

МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ТЕРМОСТАБІЛІЗАЦІЇ РОБОЧОЇ ЄМКОСТІ БІОГАЗОВОЇ УСТАНОВКИ

Магістр, аспірант Степанов Д.В.

Як відомо, використання біогазових установок (БГУ) є перспективним методом утилізації органічних відходів. Але недостатнє розповсюдження такого устаткування на Україні пов'язане з недоліками в проробці енергетичного забезпечення технологічного процесу.

Одною з основних особливостей процесу анаеробної біоконверсії органічних речовин в БГУ є суттєва чутливість до зміни температури всередині робочої ємкості (біогазового реактора). Найменш чутливий до термоперепадів психрофільний режим (20 °С). Згідно даних [1] при проведенні технологічного процесу в мезофільному режимі (32 – 35 °С) допустиме коливання температури в реакторі складає 2,8 °С, а при використанні термофільного режиму не більше 0,3 °С. Вихід за вказані межі суттєво зменшує ефективність процесу переробки речовин. Тому ідентифікація системи термостабілізації, що дозволить якісно проектувати та керувати відповідним обладнанням, є першочерговим теплоенергетичним питанням процесу анаеробної біоконверсії.

Основна вимога до системи термостабілізації реактора може бути представлена у вигляді :

$$t_{РЕЖ} + \Delta t_{РЕЖ} \geq t_{СТ.Р} \geq t_{РЕЖ} - \Delta t_{РЕЖ}, \quad (1)$$

$$t_{РЕЖ} + \Delta t_{РЕЖ} \geq t_{СТ.ТО} \geq t_{РЕЖ} - \Delta t_{РЕЖ} \quad , \quad (2)$$

де $t_{РЕЖ}$ - оптимальна температура при проведенні технологічного процесу в визначеному режимі, °С ; $\Delta t_{РЕЖ}$ - припустиме відхилення температури субстрату від оптимальної, °С ; $t_{СТ.Р}$ - температура середовища біля зовнішньої стінки реактора, °С ; $t_{СТ.ТО}$ - температура середовища біля зовнішньої стінки теплообмінника, °С.

При розміщенні теплообмінного пристрою біля середини реактору, і, враховуючи умови можливості теплообміну між середовищем, теплоносієм та

навколишнім середовищем, залежності (1), (2) трансформуються до вигляду :

$$t_{РЕЖ} \geq t_{СТ.Р} > t_{РЕЖ} - \Delta t_{РЕЖ} \quad (3)$$

$$t_{РЕЖ} + \Delta t_{РЕЖ} \geq t_{СТ.ТО} > t_{РЕЖ} \quad (4)$$

Іншими словами перед системою термостабілізації стоїть питання забезпечення робочої ємкості тепловою енергією, кількість якої повинна відповідати витратам теплоти за межі реактора, а температура теплоносія повинна забезпечувати температуру зовнішньої стінки теплообмінника в діапазоні (4).

Але така система може бути реалізована за допомогою різних апаратно-схемних рішень. Тому постає важливе питання визначення ефективності змодельованої системи відносно простими шляхами.

Особливістю процесу анаеробної переробки в біогазових установках, що працюють в біоенергетичному режимі є поєднання економічних та енергетичних показників. Використання поширеного техніко-економічного критерію - зведені витрати при експлуатації системи, потребує високого ступеню готовності системи, наявності повного циклу проектних розрахунків, які відсутні на передпроектних етапах. А агреговані економічні розрахунки не дозволяють врахувати особливості енергетичного аспекту технологічного процесу. Авторами роботи [2] для визначення ефективності процесу анаеробної переробки запропонований термoeкономічний критерій, в основі якого закладене поєднання ексергетичного принципу та економічного метода зведених витрат.

В даному випадку розроблена математична модель ґрунтується на безрозмірному термoeкономічному критерії якості системи термостабілізації і має вигляд :

$$Y = S_{СИСТ} / E_{БИОГ} , \quad (5)$$

де $S_{СИСТ}$ – величина зведених витрат системи термостабілізації реактора, що визначається в ексергетичних одиницях :

$$S_{СИСТ} = f (X_{СИР} , N_{НАГ} , X_{НАГ} , X_{ТР} , X_{ТО} , X_{ІЗ} , Q_{ТО} , X_{ТГУ}) , \quad (6)$$

де $X_{СИР}$; $X_{НАГ}$; $X_{ТО}$; $X_{ІЗ}$; $X_{ТГУ}$ – характеристики сировини ; нагнітачів ; матеріалу та схеми трубопроводів ; матеріалу та конструкції теплообмінника ; матеріалу теплоізоляції ; теплогенеруючого обладнання відповідно ;

$N_{\text{НАГ}}$ – встановлена потужність нагнітачів, визначається :

$$N_{\text{НАГ}} = f (X_{\text{СИР}} , X_{\text{НАГ}} , X_{\text{ТР}} , X_{\text{ТО}} , G_{\text{P}}) , \quad (7)$$

де G_{P} – витрати відповідних потоків речовини ;

$Q_{\text{ТО}}$ – кількість теплоти, що необхідно підвести в теплообміннику реактора :

$$Q_{\text{ТО}} = f (t_{\text{РЕЖ}} , t_1 , t_2 , G_{\text{P}} , t_{\text{ЗОВ}} , X_{\text{ІЗ}} , X_{\text{ТО}} , X_{\text{СИР}}) , \quad (8)$$

де $t_{\text{РЕЖ}}$ – температура в реакторі, що відповідає обраному режиму ;

t_1 , t_2 – температура носія на вході та на виході з теплообмінника. На ці величини накладаються обмеження описані вище ;

$t_{\text{ЗОВ}}$ – температура зовнішнього середовища ;

$E_{\text{БІОГ}}$ – кількість ексергії, виробленої з біогазом за відповідний термін :

$$E_{\text{БІОГ}} = V_{\text{БІОГ}} \cdot Q_{\text{Н}}^{\text{P}}{}_{\text{БІОГ}} , \quad (9)$$

де $Q_{\text{Н}}^{\text{P}}{}_{\text{БІОГ}}$ – нижча теплотворна здатність біогазу ;

$V_{\text{БІОГ}}$ – вихід біогазу за відповідний термін. Така величина може визначатись за [4], але складність біохімікотехнологічного процесу і недостатня його формалізація підштовхують до використання нетрадиційних методів моделювання, наприклад, підходи нечіткої логіки.

Математичний опис моделі побудований на основі таких відомих залежностей, як рівняння теплового та матеріального балансів, вирази для визначення інтенсивності теплообміну при різних режимах руху теплоносіїв, рівняння теплопередачі та інші.

В якості вихідних даних використані : об'єм добового завантаження; характеристики сировини, реактора, теплообмінного пристрою, шару ізоляції та теплогенеруючого устаткування; температурний режим; температура завантажуваної порції сировини та навколишнього середовища тощо.

Шукані величини : температури теплоносія на вході та виході з теплообмінника; підведений тепловий потік; витрати ексергії на систему термостабілізації $S_{\text{СИСТ}}$; кількість ексергії, що відпускається з виробленим біогазом, $E_{\text{БІОГ}}$; частка виробленої ексергії, що йде на систему підтримання термостабільності в реакторі Y ; відношення кількості енергії, яка підводиться в реактор БГУ до виробленої з біогазом потенційної енергії, Z .

При побудові моделі використані наступні спрощення :

- 1) властивості середовища в реакторі, вологість якого 92 %, співпадають з властивостями води, окрім густини та в'язкості, які визначаються за [3] ;
- 2) біогазовий реактор має циліндричну форму ;
- 3) габарити реактора описуються співвідношенням “висота : діаметр” = 2,5 : 1 ;
- 4) температура чергової порції на 10°C нижча за режимну температуру t_p .

Автором проведений числовий експеримент. Вхідні дані : установка переробляє відходи свинарського господарства, об'єм добової порції сировини змінювався в діапазоні $0,16 \div 80 \text{ м}^3$, що відповідає об'єму реактора $2 \div 1000 \text{ м}^3$; розрахунки основних параметрів БГУ проводилися за [4] ; температура t_p відповідала мезо-, термо- та психрофільному режимам ; величини $\Delta t_{\text{РЕЖ}}$ при цьому

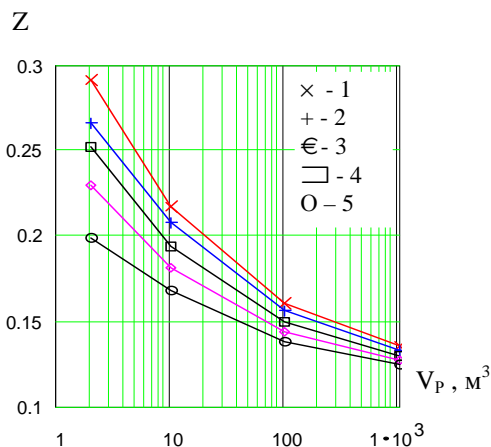


Рис. 1. Залежність частки виробленої з біогазом енергії, що йде на термостабілізацію від об'єму реактора БГУ при мезофільному режимі. Позначення: 1 – температура навколишнього середовища (-20°C); 2 – (-10); 3 – (0); 4 – (10); 5 – (20).

складали відповідно 2°C , 1°C , та 3°C ; температура навколишнього середовища змінювалася в межах $(-20) \div 20^{\circ}\text{C}$; ексергетична вартість матеріалу теплообмінника та реактора складала $80\,000 \text{ кДж/кг}$ [5] ; вартість матеріалу теплоізоляції прийнята на основі зрізу цін та перерахунку через ексергетичну вартість електроенергії $4,32 \cdot 10^6 \text{ кДж/м}^3$; 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 $8,2 \text{ ГДж/кВт}$ 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 $S_{\text{СИСТ}}$.

Результати моделювання представлені у вигляді графіків залежності частки виробленої з біогазом енергії, що витрачається на термостабілізацію реактора БГУ Z від його об'єму (рисунок 1). Як бачимо термостабілізація реактора в зимовий період ($t_{\text{НС}} = (-20) \div 0^{\circ}\text{C}$) потребує до $25 \div 30 \%$ виробленого біогазу

для невеликих установок, і 13 ÷ 15 % для комплексів переробки з реакторами об'ємом більше 100 м³.

На рисунку 2 наведено графік залежності безрозмірного показника ефективності системи термостабілізації Y

від об'єму реактора БГУ V_P .

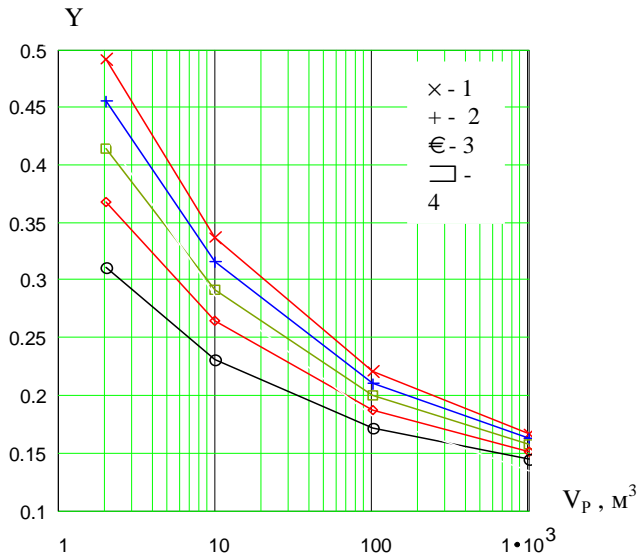


Рис. 2. Залежність частки виробленої з біогазом ексергії, що йде на систему термостабілізації від об'єму реактора БГУ при мезофільному режимі. Позначення : 1 – температура навколишнього середовища (-20°C) ; 2 – (- 10°C) ; 3 – 0 °C ; 4 – 10 °C ; 5 – 20 °C.

З графіку видно, що система термостабілізації реактору малої БГУ $V_P = 2 \div 10 \text{ м}^3$ недоцільна, оскільки витрати на неї в зимовий період складають 30 ÷ 50 %, що призведе до значного збільшення собівартості вироблених продуктів. При збільшенні потужності установки середньорічна частка витрат на термостабілізацію не перевищує 17÷25%, що цілком прийнятно.

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 в визначених умовах можуть бути більш доцільними.

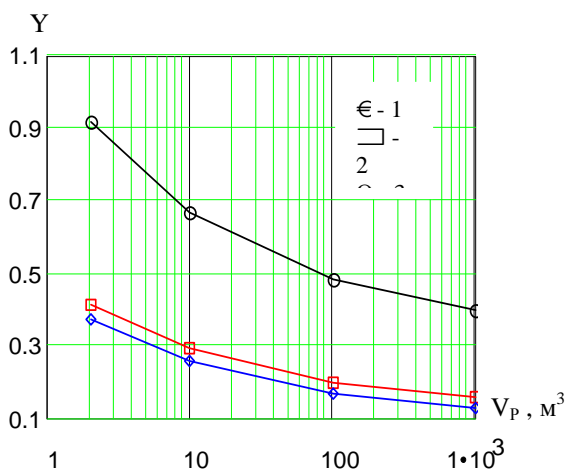


Рис. 3. Залежність частки виробленої ексергії, що йде на систему термостатування від об'єму реактора БГУ при температурі навколишнього середовища 0 °C . Позначення: 1 – мезофільний режим збродження ; 2 – термофільний ; 3- психрофільний .

На рисунку 3 продемонструємо залежність безрозмірного показника ефективності Y від об'єму реактора в різних температурних режимах збродження і при сталій температурі навколишнього середовища. Як показують розрахунки термофільний режим при визначених вище вихідних умовах є найбільш ефективним, оскільки частка витрат на систему термостатування в

його умовах найнижча, і навіть для невеликих установок на $5 \div 8$ % 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°C нижча за режимну, а це потребує особливо великих енерговитрат в циклі підготовки субстрату до збродження, тому загальна енергоефективність термофільного процесу не вища за відповідний показник мезофільного. Психрофільний процес характеризується значно меншим виходом біогазу, що значно негативно впливає на безрозмірний показник Y , тому умови найбільшої ефективності такого режиму відповідають найбільшим температурам навколишнього середовища, коли витрати енергії на термостабілізацію будуть мінімальними. А мезофільний процес потребує оптимальних витрат для проведення стабілізованого технологічного процесу збродження.

ВИСНОВКИ

Запропонована в статті математична модель дозволяє аналізувати існуючі системи забезпечення тепловою енергією БГУ, оптимізувати їх, а також проектувати відповідні високоефективні системи. Критерієм якості системи обраний безрозмірний термoeкономічний критерій, що являє собою частку виробленої з біогазом ексергії, що йде на систему термостабілізації реактора БГУ.

В роботі представлені результати числового експерименту, що проводився при змінних значеннях температури навколишнього середовища, об'єму добового завантаження реактора, різних температурних режимах. Товщина теплоізоляції реактора визначалася шляхом оптимізації, критерієм якої були зведені витрати ексергії на систему термостабілізації реактора. Аналіз результатів дозволяє говорити, що мезофільний режим є найбільш оптимальним варіантом температурного режиму при здійсненні технологічного процесу анаеробного збродження в біогазовій установці.

ЛІТЕРАТУРА

1 Семененко И.В. Разработка интенсивной технологии переработки отходов животноводческого комплекса в биогаз и удобрения. – Дис. канд. тех. наук : Киев, 1987.– 260 с.

- 2 Ткаченко С.Й., Ларюшкін Є.П., Нудель Г.О., Таргоня В.С. Оцінка енергетичної ефективності біогазової установки // Вісник ВПІ. - 1998. - № 2. -С. 48-55.
- 3 Технология орошения животноводческими стоками /А.М. Буцыкин, В.Г. Луцкий, А.Г. Пономарев, Л.П. Рева.. – М.: Агропромиздат, 1987. – 160 с.
- 4 Гюнтер Л.И., Гольдфарб Л.Л. Метантенки. –М.: Стройиздат, 1991. – 128 с.
- 5 Янтовский Е.И. Потоки энергии и эксергии. –М.: Наука, –1988. – 144 с.

Кафедра теплоенергетики, газопостачання та інженерного забезпечення
будівництва
Степанов Д.В.