

## ВПЛИВ ХАРАКТЕРИСТИК СУЧАСНИХ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ НА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ТЕРМОСТАБІЛІЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА БІОГАЗУ

Вінницький національний технічний університет

### Анотація

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

### Abstract

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.

Термостабілізація процесу біоконверсії може бути забезпечена шляхом зниження тепловтрат через огорожувальні конструкції біогазового реактора [1-3]. 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.

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;

$\tau$  – 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;

$\delta$  – 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.

Найбільш поширеними та економічно доцільними ізоляційними матеріалами є пінополіуретан, пінополістирол, мінеральна вата та піноскло. 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 <sup>3</sup> )	40	50	80	160
Вартість матеріалів на 1 м <sup>2</sup> (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.

На основі теплофізичних характеристик сучасних ізоляційних матеріалів виконано моделювання впливу теплопровідності цих матеріалів на енергоефективність термостабілізації процесу виробництва біогазу в біореакторі із врахуванням температурних параметрів зовнішнього середовища. 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 °С. Проте із використанням в якості утеплювача пінополіуретана тепловтрати при термофільному режимі можливо зменшити до 15,62 Вт/м<sup>2</sup>, а із використанням піноскла – до 41,89 Вт/м<sup>2</sup>. Таким чином, найбільш ефективним сучасним теплоізоляційним матеріалом за теплотехнічними параметрами згідно результатів числового моделювання (рис. 1) можна вважати пінополіуретан. До того ж пінополіуретан має меншу вартість (див. табл.1) в порівнянні із плитами пінополістирольними та піносклом, яка становить 114 грн. на 1 м<sup>2</sup> при товщині 0,1 м. Найдорожчим серед запропонованих матеріалів є плити пінополістирольні екструзійні (168 грн. на 1 м<sup>2</sup> при товщині 0,1 м), а найдешевшим – мінеральна вата (86,6 грн. на 1 м<sup>2</sup> при товщині 0,1 м), але за теплотехнічними параметрами вони менш енергоефективні за пінополіуретан.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

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.

**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, e-mail: anohinakatya@i.ua

**Каташинський В'ячеслав Олександрович** – студент Вінницького національного технічного університету, факультет будівництва, теплоенергетики та газопостачання, група БТ-12

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

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

Katashynskyy Vyacheslav O. – student Vinnytsia National Technical University