

## КОМП'ЮТЕРНІ СИСТЕМИ ТА КОМПОНЕНТИ

УДК 536.24:628.477

Г. С. РАТУШНЯК, К. В. АНОХІНА

Вінницький національний технічний університет, Вінниця

### ЕКСПЕРТНА СИСТЕМА НА БАЗІ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ ПРОГНОЗУВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ БІОГАЗОВОЇ УСТАНОВКИ З МЕХАНІЧНИМ ПЕРЕМІШУВАЛЬНИМ ПРИСТРОЄМ

**Анотація:** В роботі запропоновано експертну систему на базі нечіткої логіки прогнозування продуктивності біогазової установки для моделювання виходу біогазу, яка дозволяє за визначеними кількісними і якісними факторами прогнозувати вихід біогазу. Це дає можливість оптимізувати технологічний процес анаеробного бродіння субстрату з метою збільшення продуктивності біогазових установок та зменшення їх енергоємності. Виконано числовий експеримент впливу частоти обертання лопатевого вертикального перемішувача та подрібненості сировини на ефективність процесу анаеробного бродіння субстрату за результатами комп'ютерного математичного моделювання з використанням експертно-моделюючої системи на базі нечіткої логіки.

**Ключові слова:** експертна система, нечітка логіка, біогаз, біогазова установка, інтенсифікація, перемішування.

#### Вступ

Перспективним методом отримання альтернативної енергії є виробництво біогазу завдяки технологічному процесу біоконверсії [1, 2]. Необхідною умовою безперервного інтенсивного протікання мікробіологічного процесу анаеробного бродіння субстрату та підвищення його ефективності в біогазових установках є перемішування [3]. Технологічний процес виробництва біогазу в результаті анаеробного мікробіологічного бродіння субстрату не завжди має адекватний аналітичний опис в зв'язку з недостатнім вивченням його внутрішніх особливостей. Виникає необхідність розв'язання задачі керування параметрами процесу біоконверсії на основі взаємозв'язку вхідних і вихідних кількісних та якісних змінних процесу. Для вирішення цієї задачі доцільно використовувати математичний апарат нечіткої логіки та лінгвістичної змінної [4, 5].

#### Постановка задачі дослідження

Найважливішим критерієм якості протікання процесу біоконверсії є кількість біогазу на виході. Тому прогнозування вихідного показника біогазу залежно від кількісних та якісних факторів впливу, зокрема механічного перемішування, є необхідним елементом проектування систем біоконверсії.

**Метою роботи** є створення на базі теорії нечіткої логіки та лінгвістичних змінних експертної системи прогнозування продуктивності біогазової установки для моделювання виходу біогазу в залежності від основних факторів впливу, одним із провідних з яких є інтенсифікація процесу біоконверсії перемішуванням субстрату.

#### Основна частина

Моделювання на базі нечіткої логіки та лінгвістичних змінних прогнозування продуктивності біогазової установки дозволяє визначити параметри, вдосконалення яких підвищує ефективність процесу анаеробного бродіння субстрату [3]. Важливим фактором впливу на продуктивність біогазової установки [6] є інтенсифікація бродіння за допомогою механічного перемішувального пристрою в біогазовій установці (рис. 1). На рис. 1 наведено конструктивну схему біогазової установки, в якій передбачено за допомогою лопатевого механічного перемішувального пристрою активізувати процеси ферментації шляхом рівномірного розподілу температури та концентрації субстрату в об'ємі установки [6].

Установка працює наступним чином. Субстрат надходить до резервуару 1 через бункер завантаження біомаси 7, коли відкрито шиберну засувку 8. Всередині резервуару 1 вертикальна пропелерна мішалка 4, що розміщена на пустотілому валу 5, перемішує субстрат для інтенсифікації анаеробного бродіння шляхом створення однорідної маси. По завершенню процесу органічна маса видалається через отвір для видалення відпрацьованого субстрату 15 при відкритій другій шиберній засувці 14. Утворений в результаті бродіння біогаз піднімається у верхню частину резервуару 1 крізь захисну газорозподільну решітку 6 та при відкритому крані 10 надходить до труби споживача 9. Резервуар 1 обгорнуто нагрівальною рубашкою 13, заповненою рідиною, яка рухається по трубопроводу циркуляції рідини 11 за допомогою насосу 12. Рідина проходить крізь стиснені перфорацією 3 отвори та нагрівається силами тертя. Внаслідок цього нагрівальна рубашка 13, що вкрита утеплювачем 2, передає теплоту субстрату всередині резервуару 1, нагріваючи його рівномірно по всьому об'єму. Встановлена вертикальна пропелерна мішалка та нагрівальна рубашка покращує процес анаеробного бродіння органічної маси завдяки створенню рівномірності розподілення температурного поля та однорідності консистенції субстрату в усьому об'ємі установки.

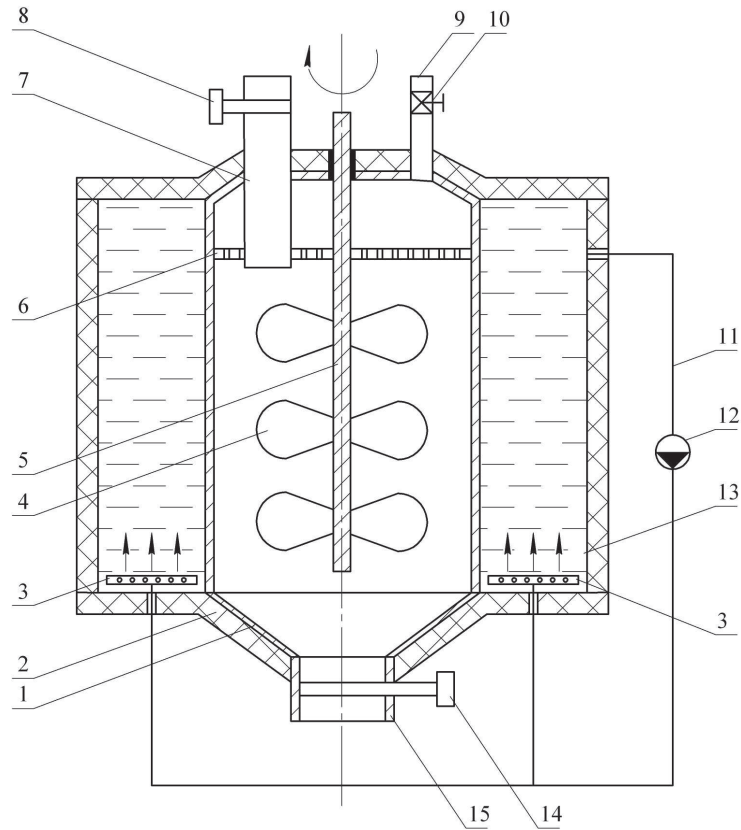


Рисунок 1 – Конструктивна схема установки для виробництва біогазу з механічним перемішувальним пристроєм та нагрівальною рубашкою

Для створення на базі теорії нечіткої логіки та лінгвістичних змінних експертної системи прогнозування продуктивності біогазової установки з механічним перемішувальним пристроєм визначено кількісні та якісні змінні процесу перемішування субстрату. Інтенсифікація процесу анаеробного бродіння механічним перемішуванням характеризується параметрами (табл. 1): частота обертання перемішувача ( $p_1$ ), конструктивні особливості (вид) мішалки ( $p_2$ ) і площа перемішування ( $p_3$ ).

Таблиця 1 – Параметри процесу анаеробного бродіння субстрату як лінгвістичні змінні

Параметр	Позначення й назва змінної	Універсальна множина	Терми для оцінки
Механічне перемішування, ( $P$ )	$p_1$ – частота обертання перемішувача	(1...10), об/хв	мала, задовільна, висока
	$p_2$ – вид мішалки	(1...3), у.о.	пропелерна, шнекова, лопатева
	$p_3$ – площа перемішування	(1...2), у.о.	горизонтальна, вертикальна

Нечітку матрицю знань, яка моделює вплив і параметри механічного перемішування на процес бродіння субстрату, наведено в табл. 2. Отримана матриця знань вказує залежність виходу біогазу від частоти обертання перемішувача, виду мішалки та площини перемішування.

Лінгвістичним висловлюванням, які наведено в табл. 1, відповідає наступна система нечітких логічних рівнянь

$$\mu^H(P) = \mu^H(p_1) \wedge \mu^II(p_2) \wedge \mu^{ГР}(p_3) \vee \mu^H(p_1) \wedge \mu^II(p_2) \wedge \mu^{BP}(p_3), \quad (1)$$

$$\mu^C(P) = \mu^C(p_1) \wedge \mu^{III}(p_2) \wedge \mu^{BP}(p_3) \vee \mu^C(p_1) \wedge \mu^{III}(p_2) \wedge \mu^{ГР}(p_3), \quad (2)$$

$$\mu^B(P) = \mu^B(p_1) \wedge \mu^L(p_2) \wedge \mu^{BP}(p_3) \vee \mu^B(p_1) \wedge \mu^L(p_2) \wedge \mu^{GP}(p_3). \quad (3)$$

Згідно лінгвістичних значень факторів, що наведені в [7], отримано функції належності терм-множин (табл. 3-5).

Таблиця 2 – Нечітка матриця знань про механічне перемішування

$p_1$	$p_2$	$p_3$	$P$
Низька	Пропелерна	Горизонтальна	Низьке
Низька	Пропелерна	Вертикальна	
Середня	Шнекова	Вертикальна	Середня
Середня	Шнекова	Горизонтальна	
Висока	Лопатева	Вертикальна	Висока
Висока	Лопатева	Горизонтальна	

Таблиця 3 – Функції належності терм-множини  $T(p_1)$  – частота обертання перемішувача

$u_i$ , об/хв	1	3	5	8	10
$\mu^{\text{мала}}(u_i)$	1	0,65	0,42	0,32	0,1
$\mu^{\text{задовільна}}(u_i)$	0,21	0,55	1	0,76	0,11
$\mu^{\text{висока}}(u_i)$	0,11	0,31	0,53	0,83	1

Таблиця 4 – Функції належності терм-множини  $T(p_2)$  – вид мішалки

$u_i$ , у.о.	1	1.5	2	2.5	3
$\mu^{\text{пропелерна}}(u_i)$	1	0,91	0,78	0,34	0,09
$\mu^{\text{шнекова}}(u_i)$	0,11	0,56	1	0,76	0,21
$\mu^{\text{лопатева}}(u_i)$	0,21	0,55	0,79	0,89	1

Таблиця 5 – Функції належності терм-множини  $T(p_3)$  – площа перемішування

$u_i$ , у.о.	1	1,25	1,5	1,75	2
$\mu^{\text{горизонтальна}}(u_i)$	1	0,77	0,43	0,21	0,15
$\mu^{\text{вертикальна}}(u_i)$	0,1	0,22	0,42	0,75	1

В результаті підстановки ступенів належності (табл. 3-5) в систему нечітких логічних рівнянь (1)-(3), що визначають рівень механічного перемішування, отримано рівняння функції належності

$$\mu^I(P) = 0,32 \wedge 0,91 \wedge 0,77 \vee 0,32 \wedge 0,91 \wedge 0,22 = 0,32, \quad (4)$$

$$\mu^{\hat{N}}(P) = 0,32 \wedge 0,55 \wedge 0,22 \vee 0,76 \wedge 0,55 \wedge 0,77 = 0,55, \quad (5)$$

$$\mu^{\hat{A}}(P) = 0,83 \wedge 0,55 \wedge 0,22 \vee 0,83 \wedge 0,55 \wedge 0,77 = 0,55. \quad (6)$$

Експертну систему на базі нечіткої логіки прогнозування продуктивності біогазової установки для моделювання виходу біогазу в залежності від основних факторів впливу реалізовано в середовищі Matlab. Для її створення запропоновано архітектуру системи технологічного процесу бродіння субстрату на базі нечіткої логіки (рис. 2).

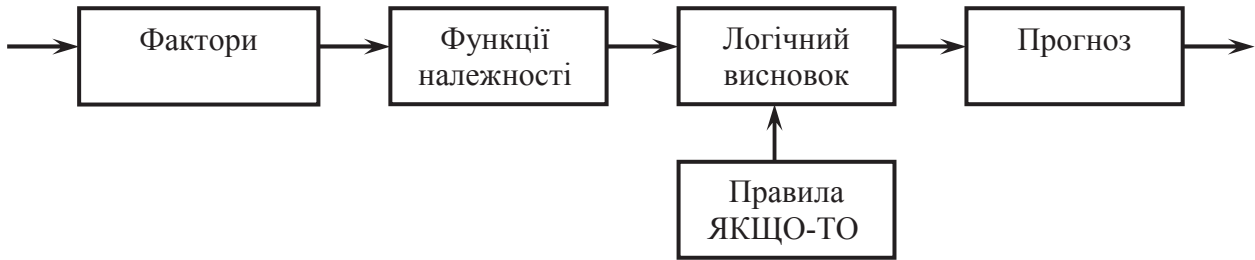


Рисунок 2 – Архітектура експертно-моделюючої системи оцінки продуктивності біореакторів

Експертна система на базі нечіткої логіки прогнозування продуктивності біогазової установки складається з таких блоків:

1. *Блок фактори.* В цьому блоці задається кількість факторів впливу на ефективність процесу анаеробного бродіння субстрату, зберігаються межі цих факторів та їх поточні значення.
2. *Блок функції належності* зберігає моделі таких типів функцій належностей як трикутна, трапецієдальна, гаусівська та дзвоноподібна.
3. *Блок правила «ЯКЩО-ТО»* зберігає лінгвістичні висловлювання у вигляді правил «Якщо-то» для кожного рівня ієрархії системи біоконверсії.
4. *Блок логічний висновок* реалізує нечіткий логічний висновок за формулами (1)-(3).
5. *Блок прогноз.* В цьому блоці здійснюється прогноз виходу біогазу, шляхом процедури дефазифікації за методом «centroid».

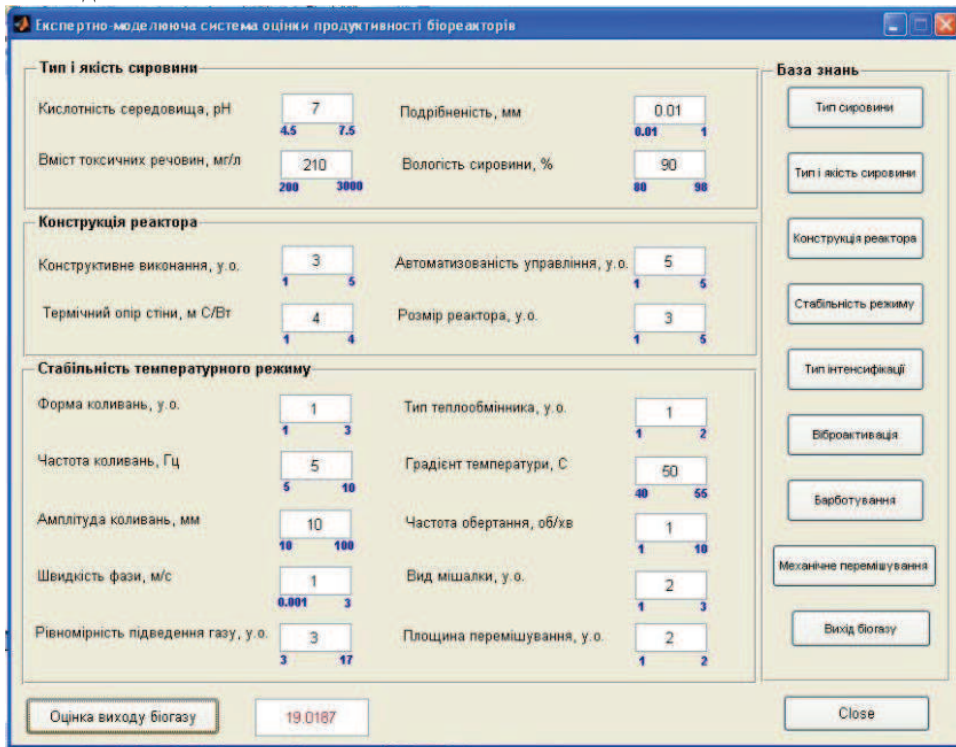


Рисунок 3 – Інтерфейс експертно-моделюючої системи на базі нечіткої логіки прогнозування продуктивності біогазової установки з механічним перемішувальним пристроєм

Для даного прикладу вихід біогазу розглядається в діапазоні 6...30 м<sup>3</sup>/доб. для біогазової установки об'ємом 6 м<sup>3</sup>. Згідно цих даних в середовищі Matlab побудовано експертно-моделюючу систему. Інтерфейс експертної системи на базі нечіткої логіки прогнозування продуктивності біогазової установки для моделювання виходу біогазу зображено на рис. 3.

Експертно-моделююча система прогнозування продуктивності біогазової установки (рис. 3) дозволяє прогнозувати вплив кожного параметру анаеробного бродіння субстрату на загальний процес виробництва біогазу.

Експертно-моделююча система прогнозування продуктивності біогазової установки дозволяє приймати обґрунтовані рішення щодо управління технологічним процесом біоконверсії на етапах виробництва біогазу. Інтерфейс експертно-моделюючої системи представляє собою вікно програми, де закладено фактори впливу на процес біоконверсії. Варіюючи цими факторами можливо спрогнозувати продуктивність біогазової установки. Зазначаючи числові значення факторів впливу у відповідні вічка програми, експертно-моделююча система розраховує вихід біогазу.

За результатами комп'ютерного математичного моделювання з використанням експертно-моделюючої системи на базі нечіткої логіки прогнозування продуктивності біогазової установки з механічним перемішувальним пристроєм виконано числовий експеримент впливу частоти обертання лопатевого вертикального перемішувача та подрібненості сировини на ефективність процесу анаеробного бродіння субстрату, що визначається виходом біогазу. Числовий експеримент виконано за наступних умов: кислотність середовища – рН 7; вміст токсичних речовин – 210 мг/л; вологість сировини – 90 %; конструкція біогазового реактора – середній циліндричний реактор з автоматизованим управлінням і термічним опором стінки 4 м<sup>2</sup>·°C/Вт; інтенсифікація теплообміну – вертикальною лопатевою мішалкою; частота обертання перемішувача – 0...15 хв<sup>-1</sup>.

Графічно результати комп'ютерного числового експерименту наведено на рис. 4.

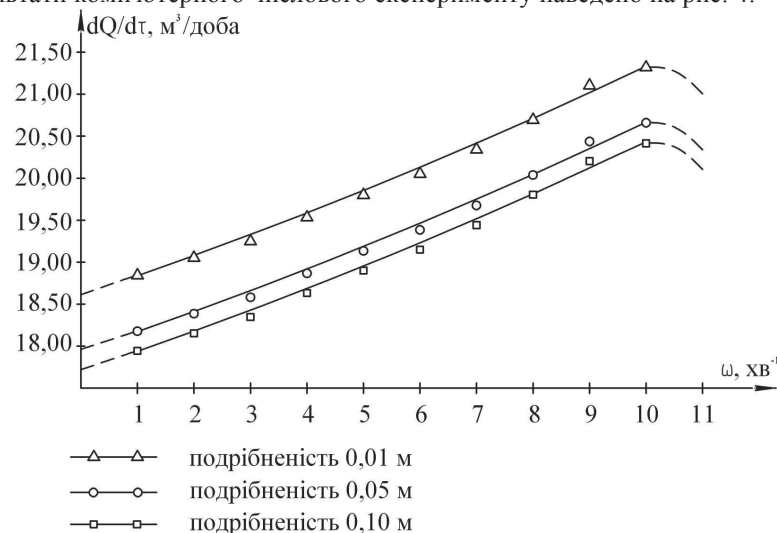


Рисунок 4 – Залежність виходу біогазу в результаті анаеробного бродіння субстрату в біогазовій установці від частоти обертання перемішувача за таких умов: вид мішалки – лопатева; площа перемішування – вертикальна

Аналіз отриманих результатів (рис. 4) свідчить, що інтенсифікація процесу анаеробного бродіння за допомогою механічного перемішувального пристрою впливає на продуктивність біогазової установки, зокрема збільшує вихід біогазу з одиниці об'єму субстрату. В результаті перемішування субстрату лопатевою вертикальною мішалкою в біогазовій установці вихід біогазу можливо збільшити на 12,5%, а із збільшенням подрібненості субстрату – на 5,7%. Інтенсифікація анаеробного бродіння перемішуванням, параметр якого сягає більше 10 хв<sup>-1</sup>, знижує ефективність ферментації субстрату та погіршує бродіння органічної маси в біогазовій установці [1-3].

#### Висновок

Запропонована експертна система на базі нечіткої логіки прогнозування продуктивності біогазової установки для моделювання виходу біогазу дозволяє за визначеними кількісними і якісними факторами прогнозувати вихід біогазу. Це дає можливість оптимізувати технологічний процес анаеробного бродіння субстрату з метою збільшення продуктивності біогазових установок та зменшення їх енергоємності. За результатами числового експерименту виявлено, що перемішуванням субстрату в біогазовій установці можливо підвищити ефективність виробництва біогазу на 12,5%, а збільшенням подрібненості субстрату – на 5,7% при заданих вихідних умовах.

### Список використаної літератури

1. Ратушняк Г. С. Інтенсифікація біоконверсії коливальним перемішуванням субстрату / Г. С. Ратушняк, В. В. Джеджула. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. –117 с. – ISBN 978-966-641-272-3.
2. Ратушняк Г. С. Шляхи вдосконалення енергоощадних технологій при утилізації органічних відходів в системах біоконверсії/ Г. С. Ратушняк, К. В. Анохіна, В. В. Джеджула // Вісник національного університету "Львівська політехніка". Теплоенергетика. Інженерія довкілля. Автоматизація. – 2009. – №659. – С. 151-153.
3. Землянка О. О. Дослідження впливу флотаційних процесів на продуктивність біогазової установки/ О. О. Землянка, М. В. Губінський // Вісник ВПІ. – 2010. – №3. – С. 75-80. – ISSN 1997-9266.
4. Ротштейн А. П. Интеллектуальные технологии индентификации. Нечеткие множества, генетические алгоритмы, нейронные сети/ А. П. Ротштейн. – Винница: УНІВЕРСУМ–Вінниця, 1999. – 320 с.
5. Ротштейн О. П. Soft Computing в біотехнології: багатофакторний аналіз і діагностика: Монографія/ О. П. Ротштейн, Є. П. Ларюшкін, Ю. І. Мітюшкін. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. – 144 с.
6. Пат. 36453 Україна, МПК С 02 F 11/04. Біогазова установка/ Ратушняк Г.С., Анохіна К.В.; Державний департамент інтелектуальної власності. – № u200806844; Заявл. 19.05.2008; опубл. 27.10.2008, Бюл. №20.
7. Ратушняк Г. С. Модельовання з використанням лінгвістичних змінних інтенсифікації процесу біоконверсії перемішуванням субстрату/ Г. С. Ратушняк, К. В. Анохіна // Вібрації в техніці та технології. – 2010.

Стаття надійшла до редакції 27.10.2010.

### Відомості про авторів

Ратушняк Георгій Сергійович – к.т.н., професор, зав. кафедри Теплогазопостачання, директор Інституту будівництва теплоенергетики і газопостачання, e-mail: ratushnyak@inbtegp.vstu.vinnica.ua, тел. 598-357.

Анохіна Катерина Володимирівна – аспірант каф. Теплогазопостачання, e-mail: anokhinakatyua@mail.ru, тел. 598-357.