

**ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРНИХ РЕЖИМІВ ФЕРМЕНТАЦІЇ ТА СЕДИМЕНТАЦІЙНИХ ПАРАМЕТРІВ СУБСТРАТУ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ БІОГАЗОВОЇ УСТАНОВКИ**

Г. С. Ратушняк, К. В. Анохіна, І. А. Кощєєв

**EFFECT OF TEMPERATURE MODE FERMENTATION AND SEDIMENTATION PARAMETERS OF THE SUBSTRATE ON THE PERFORMANCE OF BIOGAS INSTALLATION**

G. Ratushnyak, K. Anokhina, I. Koscheyev

*Розглянуто вплив температурних режимів ферментації та седиментаційних параметрів субстрату на продуктивність біогазової установки. Враховано три стадії анаеробного процесу, а саме: криофільну, мезофільну та термофільну. На седиментаційні характеристики полідисперсного середовища субстрату впливають його густина та розміри твердих частинок, а також швидкість обертання перемішувального пристрою в установці. Запропоновано математичну модель процесу отримання біогазу з врахуванням вихідних факторів, що впливають на продуктивність установки. За результатами чисельного моделювання отримано рівняння, що характеризують взаємозв'язок між продуктивністю біогазової установки та температурними та седиментаційними параметрами органічного субстрату. Побудовано графічні зображення поверхонь відгуків, що зображують залежність між цільовою функцією, та незалежними змінними, які подано температурою анаеробного бродіння, частотою перемішування й вологістю субстрату.*

*Рассмотрено влияние температурных режимов ферментации и седиментационных параметров субстрата на производительность биогазовой установки. Учтены три стадии анаэробного процесса, а именно: криофильную, мезофильную и термофильную. На седиментационные характеристики полидисперсного среды субстрата влияют его плотность и размеры твердых частиц, а также скорость вращения перемешивающих устройства в установке. Предложена математическая модель процесса получения биогаза с учетом исходных факторов, влияющих на производительность установки. По результатам численного моделирования получены уравнения, характеризующие взаимосвязь между производительностью биогазовой установки и температурными и седиментационными параметрами органического субстрата. Построены графические изображения поверхностей отзвон, изображающие зависимость между целевой функцией, и независимыми переменными, представленные температурой анаэробного брожения, частотой перемешивания и влажностью субстрата.*

*The influence of fermentation temperatures and sedimentation settings substrate for biogas production. Considered the three stage anaerobic process, namely kriofile, mesophile and thermophile. In polydisperse sedimentation characteristics of the substrate environment affect its density and size of particulate matter, as well as speed mixing device to install. A mathematical model of biogas with regard to speed, factors that affect the performance of the installation. The results of numerical simulations obtained regression equation describing the relationship between performance and biogas temperature and sedimentary organic substrate parameters. Constructed images of surfaces guest depicting the relationship between the objective function, optimization criterion and independent variables are presented anaerobic fermentation temperature, stirring speed and humidity of the substrate.*

**Вступ**

Збільшення об'ємів виробництва продукції агропромислового комплексу пропорційно підвищує їх екологічну небезпеку. Вітчизняні та зарубіжні дослідники пропонують ефективну та економічно доцільну технологію утилізації органічних відходів агропромислового комплексу шляхом їх біоконверсії [1-3]. Причому ця доцільність багатофакторна, оскільки дозволяє отримувати альтернативне джерело енергії – біогаз та високоефективні багатокомпонентні

органічні добрива [4]. Існуючі вітчизняні біогазові установки мають невисоку продуктивність, значні енерговитрати на власні потреби біоконверсії та суттєве техногенне навантаження на навколишнє середовище [5]. Теоретичні й експериментальні дослідження технологічних процесів виробництва біогазу із органічних відходів не повною мірою відображають шляхи підвищення продуктивності біогазових установок за рахунок оптимізації робочих процесів, що відбуваються при ферментації біомаси.

Метою роботи є теоретичне обґрунтування за результатами чисельного моделювання шляхів оптимізації критеріїв, що впливають на інтенсифікацію анаеробного бродіння біомаси, тобто на продуктивність біогазової установки.

### Результати досліджень

Аналітичними дослідженнями [5, 6] встановлено закономірності кінетики процесу перемішування та седиментації полідисперсної органічної маси в біореакторі залежно від технологічних параметрів і фізичних властивостей субстрату. Експериментально підтверджено доцільність та ефективність перемішування субстрату вертикальною мішалкою в біореакторі та вплив на такі седиментаційні параметри як густина субстрату та частота перемішування. Подальше вдосконалення технологічного процесу отримання біогазу з метою підвищення його енергоефективності передбачає розроблення математичної моделі, що поєднує критерії оптимізації з факторами, які впливають на збільшення енергоощадності біогазових установок.

Аналіз отриманих попередніх результатів дозволив зробити припущення, що значення величин продуктивності біогазової установки є цільовою функцією

$$Q = f(T, n, W). \quad (1)$$

Для пошуку шляхів оптимізації процесу біоконверсії вхідними параметрами вибрано фактори:  $X_1$  – температура анаеробного бродіння органічної біомаси  $T$ , °C;  $X_2$  – частота обертання перемішувача  $n$ ,  $\text{хв}^{-1}$ ;  $X_3$  – вологість субстрату  $W$ , %.

Для отримання математичної моделі у вигляді рівнянь для цільової функції продуктивності біогазової установки, оскільки параметри правої частини залежності (1) мають різну розмірність, виконано їх кодування для адекватного відображення взаємозв'язку. Істинні значення факторів впливу температурних режимів ферментації та седиментаційних параметрів субстрату на цільову функцію, рівні та інтервали їх варіювання наведено в табл. 1.

Таблиця 1

**Істинні значення, рівні та інтервали варіювання факторів**

Фактори	Рівні факторів			Інтервали варіювання
	Нижній (-1)	Основний (0)	Верхній (1)	
$X_1$ , °C	20	37	54	17
$X_2$ , $\text{хв}^{-1}$	1	4	9	5
$X_3$ , %	80	85	90	5

За даними табл. 1 складено матриці планування чисельного експерименту для функції відгуку. Вплив факторів впливу ( $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$ ) на цільову функцію описано регресійною моделлю. Значення коефіцієнтів регресії визначено методом найменших квадратів, їх значимість перевірено за критерієм Стьюдента  $\Psi$ , а адекватність моделі – за критерієм Фішера  $F$ .

За результатами чисельного моделювання впливу кодованих значень факторів, що обумовлюють значення цільової функції, рівняння регресії має вигляд

$$Q = 0,4961 \cdot X_1 + 0,1260 \cdot X_2 + 0,0338 \cdot X_3 + 1,1949. \quad (2)$$

Рівняння характеризується параметрами адекватності: критерій Фішера  $F = 2,81$ , коефіцієнт кореляції  $0,714$ , що свідчить про адекватність моделі.

Для дійсних значень факторів рівняння регресії (2) для цільової функції  $Q$  має вигляд

$$Q = 0,0291 \cdot T + 0,0315 \cdot n + 0,0067 \cdot W - 0,6177. \quad (3)$$

Поверхні відгуку для факторів, що визначають значення цільової функції подано на рис. 1.

Аналіз факторних просторів залежності продуктивності біогазової установки від частоти обертання перемішувача та вологості субстрату (рис. 1) показує, що найбільш впливовим фактором є частота перемішування. Із збільшенням швидкості перемішування органічної маси продуктивність біогазової установки збільшується на 21 %. Результати чисельного моделювання вказують на прямо пропорційну залежність між кількістю отриманого в результаті анаеробного бродіння біогазу та частотою перемішування субстрату, а також на обернену пропорційність взаємозв'язку продуктивності біогазової установки та вологості органічної маси. Найбільша продуктивність біогазової установки при термофільному режимі ( $T = 50^\circ\text{C}$ ). Згідно з результатами моделювання оптимальними умовами бродіння субстрату в біогазовій установці є: температура бродіння  $T = 50^\circ\text{C}$ , частота обертання перемішувача  $n = 9 \text{ хв}^{-1}$ , вологість субстрату  $W = 80 \%$ .

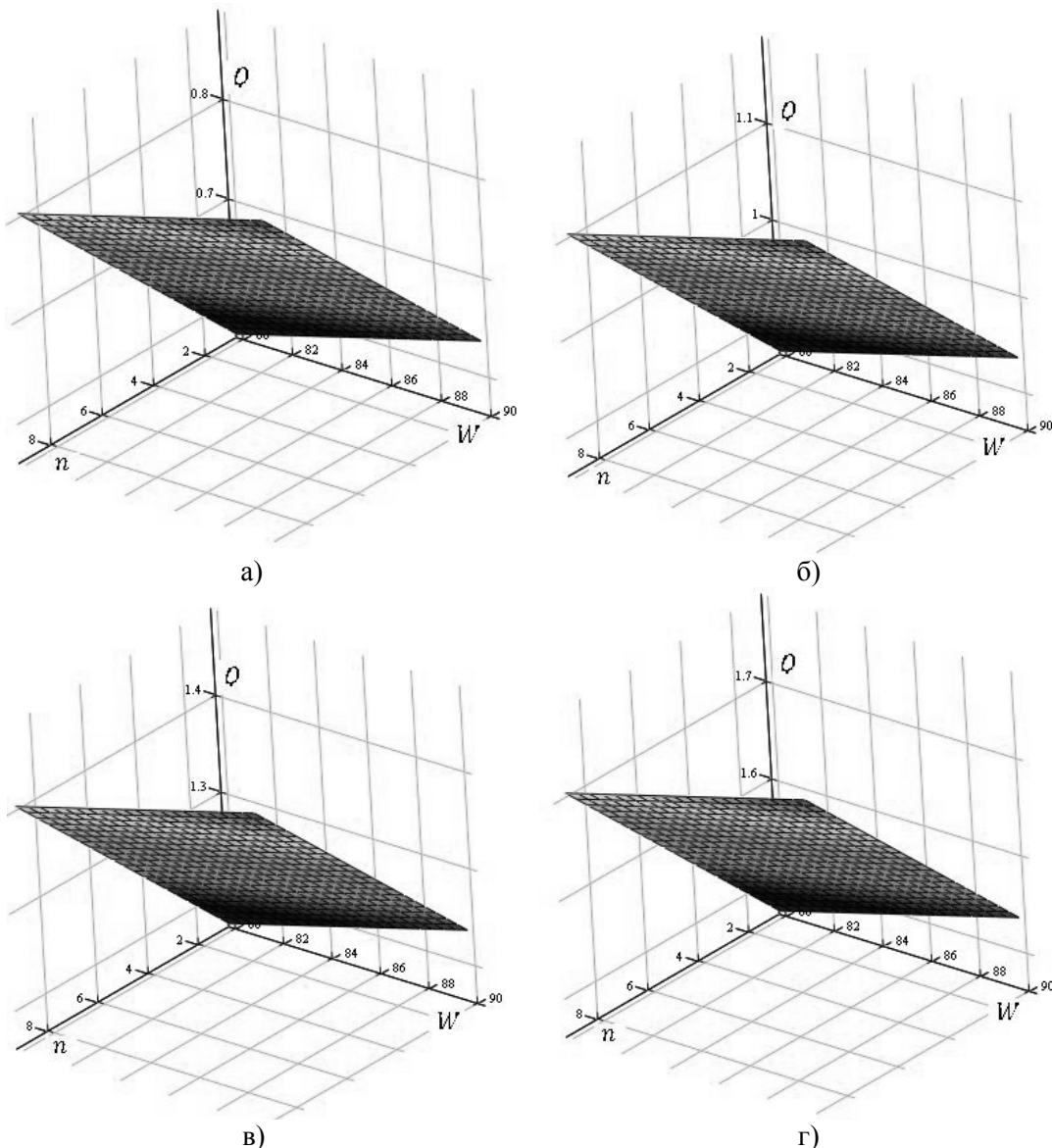


Рис. 1. Поверхні відгуку функцій залежності продуктивності біогазової установки  $Q$  від частоти обертання перемішувача та вологості субстрату для різних температурних режимів анаеробного бродіння:  
 а) при  $T = 20^\circ\text{C}$ ; б) при  $T = 30^\circ\text{C}$ ; в) при  $T = 40^\circ\text{C}$ ; г) при  $T = 50^\circ\text{C}$

### Висновки

- Розглянуто вплив температури анаеробного бродіння субстрату, його вологості та седиментаційних параметрів на продуктивність біогазової установки. За результатами чисельного моделювання отримано рівняння, що характеризують прямопропорційний взаємозв'язок між продуктивністю біогазової установки та температурними та седиментаційними параметрами органічного субстрату, а також обернено пропорційний – між виходом біогазу та вологістю субстрату, тобто вмісту органічної сировини.
- Побудовано графічні зображення поверхонь відгуків графічно зображують залежність між цільовою функцією та незалежними змінними, які подано температурою анаеробного бродіння, частотою перемішування й вологістю субстрату.

### Використана література

1. Баадер Б. Биогаз: Теория и практика / Баадер Б., Доне Е., Бренндерфер М.; пер. с нем. М. И. Серебряного. – М.: Колос, 1982. –148 с.
2. Біоенергія в Україні – розвиток сільських територій та можливості для окремих громад / [Дубровін В. О., Мельничук М. Д., Мельник Ю. Ф. та ін.]. – К., 2009. – 111 с.
3. Свалова М. В. Обоснование и разработка технологического процесса утилизации отходов птицеводства с использованием биогазовых установок : автореф. дис. канд. техн. наук: спец. 05.20.01 «Технологии и средства механизации сельского хозяйства»/ М. В. Свалова. – Санкт-Петербург., 2009. – 18 с.
4. Ратушняк Г. С. Енергозберігаючі відновлювальні джерела теплопостачання : навч. пос. / Г. С. Ратушняк, В. В. Джеджула, К. В. Анохіна. – Вінниця: ВНТУ, 2010. – 170 с.
5. Ратушняк Г. С. Дослідження параметрів процесу перемішування органічної маси в біогазовій установці з вертикальним пропелерним перемішувачем / Г. С. Ратушняк, К. В. Анохіна, В. В. Джеджула // Збірник наукових праць ВНАУ. – 2010. – № 5. – С. 139-144.
6. Ратушняк Г. С. Седиментаційний аналіз перемішування полідисперсного субстрату в біогазовій установці вертикальною пропелерною мішалкою / Г. С. Ратушняк, І. В. Коц, К. В. Анохіна // Збірник наукових праць ВНАУ. – 2011. – № 8. – С. 37-42.

**Ратушняк Георгій Сергійович** – к.т.н., професор, завідувач кафедри теплогазопостачання Вінницького національного технічного університету.

**Анохіна Катерина Володимирівна** – к.т.н., старший викладач кафедри теплогазопостачання.

**Коцєєв Іван Анатолійович** – магістрант кафедри теплогазопостачання.