

УДК 621.181.7

С. Й. ТКАЧЕНКО, д-р техн. наук, проф.

Вінницький національно технічний університет, м. Вінниця

Ю. В. КУРІС, канд. техн. наук, член-кореспондент Академії інженерних наук України

Інститут вугільних енерготехнологій НАН України, м. Київ

ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ РОЗРАХУНКІВ СИСТЕМ БІОКОНВЕРСІЇ

В даній статті проведено численний експеримент для оцінки показателів роботи підсистеми термостабілізації реактора БГУ. Модуль теплообміну в реакторі доповнений залежностями інтенсивності тепловіддачі.

В даній статті проведено числовий експеримент для оцінки показників роботи підсистеми термостабілізації реактора БГУ. Модуль теплообміну в реакторі доповнений залежностями інтенсивності тепловіддачі.

Вступ

В умовах подорожчання енергоносіїв та погіршення екологічної ситуації значну увагу слід приділяти альтернативним джерелам енергозабезпечення. Сучасна альтернативна енергетика представлена широким спектром засобів та джерел, але, враховуючи природно-кліматичні умови України, можна зробити висновок про найбільшу перспективність поширення біогазових технологій.

Основна частина

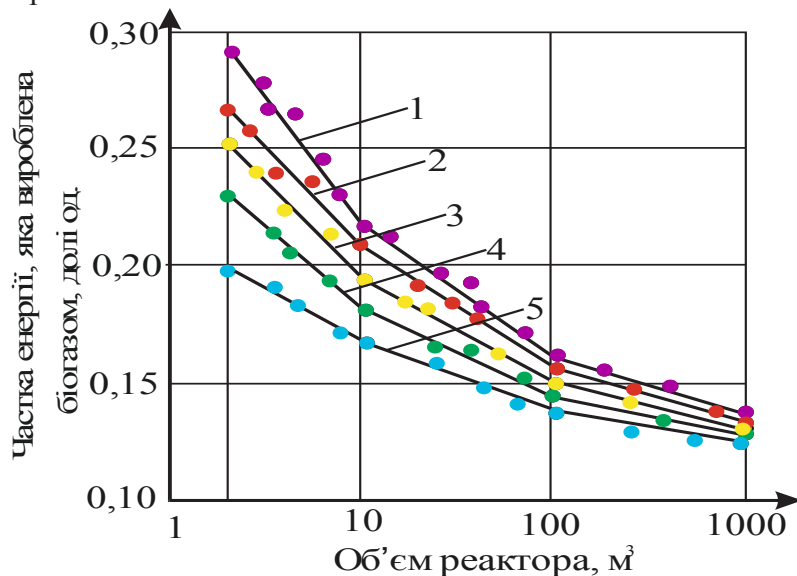
Для оцінки показників роботи підсистеми термостабілізації реактора БГУ проведено числовий експеримент з моделлю, розробка якої показана в [1, 2]. Модуль теплообміну в реакторі доповнений залежностями інтенсивності тепловіддачі, що розроблені в даній роботі за допомогою співробітників кафедри теплоенергетики Вінницького національного технічного університету.

Вихідні дані для експерименту:

- установка переробляє відходи свинарського господарства,
- об'єм добової порції сировини в діапазоні 0,16...80 м³, що відповідає об'єму реактора 2...1000 м³;
- розрахунки основних параметрів БГУ проводяться за [1, 2];
- температура проведення процесу тр відповідає мезо-, термо- та психрофільному режимам;
- величини відхилення режимної температури $\Delta t_{РЕЖ}$ при цьому складають відповідно 2 °С, 1 °С, та 3 °С;
- температура навколишнього середовища змінюється в межах -20...+20 °С;
- ексергетична вартість матеріалу теплообмінника та реактора складала 80000 кДж/кг [2];
- вартість матеріалу теплоізоляції прийнята на основі зрізу цін та перерахунку через ексергетичну вартість електроенергії 4,32 □ 106 кДж/м³;
- в якості теплогенеруючого устаткування обраний водогрійний котел на біогазі з ККД 88 %, ексергетична вартість якого на основі зрізу цін та відповідного перерахунку прийнята на рівні 8,2 ГДж/кВт встановленої потужності;
- розрахунковий строк експлуатації 5 років;
- в якості теплоізолятора обрані мінераловатні мати;
- товщина теплоізоляції визначалася на основі оптимізаційних розрахунків системи термостабілізації, критерієм якості якої приймалися зведені витрати SCICT.

Результати моделювання представлені у вигляді графіків залежності Z – частки виробленої з біогазом енергії, що витрачається на термостабілізацію реактора БГУ – від його об'єму (рис. 1).

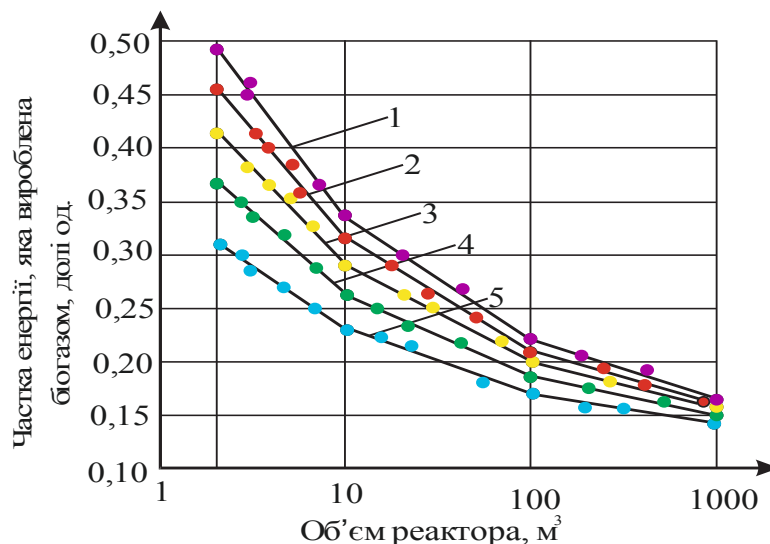
Як бачимо термостабілізація реактора в зимовий період ($t_{nc} = -20...0$ °C) потребує до 25...30 % виробленого біогазу для невеликих установок, і 13...15 % для комплексів переробки з реакторами об'ємом більше 100 м³.



1. $t_{нав} = -17$ °C; 2. $t_{нав} = -12$ °C; 3. $t_{нав} = 0$ °C; 4. $t_{нав} = +13$ °C; 5. $t_{нав} = +21$ °C

Рис. 1. Залежність частки виробленої з біогазом енергії, що йде на термостабілізацію від об'єму реактора БГУ в мезофільному режимі

На рис. 2 наведено графік залежності безрозмірного показника ефективності підсистеми термостабілізації Y від об'єму реактора БГУ V_p .



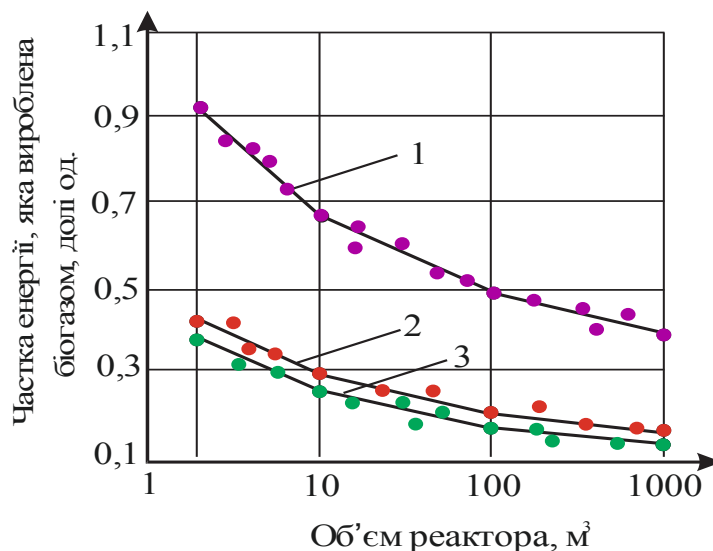
1. $t_{нав} = -17$ °C; 2. $t_{нав} = -12$ °C; 3. $t_{нав} = 0$ °C; 4. $t_{нав} = +13$ °C; 5. $t_{нав} = +21$ °C

Рис. 2. Залежність частки виробленої з біогазом ексергії, що йде на підсистему термостабілізації від об'єму реактора БГУ в мезофільному режимі

З графіка видно, що підсистема термостабілізації реактору малої БГУ з об'ємом $V_p = 2...10$ м³, з використанням дорогих теплоізоляційних та інших матеріалів в зимовий період потребує 30...50 % біогазу, що призведе до значного збільшення собівартості вироблених

продуктів. За умов збільшення потужності установки середньорічна частка витрат на термостабілізацію не перевищує 17...25%. Дані графіки приведені для мезофільного режиму роботи БГУ, оскільки він найбільш поширений в практиці.

Але як термофільний, так і психрофільний режими мають певні особливості, і у визначених умовах можуть бути більш доцільними. На рисунку 3 наведена залежність показника γ , що є відношенням витрат на систему термостабілізацію до ефектів системи біоконверсії, від об'єму реактора в різних температурних режимах зброджування і за сталої температури навколишнього середовища.



1 – мезофільний режим зброджування; 2 – термофільний 3 – психрофільний

Рис. 3. Залежність частки виробленої ексергії, що йде на систему термостабілізації від об'єму реактора БГУ за температури навколишнього середовища 0 °С

Як показують розрахунки, термофільний режим за визначених вище вихідних умов є найбільш ефективним, оскільки його частка витрат на підсистему термостабілізації в його умовах найнижча, і навіть для невеликих установок на 5...8 % менша, ніж в мезофільному режимі і в 2,5 рази менша, ніж в психрофільному.

Але слід враховувати, що в розрахунках було прийнято, що температура чергової порції на 10 °С нижча за режимну. Це потребує особливо великих енерговитрат в циклі підготовки субстрату до зброджування. Тому загальна енергоефективність термофільного режиму не вища за відповідний показник мезофільного.

Психрофільний процес характеризується значно меншим виходом біогазу, що негативно впливає на безрозмірний показник γ . Тому умови найбільшої ефективності такого режиму відповідають найвищим температурам навколишнього середовища, коли витрати енергії на термостабілізацію будуть мінімальними. Мезофільний процес потребує незначних витрат для проведення стабілізованого технологічного процесу із стабільним виходом газу.

Підсистема забезпечення тепловою енергією біогазової установки в складі базової теплотехнологічної системи

Використовуючи розроблені елементи синтезу ПЕ БГУ проведемо числовий експеримент [1, 3].

Мета розрахункового дослідження – співставлення і аналіз ефективності варіантів забезпечення енергією БГУ в складі БТТС.

Розрахунок показника $E_{жив}$ проводиться відповідно до показника $S_{сист}$ з розрахунком на сумарну теплову потужність підсистем термостабілізації та нагріву сировини $Q = Q_{терм} + Q_{нагр}$, де потужність підсистеми нагріву сировини до температурного режиму зброджування

визначається за формулою $Q_{\text{нагр}} = C_c \cdot G_c \cdot (t_{\text{реж}} - t_{\text{нс}})$. Методика доповнена рівняннями, отриманими в даній роботі, що визначають інтенсивність теплообміну в умовах реактора БГУ.

Числовий експеримент проведений за таких початкових умов : БГУ переробляє відходи тваринницького господарства; температурний режим – мезофільний ; теплоносієм – вода; температура навколишнього середовища прийнята $t_{\text{нс}} = 0$ °С; теплоізоляційний матеріал – мінераловатні мати (відповідає умовам критичного діаметру теплоізоляції); розміри теплообмінника, товщина ізоляції трубопроводів та бака-акумулятора визначаються за допомогою оптимізаційної задачі; ККД отримання електроенергії $K_{\text{ЕЛ}} = 0,24$ [514]; ККД котла на біогазі прийнятий в розмірі 0,8; коефіцієнт переводу $K_{\text{рік}} = 31500000$ с/рік; термін окупності обладнання $T_{\text{ок}} = 5$ років, матеріал трубопроводів, Б-А та теплообмінника – сталь, її вартість $e_{\text{труб}} = e_{\text{Б-А}} = e_{\text{то}} = 80\,000$ кДж/кг [4]; питомі ексергетичні вартості устаткування, теплоізоляції та коефіцієнти обробки матеріалу знайдені за допомогою зрізу цін та коефіцієнтів переводу грошових одиниць в ексергетичні, що визначені з перерахунку грошової та ексергетичної вартості електроенергії. Питомі ексергетичні вартості : нагнітача $e_{\text{наг}} = 9$ ГДж/кВт; електрокотла $e_{\text{ек}} = 10$ ГДж/кВт; біогазового котла $e_{\text{бк}} = 8,2$ ГДж/кВт; зведені витрати на тризонний лічильник електричної енергії $E_{\text{ліч}} = 7,2$ ГДж/рік; матеріалу теплоізоляції $e_{\text{ізол}} = 4,32$ ГДж/м³; коефіцієнти обробки матеріалу: $K_{\text{то}}^{\text{обр}} = 1,5$; $K_{\text{труб}}^{\text{обр}} = 1,4$; $K_{\text{Б-А}}^{\text{обр}} = 1,25$. Результати розрахунків представлені на (рис. 4).

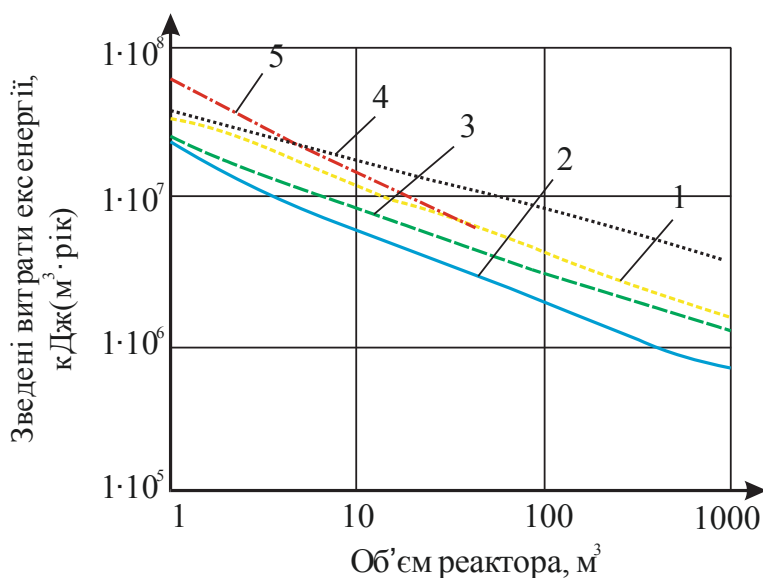


Рис. 4. Залежність питомих зведених витрат ексергії на живлення БГУ $E_{\text{жив}}$ від об'єму реактора V_p для різних варіантів живлення

1 – зведені витрати $E_{\text{жив}}$ для варіанта живлення бросовою енергією з відстані 500 м із використанням додаткового насоса для повернення носія у вихідну ємкість; 2 – зведені витрати для варіанта живлення бросовою енергією, джерело якої знаходиться на відстані 1500 м і підводиться вона самопливом при наявному перепаді тиску 50 кПа; 3 – зведені витрати для варіанта живлення за допомогою котла на біогазі, що знаходиться на відстані 50 м від БГУ, для циркуляції носія використовується додатковий насос; 4 – показує залежність $E_{\text{жив}}$ для варіанта живлення за допомогою електрокотла, що знаходиться в безпосередній близькості від реактора БГУ; 5 – характеризує зведені витрати для варіанта живлення за допомогою бака-акумулятора, що знаходиться на відстані 100 м від реактора (із використанням циркуляційного насоса) та тризонного лічильника електроенергії.

Аналізуючи результати графіка на рис. 4 видно, що найбільш ефективним варіантом живлення БГУ тепловою енергією з запропонованих є використання скидної енергії з відстані 1500 м самопливом (лінія 2). Дещо менш ефективним є варіант використання котла на біогазі (лінія 3). Найбільші зведені витрати для установок з об'ємом реактора до 6 м^3 має варіант використання бака-акумулятора з тризонним лічильником електроенергії (лінія 5), але при об'ємах реактора більше 6 м^3 найбільших зведених витрат ексергії потребує система живлення із використанням електродкотла (лінія 4).

Значення зведених витрат ексергії, що супроводжують процес живлення БГУ бросовою тепловою енергією з джерела, що знаходиться на відстані 500 м від реактора БГУ (із поверненням теплоносія в вихідну ємкість за допомогою циркуляційного насосу в 1,5...2,5 рази більші за витрати на найбільш ефективний варіант, але в 2...3 рази менші за витрати на найгірший за розробленим критерієм варіант.

Забезпечення енергетичних потреб присадибного господарства за допомогою системи біоконверсії

Наявні у кожному господарстві великі обсяги органічних відходів доцільно утилізувати з максимальним сумарним ефектом вирішення комплексних задач: енергетичної, екологічної, постачання власного господарства добривами, запобігання зараженню ґрунтових вод тощо.

Біогазові реактори в Україні не набули значного поширення у зв'язку з їх значною вартістю, примхливістю технологій метанового бродіння, значним енергоспоживанням.

Вирішення цих проблем потребує розроблення нових моделей і конструкцій реакторів, які будуть недорогі, енергоефективні, мати автоматизоване управління, пристосовані до умов роботи в Україні. При їх конструюванні необхідно враховувати сучасні досягнення теплоенергетики, вирішувати специфічні задачі теплообміну у субстратах, використовувати останні досягнення автоматизації.

Розглянемо питання енергозбереження в сільському господарстві за рахунок задоволення теплових потреб виробленим біогазом. До таких потреб відносяться:

- гаряче водопостачання;
- опалення житлового будинку;
- приготування їжі для мешканців;
- приготування кормів для тварин.

Для аналізу енергетичної ефективності використання процесу анаеробної переробки органічних відходів для задоволення теплових потреб селянського господарства використана величина економії зовнішніх енергоносіїв (ЕЗЕН) [1, 2].

Такий розрахунок побудований на визначенні відношення кількості біогазу, що виробляється установкою для анаеробного зброджування з урахуванням власних потреб процесу, до величини загальних енерговитрат на забезпечення теплових потреб модельного селянського господарства.

Розрахунки проводилися для господарства, з характеристиками [3]:

- 1) мешканців – двоє дорослих, одна дитина;
- 2) житлова площа будинку $S_{\text{ж}}=80 \text{ м}^2$;
- 3) термін опалювального сезону $n_{\text{оп}}=180$ діб ;
- 4) питомі витрати на гаряче водопостачання [1, 2] (для дорослих – $q_{\text{ВП}}^{\text{ДОР}}=5225$ МДж/рік; для дітей – $q_{\text{ВП}}^{\text{ДИТ}}=2670$ МДж /рік);
- 5) нижча теплота згорання біогазу $Q_{\text{Н}}^{\text{р}}=22$ МДж/м³ ;
- 6) ККД котла $\eta = 0,88$;
- 7) питома потреба в теплоті для опалення будинку $q_{\text{оп}} = 191$ Вт/м² [4];
- 8) питома потреба в теплоті для приготування їжі [2] $Q_{\text{їжі}}=3,14$ МДж/(люд·добу);
- 9) питома потреба в теплоті для приготування кормів для свиней $0,04$ м³/добу, кількість свиней – 12, для корів – $0,05$ м³/добу, кількість корів 16.

Отже, результати розрахунків (рис. 5) представлені у вигляді залежності ЕЗЕН від кількості умовних голів тварин в господарстві.

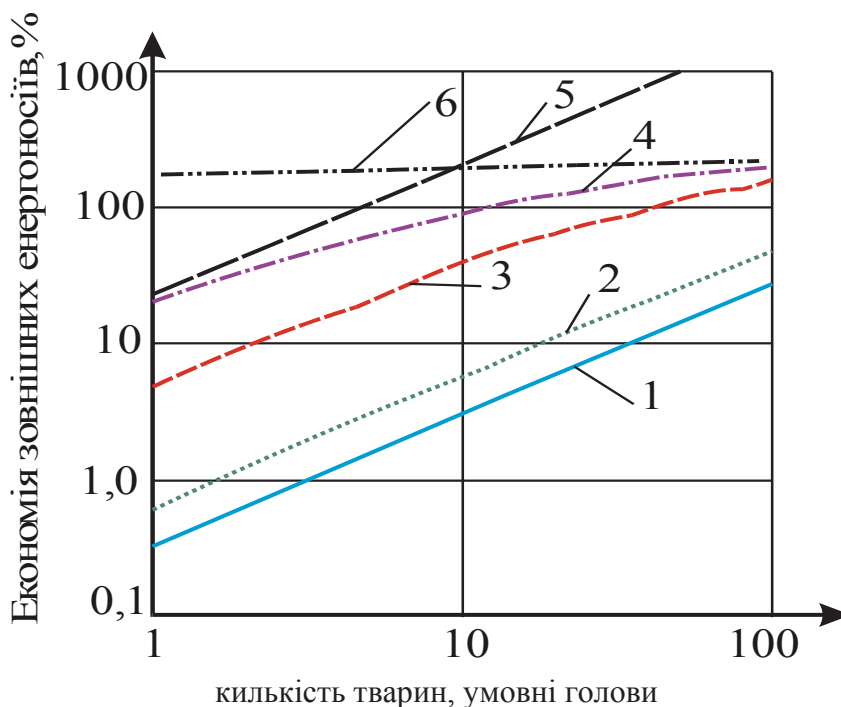


Рис. 5. Залежність економії зовнішніх енергоносіїв (у відсотках від загальної витрати зовнішніх енергоносіїв) від кількості тварин в господарстві

1 – економія енергоносіїв на потреби гарячого водопостачання, опалення, приготування їжі та кормів для тварин; 2 – економія енергоносіїв за умови, що витрати на опалення будинку мешканців зменшаться вдвічі (згідно норм розвинутих країн); 3 – економія енергоносіїв на забезпечення потреб гарячого водопостачання, приготування їжі та кормів; 4 – економія від витрат енергоносіїв на приготування їжі та кормів; 5 – економія енергоносіїв при приготування кормів для тварин; 6 – економія енергоносіїв, що йдуть на приготування їжі для працівників селянського господарства

Коефіцієнти перерахунку реальної кількості тварин в умовні голови: 1 свиня=1 у.г.; 1 голова ВРХ=3,5 у.г.; 1 голова бичків=1,5 у.г.

Висновки

При аналізі результатів можна сказати, що БГУ може задовольнити загальні теплові потреби реального селянського господарства в зимовий період на 2...6 %. Якщо можливо було б зменшити витрати на опалення вдвічі і наблизитись до показників закордонних будівельних технологій, то біогазова установка дозволила б зекономити до 11 % зовнішніх енергоносіїв, що споживає селянське господарство. За умов використання БГУ в господарстві, де є більше 8 умовних голів тварин теплові потреби на приготування їжі та кормів повністю покриваються за рахунок отриманого біогазу. За наявності 30 умовних голів процес біоконверсії може покрити додатково потреби на гаряче водопостачання селянського господарства.

Список літератури

1. Степанов Д. В. Моделирование системы термостабилизации реактора биогазовой установки // Вісник ВПІ. – 2000. – № 6. – С. 25 – 29.
2. Ткаченко С. Й., Степанов Д. В., Резидент Н. В. Залежності для оцінки значень коефіцієнтів тепловіддачі в системах термостабилизации біогазового реактора // Вісник ВПІ. – 2004. – № 2. – С. 65–70.

3. Курис Ю. В. Экономические и экологические области использования методов биотехнологий в окружающей среде // Сборник конференции “Понт Эвксинский III”/ Ю. В. Курис, Е. Н. Крючков, Л. М. Шинкаренко – № 1 – С. – 2003. – Севастополь, С. 27–30.

4. Майстренко О. Ю. Методи та технології анаеробної переробки тваринницької біомаси / О. Ю. Майстренко, Ю. В. Куріс, Ю. С. Калінцева, І. В. Літвішків // Фаховий журнал «Енергозбереження • Енергетика • Енергоаудит». Харків, – №2. – 2010. – С. 29–37.

PRACTICAL ASPECTS OF CALCULATIONS OF SYSTEMS OF BIOCONVERSION

S. Jo. TKACHENKO, D-r Scie. Tech., Pf.

Ju. V. KURIS, Cand. Tech. Scie.

In this article a numeral experiment is conducted for the estimation of indexes of work of subsystem of termostabilizacii of reactor of BGS. The module of heat exchange in a reactor is complemented dependences of intensity of heat emission.

Поступила в редакцию 10.05 2011 г.