

## ВИЗНАЧЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ СКЛАДОВИХ МОДЕЛІ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОГО БІОРЕАКТОРА З ВИКОРИСТАННЯМ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

*Запропоновано використання сонячної енергії для підвищення енергоефективності виробництва біогазу. Визначені складові моделі управління проектом з підвищення енергоефективності процесу біоконверсії. Запропоновано рівняння для визначення енергоефективності на основі складових моделі управління процесом біоконверсії. Розглянуто типи та ефективність сонячних колекторів та батарей. Розроблена структурно-логічна модель управління проектом з підвищення енергоефективності процесу біоконверсії.*

*Ключові слова: біогаз, біомаса, сонячний колектор, сонячна батарея, альтернативна енергія, відновлювальна енергія.*

G.S. RATUSHNYAK, I.A. KOSHCHEIEV  
Vinnytsia national technical university

### THE DEFINITION OF THE POWER COMPONENTS OF THE ENERGY EFFECTIVE BIOREACTOR MODEL WITH THE USAGE OF SOLAR ENERGY

*Abstract - The use of solar energy to improve the energy efficiency of biogas production was proposed. The composition model of project management of improvement of the efficiency of bioconversion process was defined. An equation for determining the energy efficiency which is based on the components of management model of bioconversion process was offered. The types and effectiveness of solar panels and batteries was considered. The structural-logical model of project management of improve the energy efficiency of bioconversion process was developed.*

*Keywords: biogas, biomass, solar collector, solar panel, alternative energy, renewable energy.*

#### Вступ

Анаеробне бродіння в біореакторі дає можливість отримувати біогаз, але потребує певних затрат додаткової енергії, що може призвести до зниження рентабельності цього процесу [1]. Задля підвищення енергоефективності отримання біогазу необхідно оптимізувати процес біоконверсії шляхом створення нових ефективних управлінських рішень з підвищення енергоефективності процесу біоконверсії. Застосування комбінованих конструктивно-технологічних рішень поєднання біогазової установки і альтернативних джерел енергії повинно забезпечувати максимальну продуктивність виробництва біогазу з мінімальними затратами енергоносіїв на термостабілізацію ферментації біомаси [2, 3, 4].

Метою роботи є створення моделі управління проектом з підвищення енергоефективності процесу біоконверсії, визначення складових процесу біоконверсії та застосування при цьому сонячної енергії.

#### Експериментальна частина

Анаеробне перероблення органічних відходів дозволяє отримати біогаз та зменшити техногенне навантаження на біосферу. Даний процес споживає певну кількість енергії: теплової енергії – для підтримання термостабілізації в реакторі та попереднього нагрівання субстрату до температури зброджування; механічної енергії – для здійснення перемішування біомаси в ємностях і переміщення матеріальних потоків субстрату [2]. Крім того необхідна певна кількість електричної енергії для функціонування технологічного обладнання та систем управління. Для виробництва біогазу використовують різні за конструктивними особливостями біогазові установки [ ]. Показниками ефективності роботи таких установок є продуктивність, вихід біогазу з одиниці об'єму біомаси, тривалість робочого циклу і енергетичні затрати із забезпечення термостабілізації та інтенсифікації біоконверсії [2]. Тому, для підвищення енергоефективності біоконверсії необхідно рухатись шляхом зменшення енергетичних затрат на ферментацію біомаси. Основні напрями зменшення енергетичних затрат на процес біоконверсії наведені на рисунку 1.

Для підвищення енергоефективності процесу утворення біогазу необхідно враховувати недоліки існуючих малоєфективних біогазових реакторів. Це такі недоліки як недостатнє та нерівномірне прогрівання суміші біомаси, недостатнє перемішування суміші біомаси, неефективна теплова ізоляція, відсутність утилізації тепла з відпрацьованої суміші біомаси та біогазу, використання для термостабілізації ферментації традиційних джерел енергії.

Розглянемо основні з них.

По-перше, застосовуючи рециркуляцію теплової енергії можна підвищити енергоефективність біогазової установки шляхом встановлення теплообмінника для відбору теплової енергії від утвореного біогазу і відпрацьованої біомаси та використання цієї енергії для підігрівання суміші біомаси всередині біореактора. Рециркуляцію теплової енергії рідко використовують у зв'язку зі збільшенням фінансових витрат на етапі монтажу, що обумовлено влаштуванням теплонасосного обладнання для відбору теплової енергії.



Рис. 1. Напрямки підвищення енергоефективності біоконверсії шляхом зменшення енергетичних затрат на ферментацію біомаси

По-друге, застосування якісної теплової ізоляції дозволяє значно зменшити найбільшу експлуатаційну витрату біогазового виробництва, а одним з найоптимальніших варіантів буде розташування заізованого біореактора зануреним у ґрунт.

По-третє, високоефективним шляхом підвищення енергоефективності біоконверсії є раціональний вибір джерел тепlopостачання для забезпечення термостабілізації процесу ферментації, а саме використання вторинних і відновлювальних джерел енергії. Використання альтернативних джерел енергії є більш економічно вигідним, але збільшує вартість біогазового виробництва і має більший термін окупності та ускладнює всю систему виробництва біогазу. Тому на сьогоднішній день поки що в більшій кількості існують біогазові установки, які працюють завдяки традиційним джерелам енергії. Але використання альтернативних джерел енергії для забезпечення термостабілізації процесу ферментації в біореакторі недооцінене.



Рис. 2. Напрямки використання сонячної енергії в системах біоконверсії

Джерелами енергії для забезпечення термостабілізації процесу ферментації в біореакторі можуть бути: тепла енергія відпрацьованої біомаси та біогазу, тепла енергія викидів агропромислового та сільськогосподарського комплексів, тепла енергія вод артезіанського походження та відкритих водойм, енергія Сонця.

Розглянемо в якості джерела тепlopостачання відновлювальну енергію а саме використання сонячної енергії. Адже, саме її використання, як для безпосереднього нагрівання поверхні резервуару біогазової установки, так і шляхом отримання теплової та електричної енергії від сонячних колекторів та батарей не потребує суттєвих експлуатаційних витрат. При використанні сонячної енергії необхідна

температура в біореакторі досягається шляхом підігрівання біомаси в реакторі передається через теплообмінні радіатори або електронагрівачі. Також, електрична енергія може використовуватись для забезпечення роботи системи управління. Напрямки використання сонячної енергії приведено на рисунку 2.

Використання енергії Сонця з допомогою сонячних колекторів та сонячних батарей дає можливість забезпечити процес бродіння необхідною тепловою енергією. Крім того її використання дає можливість забезпечити електричною енергією роботу всього комплексу біогазової установки і тому експлуатаційні витрати в цьому випадку дуже низькі, а незалежність від змін пов'язаних з традиційними джерелами енергії спрощує систему управління проектом загалом. Граф потоків енергії біореактора з використанням сонячної енергії наведено на рисунку 3.

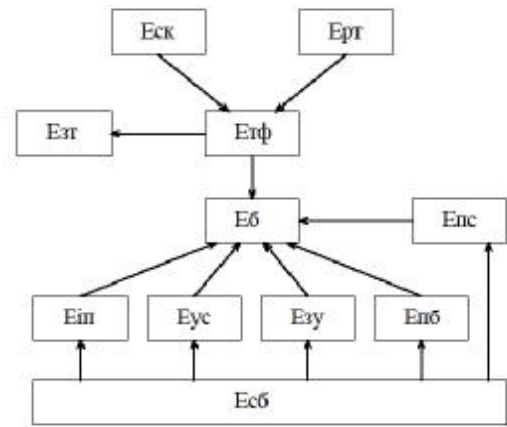


Рис. 3. Граф потоків енергії біореактора з використанням сонячної енергії для забезпечення енергоефективного процесу біоконверсії

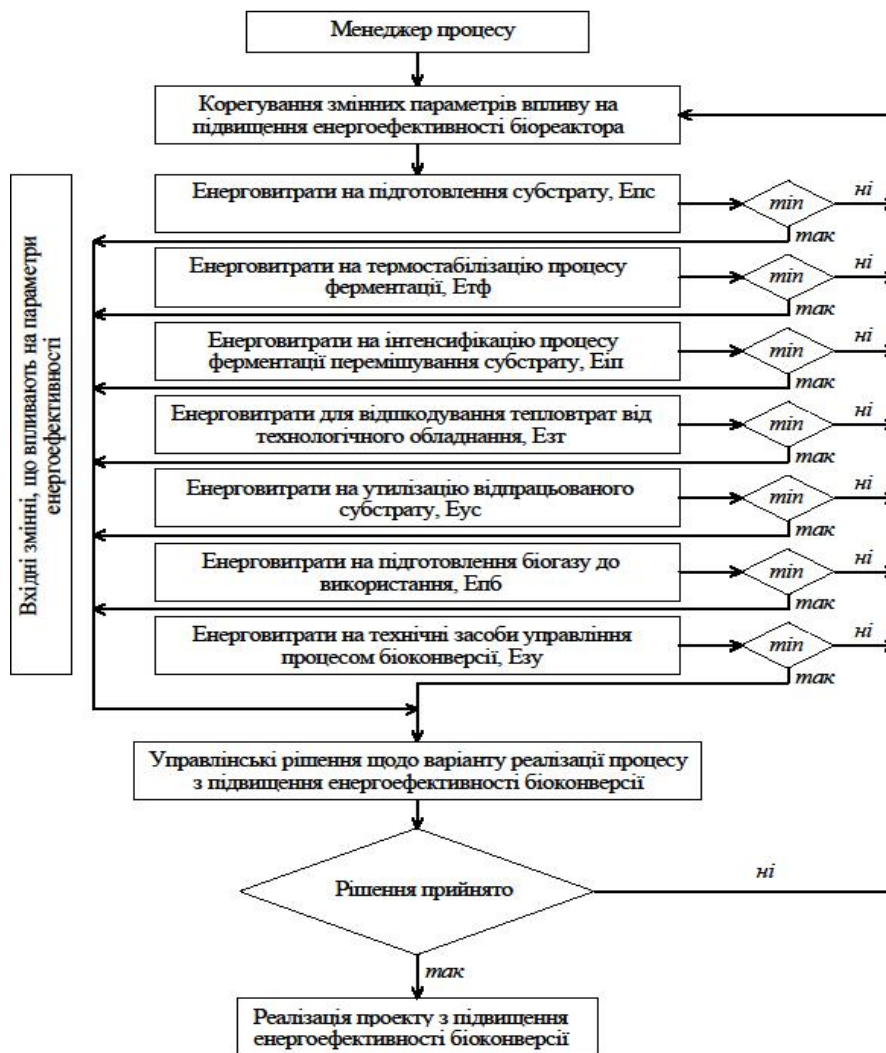


Рис. 4. Структурно-логічна модель управління проектом з підвищення енергоефективності процесу біоконверсії

Розглянемо граф. Всі енерговитрати біогазової установки позначені як  $E_{\phi}$ . Всі енерговитрати  $E_{\phi}$  складаються з таких видів тепловтрат:  $E_{тф}$  – енерговитрати на термостабілізації процесу ферментації,  $E_{пс}$  – енерговитрати на підготовлення субстрату,  $E_{пб}$  – енерговитрати на підготовлення біогазу до використання,  $E_{зу}$  – енерговитрати на технічні засоби управління процесом біоконверсії,  $E_{ус}$  – енерговитрати на утилізацію відпрацьованого субстрату,  $E_{ин}$  – енерговитрати на інтенсифікацію процесу ферментації перемішування субстрату,  $E_{зт}$  – енерговитрати для відшкодування тепловтрат від технологічного обладнання біогазової установки. В свою чергу енерговитрати на термостабілізації процесу

ферментації  $E_{\text{тф}}$  можуть бути покриті з допомогою енергії:  $E_{\text{ск}}$  – енергія від сонячного колектора та  $E_{\text{рт}}$  – енергія від рекуперації тепла від біогазу та відпрацьованого субстрату. А енергія від сонячної батареї  $E_{\text{сб}}$  покриває такі енерговитрати як:  $E_{\text{пс}}$ ,  $E_{\text{пб}}$ ,  $E_{\text{зу}}$ ,  $E_{\text{ус}}$ ,  $E_{\text{ін}}$ .

Робота біогазової установки згідно даного графу може бути оптимально організована враховуючи всі складові, а саме головне їх величину, яка має бути якомога меншою, шляхом складання структурно-логічної моделі управління проектом наведеної на рисунку 4.

Енерговитрати біогазової установки повинні бути мінімальними для досягнення найвищої степені енергоефективності, а саме

$$E_{\text{сб}} = f(E_{\text{пс}}, E_{\text{тф}}, E_{\text{ін}}, E_{\text{зт}}, E_{\text{ус}}, E_{\text{пб}}, E_{\text{зу}}) \min, \quad (1)$$

де  $E_{\text{пс}}$  – енерговитрати на підготовлення субстрату;

$E_{\text{тф}}$  – енерговитрати на термостабілізації процесу ферментації;

$E_{\text{ін}}$  – енерговитрати на інтенсифікацію процесу ферментації перемішування субстрату;

$E_{\text{зт}}$  – енерговитрати для відшкодування тепловтрат від технологічного обладнання біогазової установки;

$E_{\text{ус}}$  – енерговитрати на утилізацію відпрацьованого субстрату;

$E_{\text{пб}}$  – енерговитрати на підготовлення біогазу до використання;

$E_{\text{зу}}$  – енерговитрати на технічні засоби управління процесом біоконверсії.

Енерговитрати на термостабілізацію процесу ферментації можуть бути покриті енергією сонячного колектора та енергією від утилізації тепла біогазу та відпрацьованої біомаси

$$E_{\text{тф}} = E_{\text{ск}} + E_{\text{рт}}, \quad (2)$$

де  $E_{\text{ск}}$  – енергія від сонячного колектора;

$E_{\text{рт}}$  – енергія від рекуперації тепла від біогазу та відпрацьованого субстрату.

Кількість енергії від сонячного колектора залежить від багатьох факторів, основними з яких є тривалість сонячних днів року, тривалість надходження сонячних променів протягом дня та коефіцієнт корисної дії перетворення їх в теплову енергію сонячного колектора

$$E_{\text{ск}} = f(\tau_{\text{рік}}, \tau_{\text{дня}}, \eta_{\text{ск}}), \quad (3)$$

де  $\tau_{\text{рік}}$  – тривалість сонячних днів року;

$\tau_{\text{дня}}$  – тривалість сонячних променів протягом дня;

$\eta_{\text{ск}}$  – ККД сонячного колектора.

А от всі інші енерговитрати можна покрити енергією сонячної батареї:

$$E_{\text{сб}} = E_{\text{ін}} + E_{\text{ус}} + E_{\text{зу}} + E_{\text{пб}}, \quad (4)$$

$$E_{\text{сб}} = f(\tau_{\text{рік}}, \tau_{\text{дня}}, \eta_{\text{сб}}), \quad (5)$$

де  $\eta_{\text{сб}}$  – ККД сонячної батареї.

При виборі сонячних колекторів чи батареї необхідно звертати увагу, в першу чергу, на коефіцієнт корисної дії. Вакуумні сонячні колектори відрізняються по типу скляної трубки: коаксіальна, пір'ясті. ККД сонячних колекторів з коаксіальними вакуумними трубками невисока і може сягати 65% при виконанні коаксіальних трубок з тепловим каналом типу «Heat pipe», але при виконанні її з прямоточним тепловим каналом показник ККД зростає до 76%. Пір'яста трубка з тепловим каналом типу «Heat pipe» у сонячних колекторах дає можливість отримати ККД у межах до 77%, а з прямоточним тепловим каналом до 80%. ККД плоских сонячних колекторів може бути вищою за показники вакуумних сонячних колекторів, але лише при невеликій різниці температур теплоносія і зовнішнього середовища, тобто їх використання в холодний період року неефективне. Сонячні колектори наявні у різних виробників, наприклад: «Стар енержи», «Корді» «Sint solar», «Meibes», «Viessmann», «Vaillant», та інші. Порівняння ККД плоских та вакуумних сонячних колекторів наведено на рисунку 5 [5].

Сонячні ж батареї конвертують сонячну енергію в електричну енергію з значно меншим коефіцієнтом корисної дії. Продуктивність серійних промислових сонячних панелей може коливатись від 7 до 20%, але на сьогоднішній день існують лабораторні зразки з ККД близько 50%. Компанія «SunTech Power» заявила, що в найближчі роки в серійному виконанні будуть сонячні панелі з кремнієвими кристалічними фотомодулями, ККД яких буде 22%. Також існують тонкоплівкові сонячні батареї ККД яких в межах 10-13%, але вже в найближчому майбутньому заявлено деякими компаніями виробництво більше ефективних сонячних батарей : 15,7% (компанія MiaSole), 18,7% (компанія EMPA), та інші. Але все-таки найбільш продуктивними є багаточарові сонячні модулі. Їх ККД на сьогодні складає близько 30%, а прогнозується досягнення відмітки у 68–86 %. Такі модулі не так давно використовуються в серійному

виконанні, хоча саме вони були застосовані на станції «Мир», марсоході «Mars Exploration Rover» тощо.

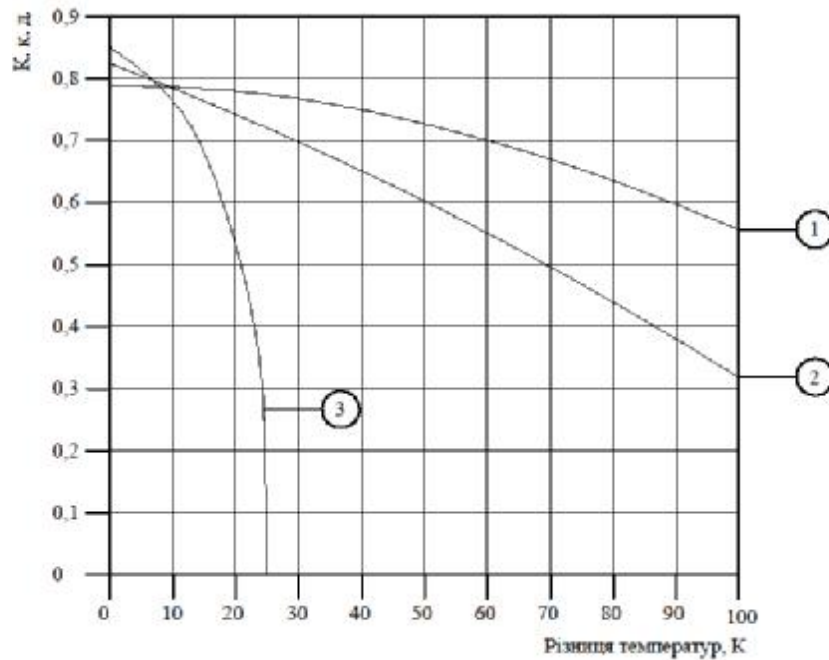


Рис. 5. Порівняння ККД сонячних колекторів:

1 – вакуумний трубчатий сонячний колектор, 2 – плоский сонячний колектор з селективним покриттям, 3 – відкритий сонячний колектор/абсорбер

### Висновки

Як альтернативне джерело енергії запропоновано використання сонячної енергії для підвищення енергоефективності виробництва біогазу. Визначені складові моделі управління проектом з підвищення енергоефективності процесу біоконверсії. Розроблено структурно-логічну модель управління проектом з підвищення енергоефективності процесу біоконверсії. Запропоновані напрямки підвищення енергоефективності біоконверсії шляхом зменшення енергетичних затрат на ферментацію біомаси.

### Література

1. Ратушняк Г. С. Энергозберігаючі відновлювальні джерела тепlopостачання / Г. С. Ратушняк, В. В. Дзеджула, К. В. Анохіна. – Вінниця: ВНТУ, 2010. – 170 с.
2. Ратушняк Г. С. Енергоефективні технологічні процеси та обладнання біоконверсії / Г. С. Ратушняк, К. В. Анохіна. – Вінниця: ВНТУ, 2013. – 148 с.
3. Ратушняк Г. С. Інтенсифікація біоконверсії шляхом використання відновлювальних джерел енергії / Ратушняк Г. С., Кошчєєв І. А. // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2011.– №2. – С. 157–160.
4. Ратушняк Г. С. Енергоефективність біоконверсії при термостабілізації анаеробного бродіння субстрату в біогазовій установці з тепловим насосом / Ратушняк Г. С., Кошчєєв І. А. // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2012.– №2. – С. 145–151.
5. Механізм действия солнечного нагрева бассейна: [Електронний ресурс]. – Режим доступа: [http://solar-kollektor.ru/solnecnij\\_nagrev.htm](http://solar-kollektor.ru/solnecnij_nagrev.htm)

### Referenced

1. Ratushnyak G. S. Energy saving and renewable sources oh heat supply / G. S. Ratushnyak, V. V. Dzhezdzhula, K. V. Anokhina - Vinnytsia: VNTU, 2010. - 170 pp. [in Ukrainian]
2. Ratushnyak G. S. Energy efficient processes and equipment for bioconversion / G. S. Ratushnyak, K. V. Anokhina - Vinnytsia: VNTU, 2013. - 148 pp. [in Ukrainian]
3. Ratushnyak G. S. Intensification of bioconversion with using renewable energy sources / G. S. Ratushnyak, I. A. Koshcheiev // Modern technologies, materials and constructions in building. - 2011: №2. - pp. 157-160. [in Ukrainian]
4. Ratushnyak G. S. Energy efficiency bioconversion in thermal stabilization of anaerobic fermentation substrate in the biogas plant with heat pump / G. S. Ratushnyak, I. A. Koshcheiev // Modern technologies, materials and constructions in building. - 2012: №2. - pp. 145-151. [in Ukrainian]
5. The mechanism of action of the solar pool heating : [Elektronic resource]. – Access mode: [http://solar-kollektor.ru/solnecnij\\_nagrev.htm/](http://solar-kollektor.ru/solnecnij_nagrev.htm/). [in Ukrainian]

Рецензія/Peer review : 29.5.2015 р.

Надрукована/Printed : 14.5.2015 р.  
Рецензент: к.т.н., професор Коц І. В.