

**ТЕПЛОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОБУТОВОГО БІОРЕАКТОРА
ШЛЯХОМ ВИКОРИСТАННЯ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ**

В. М. Желих, Ю. В. Фурдас, В. Б. Шепітчак

HEATING HOUSEHOLD BIOREACTOR BY USING SOLAR ENERGY

V. Gelykh, Y. Furdas, V Shepitchak

Запропоновано методика визначення кількості теплоти, що надходить від сонячної радіації на довільно орієнтовані поверхні для підтримання температурного режиму біореактора.

Запропоновано конструкцію біогазової установки. Встановлено кількість теплоти від сонячної радіації, що надходить на поверхні біореактора запропонованої конструкції.

Проаналізовано результати аналітичних досліджень та встановлено пік густини теплового потоку сонячної радіації. Результати досліджень подані у графічній інтерпретації.

Предложена методика определения количества теплоты, поступающей от солнечной радиации на произвольно ориентированные поверхности для поддержания температурного режима биореактора.

Предложена конструкция биогазовой установки. Установлено количество теплоты от солнечной радиации, поступающей на поверхности биореактора предложенной конструкции.

Проанализированы результаты аналитических исследований и установлено пик плотности теплового потока солнечной радиации. Результаты исследований представлены в графической интерпретации.

Method determination of the amount heat received from the sun's radiation arbitrarily oriented surface to maintain the temperature of the bioreactor.

The construction of a biogas plant. Set the amount of heat from solar radiation received at the surface of the bioreactor of the proposed design.

We analyzed the results of analytical studies, and the set peak density of the thermal flux of solar radiation. Research results are presented in graphical interpretation.

Актуальність роботи. Одним із шляхів доповнення і часткової заміни традиційних видів палива є використання біогазу. Важливим аргументом на користь даного джерела енергії є необхідність вирішення на сучасному рівні екологічних проблем, що виникають при утилізації органічних відходів. Однією з основних тенденцій у розгортанні екологічно безпечного виробництва продукції рослинництва і тваринництва є розвиток комплексних технологій із використанням процесів метанового зброджування при утилізації біомаси, в результаті якого утворюється біогаз.

Біогазова установка призначена для виробництва біогазу з органічних відходів сільськогосподарського виробництва шляхом анаеробного бродіння. Використовується для забезпечення сільських господарств газом для побутових потреб. Біогазова установка являє собою герметичну ємність та оснащена рядом обладнання для виробництва біогазу.

Біогазові установка складається з конструктивних елементів, основними з яких є: біореактор, система завантаження, система перемішування, газгольдер, система підігріву.

Біогазові установки поділяються на побутові та промислові. Побутові біогазові установки, насамперед утилізують побутові органічні відходи і забезпечують господарство енергоносіями (теплом та електроенергією). Такі установки використовуються на невеликих фермерських господарствах з метою утилізації органічних відходів та охорони довкілля, а також для отримання екологічно чистого органічного добрива. Промислові біогазові установки використовуються на великих комплексах де є багато тварин, і застосовуються в основному з метою утилізації органічних відходів. Біогаз, як правило, використовують на технологічні потреби, такі як обігрів приміщень, кормів та отримання електроенергії.

Біогазові установки є безперервної та періодичної дії. Безперервна ферментація полягає у постійному, або з короткими перервами в часі, надходженні Технологія з безперервною ферментацією належить до найбільш технічно відпрацьованих. Ця технологія потребує невеликих ферментаційних камер і реалізує процес безперервного виробництва біогазу.

Особливість біогазових установок періодичної дії полягає у дискретній їх експлуатації, а саме від часу завантаження біореактора органічною масою до часу повного її розкладу.

Для інтенсифікації процесу бродіння в реакторі використовують механічні мішалки. Бродильна суміш залишається в реакторі стільки часу, скільки це біологічно необхідно для розкладання органічних речовин бактеріями. При оптимальних умовах і температурі в реакторі 35-45 °С органічні речовини розкладаються на 90...95 % за 35-45 діб.

Мета та задачі дослідження. Визначення прогнозованої кількості сонячної енергії, яка потрапляє на довільно розташовані поверхні біореактора, для підтримання його внутрішнього температурного режиму.

Аналітичні дослідження

Проаналізовано існуючі форми метантенків побутових біогазових установок та встановлено, що енергоефективною за теплотехнічними характеристиками є сферична форма. Тому запропоновано біореактор циліндричної форми зі зрізаними конусами до верху і до низу, в якому враховані енергоощадні характеристики та особливості технологічного процесу.

Підігрів органічної сировини біореактора запропоновано здійснювати шляхом використання сонячної енергії, а саме, безпосереднім нагрівом поверхні резервуару біогазової установки сонячним промінням.

Отже, потік прямої сонячної радіації на довільно орієнтовану поверхню визначається за формулою (1):

$$S_{\text{пр}} = S_m \cdot \cos \theta, \quad (1)$$

де S_m – падаюча сонячна енергія, Вт/м²;

θ – кут падіння прямого сонячного випромінювання, визначений між напрямом випромінювання і нормаллю поверхні поглинання.

$$\cos \theta = \sin \alpha \cdot \cos \psi + \cos \alpha (\cos \psi \cdot \text{tg} L \cdot \sin \delta + \sin \psi \cdot \cos \delta \cdot \sin \tau), \quad (2)$$

де α – кут нахилу опромінюваної поверхні до горизонту;

L – географічна широта місцевості, град;

ψ – азимут поверхні опромінення, град; тобто кут між нормаллю до площини та напрямком на північ (за початок відліку приймається напрямом на південь, відхилення на схід приймається зі знаком «плюс», на захід «мінус»;

τ – часовий кут, град., рівний «нулю» опівдні, кожна година відповідає 15° довготи, причому значення часового кута до обіду приймається «додатним», після обіду «від'ємним», визначається за формулою:

$$\tau = \frac{\pi}{12} (12 - t), \quad (3)$$

де t – сонячна година для даної місцевості, год.;

δ – схилення Сонця відносно екватора, град., визначається із залежності:

$$\delta = 23,45 \cdot \sin \left(360 \frac{284 + N}{365} \right), \quad (4)$$

де N – порядковий номер дня року (починаючи з 1, що відповідає 1-му січня);

h – кут, який визначає висоту Сонця над горизонтом в даний момент часу, град.

$$\sinh = \cos \tau \cdot \cos \delta \cdot \cos L + \sin \delta \cdot \cos L. \quad (5)$$

Запропонована конструкція біогазової установки має вигляд циліндра зі зрізаними конусами до верху і до низу (рис. 1). Цей біореактор був взятий за основу для проведення аналітичних досліджень.

В даній конструкції біореактора є наявність трьох різно орієнтованих поверхонь, які сприймають пряме сонячне проміння, тому в прийнятій методику рекомендовані такі спрощення:

Перша поверхня – верхня частина резервуара, а саме кришка розташована горизонтально, тобто кут нахилу поверхні сприймання до горизонту складає 0 градусів.

Отже, з врахуванням конструктивних особливостей біореактора після спрощень формула (2) набуде вигляду:

$$\cos \theta = \sinh. \quad (6)$$

Друга поверхня – середня частина резервуара, у вигляді зрізаного конуса, вона розташована під кутом 45 градусів до горизонту, тоді формула (2) прийме вигляд:

$$\cos \theta = 0,707 \cdot (\sinh + \cos \psi \cdot \operatorname{tg} L \cdot \sinh + \sin \psi \cdot \cos \delta \cdot \sin \tau). \quad (7)$$

Третя поверхня – основна частина резервуара, поверхня розташована вертикально, тобто під кутом 90 градусів, отже формула (2) набере вигляду:

$$\cos \theta = \cos \psi \cdot \operatorname{tg} L \cdot \sinh + \sin \psi \cdot \cos \delta \cdot \sin \tau. \quad (8)$$

Теплонадходження в біореактор від сонячного випромінювання Q_c , Вт визначалось:

$$Q_c = q_0 + \beta \cdot A_q, \quad (9)$$

де q_0 , Вт – середньодобове теплонадходження від сонячної радіації:

$$q_0 = \frac{F}{R_0} (t_B^{ym} - t_B), \quad (10)$$

F – площа вертикальної поверхні біореактора, m^2 ;

R_0 – термічний опір стінки резервуара, $m^2K/Вт$;

$$R_0 = \frac{1}{\alpha_B} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_3}, \quad (11)$$

α_B , α_3 – коефіцієнти тепловіддачі від внутрішньої та зовнішньої поверхні стінки біореактора, відповідно, $Вт/m^2K$;

t_B^{ym} – умовна середньодобова температура зовнішнього повітря, $^{\circ}C$;

$$t_B^{ym} = t_H' + \frac{\rho \cdot I_{cp}}{\alpha_3}, \quad (12)$$

t_H' – розрахункова температура зовнішнього повітря, $^{\circ}C$, приймається згідно з [2];

ρ – коефіцієнт поглинання теплоти сонячного випромінювання зовнішньою поверхнею стінки біореактора, для сталі $\rho = 0,8$;

I_{cp} – середньодобовий тепловий потік сумарного прямого та розсіяного сонячного випромінювання, $Вт/m^2$.

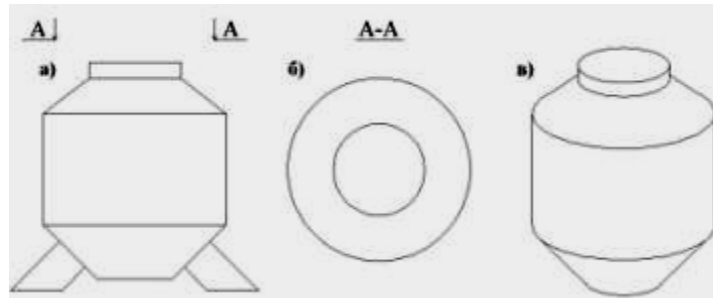


Рис. 1. Конструктивний вигляд резервуара експериментальної біогазової установки
а – вигляд з боку; б – вигляд зверху; в – аксонометричний вигляд

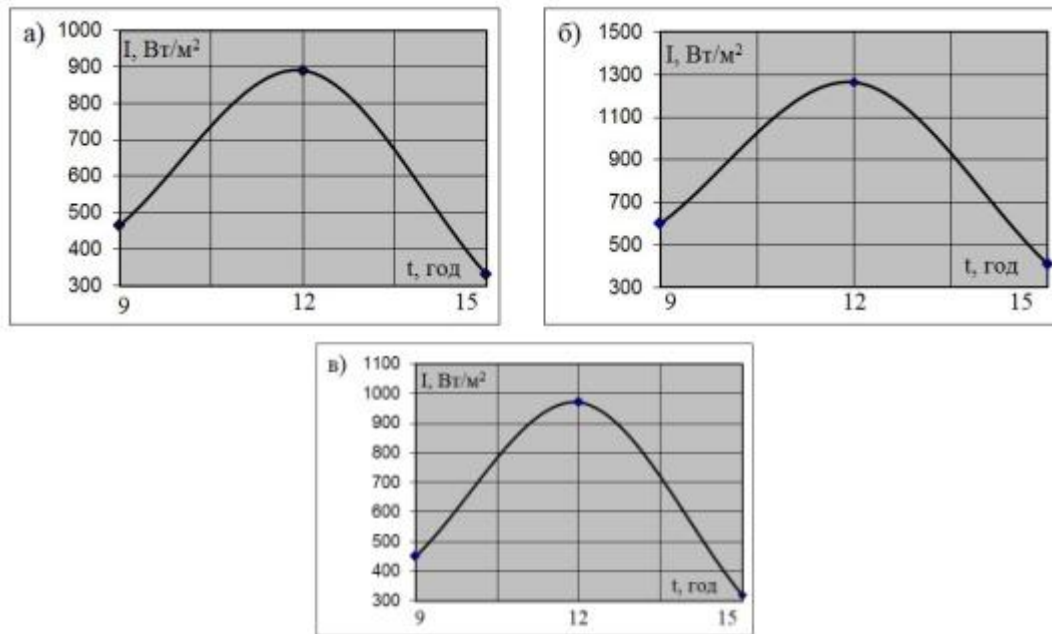


Рис. 2. Падіння сонячної енергії на різноорієнтовані поверхні
а – горизонтальна поверхня; б – поверхня нахилена під кутом 45 град.; в – вертикальна поверхня

Амплітуда коливання теплового потоку A_q , Вт визначалась:

$$A_q = \alpha_B \cdot F \cdot A_{TB}, \quad (13)$$

A_{TB} – амплітуда коливання температури внутрішньої поверхні стінки резервуару, °С ;

$$A_{TB} = \frac{A_H^{UM}}{\nu}, \quad (14)$$

ν – величина затухання розрахункової амплітуди коливання температури зовнішнього повітря в захисній конструкції резервуара;

$$\nu = 0,9 \cdot e^{\frac{D}{\sqrt{2}}} \cdot \frac{(S_1 + \alpha_B) \cdot (\alpha_3 + \gamma_1)}{(S_1 + \gamma_1) \cdot \alpha_3}, \quad (15)$$

D – теплова інерція захисної конструкції.

$$D = R_0 \times S_1, \quad (16)$$

S_1 – розрахунковий коефіцієнт теплосасвоєння стінки резервуара, для сталі $S_1=126,5 \text{ Вт/м}^2\text{К}$;
 γ_1 – коефіцієнт теплосасвоєння зовнішньою поверхнею, $\text{Вт/м}^2\text{К}$;

$$\gamma_1 = \frac{R_0 \cdot S_1 + \alpha_B}{1 + R_0 \cdot \alpha_B} \quad (17)$$

Амплітуду коливання температури зовнішнього повітря $A_H^{ум}, ^\circ\text{C}$ з врахуванням сонячного випромінювання визначалось :

$$A_H^{ум} = \frac{\rho \cdot (I_{\text{макс}} - I_{\text{ср}})}{\alpha_3^B} + A_{t3} \quad (18)$$

де $I_{\text{макс}}$ – максимальний тепловий потік сумарного прямого та розсіяного сонячного випромінювання, Вт/м^2 ;

A_{t3} – максимальна амплітуда коливання температури зовнішнього повітря, $^\circ\text{C}$;

Коефіцієнт тепловіддачі α_3^B , $\text{Вт/м}^2\text{К}$ від зовнішньої поверхні резервуара до навколишнього середовища для вертикальної поверхні визначається за формулою:

$$\alpha_3^B = 5,8 + 11,6 \cdot \sqrt{\omega} \quad (19)$$

де ω – середньомісячна швидкість вітру, м/с ;

Дослідження проводилися для побутового біореактора об'ємом 1 м^3 . Резервуар повністю виконаний з металу та пофарбований у чорний колір. За розрахунковий період приймалась середина липня.

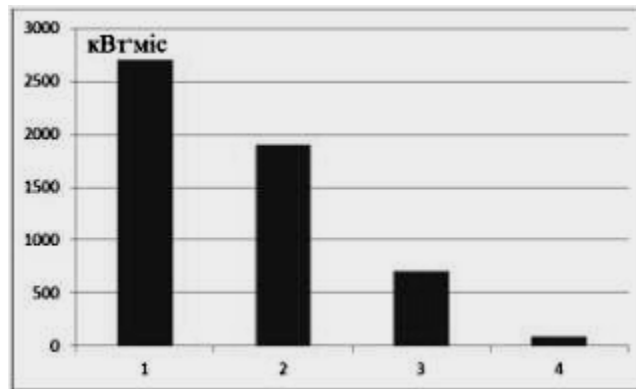


Рис. 3. Поступлення тепла від сонячного випромінювання через поверхні запропонованого біореактора

1 – сумарна кількість теплоти; 2 – кількість теплоти, що потрапляє через вертикальну поверхню; 3 – кількість теплоти, що потрапляє через нахилену поверхню; 4 – кількість теплоти, що потрапляє через горизонтальну поверхню

Проведені аналітичні дослідження для резервуару зі зрізаними конусами у верхній та нижній частинах ємності для середньомісячних температур зовнішнього повітря протягом року, температурний режим біомаси приймався $40 \text{ }^\circ\text{C}$. Як теплоізоляційний матеріал використано мінеральну вату з оптимальною товщиною $\delta = 0,13 \text{ м}$ [6].

Необхідна потужність системи підігріву біореактора складає, Вт :

$$Q_{c.o.} = G_{\Gamma} \cdot c_{\Gamma} \cdot t_{\Gamma} + F \cdot k \cdot t_{\text{в}} - F \cdot k \cdot t_{\text{з}}, \quad (20)$$

де G_{Γ} – об’єм біогазу, м^3 ;
 c_{Γ} – питома теплоємність біогазу, $\text{Вт}/(\text{м}^3 \text{ } ^\circ\text{C})$;
 t_{Γ} – температура біогазу, $^\circ\text{C}$;
 F – площа зовнішньої поверхні резервуара;
 k – коефіцієнт теплопередачі через стінку біореактора, $\text{Вт}/\text{м}^2\text{K}$;
 $t_{\text{в}}, t_{\text{з}}$ – відповідно температура сировини та навколишнього середовища, $^\circ\text{C}$.

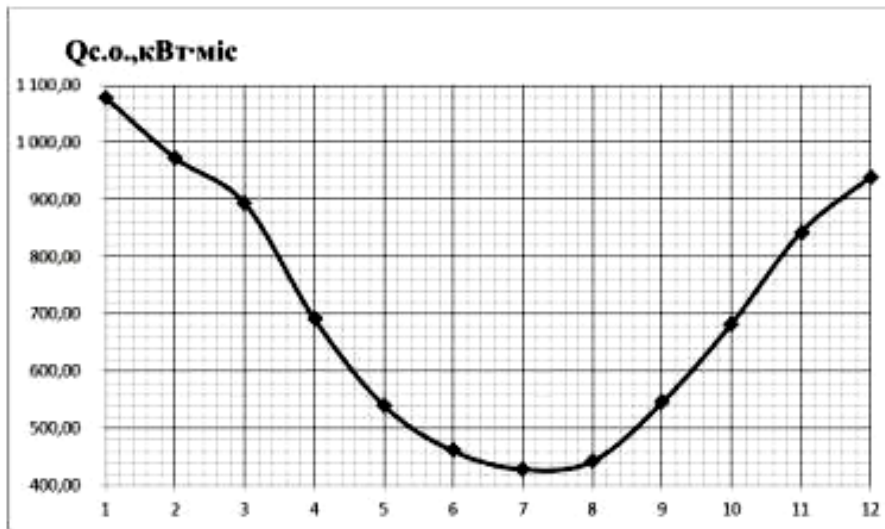


Рис. 5. Графік необхідної потужності системи підігріву
 1 – січень; 2 – лютий; 3 – березень; 4 – квітень; 5 – травень; 6 – червень; 7 – липень;
 8 – серпень; 9 – вересень; 10 – жовтень; 11 – листопад; 12 – грудень

Визначена необхідна кількість енергоресурсів, а саме біогазу, для покриття теплового навантаження біореактора побутової біогазової установки .

$$V = \frac{Q_{\text{в}}}{Q_{\text{н}}^{\text{р}}}, \text{ м}^3/\text{рік}, \quad (21)$$

де $Q_{\text{н}}^{\text{р}} = 23 \text{ МДж}/\text{м}^3$ – теплотворна здатність біогазу [1].

Оскільки, в ТПР при запропонованій схемі теплозабезпечення присутня економія, тому проведено розрахунок економічного ефекту від запропонованої схеми теплопостачання. Розглянуто два варіанти:

– 1-й варіант: теплозабезпечення біореактора здійснювалось теплогенератором, що працює на біогазі;

$$Q_{\text{в}} = Q_{c.o.} \quad (22)$$

– 2-й варіант: теплозабезпечення біореактора здійснювалось енергією сонця;

$$Q_{\text{в}} = Q_{\text{с}} \quad (23)$$

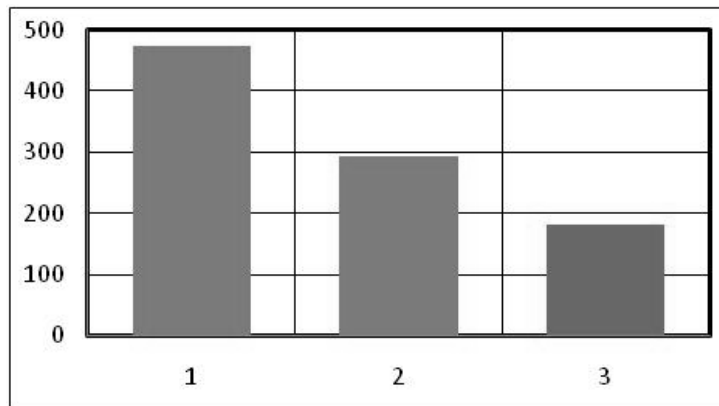


Рис. 4. Номограма споживання та економії біогазу

1 – річне споживання біогазу для підтримання температурного режиму біореактора;
2 – використання біогазу; 3 – економія біогазу при використанні 2-го варіанта теплозабезпечення

Запропонована схема теплопостачання дає економію в розмірі приблизно 181 м³ біогазу за теплий період року.

Висновки

- Для запропонованої конструкції біогазової установки було розроблено методику отримання значення кількості теплоти для забезпечення теплового стану біореактора. Встановлено кількість теплоти від сонячної радіації, що надходить на поверхні біореактора запропонованої конструкції. Проаналізовано результати аналітичних досліджень та встановлено, що пік густини теплового потоку сонячної радіації, який становить 1265 Вт/м² припадає на 12 годину дня у липні місяці для поверхні нахиленої під кутом 45 градусів.
- Загальна кількість теплоти, що може бути отримана від сонячної енергії для теплозабезпечення біореактора становить 2700 кВт·місяць.

Використана література

1. Duffie J. A., Beckman W. A. Solar engineering of thermal process. New York : John Wiley and Sons, 1980.
2. <http://progress21.com.ua/ua/articles/solarradiation>.
3. Биомаса как источник энергии. Ред. С. Соуфер, О. Заборски, пер. с англ. М.: «Мир», 1985.
4. Баадер Б. Биогаз: Теория и практика / Баадер Б., Доне Брендерфер М.; Пер. с нем. М. И. Серебряного – М.: Колос, 1982. – 148 с.
5. В. Желих, Ю. Фурдас: Патент на корисну модель № 57360 – Біогазовий реактор.
6. Фурдас Ю. В. Оцінка теплового стану побутової біогазової установки / Науковий вісник НЛТУ // Ю. В. Фурдас, В. М. Желих. – Львів: РВВ НЛТУ України. – 2012. – Вип. 22. 4.
7. Возняк О. Т. Основи наукових досліджень у будівництві / О. Т. Возняк, В. М. Желих. – Львів: Видавництво Національного університету “Львівська політехніка”, 2003. – 173 с.
8. Дубровін В. О. Виробництво біогазу з органічних відходів в умовах окремого господарства / В. О. Дубровін, В. Г. Мироненко, В. В. Криворучко, В. І. Тимошенко, І. В. Мельник. – 2009.
9. Ратушняк Г. С. Інтенсифікація біоконверсії коливальним перемішуванням субстрату / Ратушняк Г. С., Джеджула В. В. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. – 117 с.

Желих В. М. – к.т.н., доцент кафедри “Теплогазопостачання і вентиляція” Національного університету “Львівська політехніка”.

Фурдас Ю. В. – Національний університет “Львівська політехніка”.

Шенітчак В. Б. – аспірант кафедри “Теплогазопостачання і вентиляція” Національного університету “Львівська політехніка”.