

**МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОВИХ ПРОЦЕСІВ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОГО БІОРЕАКТОРА  
З СОНЯЧНИМ КОЛЕКТОРОМ**

Г. С. Ратушняк, І. А. Кощєєв

*Розглянуто енергоощадну конструктивно-технологічну схему біореактора з сонячним колектором. Запропоновано використати теплообмінник для рекуперації теплової енергії з біогазу, що дає змогу підвищити енергоефективність процесу виробництва біогазу. Розглянуто граф теплових ємностей для розглянутої конструкції біореактора з сонячним колектором. Представлено схему теплових потоків для розглянутої системи. Визначені складові теплового балансу для теплового розрахунку енергоефективного біореактора з сонячним колектором, а саме тепла енергія біомаси, сонячного колектора, теплообмінника, відпрацьованого субстрату та витрачена в зовнішнє середовище.*

**Ключові слова:** біогаз, термостабілізація, сонячний колектор, альтернативна енергія.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО  
БИОРЕАКТОРА С СОЛНЕЧНЫМ КОЛЛЕКТОРОМ**

Г. С. Ратушняк, І. А. Кощєєв

*Рассмотрено энергосберегающую конструктивно-технологическую схему биогазового реактора с солнечным коллектором. Предложено использовать теплообменник для рекуперации тепловой энергии из биогаза, что дает возможность повысить энергоэффективность процесса производства биогаза. Рассмотрен граф тепловых емкостей для рассмотренной конструкции биореактора с солнечным коллектором. Представлена схема тепловых потоков для рассмотренной системы. Определены составляющие теплового баланса для теплового расчета энергоэффективного биореактора с солнечным коллектором, а именно тепловая энергия биомассы, солнечного коллектора, теплообменника, отработанного субстрата и потерянная в внешнюю среду.*

**Ключевые слова:** биогаз, термостабилизация, солнечный коллектор, альтернативная энергия.

**MODELLING OF THERMAL PROCESSES FOR ENERGY EFFICIENCY BIOREACTOR  
WITH SOLAR COLLECTOR**

Г. С. Ратушняк, І. А. Кощєєв

*The energy efficient constructively-technological scheme of bioreactor with solar collector was considered. A heat exchanger is used for heat recovery from biogas, which allows to increase the energy efficiency of biogas process. A graph of heat capacities for the considered construction of bioreactor with solar collector. The scheme of heat flow to the system which was considered was offered. The composition of the heat balance for thermal calculation energy efficient bioreactor with solar collectors, namely thermal energy of biomass, solar collector, heat exchanger, substrate waste and spent into the environment.*

**Keywords:** biogas, thermostabilization, solar collector, alternative energy.

**Вступ**

Інтенсифікація анаеробного бродіння потребує певних затрат додаткової енергії, що може привести до зниження рентабельності біоконверсії [1, 2]. Конструктивно-технологічне рішення біогазової установки повинно забезпечувати максимальну продуктивність виробництва біогазу з мінімальними затратами енергоносіїв на термостабілізацію ферментації біомаси. Найбільша енергоефективність мезофільного та термофільного режимів ферментації може бути забезпечена шляхом зменшення тепловтрат із біореактора та використанням відновлювальних енергоносіїв для підтримання відповідного температурного режиму бродіння субстрату [1, 2, 3].

Метою роботи є теоретичне обґрунтування енергоефективності конструкції біореактора з сонячним колектором, створення теплового балансу та складання схеми теплових потоків для забезпечення зменшення затрати енергоносіїв при виборі раціонального температурного режиму процесу ферментації.

### Результати досліджень

На рис. 1 наведено енергоощадну конструктивно-технологічну схему біореактора з сонячним колектором, отримана енергія якого використовується для термостабілізації анаеробного бродіння субстрату [3].

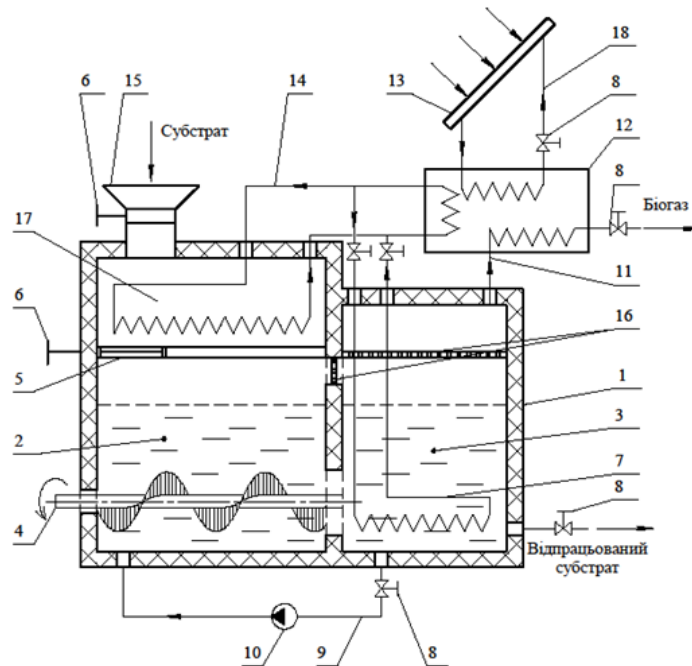


Рисунок 1 – Конструктивно-технологічна схема біогазової установки з сонячним колектором

Біореактор з сонячним колектором містить резервуар 1, який розділений на камеру бродіння 2 та камеру доброжування 3. Всередині камери бродіння 2 встановлено горизонтальний шнековий перемішувач 4. У верхній частині резервуару 1 над горизонтальною перегородкою 5, яка містить шиберну засувку 6, розміщено контур догрівання нової порції біомаси 14, який розміщений у камері підігрівання 17 та бункер завантаження біомаси 15 із шиберною засувкою 6. У нижній частині камери доброжування 3 розташовано другий контур підігрівання біомаси 7. Нижня частина камери бродіння 2 та камера доброжування 3 резервуара 1 з'єднані циркуляційним контуром біомаси 9, який містить запірно-регульовальну арматуру 8 та циркуляційний насос 10. В верхній частині камери доброжування 3 розміщено перфоровані решітки для виходу біогазу 16. При цьому вихід біогазу забезпечений контуром вихідного біогазу 11. Теплообмінник 12 містить контур догрівання нової порції біомаси 14, другий контур підігрівання біомаси 7, теплообмінний контур 18 сонячного колектора 13, що заповнено холодоагентом R410a, який має забезпечувати перетворення енергії в холодне пору року та контур вихідного біогазу 11.

Біореактор з сонячним колектором працює наступним чином. Субстрат надходить до камери підігрівання 17 резервуару 1 через бункер завантаження біомаси 15 при відкритій шиберній засувці 6 горизонтальної перегородки 5. В камері підігрівання 17 здійснюється догрівання біомаси за допомогою контура догрівання нової порції біомаси 14. Після догрівання при відкритті шиберної засувки 6 біомаса переміщується до камери бродіння 2 резервуара 1, де здійснюється перемішування за допомогою горизонтального шнекового перемішувача 4 і переміщення біомаси до камери доброжування 3. В камері доброжування 3 відбувається підігрівання біомаси за допомогою другого контуру підігрівання біомаси 7 і виділення біогазу, який проходить крізь перфоровані решітки для виходу біогазу 16 і відбирається через контур вихідного біогазу 11. При цьому надлишки теплової енергії біогазу відбираються в теплообміннику 12. Для попередження утворення кірки на поверхні біомаси здійснюється перемішування за допомогою горизонтального шнекового перемішувача 4 та циркуляція біомаси циркуляційним контуром біомаси 9, який містить циркуляційний насос 10 та запірно-

регулювальну арматуру. Теплообмінник 12 здійснює функцію передачі теплової енергії контуру догрівання нової порції біомаси 14 та другому контуру підігрівання біомаси 7, яка отримується шляхом відбору надлишку теплової енергії з контура відхідного біогазу 11 та теплообмінного контура 18 сонячного колектора 13, що містить запірно-регулювальну арматуру 8. Сонячний колектор 17 надає теплову енергію для термостабілізації ферментації в біореакторі та забезпечує підвищення енергоефективності виробництва біогазу.

Підвищення енергоефективності біоконверсії потребує модернізації технологічного процесу бродіння біомаси у біореакторі. Цього можна досягти зменшивши затрати енергоносіїв, вибравши найбільш раціональний температурний режим ферментації. Оскільки для оцінки температурних режимів біореактора повинні бути враховані, повною мірою, теплові потоки, то необхідно скласти розрахункову схему теплообміну. При цьому, температурний режим необхідно підтримувати постійно і безперервно, адже технологічний процес утворення біогазу є безперервним. Біореактор можна представити як систему, між елементами якої відбувається теплообмін і взаємодія з джерелами тепла, такими як зовнішнє середовище, сировина, що завантажується та інші. Зобразити дану схему можна у вигляді графу [4]. Орієнтовний граф теплових ємностей біореактора з сонячним колектором зображено на рис. 2.

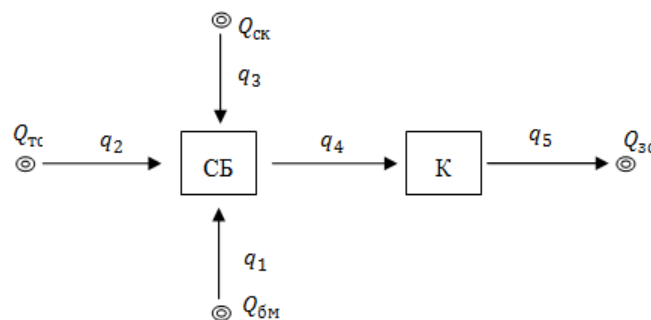


Рисунок 2 – Граф теплових ємностей енергоефективного біореактора з сонячним колектором  $Q_{бм}$   $q_1$  – від біомаси,  $Q_{ск}$   $q_3$  – від сонячного колектора,  $Q_{тс}$   $q_2$  – від теплообмінника,  $q_4$  – від субстрату до корпусу біореактора,  $Q_{зс}$   $q_5$  – до зовнішнього середовища

На рис. 2 виділено теплові ємності енергоефективного біореактора з сонячним колектором, тобто вузли графа (СБ) – субстрат біомаси, (К) – корпус біореактора. Джерелами тепла для біореактора є: ( $Q_{ск}$ ) – сонячний колектор, ( $Q_{тс}$ ) – теплообмінник, ( $Q_{бм}$ ) – біомаса, що завантажується, ( $Q_{зс}$ ) – зовнішнє середовище.

Схему теплових потоків біореактора можна представити у вигляді рисунку 3.

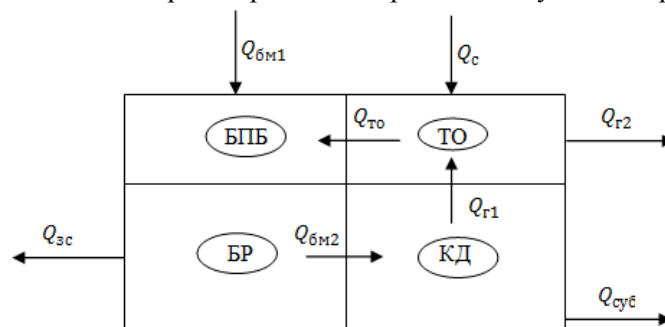


Рисунок 3 – Схема теплових потоків енергоефективного біореактора з сонячним колектором (БПБ) – блок підготовки біомаси, (БР) – біореактор, (КД) – камера доброжування, (ТО) – теплообмінник

Загальний баланс теплових потоків можна скласти в такому вигляді:

$$Q_{бм} + Q_{ск} + Q_{то} = Q_{зс} + Q_{суб} \quad (1)$$

де  $Q_{бм}$ ,  $Q_{ск}$ ,  $Q_{то}$ ,  $Q_{зс}$ ,  $Q_{суб}$  – теплова енергія відповідно біомаси, від сонячного колектора, від теплообмінника, витрачена у зовнішнє середовище та відпрацьованого субстрату, Вт.

Затрати енергії на термостабілізацію технологічного процесу анаеробного бродіння субстрату відповідно до конструктивно-технологічної схеми (рис. 1) будуть залежати від вибору температурного режиму ферментації, а саме кріофільного (20°C), мезофільного (32-33°C),

термофільного (52-54°C) [2].

Кількість теплової енергії  $Q_{\text{ввт}}, Q_{\text{гг}}, Q_{\text{тв}}, Q_{\text{суб}}$  визначається за формулою:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta t, \quad (2)$$

де  $m$  – маса речовини(біомаси, теплоносія), кг;

$c$  – теплоємність речовини, Вт/(кг·°C);

$\Delta t$  – різниця температур зовнішнього середовища та речовин, °C.

Кількість витраченої теплової енергії в навколишнє середовище визначається по формулі:

$$Q = k \cdot F \cdot \Delta t, \quad (3)$$

де  $k$  – коефіцієнт теплопередачі, кВт/м<sup>2</sup>К;

$F$  – площа поверхні біореактора та теплообмінника, м<sup>2</sup>.

### Висновки

- Запропоновано енергоощадну конструктивно-технологічну схему біореактора з сонячним колектором, теплообмінний контур якого заповнено холодоагентом R410a, що забезпечує термостабілізацію анаеробного бродіння субстрату як в теплу так і в холодну пору року. Введення сонячного колектора дозволяє збільшити енергоефективність виробництва біогазу.
- Розглянуто схему біореактора як системи, між елементами якої відбувається теплообмін і взаємодія між джерелами тепла та зображено у вигляді графу теплових ємностей.
- Запропонована фізична модель процесів теплообміну дозволяє в подальшому оцінити температурні режими біореактора, щоб повною мірою оптимізувати наявні теплові потоки.
- Визначені складові джерел енергії для теплового розрахунку енергоефективного біореактора з сонячним колектором.

### Використана література

1. Ратушняк Г. С. Інтенсифікація біоконверсії шляхом використання відновлювальних джерел енергії / Ратушняк Г. С., Кощев І. А. // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2011: №2. – С. 157–160.
2. Ратушняк Г. С. Енергозберігаючі відновлювальні джерела тепlopостачання / Г. С. Ратушняк, В. В. Джеджула, К. В. Анохіна – Вінниця: ВНТУ, 2010. – 170 с.
3. Пат. 90255 Україна, МПК С02F 11/04. Біогазова установка / Ратушняк Г. С., Лялюк О. Г., Кощев І. А., Поліщук М. В.; Державний департамент інтелектуальної власності. – № u201306623; Заявл. 28.05.2013; опубл. 26.05.2014, Бюл. №10. – 4 с..
4. Фурдас Ю. В. Підвищення енергоефективності малогабаритних біореакторів побутових біогазових систем. Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.23.03 / КНУБА. – Київ, 2014. – 20с.

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

**Кощев Іван Анатолійович** – аспірант кафедри теплогазопостачання Вінницького національного технічного університету.

**Ратушняк Георгій Сергеевич** – к.т.н., професор, заведуючий кафедрою теплогазоснабження Винницького національного технічного університету, академік Академії будівництва України.

**Кощев Іван Анатольевич** – аспірант кафедри теплогазоснабження Винницького національного технічного університету.

**Ratushnyak Georgiy** – Candidate of Engineering Sciences, Professor, Head of the department of heat and gas supply in Vinnytsia National Technical University, Academician in the Ukrainian Academy of building.

**Koshcheiev Ivan** – Postgraduate student of the department of heat and gas supply in Vinnytsia National Technical University.