

ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ АНАЕРОБНИХ БІОРЕАКТОРІВ ІЗ ЗМІННИМ ЗА ЧАСОМ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ

К. О. Іщенко, Д. І. Денесяк

Вінницький національний технічний університет

Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, Вінницька область, 21000, Україна.

E-mail: ksenia1991911@ukr.net; doc13energee@gmail.com

Проведено аналіз джерел виникнення теплових втрат із біогазового реактора та можливі варіанти їх зменшення. Виконано розрахункові дослідження по визначенню теплових втрат з об'єму теплоізованого біогазового реактора під час його розміщення у ґрунті нижче глибини промерзання та за умов розміщення реактора на повітрі. Для визначення геометричних та теплових умов у реакторі проведено розрахунок теоретичного виходу біогазу за умов трьох температурних режимів зброджування: 25 °С, 32 °С та 54 °С. Дослідження показали доцільність розміщення у ґрунті реактора через зниження теплових втрат на 24 % із його об'єму для зимового періоду. Отримані дані дозволили виявити інтенсивність та розподіл виходу біогазу протягом дослідного періоду. Розраховано витрати біогазу для забезпечення власних потреб біогазової установки та представлено порівняння розрахункових даних із даними установок, які перебувають у експлуатації.

Ключові слова: біогаз, біореактор, теплові втрати, термічний опір, температурний режим, диверсифікація.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ АНАЭРОБНЫХ БИОРЕАКТОРОВ С ПЕРЕМЕННЫМ ПО ВРЕМЕНИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ

К. А. Ищенко, Д. И. Денесяк

Винницкий национальный технический университет

Хмельницкое шоссе, 95, г. Винница, Винницкая область, 21000, Украина.

E-mail: ksenia1991911@ukr.net; doc13energee@gmail.com

Проведен анализ источников возникновения тепловых потерь с биогазового реактора и возможные варианты их уменьшения. Выполнены расчетные исследования по определению тепловых потерь из объема теплоизолированного биогазового реактора во время его размещения в грунте ниже глубины промерзания и в условиях размещения реактора на воздухе. Для определения геометрических и тепловых условий в реакторе проведен расчет теоретического выхода биогаза в условиях трех температурных режимов сбраживания: 25°С, 32°С и 54°С. Исследования показали целесообразность размещения в почве реактора из-за снижения тепловых потерь на 24 % с его объема для зимнего периода. Полученные данные позволили выявить интенсивность и распределение выхода биогаза в течение исследовательского периода. Рассчитаны расходы биогаза для обеспечения собственных нужд биогазовой установки и представлено сравнение расчетных данных с данными установок, находящихся в эксплуатации.

Ключевые слова: биогаз, биореактор, тепловые потери, термическое сопротивление, температурный режим, диверсификация.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. З кінця ХХ ст. світова спільнота все більше звертає увагу на проблеми витрати викопних енергетичних ресурсів та техногенного впливу на навколишнє середовище [1]. Паралельно відбувається стрімке збільшення споживання енергії як різними галузями промисловості, так і в комунальному секторі. При цьому Україна імпортує до 60 % всіх первинних джерел енергії, серед яких до 40-60 % нафти та газу [2]. Споживання енергоресурсів в Україні за своєю структурою схоже до країн з власними значними покладами природного газу (Росія, Великобританія). Це для нашої країни є досить неефективним. Для виходу з кризи необхідно забезпечити використання власних енергетичних ресурсів та диверсифікацію джерел енергії.

Розширення номенклатури паливно-енергетичного комплексу країни доцільно проводити шляхом розробки нових та розширення існуючих методів одержання енергії з біоенергетичних ресурсів. Потенціал біоенергетики становить 60 % відновлювальних джерел енергії в Україні. При цьому в Україні використовуються тільки 1,5 % відновлювальних джерел енергії. Енергетичний потенціал біомаси розділяють на теоретичний, технічний, економічний. Під теоретичним енергетичним потенціалом

розуміється кількість біомаси, яка утворилася на території України, а технічний потенціал – біомаса, яку можна використати, враховуючи технічні можливості та економічну доцільність. Економічний потенціал біомаси показує, яку масу сировини економічно доцільно перетворити у теплову енергію [2, 3].

Одним з енергетично ефективних шляхів диверсифікації джерел енергії є використання систем утилізації відходів з виробництвом біогазу. Впровадження перших метантенків відбулося в 20-тих роках ХХ століття у Великобританії, Європі та СРСР. За майже столітній розвиток біогазових технологій залишаються актуальними питання великої витрати енергії для власних потреб (термостабілізація, підігрів, транспортування, перемішування) субстрату біогазового комплексу [1, 3]. В даній роботі розглядаються напрямки підвищення енергетичної ефективності біогазового реактора шляхом зменшення витрат на експлуатацію реактора.

Задачі дослідження:

- 1) визначити джерела втрат енергії у біогазовому реакторі;
- 2) проаналізувати методи зниження енерговитрат на експлуатацію реактора;
- 3) визначити вихід біогазу.

Оцінка енергетичної ефективності біогазового реактора може проводитись за визначенням таких показників: добовий вихід біогазу; товарність біогазу, його якість; витрата біогазу на власні потреби та інше [4]. Найбільший вплив на металоємність складає тип та конструкція біогазового реактора. Наразі відомо багато конструкцій біогазових реакторів горизонтального, вертикального виконання, циліндричної, овальної або прямокутної форми. Найбільш поширеними є горизонтальні та циліндричні реактори, для яких розроблені та впроваджені системи підігріву та перемішування сировини [5, 6].

На вихід біогазу під час метанового зброджування впливають технологічні фактори такі як особливості конструкції біореакторів та особливості технологічного процесу. Окремо варто виділити наступні фактори [7]: завантаження робочого простору; кількість органічної маси, завантаженої в реактор, віднесена до одиниці часу та одиниці об'єму реактора; технологічний час циклу зброджування; час перебування в реакторі органічної маси, яка в нього закладена; інтенсивність перемішування.

Всі ці фактори в певній мірі впливають на максимальний вихід біогазу і на даний час для кожного окремого випадку процесу метаногенезу їх необхідно аналізувати окремо.

Слід відзначити, важливість впливу температури на процес зброджування. В природі метан утворюється за температур від 0 до 97°C [8]. Це призводить до необхідності оптимізувати процес зброджування шляхом виділення трьох температурних зон в життєдіяльності мікроорганізмів (психрофільну – до 20°C, мезофільну – 20-40°C, термофільну – 50-70°C).

В роботі [8] відзначено, що подальше підвищення температури призводить до збільшення виходу біогазу, проте одночасно збільшується кількість вільного аміаку, який при певній концентрації взагалі зупиняє процес метаногенезу. Економічно недоцільно підтримувати високу температуру субстрату в реакторі, оскільки, тепла енергія має свою ціну, а підвищення температури на 1°C не забезпечує пропорційного збільшення виходу біогазу.

Анаеробне зброджування біомаси економічно доцільно проводити при температурі від 20 до 60°C та протягом від 5 до 55 діб, за умов вологості субстрату 90-93 % [9]. У більшості промислових та побутових біореакторів температурні режими зброджування знаходяться в діапазоні 25-54°C, а реальний період зброджування не перевищує 20-30 діб. Для нашого дослідження в якості вихідних умов вибираємо описаний вище діапазон значень, як для реальних установок.

Мета роботи - аналіз енергетичної ефективності та виходу біогазу з біогазового реактора за умов різного температурного режиму зброджування.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.

Проведена оцінка енергетичної ефективності біогазового реактора із врахуванням витрат на попередній підігрів свіжої сировини та теплові втрати в навколишнє середовище, які компенсуються встановленням ізоляції та системи термостабілізації реактора. Схема дослідної моделі представлено на рис. 1.

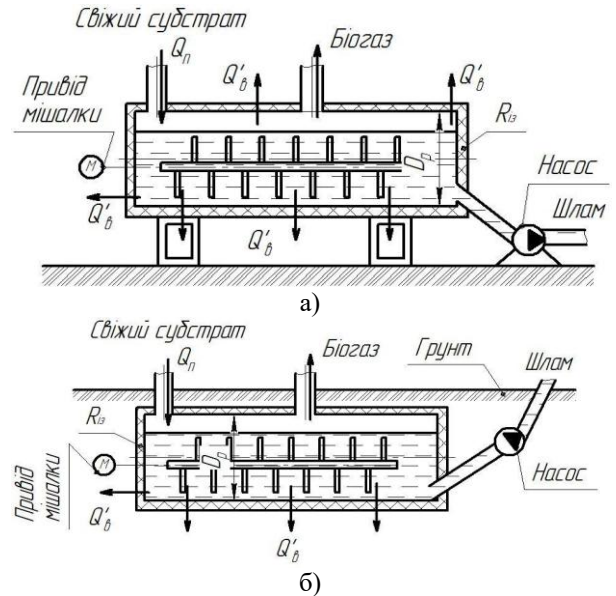


Рисунок 1 – Дослідна модель реактора: а) – розміщення реактора на повітрі; б) – розміщення реактора в ґрунті

Теплові втрати від реактора в навколишнє середовище, Вт.

$$Q_v = k \cdot F \cdot (t_{\text{бр}} - t_{\text{н.с.}}), \quad (1)$$

де k – коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м²·К); F – площа ізолюваного реактора, м²; $t_{\text{бр}}$ – температура зброджування, °C; $t_{\text{н.с.}}$ – температура навколишнього середовища, °C.

Теплова енергія затрачена на підігрів свіжого субстрату до температури процесу зброджування, Дж.

$$Q_n = M \cdot C_c \cdot (t_{\text{бр}} - t_{\text{н.с.}}), \quad (2)$$

де M – добове завантаження субстрату, кг/доба; C_c – теплоємність субстрату, кДж/(кг·К).

Для користування рівняннями (1), (2) потрібно їх представити в однакових величинах. В рівнянні (2) отримуємо енергію, яка необхідна для підігріву субстрату до необхідної температури. Для переведення цієї енергії у затрачену теплову потужність необхідно її розділити на розрахунковий період (24 години, по 3600 с).

Авторами [10] встановлено, що одним з методів зменшення теплових втрат в холодний період року є доцільність розміщувати реактор в ґрунті нижче межі промерзання. З врахуванням матеріалу огорожуючих конструкцій і температур навколишнього середовища та середовища в реакторі теплові втрати визначаються за рівнянням:

$$Q'_v = \frac{t_{\text{бр}} - t_{\text{н.с.}}}{R}, \quad (3)$$

де R – термічний опір огорожуючих конструкцій та ґрунту (м²·°C)/Вт.

Термічний опір визначаємо за методикою [11].

$$R = R_{\text{пр.п.}} + \frac{\delta}{\lambda}, \quad (4)$$

де $R_{пр.ц.}$ – опір теплопередачі, $(м^2 \cdot К)/Вт$, що приймається рівним 2,1 для I зони, 4,3 – для другої зони, 8,6 – для третьої зони, 14,2 – для площі, що залишилась; δ – товщина теплоізолювального шару, м, при теплопровідності утеплювача; $\lambda < 1,2 Вт/(м \cdot К)$.

Температура ґрунту нижче межі промерзання практично не змінюється і становить $0...+5^{\circ}C$ [10, 12].

Коефіцієнт тепловіддачі від поверхні циліндричного реактора визначаємо за формулою [3] $Вт/(м^2 \cdot К)$.

$$\alpha = 11,6 + 7\sqrt{v_в}, \quad (5)$$

де $v_в$ – швидкість вітру, м/с.

За умов складного теплового та гідродинамічного процесу наприклад, наявність інтенсивного перемішування, коефіцієнт тепловіддачі від субстрату до стінки реактора можна визначити за допомогою методики описаної в [13].

Для оцінки коефіцієнта тепловіддачі від субстрату до стінки реактора α_1 використовуємо вираз із безрозмірним комплексом Нуссельта.

$$\alpha_1 = \frac{Nu_1 \cdot \lambda_1}{D_1}. \quad (6)$$

Критерій Нуссельта вибираємо згідно умов теплообміну. Для нашого випадку, за наявності вимушеного та вільного руху теплоносія, використовуємо рівняння виду

$$Nu_1 = 0,15 \cdot Re^{0,33} \cdot Ra^{0,1} \cdot \left(\frac{Pr}{Pr_c}\right)^{0,25} \cdot \varepsilon_1. \quad (7)$$

Із вибраного рівняння необхідно виділити комплекс теплофізичних властивостей (КФВ) для базових та натурних умов у наступному вигляді [13]

$$КФВ_б = \lambda^{k_1} \cdot C_p^{k_2} \cdot \rho^{k_3} \cdot v^{k_4} \cdot \beta^{k_5}, \quad (8)$$

де $k_1...k_5$ – показники степеню; λ – коефіцієнт теплопровідності, $Вт/(м \cdot К)$; v – коефіцієнт кінематичної в'язкості, $м^2/с$; ρ – густина середовища, $кг/м^3$; C_p – теплоємність середовища; β – коефіцієнт температурного розширення, $К^{-1}$; ε_1 – поправка, приймаємо рівною 1.

В даній методиці КФВ_б визначається із апроксимованих даних отриманих у базовому експерименті згідно [13]. КФВ_н для нашого субстрату у вигляді (8) визначимо із рівняння (7) і після математичних перетворень отримаємо

$$КФВ_б = \lambda^{0,57} \cdot C_p^{0,43} \cdot \rho^{0,43} \cdot v^{-0,359} \cdot \beta^{0,1}$$

$$КФВ_н = \lambda^{0,57} \cdot C_p^{0,43} \cdot \rho^{0,43} \cdot v^{-0,1} \cdot \beta^{0,1}$$

Розраховуємо поправку переходу із базового режиму до натурального

$$\Pi_{б-н} = \frac{КФВ_б}{КФВ_н}. \quad (9)$$

Згідно довідкових даних приймаємо КФВ для базового режиму та визначаємо комплекс теплофізичних властивостей для натурних умов

$$КФВ_н = КФВ_б \cdot \Pi_{б-н}. \quad (10)$$

Коефіцієнт тепловіддачі до субстрату визначаємо за (6), записавши його у такому вигляді

$$\alpha_2 = 0,15 \cdot d^{-0,37} \cdot w^{0,33} \cdot g^{0,1} \cdot \Delta t^{0,1} \cdot КФВ_н \cdot (Pr/Pr_c)^{0,25}.$$

Для проведення дослідження приймаємо наступні геометричні умови: діапазон діаметрів реактора від 0,5 до 20 м, згідно попередніх розрахунків для нашого випадку він склав 1,5 м. На ньому встановлюємо ізоляцію товщиною 15 см. Матеріал ізоляції – мінеральна вата з теплопровідністю 0,052 $Вт/(м \cdot К)$.

Результати дослідження сумарних теплових витрат представлені на рис. 2

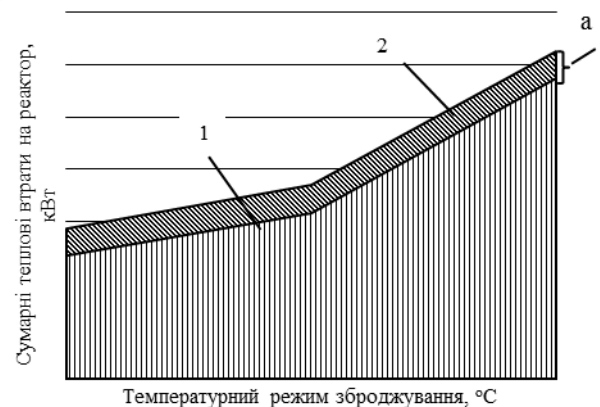


Рисунок 2 – Витрати енергії для власних потреб біогазової установки у періоді зброджування: 1 – витрати енергії у випадку розміщення реактора в ґрунті; 2 – витрати енергії у випадку розміщення реактора на повітрі

Розрахункові дані рис. 2 показують, що розміщення реактора в ґрунті дає змогу зменшити сумарні теплові витрати на 24 % (область а) в порівнянні із реактором встановленим на повітрі. Але варто відзначити, що даний результат отриманий для зимового періоду. У літній період наявна сонячна радіація та висока температура навколишнього середовища, тоді, як температура ґрунту залишається сталою. За умов розміщення реактора в ґрунті та збереження геометричних та теплових умов, енергетичні витрати на нього збільшуються згідно розрахунку за допомогою описаної математичної моделі на 36 % у порівнянні із розміщеним реактором на повітрі.

На даний час у нас відсутні експериментальні дослідження виходу біогазу в залежності від температурного режиму зброджування, тому проводимо розрахунок шляхом прогнозування виходу біогазу з об'єму реактора за методикою описаною в [14]. Необхідними початковими даними є $t_{бр}$ – температура процесу бродіння, $^{\circ}C$; W , % – вологість субстрату; A , % – зольність сухої органічної сировини. В якості сировини приймаємо послід курей, хімічний склад якого визначено згідно [15].

Добовий вихід біогазу, $м^3/(м^3 \cdot доба)$.

$$V_b = \frac{B \cdot S}{\tau} \left(1 - \frac{K}{\tau \cdot \mu_m - 1 + K} \right), \quad (11)$$

де B – максимальний вихід біогазу, $\text{м}^3/\text{кг}$; S – концентрація органічних речовин у завантажувальній сировині, $\text{кг}/\text{м}^3$; τ – час бродіння, доба.

Визначаємо максимальну швидкість мікроорганізмів, доба^{-1}

$$\mu_m = 0,0013 \cdot t_{\text{оп}} - 0,129. \quad (12)$$

Кінематичний коефіцієнт.

$$K = K_r (\mu_m \cdot S - d) / (B \cdot S - K_r \cdot d), \quad (13)$$

де K_r – коефіцієнт пропорційності визначаємо за методикою [14].

Досліджувались три температурних режими збродження в реакторі біогазової установки: 25°C , 32°C , 54°C . Для кожного з температурних режимів проведено розрахунок добового виходу біогазу з м^3 реактору за наступні періоди: 7 діб, 14 діб, 21 доба, 28 діб (рис. 3).

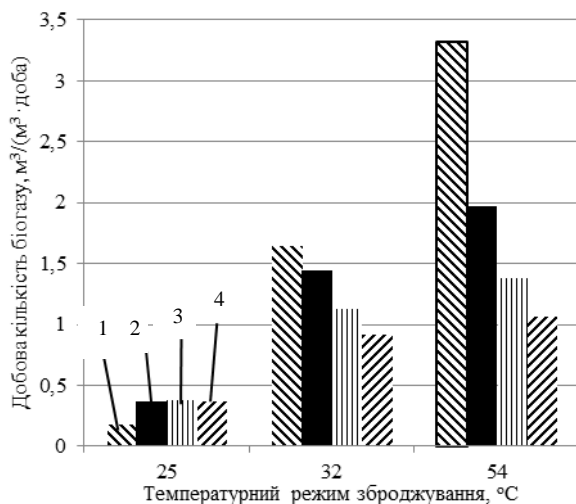


Рисунок 3 – Вихід біогазу при різних температурних режимах збродження. Періоди збродження:

1 – 7 діб; 2 – 14 діб; 3 – 21 доба; 4 – 28 діб

Дослідження показують, що інтенсивність виходу біогазу в загальному зростає із збільшенням температурного режиму збродження. Підвищення температури сприяє швидшому розкладенню біомаси. Для температури 54°C прослідковується, що значна частина біогазу 77 % виділяється за перші 7 днів технологічного процесу, а далі відбувається різке зменшення добового виходу біогазу. Для температури 32°C спостерігається більш рівномірне виділення біогазу протягом всього періоду (28 днів) з поступовим зменшенням середньодобового виходу біогазу. Слід відзначити, що вихід біогазу для останнього тижня двох вище описаних режимів має досить близьке значення і виникає питання в доцільності підтримання температури 54°C в реакторі,

що потребує подальшого дослідження. За умов температури 25°C процес збродження відбувається найменш інтенсивно і профіль виходу біогазу має випуклий в центрі характер, тобто на 2 та 3 тижнях вихід біогазу найбільший.

Проведено розрахунки використання біогазу для власних теплових потреб біогазової установки (підігрів та термостабілізація).

Для режиму збродження 25°C витрати на власні потреби становлять 50-75 %, для 32°C – 25-30 % та для 54°C – 40 %. Реальні дані експлуатації біогазових установок із температурним режимом $38...53^\circ\text{C}$ складають від 5,5 % до 21,5 % [16]. Такий низький показник витрат енергії на власні потреби пояснюється розвинутою системою утилізації теплоти в біогазовій установці та її технологічною досконалістю.

ВИСНОВКИ. Розрахунковий аналіз показав, що при розміщенні біогазового реактора нижче межі промерзання ґрунту теплові втрати з нього зменшуються на 24 % в холодний період року, тому розміщення реактора в ґрунті можна вважати одним із способів підвищення його енергоефективності.

Виконано дослідження виходу біогазу під час анаеробного збродження за трьох найбільш поширених в промисловості температурних режимів 25°C , 32°C , 54°C . Дослідження дозволили виявити розподіл виходу біогазу протягом дослідного періоду (28 діб) та встановити, що за умов температури збродження 54°C у першій семиденний період збродження швидкість виходу біогазу на 77 % вища, ніж за всі інші періоди, а температурний режим 32°C має поступове зменшення виходу біогазу на протязі всього періоду збродження.

ЛІТЕРАТУРА

1. Вплив теплофізичних властивостей біомаси на метано-утворення у побутових біореакторах / В. М. Желих, Е. С. Малкін, Ю. В. Фурдас, О. І. Дзерин та інші. *Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання* : Науково-технічний збірник. Вип.19. К.: КНУБА, 2016. С. 94–100.
2. Єріна А. М. Колодяжна О. І. Динаміка енергоспоживання в Україні у контексті загальносвітових тенденцій : Наукові записки. Економічні науки. К.: НаУКМА. 2001. Том 19. С. 40–44.
3. Дичко А. О., Ополінський І. О. Еколого-економічна оцінка технологій отримання біогазу. *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*. 2016. Вип. 4(99). С. 88–93.
4. Тарасенко С. Є. Методика розрахунку енергетичного балансу метантенка. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Сер. Техніка та енергетика АПК*. 2013. Вип. 185(3). С. 322–328.
5. Ратушняк Г. С., Джеджула В. В. Інтенсифікація біоконверсії коливальним перемішуванням субстрату : Монографія. Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. 117 с.
6. Степанов Д. В., Боднар Л. А. Теплообмінні пристрої в системі біоконверсії. *Вісник ВПІ*. 2005. № 1. С. 55–57.

7. Баадер Б., Доне Е., Брендерфер М. Биогаз : Теория и практика. М.: Колос, 1982. 148 с.

8. Седни В. А., Седнин А. В., Прокопеня И. Н., Шимукович А. А. Анализ факторов, влияющих на производство биогаза при сбраживании осадка сточных вод. *Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. Энергетика : научно-технический и производственный журнал*. 2009. № 5. С. 49–58.

9. Майстренко О. Ю., Куріс Ю. В., Калінцева Ю. С., Власенко В. М. Методи та технології анаеробної переробки тваринницької біомаси. *Енергосбережение. Энергетика. Энергоаудит*. 2010. № 2. С. 29–36.

10. Ратушняк Г. С., Анохіна К. В. Моделирование тепловтрат з біогазової установки в ході розміщення її в ґрунтю *Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки*. 2015. № 1. С. 84–88.

11. Колесник Є. С., Білоус О. М. Методи розрахунку теплопередачі через ґрунт. *Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури*. 2012. Вип. 5. С. 10–16.

12. Любін М. В., Токарчук О. А., Любін В. С., Смалківський С. В. Аналіз, класифікація та вико-

ристання простих біогазових установок. *Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету : Сер. Технічні науки*. 2011. Вип. 8. С. 69–77.

13. Ткаченко С. Й., Пішеніна Н. В. Нові методи визначення інтенсивності теплообміну в системах переробки органічних відходів. Вінниця : ВНТУ, 2017. 148 с.

14. Гюнтер Л. И., Гольдфа Л. Л. Метантенки: Монография. М. : Стройиздат, 1991. 129с.

15. Яремчук О. С., Захаренко М. О., Курбатова І. М. Хімічний склад посліду курей-несучок та особливості його біоферментації за анаеробних умов. *Сучасне птахівництво*. 2012. № 4. С. 20–23.

16. Бурга Геммеке, Криста Ригер, Петер Вайланд, Йенс Шредер. Биогаз на основе возобновляемого сырья. Сравнительный анализ шестидесяти одной установки по производству биогаза в Германии; Специальное агентство возобновляемых ресурсов Хофплатц , Германия; Институт аграрных технологий и биосистемной техники Бундесаллее. Брауншвайг: Германия, 2010. 188 с.

ENERGY EFFICIENCY OF ANAEROBIC BIOREACTORS WITH DIFFERENT TEMPORARY TECHNOLOGICAL PROCESS

K. Ishchenko, D. Denesiak

Vinnitsia National Technical University

Khmelnitsky highway, 95, Vinnitsia, Vinnitsia region, 21000, Ukraine.

E-mail: ksenia1991911@ukr.net; doc13energee@gmail.com

Purpose. To analyze energy efficiency and biogas output from a biogas reactor under the conditions of the 25 °C, 32 °C, 54 °C temperature digestion mode. To estimate energy consumption for biogas plant own needs of heating of fresh substrate and thermostabilization. To determine the feasibility of placing a biogas reactor in the soil. **Methodology.** The analysis of the factors influencing the process of digestion of the substrate and biogas output has been carried out. An assessment of the energy efficiency of a biogas reactor takes into account the costs of preliminary heating of fresh raw materials and thermal losses in the environment, which are compensated by isolation and reactor thermal stabilization systems. The main problems to be solved is the determination of the energy losses source from the biogas reactor; analysis of methods for reducing energy consumption for the operation of the reactor; determination of biogas output. **Originality.** The study divided the fermentation process into periods and investigated the biogas output in each separate period. Comparative data calculation with the data on the operation of real installations has been obtained. The further development of the problem of determining the heat transfer intensity in substrates, which are complicated by the structure of liquids with unknown thermophysical properties, has become further developed. A basis for further research on the location of biogas reactors in the soil was created. **Practical value.** The obtained data makes it possible to predict the operation of a biogas plant under different temperature conditions of fermentation and different period of fermentation. It is possible to simulate heat losses from a biogas reactor and predict its energy efficiency. **Conclusions.** When placing a biogas reactor below the freezing point of the soil, the heat loss from it decreases by 24% in the cold period of the year. The studies allowed to reveal the distribution of biogas output during the experimental period and to establish that at a fermentation temperature of 54 °C in the first seven-day digestion period, the rate of biogas output was 77% higher than in all other periods. The 32 °C temperature regime has a gradual reduction of the biogas output during the entire fermentation period. At a temperature of 25 °C, the biogas output decreases by 2-3 times compared with other temperature regimes.

Key words: biogas, bioreactor, thermal losses, thermal resistance, temperature regime, diversification.

REFERENCES

1. Zhelykh, V. M., Malkin, E. S., Furdas, Yu. V., Dzeryn, O. I., Sukholova, I. Ye., Nesterovych, H. A. (2016), "Vplyv teplofizychnykh vlastyvostei biomasy na metano-utvorennia u pobutovykh bioreaktorakh", *Ventyliatsiia, osvittennia ta teplohapostachannia: Naukovo-tekhnicnyi zbirnyk*, Vol.19, pp. 94-100.

2. Yerina, A. M., Kolodiazna, O. I. (2001), "Dynamika enerhospozhyvannia v Ukraini u konteksti

zahalnosvitovykh tendentsii", *Naukovi zapysky. Ekonomichni nauky*, Vol 19, pp. 40 – 44.

3. Dychko, A. O., Opolinskyi, I. O. (2016), "Ekoloho-ekonomichna otsinka tekhnolohii otrymannia biohazu", *Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi University*, Vol. 4, pp. 88-93.

4. Tarasenko, S. Ye. (2016), "Metodyka rozrakhunku enerhetychnoho balansu metantenka," *Naukovyi visnyk Natsionalnoho universytetu bioresursiv i*

pryrodokorystuvannya Ukrainy. Seriya: Tekhnika ta enerhetyka APK, Vol. 185(3), pp. 322-328.

5. Ratushniak, H. S., Dzhezhdzula, V. V. (2008), *Intensyfikatsiia biokonversii kolyvalnym peremishuvanniam substratu: Monohrafiia*, UNIVERSUM-Vinnytsia, Vinnytsia.

6. Stepanov, D. V., Bodnar, L. A. (2005), "Teploobminni prystroi v systemi biokonversii", *Visnyk VPI*, № 1, pp. 55–57.

7. Baader, B., Done, E., Brenderfer, M. (1982), *Biogaz: Teoriya i praktik*, Kolos, M.

8. Sedni, V. A., Sednin, A. V., Prokopenya, I. N., Shimukovich, A. A. (2009), "Analiz faktorov, vliayuschih na proizvodstvo biogaza pri sbrzhivaniі osadka stochnyih vod", *Izvestiya vysshih uchebnyih zavedeniy i energeticheskikh ob'edineniy SNG - Energetika: nauchno-tehnicheskii i proizvodstvennyi zhurnal*, № 5, pp. 49-58.

9. Maistrenko, O. Yu., Kuris, Yu. V., Kalintseva, Yu. S., Vlasenko, V. M. (2010), "Metody ta tekhnologii anaerobnoi pererobky tvarynnytskoi biomasы" *Enerhosberezhennye. Enerhetyka. Enerhoaudyt*, № 2, pp. 29-36.

10. Ratushniak, H. S., Anokhina, K. V. (2015), "Modeliuvannya teplovtrat z biohazovoi ustanovky v khodi rozmishchennia yii v gruntі", *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky*, № 1, pp. 84-88.

11. Kolesnyk, Ye. S., Bilous, O. M. (2012), "Metody rozrakhunku teploperedachi cherez grunt", *Visnyk Donbaskoi natsionalnoi akademii budivnytstva i arkhitektury*, Vol. 5, pp. 10-16.

12. Liubin, M. V., Tokarchuk, O. A., Liubyn, V. S., Smalkivskykyi, S. V. (2011), "Analiz, klasyfikatsiia ta vykorystannia prostykh biohazovykh ustanovok", *Zbirnyk naukovykh prats Vinnytskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu: Seriya: Tekhnichni nauky*, Vol. 8, pp. 69-77.

13. Tkachenko, S. Y., Pishenina, N. V. (2017), *Novi metody vyznachennia intensyvnosti teploobminu v systemakh pererobky orhanichnykh vidkhodiv*, VNTU, Vinnytsia.

14. Gyunter, L. I., Goldfa, L. L. (2017), *Metantenki: Monografiya*, Stroyizdat, M.

15. Yaremchuk, O. S., Zakharenko, M. O., Kurbatova, I. M. (2012), "Khimichni sklad poslidu kurei-nesuchok ta osoblyvosti yoho biofermentatsii za anaerobnykh umov", *Suchasne ptakhivnytstvo*, № 4, pp. 20-23.

16. Gemmeke, B., Riger, K., Vayland, P., Shreder, Y. (2010), *Biogaz na osnove vozobnovlyаемого syrya. Sravnitelnyiy analiz shestidesyati odnoy ustanovki po proizvodstvu biogaza v Germanii; Spetsialnoe agentstvo vozobnovlyаемyih resursov Hofplatts, Germaniya; Institut agrarnyih tehnologiy i biosistemnoy tehniki Bundesallee, Braunschvayg, Germaniya*.

Стаття надійшла 03.05.2018.