

ВИКОРИСТАННЯ ГЕЛІОУСТАНОВОК ДЛЯ ТЕРМОСТАБІЛІЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА БІОГАЗУ

Г. С. Ратушняк, І. А. Кощев

Розглянуто альтернативні джерела енергії для теплозабезпечення процесу ферментації в біореакторі. Запропоновано енергоощадну конструктивно-технологічну схему біогазової установки з сонячною батареєю та методику розрахунку системи виробництва біогазу з використанням геліоколекторів. Розглянуто тепловтрати при різних теплових режимах бродіння, враховуючи середню місячну температуру регіону та надходження теплової енергії від сонячної радіації на поверхню геліоколектора, а також проведено порівняння способів розміщення геліоколекторів. Запропоновано використовувати сонячні батареї для підвищення енергоефективності термостабілізації процесу ферментації в біогазовій установці.

Ключові слова: біогаз, термостабілізація, геліоколектор, альтернативна енергія.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕЛИОУСТАНОВОК ДЛЯ ТЕРМОСТАБИЛИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА БИОГАЗА

Г. С. Ратушняк, І. А. Кощев

Рассмотрены альтернативные источники энергии для теплообеспечения процесса ферментации в биореакторе. Предложено энергосберегающую конструктивно-технологическую схему биогазовой установки с солнечной батареей. Предложена методика расчета системы производства биогаза с использованием гелиоколлекторов. Рассмотрены тепловые потери при различных тепловых режимах брожения, учитывая среднюю месячную температуру региона. Рассмотрены поступления тепловой энергии от солнечной радиации на поверхность гелиоколлектора и проведено сравнение способов размещения гелиоколлекторов. Предложено использовать солнечные батареи для повышения энергоэффективности термостабилизации процесса ферментации в биогазовой установке.

Ключевые слова: биогаз, термостабилизация, гелиоустановка, альтернативная энергия.

USING OF HELIOSYSTEMS FOR THERMAL STABILIZATION OF BIOGAS PRODUCTION PROCESS

G. Ratushnyak, I. Koshcheiev

Alternative sources of energy for heat providing the fermentation process in the bioreactor were considered. An energy-efficient constructively-technological scheme of biogas plant with solar panels was offered. The method of calculation of biogas product system with the using of heliocollectors was offered. The loss of heat at different thermal regimes of fermentation, whereas the average monthly temperature in region was considered. Revenues of thermal energy from solar radiation at the surface of heliocollector was considered and comparison of methods of heliocollectors constrain was conduct. It is proposed to use solar panels to increase energy efficiency of thermal stabilization process of fermentation in biogas plant.

Keywords: biogas, thermostabilization, heliocollector, alternative energy.

Вступ

Інтенсифікація анаеробного бродіння в біореакторі потребує певних затрат додаткової енергії, що може призводити до зниження рентабельності біоконверсії. Основною задачею конструктивно-технологічних рішень біогазової установки є максимальна продуктивність виробництва біогазу з мінімальними затратами енергоносіїв на інтенсифікацію та термостабілізацію ферментації біомаси. Підвищення енергоефективності біореактора можна досягти шляхом використання альтернативних джерел енергії [1, 2, 3].

Постановка проблеми

Постійне подорожчання традиційних джерел енергії та проблеми захисту довкілля спонукають до використання органічних відходів для отримання біогазу, який, як правило, містить 50-70% метану в своєму складі. Застосування біогазових установок метанового бродіння органічного субстрату можливе не тільки в промисловості, але й у вигляді прибудинкових малогабаритних установок, робота яких може бути забезпечена органічними відходами домашнього господарства [1].

Для забезпечення енергоефективності термостабілізації процесу ферментації в біореакторі необхідно забезпечити вирівнювання полів температур по об'єму установки та дотримання температурних режимів [1, 2, 3]. Досягнення термостабілізації можливе при автоматизованому контролі параметрів температурних режимів, активному перемішуванні та рівномірному прогріванні субстрату. Прогрівання субстрату потребує певних затрат додаткової енергії, що може привести до зниження рентабельності біоконверсії [4].

В Україні існують достатньо сприятливі умови для використання сонячної енергії. Середньорічна кількість сумарної сонячної радіації, яка потрапляє на 1 м^2 поверхні знаходиться в межах від 1070–1400 кВт·год/ м^2 в залежності від регіону. Основним стримуючим фактором для розвитку сонячної енергетики є висока вартість енергії, яка отримується з використанням сонячних модулів. Проте в останні роки спостерігається оптимістична тенденція щодо зниження собівартості виробництва енергії згенерованої сонячними електростанціями. Так, якщо вартість виготовлення сонячного елемента потужністю 1Вт у середині 90-х років складала близько 15 доларів, то зараз вона є меншою за 1 долар США.

Максимально можливий технічно-досяжний енергетичний потенціал сонячної енергії в Україні становить 430 млн. т умовного палива в рік. Даний обсяг еквівалентний 371 млрд м^3 природного газу. Отже, існують достатньо потужні можливості для ефективного використання геліоустановок на території України для отримання електричної та теплової енергії.

На 2013 рік в Україні побудовано понад 50 сонячних електростанцій. Проте, вітчизняна сонячна енергетика за своїми показниками значно поступається країнам-лідерам з розвитку альтернативної енергетики, зокрема Німеччині.

В Україні практично сформована нормативна база щодо регулювання розвитку сонячної енергетики, зокрема, стимулювання власного виробництва комплектуючих для даної галузі. З 1 січня 2014 року, для отримання зеленого тарифу обладнання сонячних електростанцій повинно містити не менше 50 % сировини українського походження.

Результати досліджень

Запропоновано енергоощадну конструктивно-технологічну схему біогазової установки з сонячною батареєю, отримана електрична енергія якої використовується для термостабілізації анаеробного бродіння субстрату (рис. 1).

У біогазовій установці з сонячною батареєю субстрат біомаси подається до резервуара 1, який зверху накритий утеплювачем 2. У верхній частині резервуара 1 вмонтовано бункер завантаження 5 з першою шиберною засувкою 6, передбаченою для завантаження нової порції біомаси, та захисною газорозподільною решіткою 10. Також трубу споживача біогазу 7 із краном 8 та компресором 9 для видалення біогазу. Резервуар 1 обмотано електричним нагрівальним кабелем 3 із терморегулятором 4, який здійснює підігрівання біомаси всередині резервуара 1. Для забезпечення автоматичного управління температурним режимом субстрату біомаси передбачено терморегулятор 4, який з'єднаний з блоком управління 21. Сонячна батарея 12 з'єднана електричним кабелем 15 з контролером акумуляторної батареї 11, акумуляторною батареєю 13 та інвертором електричного струму 14, який забезпечує електричною енергією компресор 9, фекальний насос 16, блок управління 21 та терморегулятор 4. В нижній частині резервуара 1 знаходяться гідравлічний перемішувач 20 та трубопровід відпрацьованого субстрату 19 з другою шиберною засувкою 18 для видалення відпрацьованої біомаси. Фекальний насос 16 здійснює переміщення біомаси трубопроводом циркуляції субстрату 17 до гідравлічного перемішувача 20.

Для визначення ефективності застосування енергії сонця для підтримання температурного режиму бродіння в біореакторі було проведено розрахунки тепловтрат згідно відомої методики. Затрати енергії на інтенсифікацію технологічного процесу анаеробного бродіння субстрату відповідно до конструктивно-технологічної схеми [5]:

$$E_{\text{П}} = (E_{\text{П}} + E_{\text{ТС}} + E_{\text{ТВ}}) \rightarrow \min , \quad (1)$$

де $E_{\text{П}}$ – затрати енергії на перемішування субстрату, $\frac{\text{кВт}\cdot\text{год.}}{\text{рік}}$;

$E_{\text{ТС}}$ – затрати енергії на підігрівання біомаси, $\frac{\text{кВт}\cdot\text{год.}}{\text{рік}}$;

$E_{\text{ТВ}}$ – затрати енергії на компенсацію тепловтрат із біогазової установки в зовнішнє середовище, $\frac{\text{кВт}\cdot\text{год.}}{\text{рік}}$.

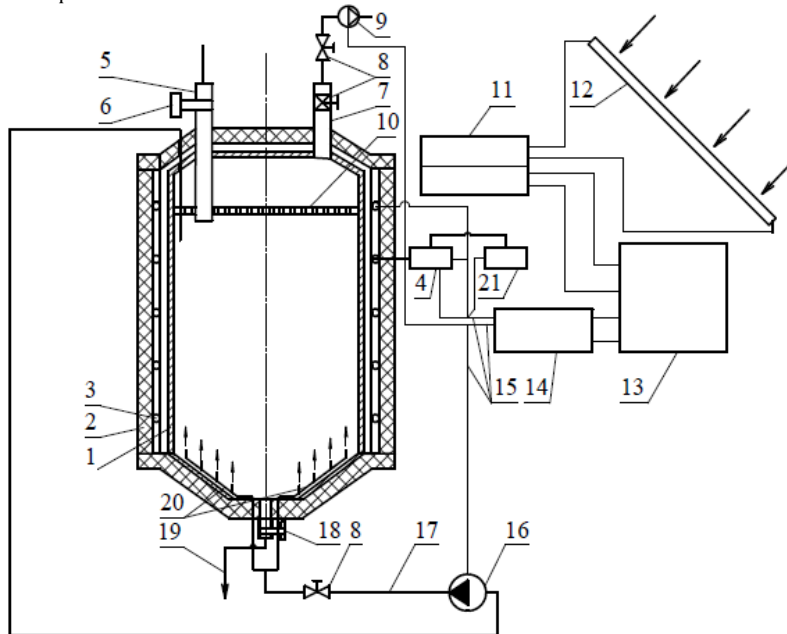


Рисунок 1 – Біогазова установка з сонячною батареєю

Втрати на термостабілізацію технологічного процесу шляхом підігрівання біомаси з врахуванням періодичності її завантаження в резервуар 1 біогазової установки [5]:

$$E_{\text{ТС}} = c_{\text{Х}} \cdot m \cdot \Delta T_{\text{Х}} \cdot \frac{n_{\text{Х}}/n_{\text{Ц}}}{3600} + c_{\text{Т}} \cdot m \cdot \Delta T_{\text{Т}} \cdot \frac{n_{\text{Т}}/n_{\text{Ц}}}{3600} , \quad (2)$$

де $c_{\text{Х}}, c_{\text{Т}}$ – теплоємність біосуміші, відповідно для холодного та теплого періоду, $\text{кДж}/\text{м}^3$;

m – маса однієї порції завантаження в біогазову установку, кг ;

$\Delta T_{\text{Х}}, \Delta T_{\text{Т}}$ – різниця температур відповідно в біогазовій установці та у навколишньому середовищі за холодний та теплий період року, $^{\circ}\text{C}$;

$n_{\text{Ц}}$ – термін повторюваності завантаження біосуміші, дні;

$n_{\text{Х}}, n_{\text{Т}}$ – кількість днів холодного та теплого періодів року відповідно, дні.

Втрати енергії конструкцією біогазової установки [5]:

$$E_{\text{ТВ}} = E_{\text{бу}} + E_{\text{бГ}} + E_{\text{бМ}} + E_{\text{Т}} , \quad (3)$$

де $E_{\text{бу}}, E_{\text{Т}}, E_{\text{бГ}}, E_{\text{бМ}}$ – тепловтрати поверхнею біогазової установки, поверхнею трубопроводів, із виходом біогазу та з відпрацьованою біомасою відповідно, $\frac{\text{кВт}\cdot\text{год.}}{\text{рік}}$.

Річні тепловтрати через поверхню резервуара 1 біогазової установки, з відхідним біогазом, трубопроводами по яким циркулює теплоносій [5]:

$$E_{\text{бу}} = k \cdot F_1 \cdot (\Delta T_{\text{Х}} \cdot n_{\text{Х}} + \Delta T_{\text{Т}} \cdot n_{\text{Т}}) , \quad (4)$$

$$E_{\text{бГ}} = c_{\text{Х}} \cdot \rho \cdot V_{\text{Х}} \cdot \Delta T_{\text{Х}} \cdot \frac{n_{\text{Х}}/n_{\text{Ц}}}{3600} + c_{\text{Т}} \cdot \rho \cdot V_{\text{Т}} \cdot \Delta T_{\text{Т}} \cdot \frac{n_{\text{Т}}/n_{\text{Ц}}}{3600} , \quad (5)$$

$$E_{\text{Т}} = q_{\text{Х}} \cdot l \cdot n_{\text{Х}} + q_{\text{Т}} \cdot l \cdot n_{\text{Т}} , \quad (6)$$

де k – коефіцієнт теплопередачі, кВт/м²·К;
 F_1 – площа зовнішньої поверхні біогазової установки, м²;
 c_x, c_T – теплоємність біогазу, відповідно для холодного та теплого періоду, кДж/м³;
 ρ – густина біогазу, кг/м³;
 V_x, V_T – об’єм біогазу, що виділяється в результаті бродіння біомаси, відповідно, холодного та теплого періоду року, м³.
 q_x, q_T – тепловий потік через трубу для холодного та теплого періоду року, Вт/м;
 l – сумарна довжина трубопроводів, м.

Для визначення тепловтрат біогазової установки по місяцям при розрахунку обрано такі вихідні дані [6]:

- біогазова установка постійної дії, об’ємом 100 м³, висотою 4 м, діаметром 5,65 м, площа бічної поверхні 121,1 м², з ізолюваною поверхнею мінеральною ватою шаром 100 мм, при цьому термічний опір стінки складає 2,38 м²·К/Вт;
- біомаса займає 70 % всього об’єму біогазової установки;
- постачання нової порції біосуміші кожні 5 діб масою 25 % від загальної маси суміші;
- розрахункові температури нової порції біомаси в теплий та холодний період року відповідає температурі навколишнього середовища, але не менше 0 °С;
- довжина трубопроводів 90 м.
- плоский сонячний колектор з площею поверхні 2,09 м².

Отримані значення в результаті розрахунку за формулами 1-6 наведені в таблиці 1 [7].

Результати моделювання тепловтрат в БГУ наведено на графіку залежності $\Delta Q=f(T)$ та $\Delta t=f(T)$ (рис. 2).

Таблиця 1 – Тепловтрати біогазової установкою

Місяць	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Річна
Температура	-5,8	-4,3	0,2	8	14,1	17,1	18,3	17,7	13,4	7,6	1,9	-2,5	7,1
К-сть днів	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365
Тепловтрати, кВт													
Термофільний режим, 50°С	8638	7099	7744	6070	5362	4755	4734	4824	5290	6332	7249	7824	75756
Мезофільний режим, 32°С	5957	4677	5063	3469	2673	2153	2046	2136	2688	3644	4655	5143	43970
Кріофільний режим, 20°С	4169	3063	3275	1734	881	419	254	344	954	1852	2925	3355	22780

Аналізуючи отримані дані для місяця з найнижчою середньою місячною температурою робимо висновок, що необхідна максимальна кількість енергії в місяць для термостабілізації ферментації в біореакторі складає 8638 кВт/міс.

За існуючою методикою розрахунку надходжень сонячної радіації [8], визначено надходження теплоти на вертикальну та похилу поверхню, орієнтація у південно-західному напрямку, кут нахилу 50°.

Теплонадходження від сонячної радіації на похилу поверхню [8]:

$$q_{Pr} = (q_p^B \cdot K_{інсв} + q_p^B \cdot K_{обл}) \cdot K_{отн} \cdot \tau_2, \quad (7)$$

$$q_{Pr} = (q_p^B \cdot K_{інсв} \cdot \frac{ctg \beta}{ctg(\beta \mp \beta)} + q_p^B \cdot K_{обл}) \cdot K_{отн} \cdot \tau_2, \quad (8)$$

де q_p, q_p^B - кількість теплоти відповідно прямої та розсіяної сонячної радіації, що надходить на поверхню кожну годину розрахункової доби [8];

$K_{обл}$ - коефіцієнт випромінювання;

$K_{отн}$ – коефіцієнт відносного проникнення сонячної радіації через поверхню скління [табл. 2.4, 4];

τ_2 – коефіцієнт, який враховує затемнення скління переплетами [8].

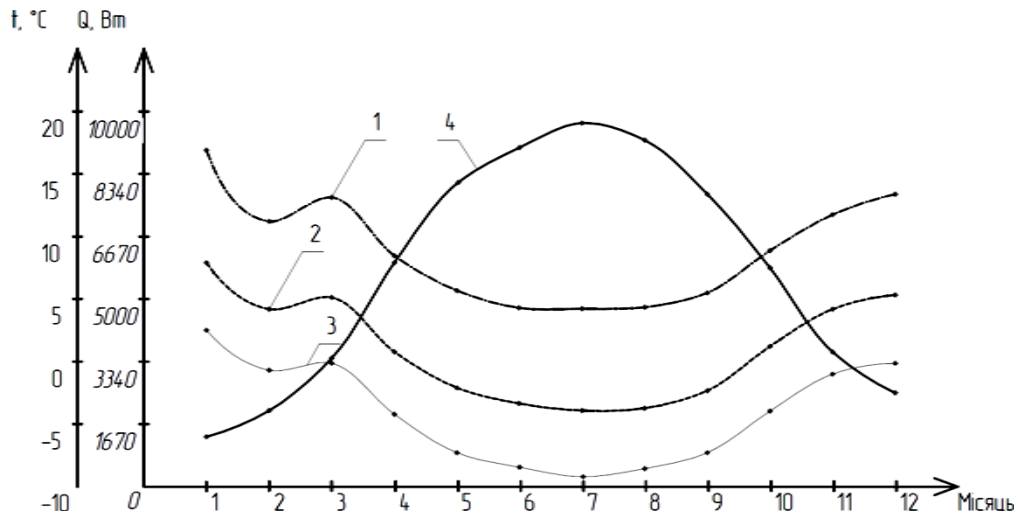


Рисунок 2 – Графік залежності тепловтрат та температур по місяцям $\Delta Q=f(T)$, $\Delta t=f(T)$.
 1 – термофільний режим, 50 °С; 2 – мезофільний режим, 32 °С; 3 –криофільний режим 20 °С;
 4 – середньомісячні температури, °С

Результати розрахунку надходження теплової енергії на поверхню геліоколекторів представлено у таблиці 2 та 3, для географічної широти м. Вінниці.

Таблиця 2 – Надходження тепла від сонячної радіації на горизонтальну поверхню протягом року у м. Вінниця

Теплова енергія, (кВт/м ²)/міс											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
32,1	56,7	88,2	117,6	155,7	159	154,8	140,4	96,3	59,1	33	27

Таблиця 3 – Надходження тепла від сонячної радіації на похилу поверхню протягом року у м. Вінниця

Теплова енергія, (кВт/м ²)/міс											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
112,6	126,7	152,7	166,7	170,7	169,5	169,4	170,3	166,6	151,1	136,7	126,4

Враховуючи, що найхолоднішим місяцем року є січень, визначимо необхідну площу сонячних батарей для термостабілізації процесу ферментації при термофільному режимі для похилої F_{Π} та горизонтальної поверхні $F_{Г}$:

$$F_{\Pi} = \frac{Q_T}{Q_{cp}} \quad (9)$$

$$F_{Г} = \frac{Q_T}{Q_{cp}} \quad (10)$$

$$F_{\Pi} = \frac{8638}{112,554} = 76,75 \text{ м}^2,$$

$$F_{Г} = \frac{8638}{32,1} = 269,1 \text{ м}^2;$$

де Q_T – максимальні місячні тепловтрати при термофільному режимі, Вт;
 Q_{cp} – найменше значення теплової енергії від сонячної енергії, що надходить на похилу та горизонтальну поверхні протягом місяця, (кВт/м²)/міс.

Враховуючи габарити сонячних колекторів (2,09 м²), необхідна кількість сонячних батарей складе не менш як 37 одиниць при найнижчій середньомісячній температурі Вінницької області для похилої поверхні та 129 одиниць для горизонтальної поверхні.

Висновки

- Запропоновано енергоощадну конструкцію біогазової установки з використанням альтернативного джерела енергії для тепло забезпечення процесу ферментації в біореакторі.
- Наведено методики розрахунку системи виробництва біогазу з використанням геліоколекторів.
- Визначено та порівняно значення надходження тепла від сонячної радіації на горизонтальну та похилу поверхню сонячних батарей з нахилом 50° для географічної широти м. Вінниці.
- Запропоновано використання не менш як 37 сонячних батарей для забезпечення термостабілізації процесу ферментації біогазової установки.

Використана 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. Желих В. М. Підтримання теплового режиму біореактора під час застосування сонячної енергії/ В. М. Желих, Ю. В. Фурдас // Вісник НУ «Львівська політехніка». «Теорія і практика будівництва». – 2012. – № 742 – С. 83-86.
4. Ратушняк Г. С. Вплив температурних режимів ферментації та седиментаційних параметрів субстрату на продуктивність біогазової установки / Г. С. Ратушняк, К. В. Анохіна, І. А. Кощев // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2013(14). – № 1. – С. 61-64.
5. Ратушняк Г. С. Інтенсифікація біоконверсії шляхом використання відновлювальних джерел енергії / Г. С. Ратушняк, І. А. Кощев // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2011: № 2. – С. 157-160.
6. Ратушняк Г. С. Енергоефективність біоконверсії при термостабілізації анаеробного бродіння субстрату в біогазовій установці з тепловим насосом / Г. С. Ратушняк, І. А. Кощев // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2012. – № 2. – С. 145-151.
7. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 Будівельна кліматологія/ офіційне видання, Мінрегіонбуд України – 2011 р. – 123 с.
8. В. Н. Богословский. Справочник проектировщика. Под ред. Н. Н. Павлова. Книга 1 ч. 3. Изд. 4-е, перераб. и доп. -М., Стройиздат, 1992. 320 с.

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

Кощев Іван Анатолійович – аспірант Вінницького національного технічного університету.

Ратушняк Георгій Сергеевич – к.т.н., професор, заведуючий кафедрою теплогазоснабження Вінницького національного технічного університету.

Кощев Іван Анатольевич – аспірант Вінницького національного технічного університету.

Ratushnaik G. – PhD, associate professor, head department of Gas Supply, Vinnytsia National Technical University.

Koscheyev I. – post-graduate student Vinnytsia National Technical University.