

ВПЛИВ ХАРАКТЕРИСТИК СУЧАСНИХ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ НА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ТЕРМОСТАБІЛІЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА БІОГАЗУ

Г. С. Ратушняк, К. В. Колесник, В. О. Каташинський

В статті наведено актуальність використання ефективних сучасних теплоізоляційних матеріалів для зменшення тепловтрат з біогазового реактора. Проаналізовано основні характеристики, властивості та вартість сучасних ефективних теплоізоляційних матеріалів: пінополіуретану, пінополістиролу, мінеральної вати та піноскла. За результатами моделювання тепловтрат з біогазового реактора з використанням запропонованих теплоізоляційних матеріалів при різних температурних режимах біоконверсії визначено кількість теплоти, що втрачається під час процесу бродіння при різних температурних режимах. Виявлено найбільш ефективний теплоізоляційний матеріал для утеплення зовнішніх конструкцій біогазового реактора.

Ключові слова: енергоефективність, теплоізоляція, термостабілізація, тепловтрати, біогазів реактор, біоконверсія, температурний режим, термічний опір, ферментація.

ВЛИЯНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СОВРЕМЕННЫХ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ ТЕРМОСТАБИЛИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА БИОГАЗА

Г. С. Ратушняк, К. В. Колесник, В. А. Каташинский

В статье приведены актуальность использования эффективных современных теплоизоляционных материалов для уменьшения теплопотерь с биогазового реактора. Проанализированы основные характеристики, свойства и стоимость современных эффективных теплоизоляционных материалов: пенополиуретана, пенополистирола, минеральной ваты и пеностекла. По результатам моделирования теплопотерь с биогазового реактора с использованием предложенных теплоизоляционных материалов при различных температурных режимах биоконверсии определено количество теплоты, затраченной во время процесса брожения при различных температурных режимах. Выявлен наиболее эффективный теплоизоляционный материал для утепления наружных конструкций биогазового реактора.

Ключевые слова: энергоэффективность, теплоизоляция, термостабилизация, теплопотери, биогазовых реактор, биоконверсия, температурный режим, термическое сопротивление, ферментация.

INFLUENCE CHARACTERISTICS MODERN INSULATING MATERIALS FOR ENERGY EFFICIENCY THERMAL STABILIZATION DURING BIOGAS PRODUCTION

G. Ratuszniak, K. Kolesnik, V. Katashynskyy

In the article the urgency of effective use of modern insulating materials to reduce heat loss from the biogas reactor. The basic characteristics, properties and cost effective modern insulation materials, polyurethane, polystyrene, mineral wool and foam glass. The results of the simulation of heat using biogas reactor proposed insulating materials at different temperatures bioconversion defined amount of heat that is lost during the process of fermentation at different temperatures. Found most effective insulating material for insulating external construction of biogas reactor.

Keywords: energy efficiency, thermal insulation, thermal stabilization, heat, biogas reactor, bioconversion, temperature, thermal resistance, fermentation.

Вступ

Внаслідок зменшення запасів природних ресурсів й погіршення екологічної ситуації

значна увага приділяється альтернативним джерелам енергії. Анаеробне перероблення органіки з метою отримання біогазу може відбуватися при різних температурних режимах: кріофільному, мезофільному та термофільному [1, 2]. Ці режими з оптимальними параметрами важко підтримувати, особливо при від'ємних температурах, до того ж органічна маса є чутливою до перепадів температур в біогазовому реакторі. Термостабілізація процесу біоконверсії може бути забезпечена шляхом зниження тепловтрат через огорожувальні конструкції біогазового реактора [3]. Для оптимізації процесу бродіння органічної маси в біогазовому реакторі та зменшення тепловтрат через її конструкції, результатом чого є підвищення енергоефективності процесу виробництва біогазу, необхідним є використання сучасних технологій та теплоізоляційних матеріалів. Актуальними є подальші наукові дослідження тепловтрат з біогазового реактора із різним видом утеплення при різних температурних режимах її роботи та з врахуванням температури зовнішнього середовища.

Метою дослідження є моделювання впливу теплопровідності сучасних теплоізоляційних матеріалів на енергоефективність термостабілізації процесу виробництва біогазу в біореакторі із врахуванням температурних параметрів зовнішнього середовища.

Постановка задачі дослідження

Енергоефективність термостабілізації процесу ферментації органічної маси в біореакторі визначається значною кількістю чинників, тобто

$$E_T = f(T_B, T_3, Q_B, \tau) \rightarrow E_{opt}, \quad (1)$$

де T_B , T_3 – відповідно температура процесу ферментації та зовнішнього середовища, в якому розміщено біореактор;

τ – час процесу ферментації;

Q_B – тепловтрати із внутрішнього середовища біореактора в зовнішнє середовище.

При цьому відповідно до залежності (1) повинні виконуватись умови $T_B \rightarrow T_B^{opt}$, $T_3 \rightarrow T_B$, $Q_B \rightarrow Q_B^{min}$, $\tau \rightarrow \tau_{min}$.

Відповідно до залежності (1) одним із перспективних шляхів підвищення енергоефективності є зменшення тепловтрат Q_B , які визначаються

$$Q_B = f(F_B, R, \delta, S), \quad (2)$$

де R – термічний опір теплопередачі матеріалу огорожувальних конструкцій біогазового реактора;

δ – товщина шару теплоізоляційного матеріалу;

S – вартість утеплення.

Згідно із залежністю (2) повинні виконуватись умови

$$R \rightarrow R_{max}, F_B \rightarrow F_{opt}, \delta \rightarrow \delta_{opt}, S \rightarrow S_{min}$$

Одним із визначальних параметрів, що впливає на зменшення тепловтрат із середовища біореактора, є опір теплопередачі.

В залежності від температурного інтервалу, що підтримується в біогазовому реакторі в процесі роботи, розрізняють такі режими зброджування [4]:

- кріофільний ($T < 20^\circ\text{C}$; $T_{opt} = 5 - 15^\circ\text{C}$);
- мезофільний ($T = 25 - 45^\circ\text{C}$; $T_{opt} = 32 - 42^\circ\text{C}$);
- термофільний ($T = 45 - 55^\circ\text{C}$; $T_{opt} = 48 - 51^\circ\text{C}$).

Кріофільний режим зброджування не вимагає спеціального підігрівання субстрату, протікає при температурі навколишнього середовища і використовується на невеликих індивідуальних установках у країнах з теплим кліматом.

Мезофільний режим зброджування, як це підтверджено численними дослідженнями і практикою експлуатації біогазових реакторів, протікає найбільш інтенсивно в температурному інтервалі $32 - 42^\circ\text{C}$ [2]. При цьому найбільш активно «працюють» метаногенні бактерії з максимальним утворенням біогазу. Підігрівання і підтримання стабільної температури зброджування здійснюється як правило прокачуванням нагрітої води через спеціальні теплообмінники, що змонтовані в біогазовому реакторі [1].

Термофільний режим дає можливість одержувати максимальну кількість біогазу за

короткий термін зброджування. Інтенсивність зброджування вдвічі вище, а час перебування субстрату в біогазовому реакторі вдвічі менше, ніж при мезофільному.

Для підтримання заданого температурного режиму ферментації біомаси необхідним є підведення додаткової енергії, кількість якої можливо зменшити використовуючи сучасні ефективні теплоізоляційні матеріали для зменшення тепловтрат через корпус біогазового реактора. Таким чином досягається економічність та ефективність процесу біоконверсії в біогазовому реакторі.

Основна частина

Найбільш поширеними та економічно доцільними ізоляційними матеріалами є пінополіуретан, пінополістирол, мінеральна вата та піноскло [5-8]. Пінополіуретан має високу адгезію, малу густину, тривалий термін експлуатації (30-50 років), екологічно безпечний, стійкий до грибків, цвілі, бактерій, комах, гризунів тощо, до того ж має звуко-, тепло- та гідроізоляційні властивості. Пінополістирол зручний в монтажі, легкий, має низьку паропроникність. Мінеральна вата є екологічним матеріалом, негорючим та стійким до дії гризунів та комах, до того ж має звуко-, тепло- та гідроізоляційні властивості. Піноскло є довговічним матеріалом (термін експлуатації до 100 років), має високу стійкість до біологічного та хімічного впливу, міцний, вологотривкий, вогнестійкий. Характеристики запропонованих теплоізоляційних матеріалів наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Характеристика сучасних теплоізоляційних матеріалів

Назва матеріалу	Пінополіуретан	Плити пінополістирольні екструзійні	Мінеральна вата	Піноскло
Теплопровідність, (Вт/м·К)	0,022	0,033	0,045	0,059
Густина (кг/м ³)	40	50	80	160
Вартість матеріалів на 1 м ² (грн.) при товщині 0,1 м	114	168	86,6	138,5

Обґрунтування вибору теплоізоляційного матеріалу для зменшення тепловтрат з біогазового реактора при різних температурних режимах біоконверсії є актуальною задачею.

Тепловий режим в біогазовому реакторі значною мірою залежить від теплоізоляційних властивостей зовнішніх огорожень. Величина тепловтрат із внутрішнього середовища Q_B (Вт) характеризується термічним опором матеріалу огорожувальних конструкцій, різницею температур між внутрішнім і зовнішнім середовищем біогазового реактора, та обчислюються за формулою. [3]

$$Q_B = \alpha_T (T_B - T_3) n_1 F_B \eta_n, \quad (3)$$

де $\alpha_T = \frac{1}{R}$ – коефіцієнт теплопередачі зовнішнього огороження біогазового реактора, Вт/(м²·°C);

$(T_B - T_3)$ – розрахункова різниця температур між внутрішньою та зовнішньою температурами, °C;

n_1 – поправочний множник, що враховує зменшення розрахункової різниці температур для огорожень біогазового реактора (для даного випадку $n = 1$);

F_B – площа поверхні огороження біогазового реактора, м² (ведеться розрахунок для $F_B = 1$ м²);

η_n – коефіцієнт, що враховує додаткові тепловтрати, які можуть помітно змінюватись від впливу сонячного випромінювання, інфільтрації та ексфільтрації (для визначення тепловтрат в біогазовому реакторі не враховуються) через його несуттєвий вплив.

Таким чином, з врахуванням наведених припущень щодо роботи біогазового реактора, формула (3) матиме вигляд

$$Q_B = \frac{\Delta T}{R} \quad (4)$$

Для різних теплових режимів анаеробного бродіння проведено числові експерименти з визначення тепловтрат через огорожувальні конструкції при різних температурних режимах із використанням різних сучасних ефективних теплоізоляційних матеріалів, результати яких наведено в табл. 2.

Таблиця 2 – Тепловтрати через огорожувальні конструкції при різних температурних режимах із використанням сучасних ефективних теплоізоляційних матеріалів

Теплоізоляційні матеріали	Тепловтрати при режимах бродіння, Вт/м ²		
	Кріофільний	Мезофільний	Термофільний
Пінополіуретан $\delta=0,1$ м; $R=4,5$ м ² К/Вт	9,02	13,42	15,62
Плити пінополі- стирольні екструзійні $\delta=0,1$ м; $R=3,0$ м ² К/Вт	13,53	20,13	23,43
Мінеральна $\delta=0,1$ м; $R=2,2$ м ² К/Вт	18,45	27,45	31,95
Піноскло $\delta=0,1$ м; $R=1,7$ м ² К/Вт	24,19	35,99	41,89

Графічно зміни тепловтрат від зовнішніх температур при кріофільному, мезофільному та термофільному режимах біоконверсії при застосуванні запропонованих теплоізоляційних матеріалів зображено на рис. 1.

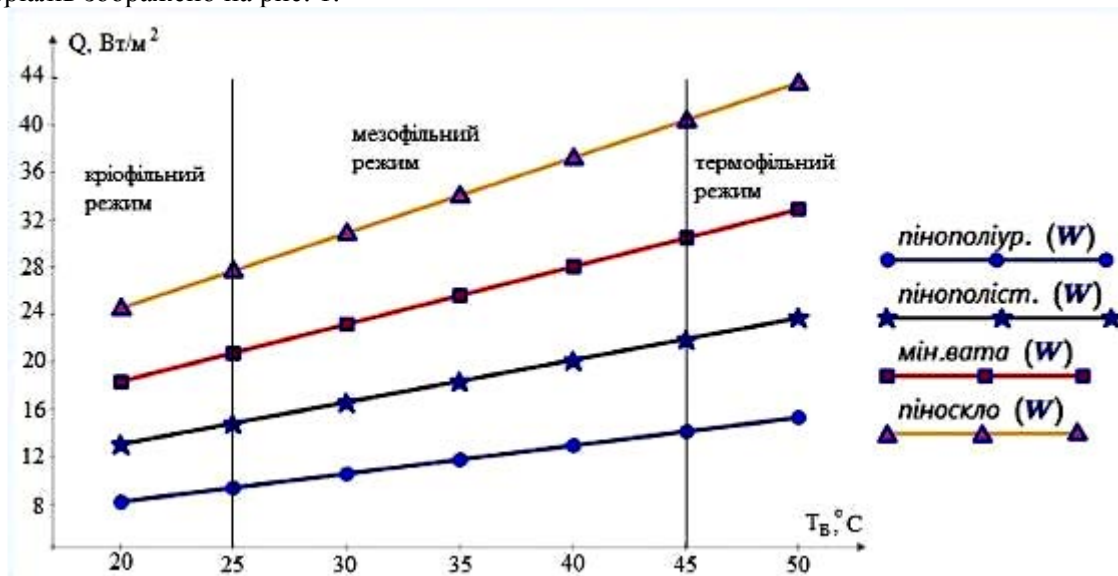


Рисунок 1 – Тепловтрати з біогазового реактора при різних режимах біоконверсії із застосуванням запропонованих теплоізоляційних матеріалів

Аналіз даних числового експерименту про тепловтрати в системах біоконверсії свідчить про те, що найбільші тепловтрати при біоконверсії в біогазовому реакторі виникають при термофільному режимі бродіння, а найменші – при мезофільному із врахуванням температури зовнішнього повітря, що становить -21 °C. Проте із використанням в якості утеплювача пінопіуретана тепловтрати при термофільному режимі можливо зменшити до 15,62 Вт/м², а із використанням піноскла – до 41,89 Вт/м². Таким чином, найбільш ефективним сучасним теплоізоляційним матеріалом за теплотехнічними параметрами згідно результатів числового моделювання (рис. 1) можна вважати пінопіуретан. До того ж пінопіуретан має меншу вартість (див. табл.1) в порівнянні із плитами пінополістирольними та піносклом, яка становить 114 грн. на 1 м² при товщині 0,1 м. Найдорожчим серед запропонованих матеріалів є плити пінополістирольні екструзійні (168 грн. на 1 м² при товщині 0,1 м), а найдешевшим – мінеральна вата (86,6 грн. на 1 м² при товщині 0,1 м), але за теплотехнічними параметрами вони менш енергоефективні за пінопіуретан.

Висновки

- За результатами аналізу основних характеристик, властивостей та вартості сучасних ефективних теплоізоляційних матеріалів: пінополіуретану, пінополістиролу, мінеральної вати та піноскла встановлено, що перспективним є дослідження конструкцій біогазових реакторів, основних параметрів та режимів ферментації органічної маси з метою зменшення витрат на термостабілізацію процесу виробництва біогазу.
- Результати моделювання впливу характеристик сучасних теплоізоляційних матеріалів на енергоефективність термостабілізації процесу виробництва біогазу свідчать про те, що найбільш ефективним сучасним теплоізоляційним матеріалом за теплотехнічними параметрами можна вважати пінополіуретан з термічним опором $4,5 \text{ м}^2 \text{ К/Вт}$, а найменш ефективним є піноскло, термічний опір якого $1,7 \text{ м}^2 \text{ К/Вт}$.
- Найдорожчим серед запропонованих матеріалів є плити пінополістирольні екструзійні, а найдешевшим – мінеральна вата, але за теплотехнічними параметрами вони менш енергоефективні за пінополіуретан.

Використані джерела

1. Ратушняк Г. С. Енергоефективні технологічні процеси та обладнання біоконверсії. Монографія / Г. С. Ратушняк, К. В. Анохіна. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 160 с.
2. Ратушняк Г. С. Енергозберігаючі відновлювальні джерела теплопостачання. Навч. пос. / Г. С. Ратушняк, В. В. Джеджула, К. В. Анохіна. – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 170 с.
3. Ратушняк Г. С. Тепловтрати в біогазових установках при різних температурних режимах анаеробного бродіння / Г. С. Ратушняк, К. В. Анохіна // Вісник ВПІ. – 2009. – №5. – С. 20-24.
4. Баадер Б. Биогаз: Теория и практика / Баадер Б., Доне Е., Бренндерфер М.; пер. с нем. М. И. Серебряного. – М. : Колос, 1982. – 148 с.
5. Технічні характеристики, властивості та вартість пінополіуретану: режим доступу: <http://pinoizol.com/osnovne-pro-pinopoliuretan>.
6. Технічні характеристики, властивості та вартість пінополістиролу: режим доступу: <http://stroiplaneta.com.ua>.
7. Технічні характеристики, властивості та вартість мінеральної вати: режим доступу: <http://ibud.ua/ru/prices/5-110-mineralnaya-vata-512>.
8. Технічні характеристики, властивості та вартість піноскла: режим доступу: <http://economstroy.com.ua/stroybrigadirs/5422-pinosklo-idealnu-utepluva-ch.html>.

Ратушняк Георгій Сергійович – к.т.н., професор кафедри теплогазопостачання, декан факультету будівництва, теплоенергетики та газопостачання Вінницького національного технічного університету.

Колесник Катерина Володимирівна – к.т.н., доцент кафедри теплогазопостачання Вінницького національного технічного університету.

Каташинський В'ячеслав Олександрович – студент Вінницького національного технічного університету.

Ратушняк Георгій Сергеевич – к.т.н., професор кафедри теплогазоснабження, декан факультета строительства, теплоэнергетики и газоснабжения Винницкого национального технического университета

Колесник Екатерина Владимировна – к.т.н., доцент кафедры теплогазоснабжения Винницкого национального технического университета

Каташинский Вячеслав Александрович – студент Винницкого национального технического университета

Ratushniak George – Ph.D., Professor of Heat, dean of construction, heating and gas Vinnytsia National Technical University.

Kolesnik Ekaterina – Ph.D., Associate Professor of Heat Vinnytsia National Technical University.

Katashynskyy Vyacheslav – student Vinnytsia National Technical University.