

ПОРІВНЯННЯ ТЕОРЕТИЧНИХ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ ЕНЕРГОВИТРАТ  
ЗА УМОВ НАГРІВАННЯ СУБСТРАТУ В МЕТАНТЕНКУ ЦИЛІНДРИЧНОЇ ФОРМИ

Сподоба М. О., доктор філософії (PhD), e-mail: [spmisha@ukr.net](mailto:spmisha@ukr.net)

Сподоба О. О., доктор філософії (PhD), e-mail: [sp1309@ukr.net](mailto:sp1309@ukr.net)

Національний університет біоресурсів і природокористування України

**Актуальність дослідження.** Розвиток біогазових технологій є важливою складовою для формування сучасних і майбутніх енергетичних систем чистої енергії, тому особлива увага до її енергоефективності. В наш час, утилізація відходів на біогазових установках є одним із найпрогресивніших, екологічно та економічно вигідних рішень для виробництва енергії з відходів у вигляді біогазу. Про це, свідчить велика кількість наукових досліджень, спрямованих на збільшення виходу біогазу [1-3]. Однак, через зростання попиту на споживання біогазу для побутових та виробничих цілей виникає необхідність у підвищенні ефективності біогазових установок та технологій підготовки сировини до зброджування так і самого зброджування. Оскільки, енергоносії та тарифи на них є основними факторами, що визначають сталий розвиток економіки, актуальним є теоретичні (математичні моделі) та практичні дослідження направлені на зниження споживання енергії на процес анаеробного зброджування. Розробка математичних моделей, що здатні з високою точністю описати реальні процеси у біогазових реакторах та інших технологічних процесах і операціях є актуальним питанням в будь-якій країні світу та галузі виробництва [3-5].

**Мета дослідження.** Порівняння теоретичних та експериментальних даних енерговитрат на підігрів субстрату у метантенку циліндричної форми.



**Рисунок 1 – Зовнішній вигляд експериментальної біогазової установки**

**Основні матеріали досліджень.** Для досягнення поставленої мети було поставлено наступне завдання: перевірити адекватність розробленої математичної моделі для динамічного аналізу енергетичних витрат при нагріванні субстрату електронагрівачем, розміщеним на зовнішній стінці біогазового реактора, шляхом аналізу розбіжностей між теоретичними та експериментальними даними, про зміну температури субстрату під час нагрівання останнього в метантенку та визначення енергії, витраченої на нагрів.

Експериментальне дослідження енергетичних витрат на підігрів субстрату проводили на експериментальній установці – біогазовому реакторі з механічним змішувачем, електричним нагрівачем, розміщеним на стінці реактора та захищеним металевим кожухом. Зовнішній вигляд установки наведено на (рис. 1). Геометричні параметри резервуару: висота 0,6 м, діаметр 0,37 м, об'єм 0,06 м<sup>3</sup>.

Резервуар ізольований шаром мінеральної вати товщиною 100 мм та захищений сталевим кожухом [3, 5]. Як субстрат використовували попередньо подрібнені рештки картоплі масою 10 кг, розведені чистою водою в об'ємі 30 л, з подальшим завантаженням у біогазовий реактор на 2/3 загального об'єму [5, 6]. Для проведення теоретичних досліджень використано систему рівнянь (рис. 2), що описують динаміку зміни температури об'єктів при конструкції реактора зображеного на рис. 1. Опис складових системи рівнянь наведено у роботі [3]. На рис. 3 зображено графічні залежності зміни температури субстрату, отримані за теоретичними (математичне моделювання) та експериментальними дослідженнями.

$$\frac{dT_{cn}}{d\tau} = \frac{P \cdot \xi + k_{i3} \cdot F_{cn} \cdot (T_{i3} - T_{cn})}{c_{cn} \cdot m_{cn}};$$

$$\frac{dT_{i3}}{d\tau} = \frac{1}{c_{i3} \cdot m_{i3}} \cdot (k_{i3} \cdot F_{cn} \cdot (T_{cn} - T_{i3}) + k_c \cdot F_k \cdot (T_c - T_{i3}) + k_{вм} \cdot F_{к.вм} \cdot (T_{навк} - T_{i3}));$$

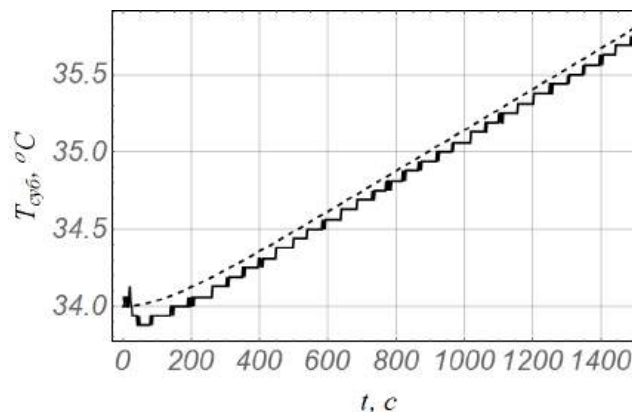
$$f(\xi) = \begin{cases} \xi = 0, & \text{якщо } T_{i3} \geq T_{к.ном}; \\ \xi = 1, & \text{якщо } T_{i3} < T_{к.ном}; \end{cases}$$

$$Q_{нагр} = \frac{\pi \cdot (T_{i3} - T_{суб})}{R_1 + R_2} \cdot H_k;$$

$$\frac{dT_c}{d\tau} = \frac{1}{c_p \cdot m_p} \cdot (k_c \cdot F_k \cdot (T_{i3} - T_c) + \alpha_1 \cdot F_c \cdot (T_{суб} - T_c) + k_l \cdot (H_l - H_k) \cdot (T_{навк} - T_c));$$

$$\frac{dT_{суб}}{d\tau} = \frac{Q_{нагр} + \alpha_1 \cdot F_c \cdot (T_c - T_{суб})}{c_{суб} \cdot m_{суб}}.$$

**Рисунок 2 – Математична модель для динамічного аналізу енергетичних витрат на нагрівання субстрату електронагрівачем [3]**



**Рисунок 3 – Порівняння графічних залежностей температури субстрату: ---- теоретичні дані; – експериментальні дані**

З графічної залежності зміни температури субстрату при розміщені електричного нагрівального кабелю на стінці біогазового реактора (рис. 3) видно, що відхилення між теоретичними та експериментальними даними за середньою температурою складає 0,3%, за значенням максимальної температури 0,1%. Максимальне відхилення температури субстрату становить 0,4%, у момент часу 75 секунд. Проведений порівняльний аналіз кількості витраченої енергії на нагрів субстрату встановлено розбіжність між експериментом та математичним моделюванням, яка становить 4,3% [5, 6].

**Висновки.** Відхилення між теоретичними та експериментальними даними температури субстрату знаходяться у діапазоні 0,1-0,4%, що знаходиться у межах похибки вимірювання. Проведений аналіз енергетичного споживання системою підігріву вказав на розбіжність між експериментом та математичним моделюванням, яка становить 4,3%. Що свідчить про адекватність розробленої математичної моделі для динамічного аналізу енергетичних витрат при нагріванні субстрату електронагрівачем, розміщеним на стінці біогазового реактора.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. EBA. EBA Statistical Report 2018; European Biogas Association: Brussels, Belgium, 2019.
2. WBA. Global Potential of Biogas; World Biogas Association: London, UK, 2019.
3. Zablodskiy, M., Spodoba, M., & Spodoba, O. (2022). Experimental investigation of energy consumption for the process of initial heating of a substrate to the fermentation temperature. *Problemele energeticii regionale*, (1), 83-96.
4. Loveikin V., Romasevych Yu., Spodoba O., Loveikin A., Pochka K. Mathematical model of the dynamics change departure of the jib system manipulator with the simultaneous movement of its links. *Strength of Materials and Theory of Structures*. 2020. Issue 104. P. 175-190.
5. M. Zablodskiy and M. Spodoba, "Comparison of Theoretical and Experimental Data of Energy Consumption when Heating the Substrate in a Biogas Reactor", 2022 IEEE 4th International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES), pp. 01-04, 2022.
6. M. Spodoba, M. Zablodskiy, O. Spodoba "Comparison of Theoretical and Experimental Data of Energy Consumption on the Use of Electrothermomechanical System". In 2023 IEEE 5th International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES), Kremenchuk, Ukraine, 2023, IEEE. pp. 1-4. <https://doi.org/10.1109/MEES61502.2023.10402429>