

ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ БІОГАЗОВИХ УСТАНОВОК

Вступ

Основною причиною обмеженого використання анаеробного перероблення біомаси є недостатня розробка енергетичних питань: значні витрати на термостабілізацію та інтенсифікацію, нераціональне використання біогазу, перевитрати електроенергії на власні потреби біогазової установки [1-5]. Процес виробництва біогазу із органічної сировини потребує значних затрат енергії, що можуть привести до збитковості процесу утворення біогазу в біогазовій установці [1]. Зменшення затрат енергії на термостабілізацію та інтенсифікацію процесу анаеробного бродіння дозволяють збільшити ефективність отримання альтернативного джерела енергії – біогазу. Метою роботи є визначення та обґрунтування шляхів підвищення ефективності біогазових установок.

Постановка задачі дослідження

Шляхи підвищення ефективності біогазових установок визначається технологією анаеробного процесу бродіння. При цьому можливі такі конструктивно-технологічні рішення:

1. Біогазові установки без підведення тепла і без перемішування субстрату. Характеризується повільним протіканням біологічних процесів і низьким виходом біогазу. Застосовується на невеликих індивідуальних установках у країнах з теплим кліматом. Без перемішування утворюється кірка на поверхні субстрату та осад на дні біогазової установки.

2. Біогазові установки без підведення тепла, але з перемішуванням субстрату. Процес утворення біогазу протікає недостатньо ефективно по причині повільного протікання біологічних процесів за рахунок нестабільності температурного режиму. Перемішування запобігає седиментації твердих частинок субстрату та збільшує вихід біогазу на 12,5 %.

3. Біогазові установки з підведенням тепла і з перемішуванням субстрату. Дає можливість одержувати максимальну кількість біогазу за короткий термін зброджування за рахунок рівномірного розподілу температур в біогазовій установці та перешкодження седиментації твердих частинок субстрату. Інтенсивність зброджування в 2 рази вище,

а час перебування в біогазовій установці в 2 рази менше. До того ж температура анаеробного бродіння впливає на якість біогазу.

4. Біогазові установки з підведенням тепла і з перемішуванням субстрату і засобами контролю управління процесом зброджування біомаси. Засоби контролю дозволяють отримати автоматизований безперервний процес без постійного нагляду людини. Бродіння протікає за чітко встановленими стабільними показниками субстрату.

В залежності від температурного інтервалу, що підтримується в біогазовій установці в процесі роботи, розрізняють такі режими зброджування, що безпосередньо впливають на ефективність анаеробного процесу бродіння біомаси:

– кріофільний режим зброджування, який не вимагає спеціального підігріву субстрату, протікає при температурі навколишнього середовища. Як правило, такі установки мають дискретний характер загрузки і вивантаження. Перевагою кріофільного режиму є відсутність витрат теплової енергії на підтримку стабільної температури. До недоліків варто віднести повільне протікання біологічних процесів і низький вихід біогазу;

– мезофільний режим, що протікає найбільш інтенсивно в температурному інтервалі 32 – 42°C. Однак відхилення від оптимального інтервалу температур на $\pm 5^\circ\text{C}$ приводить до зменшення виходу біогазу в 2 – 2,5 разів, що свідчить про чутливість бактерій до температури середовища і вимагає виконання заходів щодо її підтримки.

– термофільний режим, який дає можливість одержувати максимальну кількість біогазу за короткий термін зброджування. Інтенсивність зброджування в 2 рази вище, а час перебування в метантенки в 2 рази менше, ніж при мезофільному. Надійне знезараження відходів, що покращує санітарно-гігієнічні показники, а також малий час утилізації.

Фізичні властивості та хімічний склад субстрату, що є сировиною для виробництва біогазу, впливають на ефективність біоконверсії. До них відноситься оптимальна кислотність середовища рН 4,5 – 7,5; зменшений вміст токсичних речовин; вологість 90-95%; лужність 1500...5000 мг CaCO_3 на 1 л субстрату; вміст летких кислот 600...1500 мг на 1 л субстрату, густина субстрату 1005...1034 кг/м^3 ; динамічна в'язкість 0,01...3,8 Па·с.

Підвищення ефективності біогазових установок за рахунок перемішування субстрату з врахуванням властивостей субстрату є актуальним.

Основна частина

Для досягнення ефективності роботи біогазової установки та отримання максимальної кількості біогазу із одиниці об'єму біомаси необхідно створити оптимальні технологічні параметри в біогазовій установці [1]. Структурну схему шляхів інтенсифікації процесу анаеробного бродіння субстрату в біогазових установках наведено на рис. 1. На ефективність анаеробного бродіння впливає інтенсифікація

перемішуванням субстрату в біогазовій установці, термостабілізація процесу бродіння, режим роботи біогазової установки та якість сировини (рис. 1). Для підвищення ефективності біогазових установок застосовується перемішування. Перемішування субстрату в біогазовій установці запобігає седиментації твердих частинок субстрату, сприяє інтенсивному контакту мікроорганізмів з живильними речовинами, інтенсифікує виділення біогазу і запобігає утворенню кірки на поверхні, що приводить до збільшення утворення біогазу. Відомо механічне, гідравлічне і аеродинамічне перемішування сумішей [1, 3].



Рис. 1 Структурна схема шляхів підвищення ефективності біогазових установок

Перспективним устаткуванням для інтенсифікації процесу анаеробного бродіння субстрату є біогазові установки із механічним перемішуванням, оскільки механічні мішалки є поширеними, простими у виконанні та не потребують значних затрат енергії. Механічне перемішування сумішей здійснюється турбінними, пропелерними, лопатевими, якірними, шнековими та іншими видами мішалок.

Одним з шляхів підвищення ефективності біогазових установок є запобігання седиментації твердих частинок субстрату за допомогою механічних перемішувальних пристроїв. Процес седиментації в біогазовій установці характеризується швидкістю осідання твердих частинок, яка залежить від розмірів, характеристик середовища та конструктивно-технологічних параметрів вертикальної пропелерної мішалки [6]. Швидкість перемішування субстрату, що описується рівнянням (1), повинна забезпечувати зависання твердих частинок субстрату в просторі резервуару біогазової установки без осадження, тобто седиментації, а також визначається діаметром і густиною твердих частинок субстрату, густиною рідкої складової субстрату [6].

$$V_a = \sqrt{\frac{4}{3} g \cdot \frac{d_v \cdot (\rho_v - \rho_p)}{A_{on} \cdot \rho_p}}, \quad (1)$$

де d_v – діаметр твердої частинки субстрату;
 g – гравітаційна стала;

ρ_p – густина рідкої складової субстрату;

ρ_v – густина твердих частинок субстрату;

A_{on} – коефіцієнт опору середовища.

Швидкість V_a забезпечується лопатевим перемішувачем біогазової установки. Важливо визначити оптимальну кількість обертів лопатевого перемішувача субстрату з метою отримання максимальної продуктивності біогазової установки з мінімальними затратами енергії для забезпечення обертання перемішувального пристрою. Отримано аналітичну залежність (2) кількості обертів вертикальної пропелерної мішалки від фізичних характеристик полідисперсного середовища субстрату та її конструктивних параметрів, що забезпечують зависання твердих частинок в біогазовій установці, тобто унеможливають процес їх седиментації. Граничними умовами для моделювання з використанням аналітичної залежності (1) є діаметр твердих частинок субстрату 0,005...0,05 м; радіус пропелерної мішалки 0,3...2 м; густина твердих частинок субстрату 1100...1300 кг/м³; густина рідкої складової субстрату 1010...1030 кг/м³ та кут нахилу лопаті перемішувача 15...75° [6]

$$n = \frac{1}{\pi \cdot R} \cdot \sqrt{\frac{1200 \cdot g \cdot d_v \cdot (\rho_v - \rho_c)}{A_{on} \cdot \rho_c \cdot \cos\psi}}, \quad (2)$$

де R – радіус, по якому рухається частинка, максимальне значення якого рівне радіусу пропелерної мішалки;

ψ – кут нахилу лопаті пропелерного перемішувача до осі обертання.

З використанням отриманої аналітичної залежності, що описує седиментацію твердих частинок субстрату при його перемішуванні в біогазовій установці вертикальною пропелерною мішалкою з використанням пакету MathCad, виконано числове моделювання залежності частоти обертів перемішувального пристрою від фізичних характеристик субстрату. За результатами моделювання отримано графіки (рис. 2)

Результати аналізу графічної залежності (рис. 2 а) свідчать про те, що частота обертання перемішувального пристрою в біогазовій установці визначається діаметром твердих частинок субстрату. Із збільшенням розмірів твердих частинок з 0,005 до 0,05 м, тобто в 5 разів, частота обертання лопатевого перемішувача збільшується на 44%. Чим крупніші тверді частинки органічної сировини, тим більший коефіцієнт опору середовища субстрату. Таким чином необхідним є збільшення частоти обертання перемішувача для створення швидкості, яка забезпечує зависання твердих частинок субстрату в просторі резервуару біогазової установки без седиментації. Аналіз графіка (рис. 2 б) свідчить, що при збільшенні густини твердих частинок субстрату необхідно збільшити частоту обертання перемішувача. При збільшенні густини твердих частинок на 200 кг/м³ необхідно збільшити кількість обертів перемішувача на 50%, враховуючи збільшення коефіцієнту опору

середовища субстрату. При густині частинок 1300 кг/м^3 значення коефіцієнту опору середовища субстрату досягає значення $1,5 \cdot 10^4$, що вимагає збільшення частоти обертів лопатевого перемішувача для забезпечення необхідної швидкості субстрату. Результати аналізу графічної залежності (рис. 2 в) свідчать про те, що із збільшенням густини рідкого середовища субстрату необхідним є збільшення частоти обертання перемішувача в біогазовій установці для створення швидкості, що забезпечує зависання твердих частинок субстрату в біогазовій установці без седиментації. При збільшенні густини рідкої фази субстрату на 20 кг/м^3 необхідно збільшити кількість обертів на 14%.

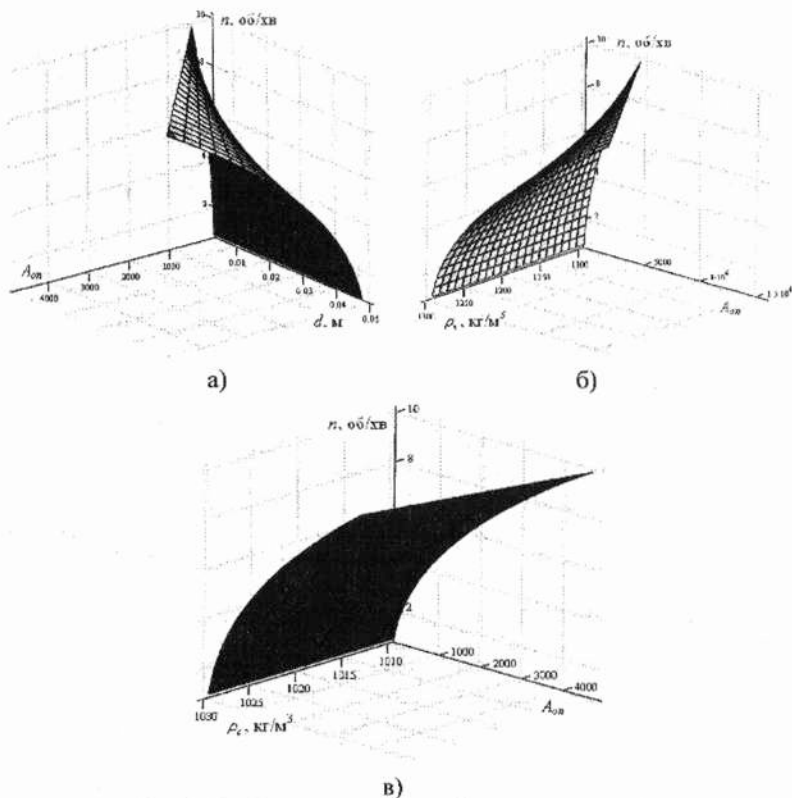


Рис. 2 Графіки числового дослідження впливу фізичних характеристик полідисперсного субстрату на параметри пропелерної мішалки при вихідних даних [6]

За результатами аналізу чисельного моделювання залежностей частоти обертів перемішувального пристрою від фізичних

характеристик субстрату можна рекомендувати такі шляхи підвищення ефективності біогазових установок:

1. Зменшення діаметру твердих частинок субстрату шляхом їх подрібнення до 0,01 м.

2. Зменшення густини твердих частинок субстрату до 1100 кг/м³, в результаті чого при перемішуванні зменшиться коефіцієнт опору середовища субстрату.

3. Зменшення густини рідкої складової субстрату до 1010 кг/м³ шляхом збільшення вологості субстрату.

4. Зменшення коефіцієнту опору середовища субстрату, що дозволить за допомогою меншої частоти обертання перемішувального пристрою встановити швидкість, яка забезпечує зависання твердих частинок субстрату в просторі резервуару біогазової установки без седиментації.

Застосування наведених шляхів підвищення ефективності біогазових установок з механічними перемішувальним пристроєм дозволить інтенсифікувати процес анаеробного бродіння, а отже до зростання ефективності утворення біогазу із органічних відходів.

Висновок

Запропоновано структурну схему шляхів інтенсифікації процесу анаеробного бродіння субстрату, що дозволяють збільшити продуктивність біогазової установки за рахунок перемішування, термостабілізації та оптимального технологічного процесу. За результатами аналізу чисельного моделювання наведених графічних залежностей з врахуванням фізичних характеристик субстрату рекомендовано шляхи підвищення ефективності біогазових установок.

Список літератури:

1. Ратушняк Г. С. Енергозберігаючі відновлювальні джерела теплопостачання: навч. посібник/ Г. С. Ратушняк, В. В. Джеджула, К. В. Анохіна. – Вінниця: ВНТУ, 2010. – 170 с. – ISBN 978-966-641-384-3.
2. Малкин Э. С. Взгляд на возможные пути перехода на эффективное энергоснабжение в Украине/ Э. С. Малкин// Вентиляция, освітлення та теплогазопостачання. – 2010. – №14. – С. 32-35.
3. Ткаченко С. Й. Теплообмінні та гідродинамічні процеси в елементах енергозабезпечення біогазової установки/ С. Й. Ткаченко, Д. В. Степанов. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2004. – 132 с. – ISBN 966-641-107-5.

4. Баадер Б. Биогаз: Теория и практика/ Баадер Б., Доне Е., Бренндерфер М.; пер. з нім. М. И. Серебряного. – М.: Колос, 1982. –148 с.
5. Біоенергія в Україні – розвиток сільських територій та можливості для окремих громад/ Дубровін В. О., Мельничук М. Д., Мельник Ю. Ф. та ін.. – К., 2009. – 111 с. – ISBN 978-9986-732-51-8.
6. Ратушняк Г. С. Седиментаційний аналіз перемішування полідисперсного субстрату в біогазовій установці вертикальною процелерною мішалкою/ Г. С. Ратушняк, І. В. Коц, К. В. Анохіна// Збірник наукових праць ВНАУ. – 2011. – №8. – С. 37-42.
7. Ратушняк Г. С. Моделювання тепломасообмінних процесів в біогазових установках/ Г. С. Ратушняк, К. В. Анохіна // «Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання». – 2008. – №12. – С. 53-58.
8. Ратушняк Г. С. Дослідження параметрів процесу перемішування органічної маси в біогазовій установці з вертикальним процелерним перемішувачем/ Г. С. Ратушняк, К. В. Анохіна, В. В.Джеджула// Збірник наукових праць ВНАУ. – 2010 – №5. – С. 139-144.

Надійшла до редакції 27.11.2012р.