

Д. В. Степанов, к.т.н.; Л. А. Боднар, к.т.н.; Н. В. Пішеніна, аспір.

## **УТИЛІЗАЦІЯ ТЕПЛОТИ В СХЕМІ СИСТЕМИ ПЕРЕРОБКИ ОРГАНІЧНИХ ВІДХОДІВ**

### **Вступ, постановка задачі**

Енергозбережні системи утилізації органічних відходів (ЕСУОВ) призначені для комплексної переробки рідких та твердих органічних відходів різного походження і отримання теплової і електричної енергії [1]. Застосування ЕСУОВ дозволяє суттєво зменшити забруднення навколишнього середовища.

В даній роботі увага приділена підсистемі утилізації рідких органічних відходів. Переробка відходів здійснюється шляхом метанового бродіння в біогазових установках (БГУ). ЕСУОВ як будь-яка складна система складається з великої кількості підсистем і елементів і характеризується споживанням енергії, шкідливими викидами та матеріаломісткістю. Під час виготовлення всіх елементів ЕСУОВ і особливо під час її експлуатації відбувається техногенне навантаження на навколишнє середовище.

Для створення ефективної системи утилізації відходів необхідно виявити раціональний метод визначення її ефективності.

Останнім часом широко використовують спосіб оцінювання ефективності певної продукції чи системи протягом повного життєвого циклу (life cycle assessment – LCA) [2]. LCA – визнаний міжнародний підхід для визначення переваг матеріалів, виробів чи процесів, викладений в системі стандартів ISO14000.

З використанням цього підходу розроблено метод “Eco-indicator 99”[3], який дозволяє оцінювати техногенне навантаження на навколишнє середовище на всіх етапах існування системи (отримання сировини, її первинна обробка, виготовлення елементів системи, транспортні операції, складання, використання по призначенню, ремонт і обслуговування, демонтаж, вторинне використання і утилізація матеріалів) з точки зору найбільш важливих аспектів – дія на організм людини, забруднення атмосфери і води, дія на озоновий шар, виснаження запасів атмосфери і води, вичерпність запасів викопних палив, затрати енергії.

Використання теплоутилізації в схемі системи біоконверсії органічних відходів призводить до підвищення енергетичної ефективності системи, але вимагає збільшення металоємності системи.

Метою даної роботи є виявлення меж доцільності теплоутилізації в схемі системи переробки органічних відходів.

### **Основні дослідження**

Використання систем біоконверсії для утилізації рідких органічних відходів дозволяє зменшити техногенне навантаження на навколишнє середовище, оскільки виключається можливість забруднення високотоксичними компонентами, які утворюються при неконтрольованому бродінні органіки (аміак, метан, кислоти тощо). Але процес спорудження БГУ, виготовлення її елементів, з'єднувальних трубопроводів, а також етап експлуатації, пов'язаний із витратами матеріалів, теплової та електричної енергії вимагає використання енергетичних та інших ресур-

сів. Під час отримання, транспортування використання таких ресурсів відбувається техногенне навантаження на навколишнє середовище.

Підвищення енергетичної ефективності БГУ можливо досягти за рахунок використання елементів теплоутилізації в тепловій схемі. На рис. 1 представлено схему БГУ з теплоутилізацією [4]. В якості теплогенератора може використовуватись водогрійний котел або газогенератор з теплогенератором для переробки твердих органічних відходів.

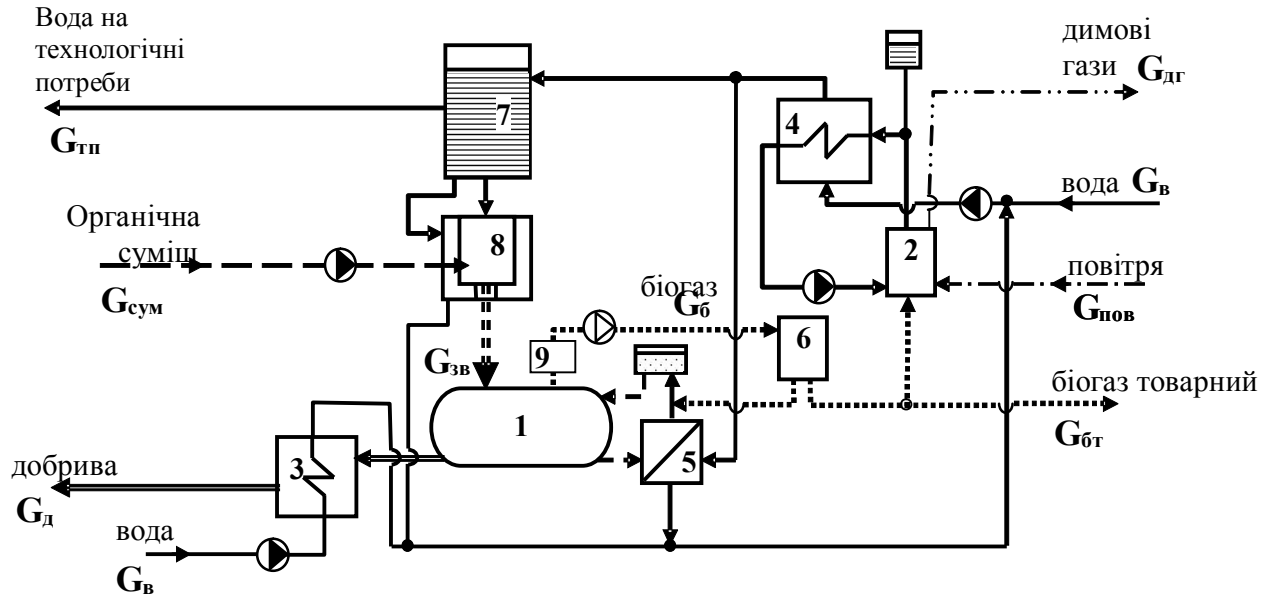


Рис. 1. Об'єкт досліджень – схема системи переробки органічних відходів: 1 – біореактор; 2 – теплогенератор; 3 – теплоутилізатор відпрацьованого субстрату (ТУВС); 4 – теплообмінник; 5 – теплообмінник термостабілізації реактора; 6 – газгольдер; 7 – бак акумулятор гарячої води; 8 – змішувач; 9 – підсистема підготовки отриманого біогазу до використання

Система переробки відходів містить елемент утилізації теплоти відпрацьованої суміші та підсистему підготовки отриманого біогазу до використання, яка складається із елементів утилізації теплоти та зниження вологості біогазу.

Підвищення ступеню теплоутилізації в системі призводить до зменшення витрат виробленого біогазу на власні потреби установки. Отже, маємо можливість більшої економії первинних енергоносіїв, наприклад, природного газу, на забезпечення енергетичних потреб підприємства і відповідного зменшення техногенного навантаження на навколишнє середовище. Але, підвищення ступеню теплоутилізації призводить до збільшення матеріаломісткості установки і відповідного збільшення техногенного навантаження на навколишнє середовище, викликаного виробництвом матеріалів, їх обробкою, транспортуванням та монтажем обладнання.

Оцінювання техногенного навантаження на навколишнє середовище протягом життєвого циклу системи проводилось з використанням методу “Eco-indicator 99”, який реалізований у програмному продукті SimaPro 7.2 [5].

За методом Eco-indicator 99 (Ei-99) для оцінки техногенного навантаження системи використовується безрозмірна величина Eco-indicator point (Pt).

Для оцінювання техногенного навантаження на навколишнє середовище протягом життєвого циклу системи з використанням Sima Pro 7.2 нами сформовано початкові дані на основі проведеного математичного моделювання тепломасо-

обмінних та гідродинамічних процесів в елементах системи.

Для схеми системи, наведеної на рис. 1 виконані дослідження ефективності степені утилізації теплоти відпрацьованого субстрату та доцільності утилізації теплоти отриманого біогазу.

Початковими даними для числових експериментів є: витрата відходів (м'ясна барда) 6700 кг/добу; їх вологість 86%; температура зброженого субстрату та отриманого біогазу 35<sup>0</sup>С; температура холодної води в міжопалювальний період 8<sup>0</sup>С, в середньоопалювальний – 5<sup>0</sup>С; матеріал теплообмінної поверхні ТУВС – мідь; ефект від теплоутилізації виражений у економії природного газу на нагрів води для технологічних споживачів, який може бути замінений біогазом, режим роботи БГУ безперервний, вихід біогазу з одиниці об'єму реактора 1 м<sup>3</sup>/(м<sup>3</sup>добу).

Під час числового експерименту рівень утилізації теплоти визначався в залежності від температури відпрацьованої суміші після ТУВС. Так, наприклад, максимально можливий рівень теплоутилізації відповідає температурі субстрату на виході із ТУВС, яка дорівнює 8<sup>0</sup>С (рис. 2), мінімально можливий рівень – 30<sup>0</sup>С.

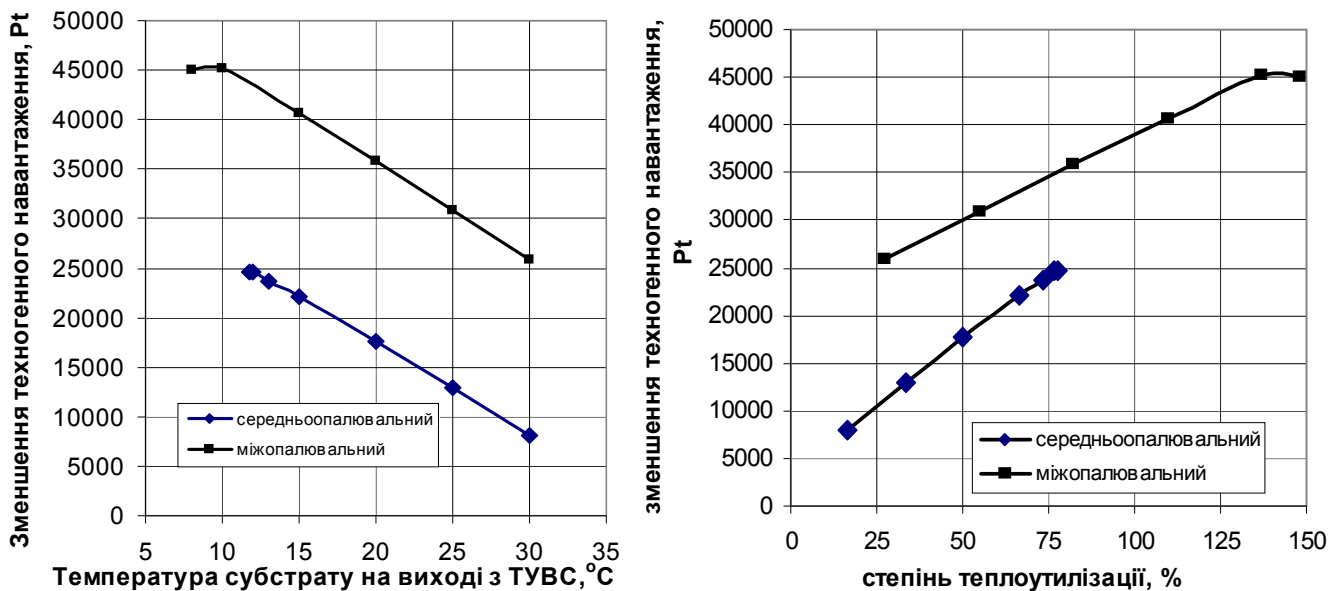


Рис. 2. Вплив степені утилізації теплоти відпрацьованої суміші на величину зменшення техногенного навантаження протягом життєвого циклу ЕСУОВ

Також було досліджено доцільність утилізації теплоти отриманого біогазу (рис.3). Під час охолодження одночасно відбувається і зниження вологовмісту біогазу, що є необхідною умовою для подальшого його транспортування і використання. Максимально можливий рівень теплоутилізації відповідає температурі біогазу після теплоутилізатора (ТУ), яка дорівнює 5<sup>0</sup>С.

Як можна побачити з результатів, наведених на рис. 2 – 3, підвищення степені утилізації теплоти субстрату і біогазу до максимально можливого рівня (обмеженого умовами теплообміну в теплоутилізаторах) призводить до зменшення техногенного навантаження. Використані для досліджень варіанти схемно-конструктивного оформлення БГУ не дозволили виявити оптимальне значення ні для міжопалювального, ні для середньоопалювального режиму. Ефект економії природного газу виявився більшим, ніж техногенне навантаження, пов'язане із виготовленням і експлуатацією теплоутилізаторів.

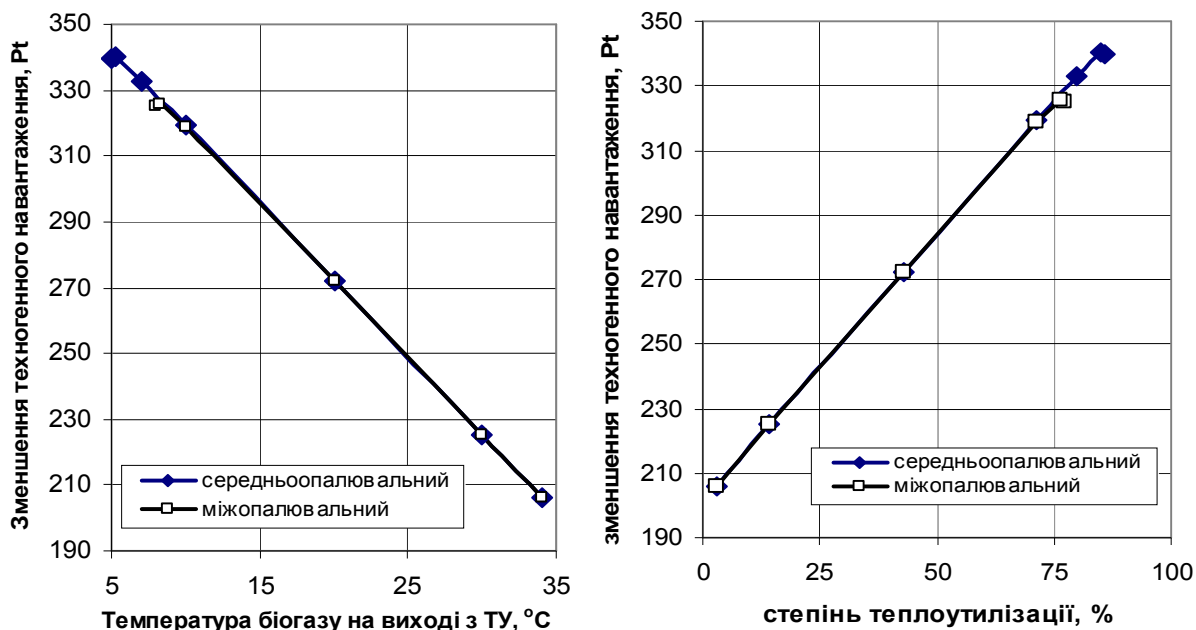


Рис. 3. Вплив степені утилізації теплоти отриманого біогазу на величину зменшення техногенного навантаження протягом життєвого циклу системи

Якщо для оптимізації використати техніко-економічний аналіз в грошових показниках (рис.4, 5), то оптимальний рівень теплоутилізації відпрацьованого субстрату в міжопалювальному періоді складає 140%, а в середньоопалювальному – 76 %. Для біогазу оптимальний рівень теплоутилізації становить 75% та 85%, відповідно. Тобто оптимум знаходиться в діапазоні максимального рівня теплоутилізації.

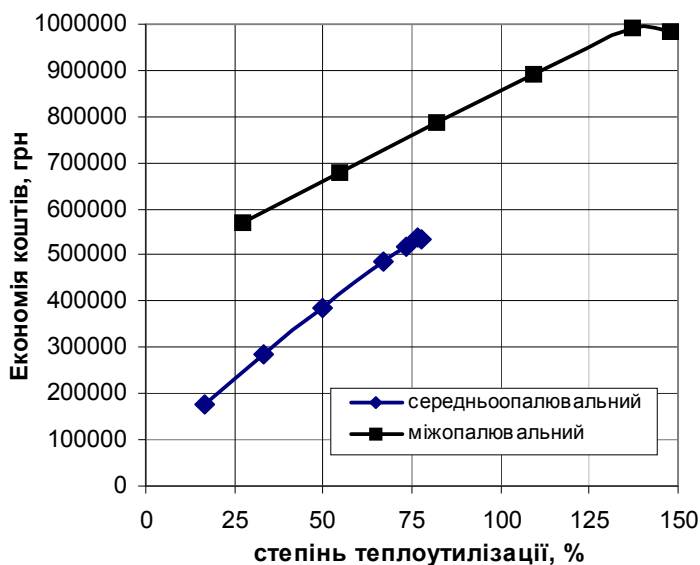


Рис. 5. Економія коштів в результаті утилізації теплоти відпрацьованого субстрату

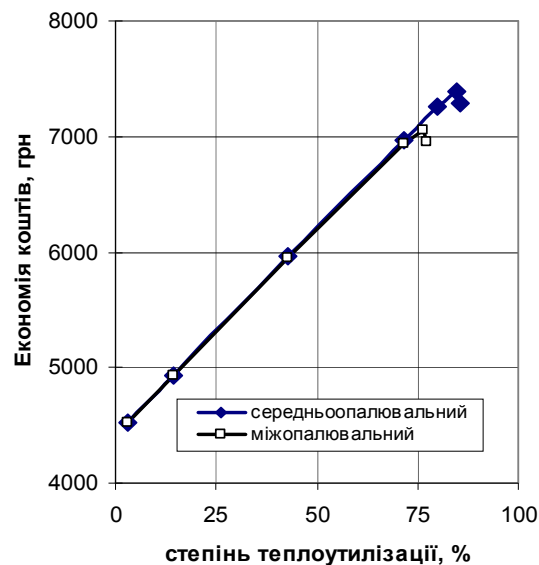


Рис. 6. Економія коштів в результаті утилізації теплоти отриманого біогазу

Одним з шляхів підвищення ефективності системи переробки відходів є збільшення ККД теплогенератора. Проведені дослідження [6] показали, що і для газового палива і для твердих органічних відходів економія палива має набагато більший вплив на техногенне навантаження, ніж підвищення металоємності котла. Доцільна міра утилізації теплоти палива в теплогенераторі обмежується лише

технологічними ускладненнями, пов'язаними із конденсацією водяної пари та смол в елементах теплогенератора.

З отриманих результатів можна зробити висновок, що в схемах БГУ доцільно використовувати обладнання для утилізації теплоти субстрату, хімічної та фізичної енергії біогазу з максимально можливим рівнем теплоутилізації.

### **Висновки**

В роботі проаналізована схема системи переробки органічних відходів в напрямку виявлення меж доцільної теплоутилізації. В тепловій схемі системи передбачена утилізація теплоти зброженого субстрату та отриманого біогазу, крім того, суттєвий потенціал теплоутилізації зосереджений в теплогенераторі.

Для оцінки ефективності системи використано метод оцінки впливу життєвого циклу системи "Eco-indicator 99", який реалізований у програмному продукті SimaPro 7.2. На основі проведеного моделювання процесів в елемента системи сформовано початкові дані для проведення оцінки техногенного навантаження на навколишнє середовище.

За результатами числових експериментів виявлено, що в показниках техногенного навантаження та в грошових показниках доцільною є максимально можлива утилізація теплоти субстрату та отриманого біогазу.

### **Перелік використаної літератури**

1. Зменшення техногенного навантаження енергозберігаючих систем утилізації органічних відходів. НДР 82Д-312, 2010. – 150 с.
2. Life cycle assessment: principles and practice. EPA600/R – 06/060. May 2006 / National Risk Management Research Laboratory. Cincinnati, Ohio, USA. Режим доступу: <http://www.epa.gov/NRMRL/Access/pdfs/600r06060.pdf>
3. The Eco – indicator 99. A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment. Methodology Report. 22 June 2001. Third edition. Mark Goedkoop, Renilde Spriensma. Режим доступу: <http://www.pre.nl>.
4. Пат. 41855 України, МПК7 C02F11/04. Установа для отримання біогазу / С.Й.Ткаченко, Н.В.Резидент, Н.В.Пішеніна; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. університет. – № 200900482; заявл. 23.01.09; опубл. 10.06.09, Бюл. №11.
5. Програмне забезпечення SimaPro7. Режим доступу: [http://www.pre.nl/simapro/download\\_simapro.htm](http://www.pre.nl/simapro/download_simapro.htm).
6. Критерії оцінки ефективності інтенсифікації теплообміну в жаротрубному пучку котла малої потужності. Степанов Д.В., Ткаченко С.Й., Боднар Л.А., Горобець К.В.// Енергетика та електрифікація. – 2010. – № 2. – С.11-15.