінювали за допомогою відношення $\Delta\text{ХПК}/\text{ЗХПК}$, де $\Delta\text{ХПК}$ - різниця між початковою та кінцевою хімічною потребою в кисні, а ЗХПК - початкова загальна хімічна потреба в кисні для осаду.

Результати та обговорення. Анаеробне зброджування включає серію етапів, тобто гідроліз, ацидогенез (ферментація), ацетогенез і метаногенез. В дослідженнях встановлено, що гідроліз є обмежувальним етапом анаеробного зброджування осаду стічних вод через складну структуру пластівців, таких як позаклітинні полімерні речовини і тверду клітинну стінку, що призводить до

тривалого часу утримування, низької ефективності розпаду органічних речовин і низького виходу метану [4,5].

Щоб прискорити гідроліз і підвищити подальшу продуктивність метану були розроблені різноманітні варіанти попередньої обробки осаду, такі як механічні, термічні, хімічні, біологічні процеси або їх інтеграція. Основна мета попередньої обробки полягає в тому, щоб порушити матрикс позаклітинних полімерних речовин і клітинну стінку, а також зробити наявні поживні речовини доступними для мікроорганізмів, таким чином прискоривши перетворення органічних твердих речовин і збільшивши продуктивність метану. У разі правильного планування попередня обробка може сприяти вивільненню внутрішньоклітинних речовин шляхом розриву клітинної стінки та зробити їх більш доступними для наступних етапів.

В сучасних дослідженнях описано такі механічні методи.

- Ультразвукова попередня обробка. Процес зазвичай здійснюється в спеціальних реакторах, які містять ультразвукові емітери. Осад розміщують у реакторі, де він піддається впливу високочастотних ультразвукових хвиль. Ультразвукові хвилі створюються за допомогою п'єзоелектричного кристала, який знаходиться в емітері. У разі зміни електричного поля на кристалі відбувається зміна розміщення його атомів, що приводить до виходу ультразвукових хвиль. Результатом ультразвукової обробки є зменшення розміру частинок осаду та збільшення їх поверхні, що поліпшує доступність поживних речовин для анаеробної переробки [6,7].

- Мікрохвильове опромінення. Така обробка зазвичай здійснюється у спеціальних реакторах, які містять мікрохвильовий генератор та систему охолодження. Осад розміщують у реакторі, де він піддається впливу мікрохвильового випромінювання. Мікрохвильове випромінювання здійснюється за допомогою мікрохвильового генератора, який створює електромагнітні хвилі з частотою близько 2450 МГц. Результатом обробки є зниження вмісту вологи в осаді (за рахунок температури та випаровування), зменшення розміру частинок, що поліпшує доступність поживних речовин для анаеробної переробки. Обробка також сприяє руйнуванню клітинних стінок бактерій та інших мікроорганізмів, що полегшує доступ метаногенних бактерій до поживних речовин. Крім того, цей метод забезпечує більш однорідний розподіл температури в осаді, що зменшує енергетичні витрати на нагрівання [8].

- Електрокінетичний розпад. Під впливом електричного поля на поверхні частинок осаду виникає заряд, що сприяє їх дисперсії та розриванню структур бактерій. Цей метод може бути застосований як самостійний, але частіше він використовується в поєднанні з іншими методами, такими як ультразвукова та термічна обробка, для підвищення ефективності процесу [9].

- Гомогенізація під дією високого тиску. У цьому процесі осад піддається впливу високого тиску, створеного високошвидкісними струменями води або іншого розчину. При цьому частинки осаду руйнуються і розбиваються на більш

дрібні, що сприяє покращенню їх змішування з рідиною, зниженню в'язкості та збільшенню поверхні взаємодії з мікроорганізмами під час подальшої обробки. Гомогенізація під дією високого тиску може проводитися за допомогою різних пристроїв, таких як гідродинамічні гомогенізатори, високотискні помпи з різними насадками або високотискні камери. Цей метод може бути застосований окремо або в поєднанні з іншими методами попередньої обробки [10].

Також окремо досліджують термічний гідроліз. Під час термічного гідролізу осад змішується з водою, що може бути нагріта до температури від 120 до 200 °С, і піддається тиску від 200 до 600 КПа. Такий процес приводить до розкладу складних органічних речовин на більш прості молекули. В цьому процесі утворюються кислоти, аміни та інші речовини, які забезпечують додаткове джерело поживних речовин для бактерій в анаеробному перетворенні. Термічний гідроліз може покращити перетворення осаду на біогаз на 20-40%. Цей метод також допомагає знизити кількість патогенних бактерій, збільшити стійкість до забруднень та підвищити якість осаду [11].

До методів хімічної обробки належить:

- Попередня обробка кислотою та лугом. Кислотна обробка осаду включає в себе додавання кислоти для зниження рН та розчинення органічних речовин. Основними кислотами, які використовуються для цього, є сірчана та хлороводнева кислоти. Цей процес може привести до розчинення частини органічних речовин та поліпшення їх біологічної доступності. Обробка осаду лугом передбачає додавання розчину лугу для підвищення рН. Лугові розчини зазвичай містять натрій або калій гідроксиди. Підвищення рН приводить до гідролізу біомаси та розкладу складних органічних сполук на більш прості. Це також може підвищити біологічну доступність органічних речовин. Обидва методи можуть бути використані як окремо, так і в поєднанні з іншими методами попередньої обробки [12].

- Озонування. Під час озонування газова форма озону вводиться в осади, де вона взаємодіє з біологічними макромолекулами, такими як білки, жири та целюлоза. Ця реакція викликає окислення та розкладання органічних сполук в осадах, що зменшує їх концентрацію та підвищує біологічну доступність органічних речовин. Окрім того, озон має сильні дезінфікуючі властивості, що дають змогу знизити кількість бактерій, вірусів та інших мікроорганізмів у осадах. Також відбувається дезодорація, тобто зниження запаху у осадах [12].

Проводять також дослідження і біологічних методів, окрім відомого ферментативного гідролізу також вивчають поетапне анаеробне зброджування, яке поєднує термофільну установку попередньої обробки перед мезофільним анаеробним зброджуванням. Такий процес також складається з трьох етапів: гідроліз, ацетогенез і метаногенез, кожен з яких відбувається за різних температур. На першому етапі, гідролізу, температура підтримується на рівні 70-80 °С, що сприяє розкладанню складних органічних сполук на більш прості. Далі, на другому етапі, ацетогенезі, температура знижується до 55-60 °С, що сприяє перетворенню простих органічних сполук на ацетат та інші

коротколанцюгові жирні кислоти. На третьому етапі, метаногенезі, температура знижується до 35-37 °С, що сприяє утворенню метану [13].

Висновки. Отже, на даний момент повільний гідроліз залишається значним обмеженням в процесі енергоефективного зброджування осаду стічних вод. Саме тому проводять дослідження різних методів попередньої обробки, щоб прискорити швидкість гідролізу осаду та підвищити ефективність анаеробного зброджування. На даний момент найбільш вивченими та впровадженими є механічні, термічні та хімічні процеси. Розглянуто особливості цих методів та їх вплив на подальший перебіг процесів анаеробного зброджування. Водночас, дослідження біологічних методів не є вичерпними і потребують більше уваги, щоб перейти від лабораторних експериментів до обробки осаду на реальних спорудах.

Список використаної літератури:

1. Appels L, Baeyens J, Degreve J, Dewil R. Principles and potential of the anaerobic digestion of waste-activated sludge. *Prog Energy Combust* 2008;34:81-755.
2. Lesław Świerczek, Bartłomiej Michał Cieślak, Piotr Konieczka, The potential of raw sewage sludge in construction industry – A review, *Journal of Cleaner Production* 2018; 200:342-356.
3. Li, C., Li, Y., Cheng, Z., Li, Y., & Liu, Y. Anaerobic digestion of waste activated sludge: A review on the recent developments. *Bioresource Technology* 2019;291.
4. Abelleira-Pereira JM, Perez-Elvira SI, Sanchez-Oneto J, de la Cruz R, Portela JR, Nebot E. Enhancement of methane production in mesophilic anaerobic digestion of secondary sewage sludge by advanced thermal hydrolysis pretreatment. *Water Res* 2015;71:40-330.
5. Zhen GY, Lu XQ, Li YY, Zhao YC. Combined electrical-alkali pretreatment to increase the anaerobic hydrolysis rate of waste activated sludge during anaerobic digestion. *Appl Energy* 2014;128:93–102.
6. Harris PW, McCabe BK. Review of pre-treatments used in anaerobic digestion and their potential application in high-fat cattle slaughterhouse wastewater. *Appl Energy* 2015;155:75-560.
7. Tiehm A, Nickel K, Zellhorn M, Neis U. Ultrasonic waste activated sludge disintegration for improving anaerobic stabilization. *Water Res* 2001;35:9-20.
8. Elagroudy S, El-Gohar F. Microwave Pretreatment of Mixed Sludge for Anaerobic Digestion Enhancement. *Int J Therm Environ Eng* 2013;5:11–105.
9. Krzemieniewski M, Zieliński M, Dębowski M. Technology of electrokinetic disintegration of virginia fanpetals (*Sida hermaphrodita*) biomass in a biogas production system. *Int J Energy Power Eng* 2016;3:759.
10. Carrere H, Antonopoulou G, Affes R, Passos F, Battimelli A, Lyberatos G, et al. Review of feedstock pretreatment strategies for improved anaerobic digestion: from lab-scale research to full-scale application. *Bioresour Technol* 2016;199:-97-386.
11. Neyens E, Baeyens J. A review of thermal sludge pre-treatment processes to improve dewaterability. *J Hazard Mater* 2003;98:51–67.
12. Zhen, G., Lu, X., Kato, H., Zhao, Y., & Li, Y.-Y. Overview of pretreatment strategies for enhancing sewage sludge disintegration and subsequent anaerobic digestion: Current advances, full-scale application and future perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2016; 69: 559–577.
13. Lv W, Schanbacher FL, Yu ZT. Putting microbes to work in sequence: recent advances in temperature-phased anaerobic digestion processes. *Bioresour Technol* 2010;101:14-94.