

## ОБГРУНТУВАННЯ МЕТОДІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМУ В БІОГАЗОВИХ УСТАНОВКАХ

Скляр Р. В., к.т.н.,

Акулов В.Д., аспірант

*Таврійський державний агротехнологічний університет імені  
Дмитра Моторного, м. Запоріжжя, Україна.*

На сьогодні біогазові установки стають дедалі популярнішими у світовій практиці для утилізації гною. Ці системи працюють в анаеробних умовах, перетворюючи гній на біогаз і високоякісні органічні добрива. У процесі зброджування в гної розвивається мікрофлора, яка поступово розщеплює органічні сполуки до кислот. Далі, під впливом синтрофних і метанутворюючих бактерій, ці кислоти перетворюються на газоподібні продукти – метан і вуглекислий газ [1]. Одночасно відбувається дезодорація та дегельмінтизація гною.

Попри численні переваги анаеробної обробки, широке впровадження біогазових установок у сільське господарство України гальмується їхньою відносно низькою енергетичною ефективністю. Зокрема, до 60% виробленого біогазу використовується для власних потреб системи [2]. Основні енергетичні витрати припадають на підтримання необхідного теплового режиму, зокрема на нагрів щоденних порцій субстрату до температури процесу.

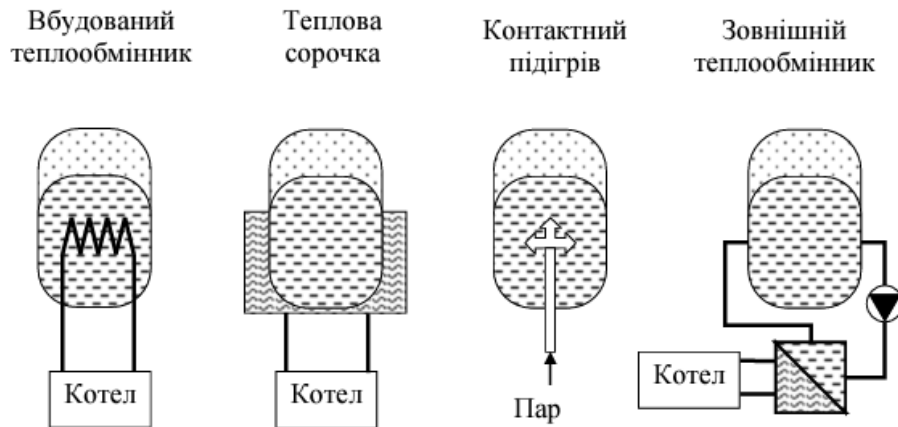
Анаеробне зброджування субстрату з вологістю 90–95% є енергоємним процесом, що потребує значних витрат тепла, які переважно спрямовуються на підігрів субстрату до робочої температури. Використання сучасних теплоізоляційних матеріалів дозволяє знизити теплові втрати, але основним завданням залишається оптимізація енергетичних витрат, пов'язаних із нагріванням субстрату [3].

Інтенсивність процесу анаеробного зброджування в значній мірі залежить від температурного режиму в метантенку. Так, при роботі метантенка в мезофільному режимі при температурі зброджування 37 °С допустиме коливання температур становить 2,8 °С, а при термофільному (55 °С) - лише 0,3 °С [3]. Тому, щоб отримати необхідну для протікання процесу температуру і підтримувати її на заданому рівні, необхідно підігріти субстрат до температури, близької до температури зброджування і забезпечити додатковий підігрів для компенсації тепловтрат [4].

В даний час використовуються різні методи забезпечення температурного режиму в біогазових установках, які можна умовно розділити на чотири групи [3,4]:

- підігрів через поверхню метантенка;
- підігрів вбудованими всередину метантенку теплообмінниками;
- контактний нагрів субстрату;
- підігрів в зовнішніх теплообмінниках.

Схематичне зображення методів підтримки температурного режиму наведено на рисунку 1.



**Рис. 1. Методи підтримки температурного режиму**

*Методи забезпечення температурного режиму [3-5].*

1) *Підігрів вбудованими теплообмінниками.* Теплообмінники інтегруються безпосередньо у ферментатор. Це можуть бути трубчасті або пластинчасті системи, через які циркулює теплоносіє (зазвичай гаряча вода).

*Переваги:*

- забезпечення рівномірного розподілу температури у всьому об'ємі;
- мінімальні тепловтрати через зовнішнє середовище.

*Недоліки:*

- складність у обслуговуванні через контакт із субстратом;
- необхідність регулярного очищення від налипань.

2) *Підігрів через поверхню метантенка.* Нагрівальні елементи монтується на зовнішній стінці ферментатора. Застосовуються електричні мати, трубки з гарячою водою або нагрівальні панелі.

*Переваги:*

- відсутність контакту з субстратом, що зменшує ризик засмічення;
- простота технічного обслуговування.

*Недоліки:*

- високі тепловтрати без належної теплоізоляції;
- обмежена ефективність для ферментаторів великого об'єму.

3) *Контактний нагрів субстрату.* Перед подачею до ферментатора субстрат нагрівається в спеціальних теплообмінниках за допомогою прямого контакту з теплоносієм.

*Переваги:*

- швидке досягнення необхідної температури;
- можливість регулювання нагріву залежно від вхідної температури.

Недоліки:

- значні енергозатрати;
- ризик забруднення теплоносія органічними частками.

4) *Підігрів у зовнішніх теплообмінниках.* Субстрат перекачується через теплообмінник, де підігрівається та повертається в ферментатор.

Переваги:

- легкість обслуговування теплообмінника;
- можливість інтеграції з іншими системами, такими як сонячні колектори чи когенераційні установки.

Недоліки:

- додаткові витрати на перекачування субстрату;
- ризик теплових втрат під час транспортування.

Підігрів вбудованими теплообмінниками – ефективний метод для забезпечення рівномірного температурного режиму в метантенку. Особливо підходить для невеликих ферментаторів із відносно чистим субстратом, щоб мінімізувати ризики засмічення.

Підігрів через поверхню метантенка – доцільний для об'єктів із добре ізольованими резервуарами. Ідеальний для районів із помірним кліматом і менш вимогливий до очищення нагрівальних елементів.

Контактний нагрів субстрату – підходить для швидкого попереднього нагріву або для обробки густих субстратів перед їх подачею до ферментатора. Частіше застосовується на великих установках із високим потоком вхідного матеріалу.

Підігрів в зовнішніх теплообмінниках – оптимальний для великих установок із циркуляцією субстрату. Зовнішнє розташування спрощує обслуговування та модернізацію.

Ефективність кожного методу залежить від розміру ферментатора, типу субстрату та кліматичних умов. Вбудовані теплообмінники ідеальні для невеликих установок, тоді як зовнішні системи краще підходять для великих біогазових станцій із потужними насосами. Контактний нагрів найчастіше використовується для попередньої обробки густих субстратів.

Крім наведених методів та технічних засобів забезпечення температурного режиму в біогазових установках, також отримали розповсюдження методи з використанням [4,5]: сонячних колекторів, когенераційних установок, геотермальної енергії, теплових буферів, матеріалів з фазовими змінами (PCM), автоматизовані системи контролю, біоконтроль температури, IoT-системи (Інтернет речей) тощо (таблиця 1).

Таблиця 1

**Сучасні методи забезпечення температурного режиму в біогазових установках**

<b>Метод</b>	<b>Опис</b>	<b>Переваги</b>	<b>Недоліки</b>	<b>Особливості застосування</b>
<b>Сонячні колектори</b>	використання сонячної енергії для нагрівання теплоносія	- відновлюване джерело енергії; - зниження витрат на опалення.	- залежність від погодних умов; - необхідність додаткових систем зберігання тепла	ефективні у регіонах із високою інсоляцією
<b>Когенераційні установки</b>	використання тепла, що утворюється під час генерації електроенергії, для підігріву	- висока енергоефективність; - зменшення енергетичних витрат.	- висока вартість впровадження - необхідність стабільного потоку біогазу	Рекомендується для великих установок із постійним навантаженням
<b>Геотермальна енергія</b>	використання тепла землі через геотермальні теплові насоси	- стабільне джерело тепла. - екологічність.	- високі витрати на встановлення. - обмеженість залежно від геологічних умов.	доцільно застосовувати у регіонах із доступом до геотермальних ресурсів
<b>Теплові буфери</b>	використання резервуарів для накопичення та зберігання тепла	- забезпечення стабільності температури; - зниження пікових навантажень на систему	- вимагають додаткового простору; - обмеженість ефективності без якісної ізоляції.	оптимальні для установок із нерівномірним навантаженням
<b>Матеріали з фазовими змінами (PCM)</b>	використання матеріалів, що акумулюють тепло під час зміни агрегатного стану	- висока теплоємність; - компактність	- висока вартість; - складність у виборі відповідного матеріалу.	доцільно для зменшення втрат тепла та стабілізації температури
<b>Автоматизовані системи контролю</b>	Системи, що моніторять та регулюють температуру в режимі реального часу	- точність контролю; - зниження витрат енергії через оптимізацію процесів	- висока вартість встановлення. - потреба в технічному обслуговуванні	рекомендується для сучасних великих біогазових установок
<b>Біоконтроль температури</b>	використання спеціально підібраних	- природний метод; - зниження	- труднощі у підтриманні оптимальної	потребує точного підбору

Метод	Опис	Переваги	Недоліки	Особливості застосування
ри	штамів мікроорганізмів для оптимізації теплових процесів	потреби зовнішньому підігріві у	концентрації мікроорганізмів	культур мікроорганізмів
ІоТ-системи (Інтернет речей)	використання датчиків і цифрових платформ для моніторингу та управління температурою дистанційно	- висока ефективність моніторингу; - простота у використанні.	-високі початкові інвестиції; -залежність від доступу до Інтернету.	доцільно для інтеграції в інтелектуальні енергетичні системи

Комбінація методів, таких як використання зовнішніх теплообмінників у поєднанні з теплоізоляцією метантенків, дозволяє досягти найкращих результатів. Інтеграція сучасних автоматизованих систем контролю температури та використання відновлюваних джерел енергії, таких як сонячні колектори чи когенераційні установки, є перспективним напрямом розвитку галузі. Розробка нових систем із високим ступенем автоматизації, а також адаптація відновлюваних джерел енергії дозволяють підвищити ефективність біогазових установок, знизити експлуатаційні витрати та зробити виробництво більш екологічним.

### ***Список використаних джерел***

1. Скляр О. Г., Скляр Р. В. Формування витрат енергоносіїв на виробництво тваринницької продукції. *Науковий вісник ТДАТУ*. 2021. Вип. 11, том 1.
2. Комар А. С. Удосконалення конструкції біогазової установки з рекуперацією теплоти зброженої біомаси. *Праці ТДАТУ*. 2024. Вип. 24, т. 3. С.62–71. <https://doi.org/10.32782/2078-0877-2024-24-3-5>.
3. Скляр Р.В., Акулов В.Д. Щодо питання енергозбереження в біогазових установках. *Технічний прогрес у тваринництві та кормовиробництві: XI Міжнародна науково-технічна конференція*. Глеваха-Київ. 2023. С. 181–183.
4. Акулов В. Д. Шляхи підвищення енергетичної ефективності біогазової установки. *Праці ТДАТУ*. 2024. Вип. 24, т. 2. С. 27-36. <https://doi.org/10.32782/2078-0877-2024-24-2-3>.
5. Болтянський Б.В. Аспекти вдосконалення технології виробництва біогазу. *Праці ТДАТУ*. 2024. Вип. 24, т. 1. С. 89–100. <https://doi.org/10.32782/2078-0877-2024-24-1-6>.