

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ БІОКОНВЕРСІЇ В БІОРЕАКТОРІ З НЕТРАДИЦІЙНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ

Кощев І. А.

Запропоновано дерево логічного висновку конструктивно-технологічних факторів впливу на вихід біогазу в біореакторі з використанням нетрадиційних джерел енергії. Запропоновані нечіткі матриці знань про співвідношення на системному рівні впливу параметрів біогазового реактора та впливу нетрадиційних джерел енергії на вихід біогазу. Складено систему нечітких логічних рівнянь до лінгвістичних висловлювань, що характеризують поверхню належності змінних за відповідними термами.

Ключові слова: біогаз, термостабілізація, нечітка логіка, нетрадиційні джерела енергії.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА БИОКОНВЕРСИИ В БИОРЕАКТОРЕ С НЕТРАДИЦИОННЫМИ ИСТОЧНИКАМИ ЭНЕРГИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

Кощев І. А.

Предложено дерево логического вывода конструктивно-технологических факторов влияния на выход биогаза в биореакторе с нетрадиционными источниками энергии. Предложены нечеткие матрицы знаний о соотношении на системном уровне влияния параметров биогазового реактора и влияния нетрадиционных источников энергии на выход биогаза. Составлена система нечетких логических уравнений к лингвистическим высказываниям, которые характеризуют поверхность принадлежности переменных согласно соответствующим термам.

Ключевые слова: биогаз, термостабилизация, нечеткая логика, нетрадиционные источники тепла.

MODELLING OF BIOCONVERSION IN THE BIOREACTOR WITH UNCONVENTIONAL ENERGY SOURCES WITH USING FUZZY LOGIC

Koshcheiev I.

The logical tree of constructive and technological factors of influence for production of biogas in the bioreactor was offered. The fuzzy matrix of knowledge about correlation at the system level of influence of parameters of bioreactor and influence of unconventional energy sources for the production of biogas was offered. The system of fuzzy logic equations for linguistic expressions that characterize the surface of variables for relevant terms was created.

Keywords: biogas, thermostabilization, fuzzy logic, unconventional energy sources.

Вступ

На сьогоднішній день актуальною альтернативою природному газу є біогаз, одержання якого потребує оптимізації як кількісних так і якісних факторів, що впливають на процес інтенсифікації та термостабілізації анаеробного бродіння. Моделювання технологічного процесу біоконверсії з використанням нечіткої логіки дозволяє врахувати кожен фактор впливу на ефективність біоконверсії за його якісною або кількісною характеристикою [1]. Використання нечітких систем зводиться до пошуку таких значень параметрів математичної моделі, які мінімізують розбіжність між бажаними результатами та результатами моделювання [2].

Метою роботи є визначення факторів впливу на процес інтенсифікації та термостабілізації анаеробного бродіння для збільшення виходу біогазу шляхом оптимізації цих процесів з використанням нечіткої логіки.

Результати досліджень

Враховуючи, що конструктивно-технологічне рішення біогазової установки повинно забезпечувати максимальну продуктивність виробництва біогазу з мінімальними затратами енергоносіїв на термостабілізацію ферментації біомаси, то необхідно встановити ієрархічні зв'язки конструктивних та технологічних факторів [1, 2, 3]. На основі ієрархічних зв'язків конструктивних та технологічних факторів складемо дерево логічного висновку конструктивно-технологічних факторів впливу на вихід біогазу (рис. 1).

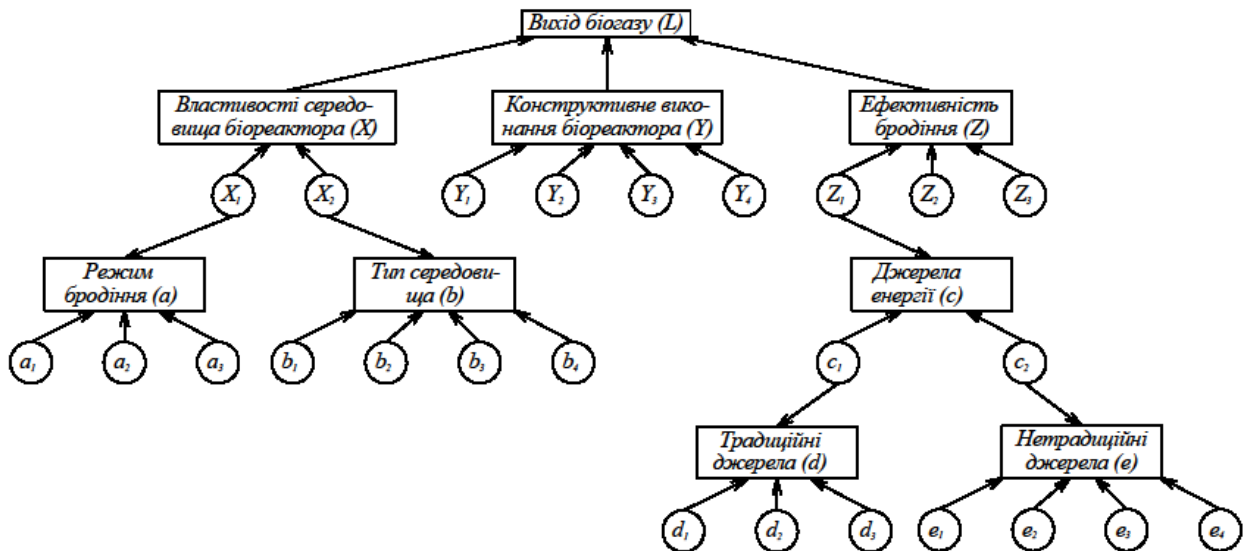


Рисунок 1 – Дерево логічного висновку конструктивно-технологічних факторів впливу на вихід біогазу

Основою даного дерева є продуктивність біореактора по виходу біогазу, а всіячі вершини це конструктивно-технологічні фактори, які необхідно оптимізувати для збільшення виходу біогазу.

Лінгвістичним висловлюванням відповідно до дерева логічного висновку (рис. 1) та оціночних термів відповідає система нечітких логічних рівнянь, які характеризують поверхню належності змінних відповідному терму [2].

Відповідно дереву логічного висновку (рис. 1) рівень показника виходу біогазу L від конструктивно-технологічних параметрів біореактора визначається

$$L = f(X, Y, Z), \tag{1}$$

де **X** – лінгвістична змінна, що описує вплив властивостей середовища біореактора;
Y – лінгвістична змінна, що описує вплив конструктивного виконання біореактора;
Z – лінгвістична змінна, що описує вплив ефективності бродіння.

Далі необхідно розглянути кожну лінгвістичну змінну окремо. Лінгвістична змінна, що описує вплив властивостей середовища біореактора, визначено таким співвідношенням

$$X = f(x_1, x_2), \tag{2}$$

де **x₁** – режим бродіння;
x₂ – тип середовища.

Лінгвістична змінна, що описує вплив конструктивного виконання біореактора, визначено таким співвідношенням

$$Y = f(y_1, y_2, y_3), \tag{3}$$

де y_1 – швидкість перемішування;
 y_2 – термічний опір;
 y_3 – розмір реактора;
 y_4 – автоматизація процесу.

Лінгвістична змінна, що описує вплив ефективності бродіння, визначено таким співвідношенням

$$Z = f(z_1, z_2, z_3), \quad (4)$$

де z_1 – джерело енергії;
 z_2 – тривалість бродіння;
 z_3 – тип теплообмінника.

У рівнянні (2) є змінні, які залежать від інших факторів, тому розглянемо їх:

$$x_1 = f(a_1, a_2, a_3), \quad (5)$$

$$x_2 = f(b_1, b_2, b_3, b_4). \quad (6)$$

де a_1 – криофільний режим бродіння;
 a_2 – мезофільний режим бродіння;
 a_3 – термофільний режим бродіння;
 b_1 – тривалість бродіння;
 b_2 – тип теплообмінника;
 b_3 – тривалість бродіння;
 b_4 – тип теплообмінника.

У рівнянні (4) є змінні, які залежать від інших факторів, тому розглянемо їх:

$$z_1 = f(c_1, c_2), \quad (7)$$

$$c_1 = f(d_1, d_2, d_3), \quad (8)$$

$$c_2 = f(e_1, e_2, e_3), \quad (9)$$

де c_1 – традиційні джерела енергії;
 c_2 – нетрадиційні джерела енергії;
 d_1 – тверде паливо;
 d_2 – природний газ;
 d_3 – електрична енергія;
 e_1 – низькопотенціальна енергія;
 e_2 – сонячна енергія;
 e_3 – біогаз.

Нечіткі терми факторів впливу подано функціями належності у вигляді нечітких множин. Початковою інформацією для побудови функцій належностей є експертні парні порівняння. Для кожної пари елементів універсальної множини $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$ експерти оцінюють перевагу одного елемента над іншим за відношенням до властивості нечіткої множини.

Фактор x_1 - режим бродіння - визначимо на універсальній множині $U(x_1) = \{1, 2, 3\}$ (у.о.). Лінгвістичні значення цього фактора задаються терм-множиною

$T(x_1) = \langle \text{криофільний, мезофільний, термофільний} \rangle$.

Фактор x_2 – тип середовища - визначимо на універсальній множині $U(x_2) = \{1, 2, 3, 4, 5\}$ (у.о.). Лінгвістичні значення цього фактора задаються терм-множиною

$T(x_2) = \langle \text{низька, середня, висока} \rangle$.

Фактор y_1 – швидкість перемішування - визначимо на універсальній множині $U(y_1) = \{1, 3, 5, 8, 10\}$ (об./хв.). Лінгвістичні значення цього фактора задаються терм-множиною

$T(y_1) = \langle \text{мала, середня, висока} \rangle$.

Фактор y_2 – термічний опір - визначимо на універсальній множині $U(y_2) = \{1, 2, 3, 4, 5\}$ (°C/Вт). Лінгвістичні значення цього фактора задаються терм-множиною

$T(y_2) = \langle \text{низький, помірний, високий} \rangle$.

Фактор y_3 – розмір реактора - визначимо на універсальній множині $U(y_3) = \{1, 2, 3, 4, 5\}$ (у.о.). Лінгвістичні значення цього фактора задаються терм-множиною

$T(y_3) = \langle \text{великий, середній, малий} \rangle$.

Фактор y_4 – автоматизація процесу - визначимо на універсальній множині $U(y_4) = \{1, 2, 3, 4, 5\}$ (у.о.). Лінгвістичні значення цього фактора задаються терм-множиною

$T(y_4) = \langle \text{низька, помірна, висока} \rangle$.

Фактор z_1 – джерело енергії - визначимо на універсальній множині $U(z_1) = \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$ (у.о.). Лінгвістичні значення цього фактора задаються терм-множиною

$T(z_1) = \langle \text{низька, середня, висока} \rangle$.

Фактор z_2 – тривалість бродіння - визначимо на універсальній множині $U(z_2) = \{15, 20, 25, 30, 35\}$ (днів). Лінгвістичні значення цього фактора задаються терм-множиною $T(z_2) = \langle \text{низька, нормальна, висока} \rangle$.

Фактор z_3 – тип теплообмінника - визначимо на універсальній множині $U(z_3) = \{1, 2, 3\}$ (у.о.). Лінгвістичні значення цього фактора задаються терм-множиною

$T(z_3) = \langle \text{внутрішній, зовнішній} \rangle$.

Фактор c_1 – традиційні джерела енергії - визначимо на універсальній множині $U(c_1) = \{1, 2, 3\}$ (у.о.). Лінгвістичні значення цього фактора задаються терм-множиною

$T(c_1) = \langle \text{низька, середня, висока} \rangle$.

Фактор c_2 – нетрадиційні джерела енергії - визначимо на універсальній множині $U(c_2) = \{1, 2, 3\}$ (у.о.). Лінгвістичні значення цього фактора задаються терм-множиною

$T(c_2) = \langle \text{низька, середня, висока} \rangle$.

Фактор d_1 – тверде паливо - визначимо на універсальній множині $U(d_1) = \{1, 2, 3, 4, 5\}$ (у.о.). Лінгвістичні значення цього фактора задаються терм-множиною

$T(d_1) = \langle \text{низька, середня, висока} \rangle$.

Фактор d_2 – природний газ - визначимо на універсальній множині $U(d_2) = \{1, 2, 3\}$ (у.о.). Лінгвістичні значення цього фактора задаються терм-множиною

$T(d_2) = \langle \text{низька, середня, висока} \rangle$.

Фактор d_3 – електрична енергія - визначимо на універсальній множині $U(d_3) = \{1, 2, 3\}$ (у.о.). Лінгвістичні значення цього фактора задаються терм-множиною

$T(d_3) = \langle \text{низька, середня, висока} \rangle$.

Фактор e_1 – низькопотенціальна енергія - визначимо на універсальній множині $U(e_1) = \{1, 2, 3\}$ (у.о.). Лінгвістичні значення цього фактора задаються терм-множиною

$T(e_1) = \langle \text{низька, середня, висока} \rangle$.

Фактор e_2 – сонячна енергія - визначимо на універсальній множині $U(e_2) = \{1, 2, 3\}$ (у.о.). Лінгвістичні значення цього фактора задаються терм-множиною

$T(e_2) = \langle \text{низька, середня, висока} \rangle$.

Фактор e_3 – біогаз - визначимо на універсальній множині $U(e_3) = \{1, 2, 3\}$ (у.о.). Лінгвістичні значення цього фактора задаються терм-множиною

$T(e_3) = \langle \text{низька, середня, висока} \rangle$.

Для розроблення математичної моделі оцінювання ступеня виходу біогазу від класифікованих конструктивно-технологічних факторів (рис. 1) в біореакторах, в подальшому, необхідно використати експертні оцінки нечітких логічних висловлювань типу «якщо-то». Розглянемо такі ієрархії: системну, нетрадиційні джерела енергії.

Системному рівню відповідає співвідношення, для подання якого лінгвістичними правилами «якщо-то» вхідні змінні X, Y, Z та вихідна L оцінюються терм-оцінкою $T = \langle \text{низький, нижче середнього, середній, вище середнього, високий} \rangle$ [4].

Нечітка матриця знань для моделювання залежності на системному рівні наведена в табл. 1.

Таблиця 1 – Нечітка матриця знань про співвідношення на системному рівні впливу параметрів біогазового реактора

ЯКЩО			ТО
Вплив властивостей середовища (X)	Вплив конструктивного виконання (Y)	Вплив ефективності бродіння (Z)	Продуктивність біореактора (L)
Низький (н)	Низький (н)	Низький (н)	Низька (н)
Нижче середнього (нс)	Низький (н)	Низький (н)	
Низький (н)	Нижче середнього (нс)	Низький (н)	
Низький (н)	Низький (н)	Нижче середнього (нс)	Нижче середньої (нс)
Нижче середнього (нс)	Нижче середнього (нс)	Нижче середнього (нс)	
Низький (н)	Середній (с)	Нижче середнього (нс)	
Нижче середнього (нс)	Середній (с)	Низький (н)	Середня (с)
Низький (н)	Нижче середнього (нс)	Середній (с)	
Середній (с)	Середній (с)	Середній (с)	
Нижче середнього (нс)	Вище середнього (вс)	Середній (с)	Вище середньої (вс)
Середній (с)	Вище середнього (вс)	Нижче середнього (нс)	
Нижче середнього (нс)	Середній (с)	Вище середнього (вс)	
Вище середнього (вс)	Вище середнього (вс)	Вище середнього (вс)	Висока (в)
Середній (с)	Високий(в)	Вище середнього (вс)	
Вище середнього (вс)	Високий(в)	Середній (с)	
Середній (с)	Вище середнього (вс)	Високий(в)	Висока (в)
Високий(в)	Високий(в)	Високий(в)	
Високий(в)	Високий(в)	Вище середнього (вс)	
Високий(в)	Вище середнього (вс)	Високий(в)	Висока (в)
Вище середнього (вс)	Високий(в)	Високий(в)	

Лінгвістичним висловлюванням, які наведено в табл. 1, відповідає система нечітких логічних рівнянь, що характеризують поверхню належності змінних за відповідним термом:

$$\mu_n(L) = \mu_n(X) \wedge \mu_n(Y) \wedge \mu_n(Z) \vee \mu_{нс}(X) \wedge \mu_n(Y) \wedge \mu_n(Z) \vee \mu_n(X) \wedge \mu_{нс}(Y) \wedge \mu_n(Z) \vee \mu_n(X) \wedge \mu_n(Y) \wedge \mu_{нс}(Z); \quad (10)$$

$$\mu_{нс}(L) = \mu_{нс}(X) \wedge \mu_{нс}(Y) \wedge \mu_{нс}(Z) \vee \mu_n(X) \wedge \mu_{нс}(Y) \wedge \mu_{нс}(Z) \vee \mu_{нс}(X) \wedge \mu_{нс}(Y) \wedge \mu_n(Z) \vee \mu_n(X) \wedge \mu_{нс}(Y) \wedge \mu_{нс}(Z); \quad (11)$$

$$\mu_c(L) = \mu_c(X) \wedge \mu_c(Y) \wedge \mu_c(Z) \vee \mu_{нс}(X) \wedge \mu_{вс}(Y) \wedge \mu_c(Z) \vee \mu_c(X) \wedge \mu_{вс}(Y) \wedge \mu_{нс}(Z) \vee \mu_{нс}(X) \wedge \mu_c(Y) \wedge \mu_{вс}(Z); \quad (12)$$

$$\mu_{вс}(L) = \mu_{вс}(X) \wedge \mu_{вс}(Y) \wedge \mu_{вс}(Z) \vee \mu_c(X) \wedge \mu_{вс}(Y) \wedge \mu_{вс}(Z) \vee \mu_{вс}(X) \wedge \mu_{вс}(Y) \wedge \mu_c(Z) \vee \mu_c(X) \wedge \mu_{вс}(Y) \wedge \mu_{вс}(Z); \quad (13)$$

$$\mu_v(L) = \mu_v(X) \wedge \mu_v(Y) \wedge \mu_v(Z) \vee \mu_v(X) \wedge \mu_{вс}(Y) \wedge \mu_v(Z) \vee \mu_v(X) \wedge \mu_{вс}(Y) \wedge \mu_{вс}(Z) \vee \mu_{вс}(X) \wedge \mu_v(Y) \wedge \mu_v(Z); \quad (14)$$

Оцінку рівнів лінгвістичних змінних, які пов'язують вплив нетрадиційного джерела енергії (e) на продуктивність біореактора з низькопотенціальною енергією (e₁), сонячною енергією (e₂), біогазом (e₃), наведено в таблиці 2.

Лінгвістичним висловлюванням, що наведено в таблиці 2, відповідає система нечітких логічних рівнянь, які характеризують поверхню належності змінних за відповідним термом:

$$\mu_n(e) = \mu_n(e_1) \wedge \mu_n(e_2) \wedge \mu_n(e_3) \vee \mu_{нс}(e_1) \wedge \mu_n(e_2) \wedge \mu_c(e_3) \vee \mu_n(e_1) \wedge \mu_c(e_2) \wedge \mu_n(e_3) \vee \mu_c(e_1) \wedge \mu_n(e_2) \wedge \mu_n(e_3); \quad (15)$$

$$\mu_c(e) = \mu_c(e_1) \wedge \mu_c(e_2) \wedge \mu_c(e_3) \vee \mu_{вс}(e_1) \wedge \mu_c(e_2) \wedge \mu_c(e_3) \vee \mu_{вс}(e_1) \wedge \mu_c(e_2) \wedge \mu_n(e_3) \vee \mu_c(e_1) \wedge \mu_{вс}(e_2) \wedge \mu_n(e_3) \vee \mu_n(e_1) \wedge \mu_{вс}(e_2) \wedge \mu_c(e_3); \quad (16)$$

$$\mu_v(e) = \mu_v(e_1) \wedge \mu_v(e_2) \wedge \mu_v(e_3) \vee \mu_v(e_1) \wedge \mu_{вс}(e_2) \wedge \mu_c(e_3) \vee \mu_{вс}(e_1) \wedge \mu_c(e_2) \wedge \mu_v(e_3); \quad (17)$$

Таблиця 2 – Нечітка матриця знань про співвідношення впливу нетрадиційних джерел енергії

ЯКІЦО			ТО
Вплив низькопотенціальної енергії (e_1)	Вплив сонячної енергії (e_2)	Вплив біогазу (e_3)	Вплив нетрадиційного джерела енергії (e)
Низький (н)	Низький (н)	Низький (н)	Низький (н)
Низький (н)	Низький (н)	Середній (с)	
Низький (н)	Середній (с)	Низький (н)	
Середній (с)	Низький (н)	Низький (н)	
Середній (с)	Середній (с)	Середній (с)	Середній (с)
Високий (в)	Середній (с)	Середній (с)	
Високий (в)	Середній (с)	Низький (н)	
Середній (с)	Високий (в)	Низький (н)	
Низький (н)	Високий (в)	Середній (с)	
Високий (в)	Високий (в)	Високий (в)	Високий (в)
Високий (в)	Високий (в)	Середній (с)	
Високий (в)	Середній (с)	Високий (в)	

Висновки

- Запропоновано дерево логічного висновку конструктивно-технологічних факторів впливу на вихід біогазу в біореакторі з використанням нетрадиційних джерел енергії;
- Запропоновані нечіткі матриці знань про співвідношення на системному рівні впливу параметрів біогазового реактора та впливу нетрадиційних джерел енергії;
- Складено систему нечітких логічних рівнянь до лінгвістичних слововловувань, що характеризують поверхню належності змінних за відповідними термами, які можна буде використати для здійснення нейронного настроювання нечіткої моделі на основі експериментальних даних.

Література

1. Ратушняк Г. С. Енергозберігаючі відновлювальні джерела тепlopостачання / Г. С. Ратушняк, В. В. Джеджула, К. В. Анохіна – Вінниця: ВНТУ, 2010. – 170 с.
2. Ратушняк Г. С. Енергоефективні технологічні процеси та обладнання біоконверсії : монографія / Г. С. Ратушняк, К. В. Анохіна. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 148 с.
3. Ратушняк Г. С. Моделювання теплових процесів енергоефективного біореактора з сонячним колектором / Ратушняк Г. С., Кошчев І. А. // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2014: №2. – С. 120–123.
4. Ратушняк Г. С. Експертна система на базі нечіткої логіки прогнозування продуктивності біогазової установки з механічним перемішу вальним пристроєм / Г. С. Ратушняк, К. В. Анохіна // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2010. - №3 (19). – С. 20-25.

Кошчев Іван Анатолійович – аспірант кафедри теплогазопостачання Вінницького національного технічного університету.

Кошчев Іван Анатольевич – аспірант кафедри теплогазоснабження Вінницького національного технічного університету.

Koshcheiev Ivan - Postgraduate student of the department of heat and gas supply in Vinnytsia National Technical University.