

УДК 536.246

Г. С. Ратушняк, к. т. н., проф.;

В. В. Джеджула, асп.

ОБЛАДНАННЯ ІЗ ВІБРОАКТИВАТОРОМ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА БІОГАЗУ

Розглянуто основні особливості роботи біогазових реакторів з віброактиватором. Описано теплові та гідродинамічні процеси в багатокомпонентних органічних сумішах під дією вібрації. Модифікація реакторів шляхом введення в них віброактиватора дозволяє інтенсифікувати процес анаеробного бродіння та збільшити продуктивність біореактора.

Початкові передумови та постановка задачі дослідження

Утилізація органічних відходів з одночасним виробництвом біогазу дозволить отримати цінне біологічне паливо та позбавитись шкідливого впливу відходів на навколишнє середовище. Моделювання процесів активації виробництва біогазу необхідно з позиції комплексного розв'язання задач з механічного руху активатора, гідродинаміки та теплообміну при вібраційному впливі в багатокомпонентних органічних сумішах. Виробництво біогазу без активації призводить до утворення температурного розшарування, появи кірки субстрату та зменшення продуктивності [1, 2]. Вібраційне перемішування та омивання нагрівальних елементів реакторів хвилями дозволить збільшити тепловіддачу, покращити перемішування та інтенсифікувати технологічний процес. Моделювання процесу активації теплообміну потребує проведення досліджень для виявлення закономірностей зміни продуктивності реактора та тепловіддачі нагрівального елемента залежно від параметрів коливань та властивостей середовища, що омиває теплообмінник.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Питання інтенсифікації процесу анаеробного бродіння та його термостабілізації в промислових реакторах у технічній літературі частково висвітлені. Основна увага в останніх дослідженнях приділяється впливу властивостей конструкції реакторів, теплофізичних властивостей субстрату та зміни конфігурацій теплообмінника реактора на протікання процесу активації виробництва біогазу [1—3].

Невирішена раніше частина загальної проблеми

В науковій літературі фрагментарно розкрито вплив вібраційних процесів на теплообмін в рідинах і не досліджено процеси активації виробництва біогазу при коливальному перемішуванні субстрату.

Метою статті є дослідження, за результатами лабораторних риментів та математичного лювання, процесів активації бництва біогазу, теплообміну і гідродинаміки при вібраційному впливі в багатокомпонентних органічних сумішах.

Результати дослідження

Для комплексної активації процесу виробництва біогазу пропонується конструкція реактора з віброактиватором, що зображено

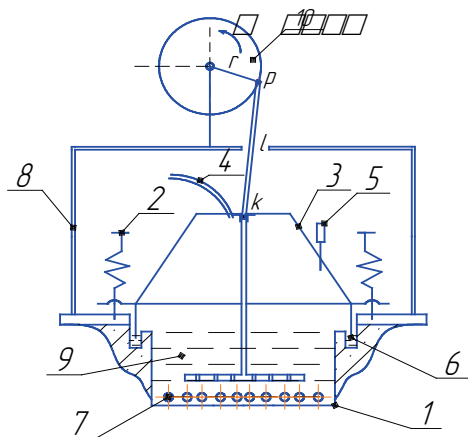


Рис. 1. Біогазовий реактор з вібраційною активацією анаеробного бродіння органічних відходів для виробництва біогазу: 1 — резервуар; 2 — напрямні ковпаки; 3 — ковпак; 4 — трубка споживача; 5 — манометр; 6 — гідрогерметизатори; 7 — нагрівальний елемент; 8 — теплиця; 9 — робоче середовище; 10 — коливальний активатор

на рис. 1.

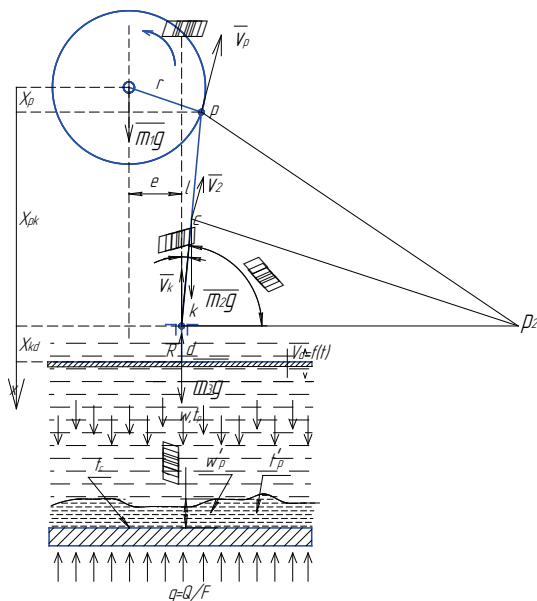


Рис. 2. Обґрунтування процесу активації роботи біореактора при коливному перемішуванні субстрату

Система, що описує рух пластини активатора, базується на рівнянні Лагранжа 2-го роду.

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}} \right) - \frac{\partial T}{\partial \varphi} = Q_{\varphi}. \quad (1)$$

Диференціальні рівняння, що описують процеси теплообміну між нагрівальним елементом і субстратом

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} + \omega_x \frac{\partial t}{\partial x} + \omega_y \frac{\partial t}{\partial y} + \omega_z \frac{\partial t}{\partial z} = a \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right); \quad (2)$$

$$\alpha = - \frac{\lambda}{\vartheta_c} \left(\frac{\partial \vartheta}{\partial n} \right)_{n=0}. \quad (3)$$

Використовуючи закон збереження імпульсу, теплофізичні властивості субстрату, на основі гіпотез Рейнольдса і Ньютона було знайдене критеріальне рівняння, що описує теплообмінні процеси при коливному омиванні поверхні нагрівального елемента

$$Nu = \frac{d}{\lambda} \left[\frac{w - 12\sqrt{s/\rho}}{c_p s} + \frac{12\nu}{\lambda\sqrt{s/\rho}} \right]^{-1}, \quad (4)$$

де Nu — критерій Нусельта; d — діаметр нагрівального елемента, м; λ — коефіцієнт теплопровідності субстрату, Вт/(м·°C); w — середня коливальна швидкість омивання, м/с; ν — коефіцієнт кінематичної в'язкості субстрату, м²/с; ρ — густина субстрату, кг/м³; c_p — теплоємність субстрату, кДж/кг °C; s — дотичне напруження, Па.

Експериментальні дослідження проводилися на установці, яка описана в [4]. План проведення досліджень включає експерименти щодо вільноконвективного теплообміну в суспензіях, а також теплообміну між нагрівальним елементом і субстратом за умов вібрувального середовища. Діапазони змінення досліджуваних параметрів відповідають умовам роботи реактора біогазової установки.

За результатами аналізу експериментальних даних розроблено критеріальні залежності для визначення інтенсивності тепловіддачі до субстрату за умов нерівномірного вібраційного омивання поверхні (5).

Регресійний аналіз експериментальних даних виконано з використанням пакету програм статистичної обробки даних Statistica 5.5. За результатами аналізу, за допомогою методу Хука-Дживіса, максимальне значення коефіцієнта детермінації $R = 0,78$ досягнуте для залежностей

$$Nu = 40,48 Re_{\Delta u}^{0,17} Pr^{-1,01}, \quad (5)$$

де Pr — критерій Прандтля; Pr_p — значення критерію Прандтля при температурі рідини; Pr_c — значення критерію Прандтля при температурі стінки нагрівального елемента; $Re_{\Delta u}$ — вібраційний критерій Рейнольдса, який визначається за формулою

$$Re_{\Delta u} = 2\pi f d A / \nu, \quad (6)$$

де f — частота коливань, Гц; A — амплітуда коливань, м; d — діаметр нагрівального елемента, м.

Співставлення аналітично розрахованої (4) та експериментально отриманої (5) моделей наведено на рис. 3.

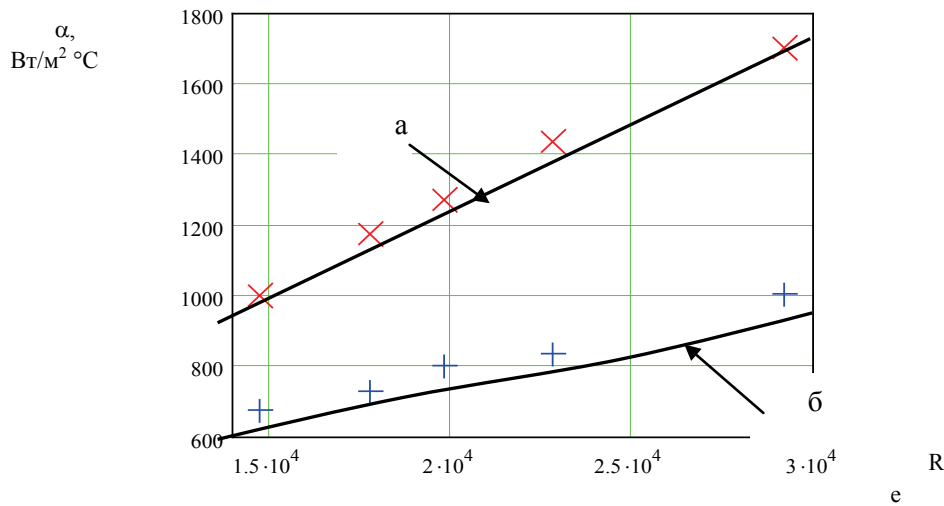


Рис. 3. Співставлення аналітичних результатів (9) з результатами експериментальних досліджень - рівняння (11): а — аналітичні результати; б — експериментальні результати

Для використання аналітичних результатів в практичних розрахунках теплообмінних процесів в біореакторах, ґрунтуючись на результатах співставлення результатів експериментів, в математичну модель (4) введено корегуючий коефіцієнт $\psi = 0,62$.

З використанням теорії нечітких множин та лінгвістичних змінних запропонована узагальнена математична модель причинно-наслідкових зв'язків у прийнятті рішень з управління технологічними процесами підвищення продуктивності біогазових реакторів з утилізації органічних відходів. Для встановлення ієрархічних зв'язків між факторами впливу на продуктивність біореактора виконана їх класифікація за такими факторами: тип і якість сировини, конструкція реактора та стабільність режиму, кожний з яких є лінгвістичною змінною. Структура узагальненої моделі представлена у вигляді дерева логічного висновку, у вузлах якого означені номери формул, що описують ієрархічну сукупність співвідношень між факторами впливу. Прогнозована продуктивність біогазового реактора та фактори інтенсифікації та термостабілізації анаеробного бродіння органічних відходів розглядаються як лінгвістичні змінні, що характеризуються за допомогою нечітких термів на відповідних універсальних множинах [5].

Лінгвістичним висловлюванням відповідає система нечітких логічних рівнянь, які характеризують поверхню належності змінних відповідному терму. Кожному нечіткому логічному рівнянню відповідає база знань у вигляді експертних висловлювань про зв'язки нечітких термів вхідних та вихідних лінгвістичних змінних.

Лінгвістичну змінну $L_{\text{вих}}$, що характеризує вихід біогазу, представлено у вигляді

$$L_{\text{вих}} = f(X, Y, Z), \quad (7)$$

де X — лінгвістична змінна (ЛЗ), що описує вплив типу і якості сировини; Y — ЛЗ, що описує вплив конструкції реактора; Z — ЛЗ, що описує вплив стабільності температурного режиму.

Визначено функції належності нечітких оцінок впливу таких факторів на вихід біогазу, як тип і якість органічної сировини, конструкція біогазового реактора та стабільність режиму.

Перехід від отриманих нечітких множин до кількісної оцінки впливу цих факторів на вихід біогазу з органічних відходів, здійснюється виконанням процедури дефазифікації, тобто перетворенням нечіткої інформації в чітку форму [6]. Модель нечіткого логічного висновку разом з процедурою дефазифікації забезпечує можливість на основі віртуального експерименту отримати прогнозовану оцінку активуючого впливу наведених факторів на продуктивність біореактора у процесі утилізації органічних відходів сільськогосподарських підприємств. Виявлено, що активація виробництва біогазу шляхом вібраційного перемішування субстрату збільшує продуктивність реактора в середньому на 5...12% в залежності від наведених факторів впливу.

Висновки

Використання біореакторів з вібраційною активацією теплообміну дозволить покращити процес анаеробного бродіння, збільшити продуктивність реактора та знизити питому енергоемність

біогазу.

За результатами аналізу роботи віброактиватора на основі рішення рівняння Лагранжа при використанні законів збереження імпульсу та теплопередачі знайдено рівняння, що описує теплообмінні процеси між нагрівальним елементом і субстратом при вібраційному омиванні нагрівального елемента. Експериментально доведено адекватність отриманої математичної моделі. Для використання аналітичних результатів у практичних розрахунках теплообмінних процесів у біореакторах, введено корегуючий коефіцієнт $\psi = 0,62$ в розроблену математичну модель.

Оцінювання інтенсифікації продуктивності реактора виконано з використанням доступної експертно-лінгвістичної інформації у вигляді правил «ЯКЦО-ТО», що пов'язують логічні терми вхідних і вихідних змінних. Результати моделювання дозволяють, використовуючи існуючу експертно-моделюючу інформацію, оцінювати та прогнозувати вплив наведених факторів на процес анаеробного бродіння в біореакторі.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Ткаченко С. Й., Степанов Д. В., Джеджула В. В. Закономірності розподілу температурних напорів за умов локального газорідного омивання поверхні // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2003. — № 4. — С. 42—45.
2. Баадер Б., Доне Е., Брендерфер М. Биогаз: Теория и практика. — М.: Колос, 1982. — 148 с.
3. Г. С. Ратушняк, В. В. Джеджула Підвищення продуктивності біогазового реактору управлінням параметрами вільноконвективних процесів теплообміну // Вісник Хмельницького національного університету. — 2006. — № 2. — С. 29—31.
4. Ратушняк Г. С., Джеджула В. В. Автоматичне управління в системах біо конверсії // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2006. — № 6. — С. 116—121.
5. Митюшкин Ю. И., Мокин Б. И., Ротштейн А. П. Soft Computing: идентификация закономерностей нечеткими базами знаний. — Вінниця УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2002, — 145 с.
6. Ротштейн А. П. Интеллектуальные технологии идентификации. Нечеткие множества, генетические алгоритмы, нейронные сети — Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 1999, — 320 с.

Матеріали статті рекомендовані до опублікування оргкомітетом Всеукраїнської науково-технічної конференції «Альтернативні екологічно чисті та відновлювальні джерела енергії» (30.05—1.06.2007 р.)

Надійшла до редакції 30.06.07
Рекомендована до друку 02.07.07

Ратушняк Георгій Сергійович — завідувач кафедри, **Джеджула В'ячеслав Васильович** — аспірант.

Кафедра теплогазопостачання, Вінницький національний технічний університет