

УДК 536.24: 628.477

**ІНТЕНСИФІКАЦІЯ БІОКОНВЕРСІЇ ШЛЯХОМ ВИКОРИСТАННЯ  
ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ**

Г. С. Рагушняк, І. А. Кошєєв

*Розглянуто енергоощадну конструктивно-технологічну схему біогазової установки з віброперемішувачем та альтернативними джерелами інтенсифікації анаеробного бродіння біомаси. Як альтернативні джерела енергії для термостабілізації використовуються геліоколектор та тепловий насос. Запропоновано методику визначення затрат енергоносіїв для розглянутої конструкції біогазового реактора. Визначено за результатами чисельного моделювання затрати енергії на забезпечення інтенсифікації та термостабілізації процесу біоконверсії.*

*Рассмотрено энергосберегающую конструктивно-технологическую схему биогазовой установки с виброперемешивателем и альтернативными источниками интенсификации анаэробного брожения биомассы. Как альтернативные источники энергии для термостабилизации используются гелиоколлектор и тепловой насос. Предложена методика определения затрат энергоносителей для рассматриваемой конструкции биогазового реактора. Определены по результатам численного моделирования затраты энергии на обеспечение интенсификации и термостабилизации процесса биоконверсии.*

*Energy-saving constructive-technological scheme of biogas set with vibromixer and renewable sources of intensification of anaerobic fermentation of biomass was reviewed. Heliocollector and heat pump are used as a renewable energy sources for thermostabilization. Method of definition of expenses of energy source for considered construction of biogas reactor was proposed. Determined by the results of numerical modeling of energy costs on providing intensification and thermostabilization of bioconversion process.*

**Вступ**

На сьогоднішній день постійно відбувається подорожчання традиційних джерел енергії, тому раціонально шукати альтернативні шляхи вирішення даної проблеми. Енергоефективність біоконверсії може бути забезпечена вдосконаленням конструктивно-технологічних параметрів біогазових установок [1, 3]. Інтенсифікації анаеробного процесу бродіння біомаси можна досягти за рахунок перемішування субстрату та термостабілізації ферментації при відповідному температурному режимі: криофільному, мезофільному чи термофільному [4, 5]. Одним із шляхів підвищення енергоефективності біоконверсії є також зменшення тепловтрат через стінки біореактора [6, 7]. В зв'язку з цим нагальною необхідністю є удосконалення конструктивно-технологічних параметрів біогазових установок з метою підвищення їх енергоефективності шляхом використання відновлювальних джерел енергії на покриття енергії, що втрачається на термостабілізацію анаеробного процесу бродіння.

**Результати досліджень**

На рис. 1 наведено енергоощадну конструктивно-технологічну схему біогазової установки з віброперемішувачем та альтернативними джерелами енергії для забезпечення інтенсифікації анаеробного бродіння органічної суміші шляхом термостабілізації [3]. Як альтернативні джерела енергії використовуються геліоколектор та тепловий насос.

Біогазова установка містить резервуар 1, який зверху закритий ковпаком 2 з шахтами завантаження біомаси 12 і заслінками 8, та поділений провальними колосниковими решітками 4 з можливістю зміни гідравлічного опору за допомогою регулятора 13 на три секції 9. В кожній з них знаходиться підігрівач біомаси 3. Ковпак 2 встановлений з можливістю руху по напрямних 10 і містить труби споживача 6, які сполучені з кожною секцією 9. Також кожна секція 9 резервуару 1 має оглядові вікна 11. Смінь 5 із заслінкою 7 для збору біодобрив знаходиться в нижній частині резервуару 1. Пластина-активатор 14 знаходиться в першій секції резервуару 1 та кінематично зв'язана зі штоком 17 підпружиненого гідродиліндра 18. Робоча камера гідродиліндра сполучена

із напірною магістраллю 19 гідронасоса 16, до якої приєднаний імпульсний клапан-пульсатор 15. Крім того установка містить мережу ізольованих трубопроводів циркуляції теплоносія, яка складається з контуру подачі тепла 27 та контуру відбору тепла 28. В контурах 27 та 28 знаходиться циркуляційний насос 22, запірно-регулювальна арматура 20, спускник 21 і повітроспускник 23. Бак-акумулятор 25 містить два теплообмінники, перший теплообмінник 24, розміщений у контурі відбору тепла 27 і містить підігрівач біомаси 3 та другий теплообмінник 26, що розміщений у контурі подачі тепла 28 містить в собі тепловий насос 31, геліоколектор 30 та термометр-манометр 29.

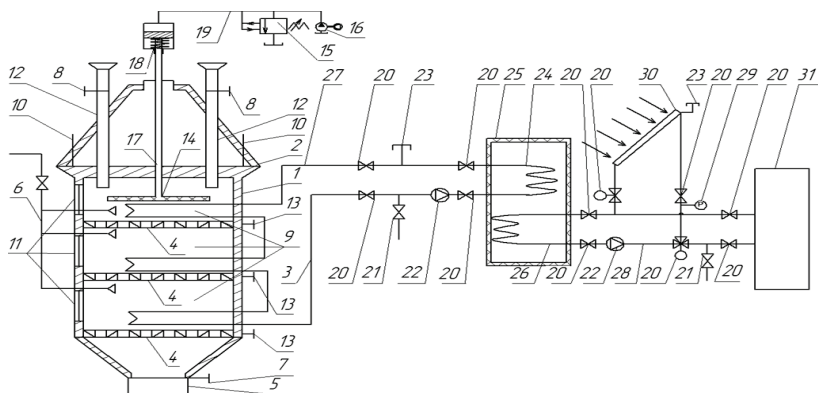


Рис. 1. Конструктивно-технологічна схема біогазової установки

Біогазова установка працює таким чином. При завантаженні біомаси в резервуар 1 через шахти завантаження біомаси 12 подачу регулюють заслінками 8. Біомаса опиняється в першій секції 9 резервуару 1, де вона нагрівається підігрівачем 3 і проходить першу стадію бродіння. Після нагрівання за рахунок зміни гідравлічного опору колосникових решіток 4 за допомогою регулятора 13 біомаса опиняється в другій секції 9, де проходить другу стадію бродіння. В першу секцію 9 завантажується нова порція біомаси. Отриманий біогаз відводиться трубами споживача 6. Третю стадію бродіння біомаса проходить в третій секції 9 резервуару 1. Після завершення бродіння в третій секції біомаса потрапляє в ємність збору біодобрив 5, завантаження якої регулюється заслінкою 7. Процеси бродіння візуально оцінюють за допомогою оглядових вікон 11. При необхідності відкрити резервуар 1 ковпак 2 рухається по напрямних 10 і знімається. Регуляція гідравлічного опору провальних колосникових решіток відбувається регулятором 13. Гідронасос 16 з імпульсним клапаном-пульсатором 15 вимушують здійснювати коливальні рухи шток 17 підпружиненого гідроциліндра 18, що в свою чергу приводить у рух пластину-активатор 14. Робоча камера підпружиненого гідроциліндра 18 гідравлічно сполучена із напірною магістраллю 19 гідронасоса 16. Імпульсні коливання суміші дозволяють більш активно перемішувати субстрат. Також, за рахунок омивання поверхні підігрівача 7 біомаси, інтенсифікується тепловіддача від стінки нагрівального елемента до середовища, причому прогрів буде рівномірним, за рахунок активного перемішування. Пульсація рідини сприяє біогазу більш легко прориватися крізь суміш та відбиратися через труби споживача 6. Підігрівач біомаси 3 виконує свої функції за рахунок тепла, що акумулюється у баці-акумуляторі 25 через теплообмінник відбору тепла 24. Він розміщений у контурі відбору тепла 28, в якому перенесення теплоносія здійснюється циркуляційним насосом 22. У контурі відбору тепла 28 циркуляційний насос 22 виконує функцію перенесення теплоносія від теплового насоса 31 чи геліоколектора 30 до теплообмінника подачі тепла 26, який віддає тепло в бак акумулятор 25. В денний час генерація тепла проходить у геліоколекторі 30 за рахунок сонця і акумулюється в бак акумулятор 25. Коли використання геліоколектора 30 стає невигідним, то процес генерації тепла продовжується в тепловому насосі 31, за рахунок зміни напрямку руху теплоносія за допомогою запірно-регулювальної арматури 20, переважно в нічний час. При заповненні системи використовують повітроспускник 23 для видалення повітря та спускник теплоносія 21 для видалення теплоносія. Термометр-манометр 29 необхідний для візуального контролю температури

та тиску теплоносія в первинному контурі.

Одним із шляхів підвищення енергоефективності біоконверсії є зменшення затрат енергоносіїв на забезпечення технологічних процесів, які визначаються за умови

$$E_{\text{тп}} = (E_{\text{п}} + E_{\text{тс}} + E_{\text{тт}}) \rightarrow \min, \quad (1)$$

де  $E_{\text{п}}$  – затрати енергії на інтенсифікацію анаеробного перемішуванням субстрату, Вт/м<sup>3</sup>;  
 $E_{\text{тс}}$  – затрати енергії на термостабілізацію технологічного процесу, Вт/м<sup>3</sup>;  
 $E_{\text{тт}}$  – затрати енергії на покриття тепловтрат із біогазової установки в зовнішнє середовище, Вт/м<sup>3</sup>.

Відповідно до запропонованої конструктивно-технологічної схеми енергоощадної біогазової установки (рис. 1) затрати енергії на термостабілізацію анаеробного бродіння біомаси та на покриття тепловтрат можуть бути покриті тепловою енергією, що отримується від альтернативних джерел, а саме геліоколектора 30 та теплового насоса 31, тобто

$$E_{\text{тп}} = E_{\text{Г}} + E_{\text{тн}}, \quad (2)$$

де  $E_{\text{Г}}$  та  $E_{\text{тн}}$  – кількість теплової енергії, яку можна отримати в бак-акумулятор 25 від геліоколектора 30 та теплового насоса 31, Вт/м<sup>3</sup>.

Річні тепловтрати через поверхню резервуара 1 біогазової установки становлять

$$E_{\text{тт}} = k \cdot F \cdot (\Delta T_{\text{х}} \cdot n_{\text{х}} + \Delta T_{\text{т}} \cdot n_{\text{т}}), \quad (3)$$

де  $k$  – коефіцієнт теплопередачі, Вт/м<sup>2</sup>К;  
 $F$  – площа зовнішньої поверхні резервуара 1, м<sup>2</sup>;  
 $\Delta T_{\text{х}}, \Delta T_{\text{т}}$  – відповідно різниця температур внутрішньої та зовнішньої за холодний та теплий період року, °С;

$n_{\text{х}}, n_{\text{т}}$  – кількість днів в році холодного та теплого періоду, дні.

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

$$E_{\text{тс}} = c \cdot m \cdot (\Delta T_{\text{х}} + \Delta T_{\text{т}})(n_{\text{х}} + n_{\text{т}})/n_{\text{ц}}, \quad (4)$$

де  $c$  – теплоємність біосуміші, кДж/м<sup>3</sup>;  
 $m$  – маса однієї порції завантаження в біогазову установку, кг;  
 $n_{\text{ц}}$  – термін повторюваності завантаження біосуміші, дні.

Затрати енергії на вібраційне перемішування пластиною-активатором 14 становлять

$$E_{\text{п}} = V \cdot q \cdot (n_{\text{х}} + n_{\text{т}}) \cdot n_{\text{п}}, \quad (5)$$

де  $n_{\text{п}}$  – термін вібраційного перемішування протягом доби, години;  
 $q$  – затрати енергії на перемішування субстрату, Вт/м<sup>3</sup>;  
 $V$  – об'єм біосуміші, м<sup>3</sup>.

Відповідно до запропонованої методики (формули 1-5) виконано чисельне моделювання затрат енергоносіїв на забезпечення технологічного процесу відповідно конструктивно-технологічної схеми біогазової установки (рис. 1) за таких умов. Біогазова установка об'ємом 100 м<sup>3</sup>, висотою 1,8 м., площа бічної поверхні 156,25 м<sup>2</sup> діаметром 8,22 м., з ізоляваною поверхнею мінеральною ватою шаром 100 мм. Заповнення об'єму установки на 70 %, постачання нової порції біосуміші кожні 5 діб масою 25 % від загальної маси суміші. При цьому термічний опір стінки складає 2,38 м<sup>2</sup> · К/Вт. Дана біогазова установка постійної дії, розрахунковий режим мезофільний. Розрахунок проводиться, враховуючи середню тривалість холодного періоду року 120 днів при розрахунковій зовнішній температурі -21°С, а теплою 245 днів при розрахунковій зовнішній температурі +11,9°С для м. Вінниці [2].

Результати чисельного моделювання затрат енергоносіїв в біогазовій установці наведено в табл. 1.

## Затрати енергоносіїв на забезпечення технологічних процесів біогазової установки

Параметри	Холодний період, кВт·год/рік	Теплий період року, кВт·год/рік	Річні, кВт·год/рік
Тепловтрати через поверхню резервуара, $E_{ТТ}$	10210,1	8145,2	18355,3
Втрати на термо-стабілізацію процесу, $E_{Тс}$	14009,1	18338,3	32347,4
Втрати енергії на вібраційне перемішування, $E_{п}$	504,0	1029,0	1533,0
Сумарні втрати	24723,2	27512,5	52235,7

Аналіз отриманих результатів (табл. 1) свідчить, що затрати енергії на інтенсифікацію біоконверсії для природно-кліматичних умов Вінницької області можуть досягати 500 кВт·год/рік на 1 м<sup>3</sup> установки. Ці затрати енергії можуть бути компенсовані за рахунок використання відновлювальної енергії, що отримана з геліоколектора та теплового насоса відповідно до запропонованої енергоощадної конструкції біореактора.

**Висновки**

- Запропоновано енергоощадну конструктивно-технологічну схему біогазової установки з віброперемішувачем та альтернативними джерелами інтенсифікації анаеробного бродіння біомаси. Як альтернативні джерела енергії для термостабілізації використовуються геліоколектор та тепловий насос.
- Розроблено методику визначення затрат енергоносіїв для розглянутої конструкції біогазового реактора. За результатами чисельного моделювання визначено затрати енергії на забезпечення інтенсифікації та термостабілізації процесу біоконверсії за природно-кліматичних умов Вінницької області.

**Використана література**

1. Ратушняк Г. С. Енергозберігаючі відновлювальні джерела теплопостачання / Г. С. Ратушняк, В. В. Джеджула, К. В. Анохіна. – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 170 с.
2. СНиП 2.01.01-82 Строительная климатология и геофизика / официальное издание, Минстрой – М: ГП ЦПП, 1996 год. – 136 с.
3. Пат. 64957 Україна, МПК С 02 F 11/04. Біогазовий реактор / Ратушняк Г. С., Джеджула В. В., Кощев І. А.; Державний департамент інтелектуальної власності. – № u201104704; Заявл. 18.04.2011; опубл. 25.11.2011, Бюл. № 14. – 4 с.
4. Ротштейн О. П. Soft Computing в біотехнології багатофакторний аналіз і діагностика: Монографія / О. П. Ротштейн, Є. П. Ларюшкін, Ю. І. Мітюшкін. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. – 144 с.
5. Ткаченко С. Й. Теплообмінні та гідродинамічні процеси в елементах енергозабезпечення біогазової установки / С. Й. Ткаченко, Д. В. Степанов. – Вінниця : УНІВЕРСУМ – Вінниця, 2004. – 132 с.
6. Ратушняк Г. С. Тепловтрати в біогазових установках при різних температурних режимах анаеробного бродіння / Г. С. Ратушняк, К. В. Анохіна // ВПШ. – 2008. – № 4. – С. 20-24.
7. Ратушняк Г. С. Управління технологічним процесом біоконверсії при перемішуванні субстрату / Г. С. Ратушняк, О. Г. Ратушняк, К. В. Анохіна // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2010. – № 2. – С. 117-121.

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

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