

## АВТОМАТИЗАЦІЯ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ ТА КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ МЕТАНОГЕНЕЗУ В ПРОЦЕСІ АНАЕРОБНОГО ЗБРОДЖЕННЯ ВІДХОДІВ

*<sup>1</sup>Черниш Є.Ю., д.т.н., доц., <sup>1</sup>Чубур В. С., асп., <sup>1</sup>Скиданенко М. С., ст. викл., к.т.н., <sup>1</sup>Соколов О.С., асп., <sup>1</sup>Данілов Д.В., ст., <sup>1</sup>Білоус О.О., ст., <sup>2</sup>Рубік Г., доц., <sup>1</sup>Сумський державний університет, м. Суми, Україна; <sup>2</sup>Чеський природничий університет, м. Прага, Чехія  
v.chubur@ecolog.sumdu.edu.ua*

Важливим елементом процесу анаеробного збродження є синергічне функціонування різноманітних груп мікробних спільнот для розкладання органічних субстратів із подальшим утворенням біогазу. Однак, здебільшого в процесі збродження виникають дисбаланси та порушення співвідношень через коливання токсичних компонентів субстрату або інгібування процесів продуктами власного метаболізму.

Отже, стратегії контролю та контрольовано-вимірювальні прилади мають відповідати рівню розвитку процесу. Низкою досліджень, присвячених вивченню параметрів процесу анаеробного збродження, визначено ряд параметрів (рН, окисно-відновний потенціал, лужність, рівень розпаду вуглеводів до летких жирних кислот), які характеризують стан процесу і використовуються для його моніторингу [1]. Ці параметри певною мірою відображають динаміку мікробіологічних процесів у метантенці, але також залежать від зміни якісних характеристик субстрату та кількості, які змінюються з часом.

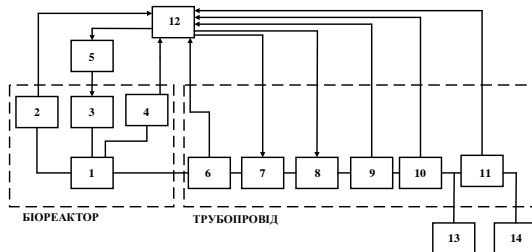
Онлайн-моніторинг та методи управління процесом могли б забезпечити високу ефективність та більш стабільну продуктивність процесу. Важливим завданням автоматизації є розробка та вдосконалення існуючих методів моніторингу, що мають бути швидкими, чутливими, стабільними, і давати змогу визначати ранні ознаки дисбалансу в мікробному консорціумі процесу. Крім того, необхідно генерувати дані за кількома параметрами без споживання аналітів і втручання в метаболізм за трофічним ланцюгами метаногенної асоціації мікроорганізмів, разом з тим бути стійкими до змін складу середовища, що формується в біореакторах [2].

Для розробки онлайн-моніторингу лужності використано м'які сенсорні методи на основі штучних нейронних мереж (ШНМ) з онлайн-вимірюванням вхідних параметрів. Оптимальна структура ШНМ моделі складається з вхідного шару з трьох нейронів (рН, окисно-відновний потенціал та електропровідність), прихованого шару з двох нейронів та вихідного шару з одного нейрона. ШНМ-модель прогнозування лужності підтвердила свою ефективність шляхом аналізу відхилень та аналізу чутливості [3].

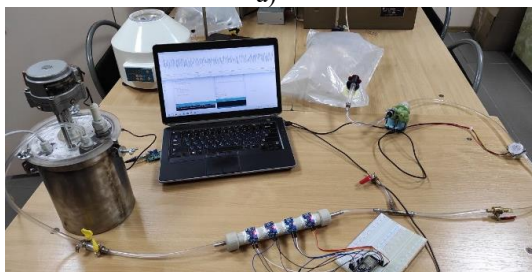
Дослідження параметрів моніторингу процесу зосереджуються на метаболічному процесі анаеробного збродження, тимчасом як важливість

моніторингу субстрату як засобу оптимізації стабільності процесу є також важливою. Варто зауважити, що застосування надійних методів онлайн-моніторингу, розроблених у лабораторії, у реальних умовах на біогазових установках часто обмежується високою собівартістю [4].

Для моніторингу параметрів процесу анаеробного збродження розроблено лабораторну експериментальну схему автоматизації збродження, яка наведена на Рис. 1, де вказано точки і параметри контролю етапів процесу, для забезпечення вищої якості отриманого біогазу.



а)



б)

а) структурна схема лабораторної установки; б) фото установки  
 1 - реактор; 2 - давач кислотності; 3 - двигун постійного струму; 4 - давач температури; 5 - твердотільне реле; 6 - газоаналізатор; 7, 11 - електричні клапани, 8 - насос; 9 - витратомір; 10 - давач тиску; 12 - контролер; 13, 14 - збиральні ємності

Рисунок 1 – Експериментальна установка

Гази, що виділяються в процесі анаеробного збродження містяться в реакторі 1. Для моніторингу швидкості і якості процесу збродження вимірюється кислотність і температура рідини, що зброджується за допомогою давачів 2 та 4 відповідно. Інтенсифікацію процесу аеробного збродження в біореакторі забезпечується мішалкою, яка приводиться в дію двигуном постійного струму 3, керованим твердотільним реле 5. Період роботи мішалки контролюється відповідно таймеру запрограмованому в контролері 12. Через гнучкий шланг продукований біогаз потрапляє до газоаналізатора 6 де визначається температура, тиск та концентрація компонентів газової суміші

(CH<sub>4</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>). Після досягнення максимального критичного значення тиску газу відкривається електричний клапан 7 і газ починає перекачуватися насосом 8 в збиральну ємність 13 з паралельним вимірюванням витрати газу давачем (витратоміром) 9. За умови досягнення мінімального критичного значення тиску газу електричний клапан 7 закривається. Давач 10 вимірює тиск накопиченого газу в збиральній ємності 13, у разі досягнення максимально критичного значення в ємності 13 відкривається електричний клапан 11 і газ направляється в наступну складську ємність 14. Управління перерахованими вище виконавчими механізмами відбувається використовуючи контролер 12, в якому також збирається інформація вимірних параметрів. Використовуючи промисловий протокол MQTT зібрані дані трансформуються в графічні залежності і за допомогою вбудованого Wi-Fi модуля відправляється в хмарне сховище, що дозволяє контролювати процес аеробного зброджування цілодобово, а не тільки під час періоду реєстрації показників.

Запропонована схема автоматизованого моніторингу метаногенезу включає контроль основних параметрів контролю процесу зброджування рН та температури в біореакторі, частоти обертання мішалки, об'єму виробленого біогазу разом із компонентним аналізом біогазової суміші та керуванням тиску в газозбірних ємностях. У такий спосіб, запропонована модель дозволяє реалізувати моніторингу параметрів процесу анаеробного зброджування в безперервному режимі з широким спектром вимірних показників для підвищення продуктивності процесу шляхом керування параметрами, та проведення порівняльних контролів відповідності якості субстратів для подальших процесів зброджування.

### Література

1. Чубур В. С., Черниш Є. Ю. Скиданенко М. С., Данилов Д. В., Білоус О. О. (2022). Переробка пташиного посліду в енергетичних цілях в технологіях захисту довкілля. Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Нові рішення у сучасних технологіях, №3(13), С. 86–92. doi:10.20998/2413-4295.2022.03.13
2. Awhangbo, L., Bendoula, R., Roger, J. M., Béline, F. (2020). Multi-block data analysis for online monitoring of anaerobic co-digestion process. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, Vol. 205, 104120. doi:10.1016/j.chemolab.2020.104120
3. Wang, X., Bai, X., Li, Z., Zhou, X., Cheng, S., Sun, J., Liu, T. (2018). Evaluation of artificial neural network models for online monitoring of alkalinity in anaerobic co-digestion system. *Biochemical Engineering Journal*. Vol. 140, P. 85-92. doi:10.1016/j.bej.2018.09.010
4. Wu, D., Li, L., Zhao, X., Peng, Y., Yang, P., Peng, X. (2019). Anaerobic digestion: A review on process monitoring. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 103, P.1–12. doi:10.1016/j.rser.2018.12.039