

ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ВИРОБНИЦТВА БІОГАЗУ

Клименко Максим¹, Усенко Станіслав², Шаповалов Євгеній¹, Носачова Юлія²

¹ Національний університет харчових технологій, Україна

² Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Farkry17@gmail.com

Анаеробне зброджування (АЗ) є ключовою технологією в рамках циркулярної економіки та відновлюваної енергетики, що дозволяє перетворювати органічні відходи на біогаз. Однак ефективність процесу обмежується його складністю, чутливістю до властивостей сировини та комплексними мікробними взаємодіями. Традиційні механістичні моделі, такі як ADM1, вимагають складної калібрації та не завжди здатні точно описувати динаміку процесу [1]. Це створює значні перешкоди для оптимізації та контролю в промислових масштабах. Використання штучного інтелекту (ШІ) та методів машинного навчання (МН) пропонує керований даними підхід для прогнозування та оптимізації виробництва біогазу, долаючи обмеження класичних моделей. Метою роботи є порівняльний аналіз ефективності застосування сучасних архітектур ШІ для оптимізації виробництва біогазу. Для досягнення мети було проаналізовано наукові публікації, що висвітлюють застосування рекурентних нейронних мереж (LSTM), багатошарових перцептронів (MLP) та гібридних квантово-класичних алгоритмів (QCL) для моделювання процесу АЗ.

Аналіз показав, що моделі на основі ШІ демонструють високу прогностичну точність, яка оцінюється за коефіцієнтом детермінації (R^2). Моделі LSTM продемонстрували високу ефективність ($R^2 = 0,93\text{--}0,98$), успішно враховуючи часові залежності в даних як лабораторного, так і промислового масштабів [2]. Класичні багатошарові перцептрони (MLP) досягають порівнянної точності ($R^2 \approx 0,959$), однак вимагають значної кількості параметрів і є схильними до перенавчання. На противагу, інноваційні гібридні квантово-класичні моделі (QCL) демонструють аналогічну точність при суттєво меншій кількості параметрів. Це забезпечує кращу масштабованість та стійкість, оскільки квантові принципи дозволяють ефективніше фіксувати складні кореляції в даних процесу АЗ [3].

Застосування штучного інтелекту є потужним інструментом для моделювання та оптимізації процесу анаеробного зброджування. Моделі машинного навчання дозволяють здійснювати моніторинг у реальному часі, оптимізувати параметри процесу та підвищувати стабільність і вихід біогазу. Розвиток передових алгоритмів, зокрема квантово-класичних гібридів, відкриває нові перспективи для створення високоефективних та масштабованих систем керування біогазовими установками, що посилять роль біоенергетики в переході до сталої економіки.

ЛІТЕРАТУРА

1. Kegl T., Jiménez E. T., Kegl B., Kralj A. K., Kegl M. Modeling and optimization of anaerobic digestion technology: Current status and future outlook. *Progress in Energy and Combustion Science*. 2025. Vol. 106. 101199.
2. Murali R., Dekhici B., Chen T., Zhang D., Short M. Mechanistic and Data-Driven Models for Predicting Biogas Production in Anaerobic Digestion Processes. *Systems Control Transactions*. 2025. Vol. 4. P. 388–393.
3. Mohamed Y., Elghadban A., Lei H. I., Shih A. A., Lee P.-H. Quantum machine learning regression optimisation for full-scale sewage sludge anaerobic digestion. *npj clean water*. 2025. Vol. 8, 17. P. 1–13.