

## ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГІЇ СОНЦЯ ДЛЯ ПІДГРІВУ СУБСТРАТУ ПОБУТОВОГО БІОРЕАКТОРА

© Фурдас Ю.В., 2013

Проаналізовано теплові потоки резервуару метантенка побутової біогазової установки для теплого періоду року. Запропоновано схему теплопостачання біореактора за допомогою сонячного випромінювання та визначено економічний ефект від використання сонячної енергії для підігріву субстрату. Результати досліджень наведено у графічному вигляді.

**Ключові слова:** біогазова установка, метантенк, метаногенез, біогаз, анаеробне бродіння, температурні режими.

**The analysis of heat flow tank reservoir of household biogas plant for warm season is carried out. The scheme of heat bioreactor is proposed using solar radiation and determines the economic effect of using solar energy to heat the substrate. The research results are presented graphically.**

**Key words:** biogas plant, metantenk, methanogenesis, biogas, anaerobic fermentation, temperatures.

### Актуальність роботи

Біореактори слугують для утилізації органічних відходів з метою отримання біогазу. Біогаз утворюється внаслідок життєдіяльності метаноутворюючих бактерій в температурному діапазоні від 0 до 70 °С. Якщо значення цього діапазону є вищим, то вони починають гинути, за винятком кількох видів, які можуть жити за температури середовища до 90 °С. У разі мінусових температур бактерії припиняють свою життєдіяльність, хоча і мають здатність виживати. Вважається, що мінімальний ступінь нагрятості субстрату, при якому відбувається метаногенез, 3–4 °С [1].

Швидкість процесу бродіння дуже залежить від температури. Принципово важливим є: чим вище її значення, тим швидше відбувається розкладання біомаси і тим більше виробництво біогазу. У разі збільшення температури знижується вміст метану в біогазі та скорочується час розкладання. Це пов'язано з тим, що при високих температурах розчинений в субстраті двоокис вуглецю інтенсивніше переходить в газоподібну фазу.

Для субстрату у вигляді рідкого гною для різних температурних діапазонів орієнтовний час бродіння становить [1]:

- температура процесу : 20 – 25 °С; час бродіння 60 – 80 днів;
- температура процесу : 30 – 35 °С; час бродіння 30 – 50 днів;
- температура процесу : 45 – 55 °С; час бродіння 15 – 25 днів.

Кількість теплоти, необхідної для підігріву субстрату в біореакторі до температури процесу метаноутворення, залежить від маси сировини, її теплоємності, та початкової температури.

Значну економію тепла на підігрів можна отримати шляхом використання сонячної енергії. Оскільки клімат України переважно помірньо-континентальний, а на півдні має ознаки субтропічного, є можливість ефективно використовувати сонячну енергію, для підігріву субстрату біореактора.

Відомі різні методи застосування сонячної енергії, а саме використання геліоустановок, сонячних фотопанелей, різних типів тепло- та електроакумуляторів, які дають хороші показники теплозабезпечення. Однак застосування цих методів для обігрівання побутових біореакторів є економічно недоцільним, оскільки вони здорожують систему БГУ у кілька разів.

Запропонована схема теплопостачання, згідно з якою сонячне проміння безпосередньо нагріває поверхню резервуару БГУ, відповідно шляхом теплопровідності відбувається прогрівання сировини всередині метантенка. Оскільки ця схема не потребує додаткового устаткування, отже, відсутні додаткові капітальні витрати.

### Мета та задачі дослідження

Аналітичне підтвердження можливості забезпечення тепловою енергією побутового біореактора, у разі безпосереднього нагрівання його сонячним випромінюванням у теплий період року.

### Експериментальні дослідження та їх аналіз

Дослідження проводили для побутового біореактора об'ємом 1,1 м<sup>3</sup>. Біореактор виконаний зі сталі та пофарбований у чорний колір. У ТПР для підвищення теплопропускання демонтується теплова ізоляція. Температуру внутрішнього середовища приймали  $t_e = 40^\circ\text{C}$ .

Тепловий режим підтримувався за допомогою сонячного випромінювання, яке поглинала поверхня резервуару.

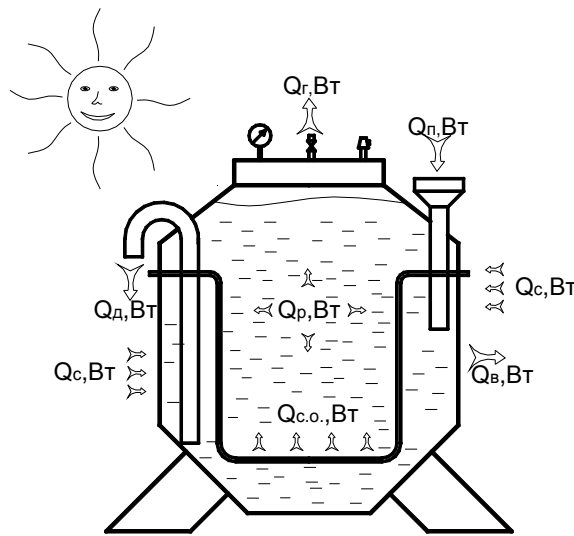


Рис. 1. Схема теплових потоків побутового біореактора в теплий період року

Було складено рівняння теплового балансу біогазової установки (БГУ) для теплого періоду року (ТПР), при цьому забезпечувалась рівність надходжень та втрат тепла.

$$Q_{II} + Q_P + Q_{C.O.} + Q_C = Q_G + Q_B + Q_D, \quad (1)$$

де  $Q_{II}$  – кількість тепла для підігріву субстрату;  $Q_D$  – кількість тепла, що утворюється під час бродіння;  $Q_{C.O.}$  – кількість тепла, що подається системою опалення;  $Q_G$  – кількість тепла, що втрачається з біогазом;  $Q_D$  – кількість тепла, що втрачається з шламом;  $Q_B$  – втрати тепла через стінки резервуару;  $Q_C$  – кількість тепла, що надходить у біореактор від сонячної радіації.

Теплонадходження в біореактор від сонячного випромінювання через вертикальну поверхню визначалось:

$$Q_C = q_0 + \beta \cdot A_q, \text{ ВТ}, \quad (2)$$

де  $q_0$ , ВТ – середньодобове теплонадходження від сонячної радіації:

$$q_0 = \frac{F}{R_0} (t_e^{sm} - t_e), \text{ ВТ}, \quad (3)$$

де  $F$  – площа вертикальної поверхні біореактора, м<sup>2</sup>;  $R_0$  – термічний опір стінки резервуару, м<sup>2</sup>К/Вт;

$$R_0 = \frac{1}{\alpha_6} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_3}, \text{ м}^2\text{К/Вт} \quad (4)$$

де  $\alpha_6, \alpha_3$  – коефіцієнти тепловіддачі від внутрішньої та зовнішньої поверхні стінки біореактора відповідно, Вт/м<sup>2</sup>К;  $t_6^{ym}$  – умовна середньодобова температура зовнішнього повітря, °С;

$$t_6^{ym} = t'_n + \frac{\rho \cdot I_{cp}^6}{\alpha_3}, \text{ °С} \quad (5)$$

$t'_n$  – розрахункова температура зовнішнього повітря, °С, приймається згідно з [2];  $\rho$  – коефіцієнт поглинання теплоти сонячного випромінювання зовнішньою поверхнею стінки біореактора, для сталі  $\rho = 0,8$ ;  $I_{cp}^6$  – середньомісячний тепловий потік сумарного прямого та розсіяного сонячного випромінювання на вертикальну поверхню, Вт/м<sup>2</sup>;

Амплітуду коливання теплового потоку  $A_q$ , Вт визначали

$$A_q = \alpha_6 \cdot F \cdot A_{te}, \text{ Вт}, \quad (6)$$

де  $A_{te}$  – амплітуда коливання температури внутрішньої поверхні стінки резервуару, °С;

$$A_n = \frac{A_n^{ym}}{\nu}, \text{ °С}, \quad (7)$$

де  $\nu$  – величина загасання розрахункової амплітуди коливання температури зовнішнього повітря в огорожуючій конструкції резервуару;

$$\nu = 0,9 \cdot e^{-\frac{D}{\sqrt{2}} \cdot \frac{(S_1 + \alpha_6) \cdot (\alpha_3 + \gamma_1)}{(S_1 + \gamma_1) \cdot \alpha_3}}, \quad (8)$$

де  $D$  – теплова інерція огорожуючої конструкції.

$$D = R_0 \cdot S_1 \quad (9)$$

де  $S_1$  – розрахунковий коефіцієнт теплосвоєння стінки резервуару, для сталі  $S_1 = 126,5$  Вт/м<sup>2</sup>К;  $\gamma_1$  – коефіцієнт теплосвоєння зовнішньою поверхнею, Вт/м<sup>2</sup>К;

$$\gamma_1 = \frac{R_0 \cdot S_1 + \alpha_6}{1 + R_0 \cdot \alpha_6}, \text{ Вт/м}^2\text{К}. \quad (10)$$

Амплітуду коливання температури зовнішнього повітря  $A_1^{oi}$ , °С з врахуванням сонячного випромінювання визначали:

$$A_n^{ym} = \frac{\rho \cdot (I_{max}^6 - I_{cp}^6)}{\alpha_3} + A_{t3}, \text{ °С} \quad (11)$$

$I_{max}^6$  – максимальний тепловий потік сумарного прямого та розсіяного сонячного випромінювання на вертикальну поверхню, Вт/м<sup>2</sup>, прийнятий згідно з [2];  $A_{t3}$  – максимальна амплітуда коливання температури зовнішнього повітря, °С;

Коефіцієнт тепловіддачі  $\alpha_3^6$ , Вт/м<sup>2</sup>К від зовнішньої поверхні резервуару до навколишнього середовища для вертикальної поверхні визначалось за формулою:

$$\alpha_3^6 = 5,8 + 11,6 \cdot \sqrt{\omega}, \text{ Вт/м}^2\text{К} \quad (12)$$

де  $\omega$  – середньомісячна швидкість вітру, м/с;

Теплонадходження від сонячного випромінювання через горизонтальну поверхню біореактора визначається за формулою (2).

Умовна середньодобова температура зовнішнього повітря  $t_6^{ym}$ , °С визначається за формулою

$$t_a^{ym} = t_n' + \frac{\rho \cdot I_{cp}^z}{\alpha_3}, \text{ } ^\circ\text{C} \quad (13)$$

$I_{cp}^z$  – середньомісячний тепловий потік сумарного прямого та розсіяного сонячного випромінювання на горизонтальну поверхню, Вт/м<sup>2</sup>;

Амплітуда коливання температури зовнішнього повітря  $A_n^{ym}$ , °С з врахуванням сонячного випромінювання, визначається за формулою :

$$A_n^{ym} = \frac{\rho \cdot (I_{max}^z - I_{cp}^z)}{\alpha_3^z} + A_{t3}, \text{ } ^\circ\text{C} \quad (14)$$

$I_{max}^z$  – максимальний тепловий потік сумарного прямого та розсіяного сонячного випромінювання на горизонтальну поверхню, Вт/м<sup>2</sup>, прийнятий згідно з [2];  $I_{cp}^z$  – середньомісячний тепловий потік сумарного прямого та розсіяного сонячного випромінювання на вертикальну поверхню, Вт/м<sup>2</sup>;

Коефіцієнт тепловіддачі  $\alpha_3^z$ , Вт/м<sup>2</sup>К від зовнішньої поверхні резервуару до навколишнього середовища для горизонтальної поверхні визначається за формулою:

$$\alpha_3^z = 8,7 + 2,6 \cdot \sqrt{\omega}, \text{ Вт/м}^2\text{К.} \quad (15)$$

Теплий період року (ТПР) – період року, який характеризується середньодобовою температурою зовнішнього повітря вище плюс 10°С [3].

Середньодобова температура зовнішнього повітря приймається за даними метеорологічної служби, для Львова середня температура повітря вище 10°С характерна для місяців з травня по вересень.

Було прийнято, що ТПР триває п'ять місяців.

Результати розрахунків в ТПР наведені в табл. 1.

Таблиця 1

**Теплонадходження від сонячного випромінювання**

	січень	лютий	березень	квітень	травень	червень	липень	серпень	вересень	жовтень	листопад	грудень
теплонадходження в ТПР												
Qс,кВт	-	-	-	1252,9	1820,5	1990,7	2052,1	1984,7	1380,0	-	-	-

Результати досліджень наведені у графічному вигляді на рис. 2.

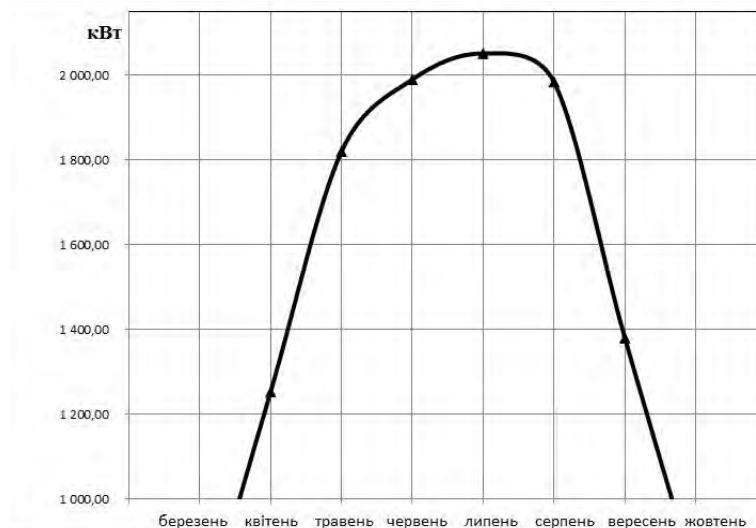


Рис. 2. Надходження теплоти від сонячного випромінювання в побутовий біореактор протягом ТПР

З графіка видно, що пік теплонадходження досягається в липні, найменша кількість сонячного тепла, що потрапляє в біореактор, в ТПР спостерігається в вересні. Проводимо межу на теплонадходженні 300 кВт/місяць, тобто нижче від цієї межі використовувати енергію сонця буде неефективно.

На рис. 2 можна зауважити, що при отриманій межі діапазон ТПР дещо збільшився, практично до початку квітня, це характеризується більшою густиною теплового потоку на початку теплого періоду року, ніж в кінці.

Використовуючи залежності, наведені в [6], здійснено розрахунок тепловтрат побутовим біореактором в ТПР без врахування сонячного випромінювання. Результати розрахунку наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Тепловтрати біореактора в ТПР

	січень	лютий	березень	квітень	травень	червень	липень	серпень	вересень	жовтень	листопад	грудень
тепловтрати												
Q <sub>в</sub> ,кВт				247,7	199,2	173,5	163,0	167,5	201,9	245,0		

Результати досліджень наведено на рис. 3.

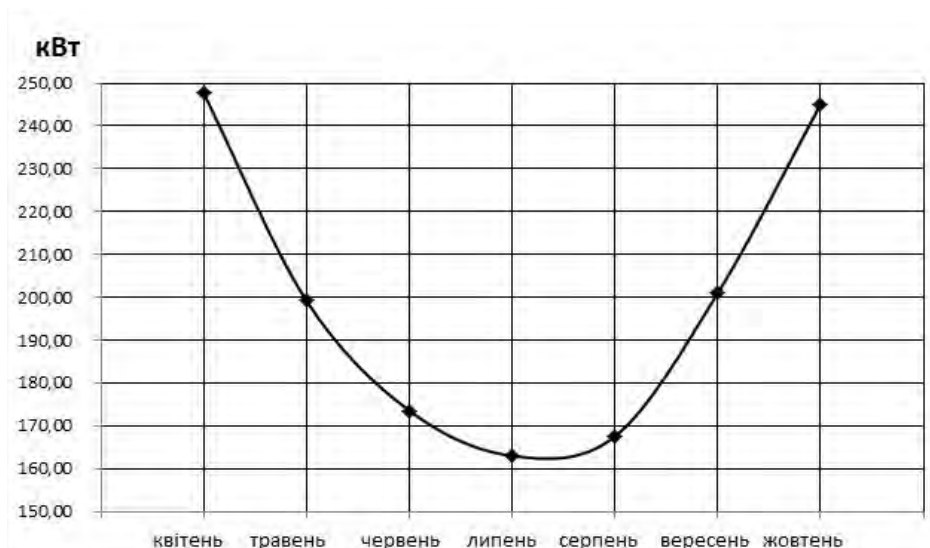


Рис. 3. Кількості теплоти для підігріву біореактора в ТПР

Здійснено розрахунок необхідної кількості енергоресурсів, а саме біогазу, для покриття теплового навантаження біореактора побутової біогазової установки .

$$B = \frac{Q_v}{Q_n^p}, \text{ м}^3/\text{рік} \quad (16)$$

де  $Q_n^p = 23 \text{ МДж/м}^3$  – питома теплоємність біогазу [1].

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

– 1-й варіант біореактор теплоізолюваний, задіяна тільки система підігріву;

$$Q_v = Q_{c.o.} \quad (17)$$

– 2-й варіант підігрів біореактора виконувався за допомогою сонячного випромінювання;

$$Q_v = Q_c. \quad (18)$$

Запропонована схема теплопостачання дає економію в розмірі приблизно 181м<sup>3</sup> біогазу за теплий період року.

### Висновки

Складено тепловий баланс побутового біореактора в теплий період року. Результати розрахунків тепловтрат та теплонадходжень наведені у графічному вигляді. Запропонована конструкція біореактора дозволяє максимально використовувати сонячне випромінювання протягом доби. Визначений економічний ефект від запропонованої схеми теплопостачання.

1. *Биогазовые установки. Практическое пособие / Барбара Едер, Хайнц Шульц . – 1996 р. 2. СНиП 23-01-99 Строительная климатология. 3. <http://zakon.nau.ua/doc/?uid=1078.20553.0>. 4. Биогаз: теория и практика / В. Баадер, Е. Доне, М. Бренндерфер. – М.: Колос, 1982. 5. Биомаса как источник энергии. Ред. С.Соуфер, О.Заборски, пер. с англ. – М.: Мир, 1985. 6. Фурдас Ю.В., Желих В.М., Оцінка теплового стану побутової біогазової установки // Науковий вісник НЛТУ України : “Збірник науково-технічних праць”. – Львів: РВВ НЛТУ України . – 2012. – Вип.22.4.*

УДК 662.997

**В.М. Желих, А.В. Фечан\*, Б.І. Пізнак**  
Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра теплогазопостачання та вентиляції,  
\*кафедра електронних приладів

## ЗАСТОСУВАННЯ ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ У ВИГОТОВЛЕННІ СОНЯЧНИХ КОЛЕКТОРІВ

© Желих В.М., Фечан А.В., Пізнак Б.І., 2013

**Подано дослідження оптичних характеристик запропонованого полімерного сонячного колектора на основі тришарової стільникової полікарбонатної плити.**

**Ключові слова:** сонячний колектор, світлопрозоре захищення, коефіцієнт світлопропускання, стільниковий полікарбонат.

**The studies of the optical characteristics of proposed polymer solar collector based on the sandwich honeycomb polycarbonate plates are given.**

**Key words:** solar collector, translucent cover, light transmission coefficient, cellular polycarbonate.

### Актуальність роботи

Приріст потреби в енергії в останні десятиліття значно випереджає приріст її виробництва. Сьогодні близько 90% енергії виробляється шляхом спалювання органічних копалин – вугілля, нафти та газу, запаси яких не відновлюються. Крім того, для їх видобування використовуються щораз важкодоступніші родовища, що поступово підвищує їхню вартість. Це змушує звернути увагу на використання відновлюваних джерел енергії. Ще одним і не менш важливим аргументом на користь модернізації структури вітчизняної енергетики є невідпинна інтеграція України до Європи, що передбачає відмову від використання атомної енергії та широкий розвиток альтернативних джерел енергії. Одним з найпоширеніших і найдоступніших альтернативних енергоресурсів в Україні є сонячна енергія, найдоцільніший метод її використання – пряме перетворення сонячного випромінювання в теплову енергію.