

УДК 631.333.92:631.22.018

ОГЛЯД НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ З МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ МЕТАНОВОГО БРОДІННЯ

Скляр О.Г., к.т.н.,

Скляр Р.В., к.т.н.,

*Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного, м. Мелітополь, Україна.*

Вироблення із органічних відходів енергоносіїв доцільне як з енергетичних, так і екологічних позицій. Біогазові технології сьогодні поширені у світі. Можна синтезувати сотні і тисячі варіантів теплотехнологічних схем біогазових установок [1-3], які відрізняються складом обладнання, топологією, режимами роботи. В основних елементах біогазових установок (БГУ) відбуваються складні тепломасообмінні процеси. Для ефективності БГУ необхідно надійно витримувати сталими такі параметри: температуру суміші в об'ємі реактора, показник рН, концентрацію субстрату, швидкість подачі субстрату в реактор, збалансованість потоків субстрату зі швидкістю розмноження метанових бактерій тощо [3]. Отже, потрібна надійна, адекватна робочим процесам математична модель, яка повинна включати опис різних за своєю природою об'єктів і явищ.

Вагомий внесок у експериментальні та теоретичні дослідження процесу метанового бродіння, математичне моделювання процесу бродіння зробили вітчизняні вчені Дубровін В.О., Семененко І.В., Мовсесов Г.Е., Голуб Н.Б., Матвеев Ю.Б. та ін., а також зарубіжні вчені Баадер В., Батстоун Д.Ж., Шульц Х., Ангелідакі І., Вавілін В.О., Калюжний С.В. та ін.

Експериментальне та теоретичне дослідження метанового бродіння почалося на початку 1950-х (Buswell і Muller). Процес еволюції математичних моделей метанового бродіння йшов від простих моделей до складніших. З складних моделей ADM1 є найбільш повною моделлю анаеробного бродіння, яка включає в себе кілька етапів опису біохімічних і фізико-хімічних процесів (8 груп бактерій і 11 реакцій, смертність мікроорганізмів, їх розпад, а також вплив рН, іонної та міжфазної рівноваги) [5].

На практиці проектування установок анаеробного бродіння в даний час користуються емпіричними моделями процесів, що базуються на рівняннях мікробної кінетики і теорії хемостата [5]. Найбільший інтерес для інженерних розрахунків представляє модель Чена-Хашимото, яка є модифікованою моделлю Конто [5]. Дана модель описує з деякими допущеннями об'ємну швидкість виходу біогазу залежно від найважливіших параметрів процесу анаеробної

ферментації. В простих математичних моделях процесу метанового бродіння часто використовується підхід, сутність якого полягає в аналізі одного чи декількох процесів перетворення органічної речовини, які лімітують загальну швидкість реакції. Це суттєво спрощує задачу числового пошуку параметрів процесу і, до певної міри, є достатнім для прогнозування виходу біогазу.

Землянка А. А. описав процеси теплообміну та гідродинаміки в циліндричному метантенку з зануреним у нього циліндричним теплообмінником. Кудряшова А. Р. розробила математичну модель процесу нагрівання біомаси з використанням енергії трубчастого електричного нагрівача. Математичне моделювання процесів функціонування каталітичного підігрівача при обігріві біореактору анаеробного бродіння органічних відходів представлено в роботі Сідиганова Ю. М., Є. М. Онучина, А. А. Медякова. Чернишову А. А. належить модель руху флотуємої біомаси.

В зарубіжній літературі відомі наступні роботи по моделюванню процесів гідродинаміки і теплообміну в метантенку. Fleming розробив тривимірну модель процесів гідродинаміки і теплообміну для критичних лагун. Grebremedhin розробив одновимірну комплексну модель теплообміну для метантенка ідеального витіснення. На основі цієї моделі Wu і Vibeau розробили тривимірну модель переносу тепла для метантенків, що працюють в холодних кліматичних умовах. Wu і Chen створили тривимірну модель гідродинаміки для метантенків з турбулентним режимом течії органічного субстрату. Результати чисельних досліджень були зіставлені з експериментальними даними, які отримані в лабораторних і дослідно-промислових умовах.

Особливий інтерес представляє моделювання процесів гідродинаміки і теплообміну при перемішуванні. Аналіз проблеми показав, що перемішування органічного субстрату є ключовим параметром підвищення ефективності процесу анаеробної переробки і застосування системи гідравлічного перемішування дозволяє підтримувати найбільш сприятливі гідродинамічні і температурні умови для життєдіяльності метаногенів спільноти бактерій протягом усього технологічного процесу [1,2].

Питання дослідження процесу перемішування присвячені роботи таких вчених як Брагінський Л. Н., Стренк Ф., Шлихтинг Р. та ін [5].

Чисельне моделювання процесів гідродинаміки при механічному перемішуванні в метантенку при ламінарному, перехідному і турбулентному режимах представлено в роботах Horvath A., Jordan C., Narasek M., Maier C., Weichselbaum W. У 2011 р. Mandrea та ін. отримано аналітичне рішення для ламінарного потоку в циліндричному метантенку з механічним перемішуванням і чисельне рішення для ламінарного потоку в метантенку з більш складною геометрією. Вачагіной Є. К. створено математичну модель руху двофазного

газорідного середовища в циліндричному метантенку біогазової установки з механічним перемішуванням.

Vesvikar і Al-Dahan [5] провели тривимірне, стаціонарне моделювання для визначення картини течії всередині метантенку з барботажем перемішуванням. У цій роботі вперше результати чисельних досліджень були зіставлені з експериментальними даними, що отримані в результаті застосування методу мічених атомів (ізотопних індикаторів). Latha S., Bortman D., Sleing P. розробили тривимірну модель процесу гідродинаміки при турбулентному режимі в метантенку з барботажем перемішуванням.

З метою оптимізації анаеробного процесу рядом авторів розроблені математичні моделі для метантенків з гідравлічним перемішуванням. У роботах Mendoza A. M., Martinez T. M., Montanana V. F. представлені чисельні результати розподілу полів швидкостей в циліндричному метантенку. Моделюванням гідравлічного перемішування в горизонтальних метантенках з верхньою подачею органічної сировини займаються такі вчені як Andrzej G. Chmielewski, Aleksandra Verbeć. Модель гідродинаміки для органічного субстрату з неньютонівськими псевдопластичними властивостями описано в роботі Terashima, Goel, Komatsu. Відмінною особливістю існуючих моделей гідравлічного перемішування є турбулентний режим течії субстрату.

Аналіз розглянутих математичних моделей процесу анаеробного бродіння показує, що врахування гідродинамічних характеристик процесу є необхідною умовою для повного опису процесів в метантенку.

Список літератури.

1. Скляр О.Г., Скляр Р.В. Аналіз способів та засобів для перемішування субстрату в метантенках біогазових установок. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. Київ, Ukraine. 2019. Vol. 10, No 4. 33-37.

2. Скляр О.Г., Скляр Р.В. Методи інтенсифікації процесів метанового бродіння. *Науковий вісник ТДАТУ*. Мелітополь, 2014. Вип.4. Т.1 С. 3-9: сайт. URL: <http://nauka.tsatu.edu.ua/e-journals-tdatu/pdf4t1/3.pdf>

3. Skliar A., Skliar R. Justification of conditions for research on a laboratory biogas plant. *MOTROL: Motoryzacja I Energetyka Rolnictwa*. Lublin, 2014. Vol.16. No.2, b. P.183-188.

4. Скляр А.Г., Скляр Р.В. Анализ показателей для контроля биологического процесса анаэробного разложения. *MOTROL: Commission of Motorization and Energetics in Agriculture*. 2015. Vol.17. No.9, b.P.65-70.

5. Баадер В., Доче Е., Бренндерфер М. Биогаз. Теория и практика. М: Колос, 1982.