

СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ЗАВАНТАЖЕННЯ БІОМАСИ ТА СПЕЦІАЛЬНИХ ДОМІШОК В БІОРЕАКТОР ДЛЯ ОТРИМАННЯ МАКСИМАЛЬНИХ ОБ'ЄМІВ БІОГАЗУ ТА ОРГАНІЧНИХ ДОБРИВ

**С.А. Шворов, доктор технічних наук
П.Г. Охріменко, Д.В. Чирченко, аспіранти**

Пропонується система та метод керування технологічним комплексом, за допомогою якого забезпечується у процесі переробки біомаси та спеціальних домішок підвищення виходу біогазу. Запропоновані загальні рекурентні співвідношення динамічного програмування та схема обчислювального процесу, які необхідні для знаходження в кожному циклі функціонування біогазової установки (БГУ) оптимального керування щодо завантаження субстратом та спеціальними домішками БГУ з метою отримання найбільшого об'єму біогазу та органічних добрив при обмеженнях на їх вартісні витрати.

Метод оптимального керування, технологічний комплекс, біогазова установка, система керування.

Як відомо впродовж останніх 10 років в Україні відбувається активний розвиток ринку сучасних біогазових технологій і обладнання. На вітчизняному ринку сьогодні представлені як провідні компанії, так і маловідомі підприємства, які лише почали розвивати цей напрям відновлювальної біоенергетики. З них найбільш відомими, які здійснюють діяльність у сегменті біогазових технологій, є ТОВ «Зорг Україна», «Екотенк», «Битеко Биогаз», Нuo Long Biogas Ltd, а також ТОВ «Теплосюз Україна», ПрАТ «НПП Інтеренерго» і ряд інших компаній.

Одним із перспективних напрямків підвищення ефективності функціонування біогазових установок є розробка спеціальної системи оптимального керування щодо завантаження субстратом та спеціальними домішками БГУ для отримання максимального об'єму біогазу та органічних добрив. При вартісних обмеженнях на витрати домішок до вхідного субстрату БГУ виникає необхідність у розробці та використанні спеціальної системи керування (СК) БГУ. Ефективність функціонування такої системи в значній мірі залежить від якості управління технологічним комплексом переробки різних видів вхідного субстрату (біомаси) та спеціальних домішок.

Аналіз останніх досліджень і публікацій показує, що управління БГУ відбувається на основі особистого досвіду оператора. У даному випадку неоптимальне керування процесом завантаження субстратом та спеціальними домішками БГУ призводить до зменшення виходу біогазу та добрив [1, 2, 3]. Перспективним напрямком усунення зазначеного недоліку є розробка та використання спеціальної системи оптимального керування процесом функціонування БГУ.

Мета досліджень – розробка системи автоматичного керування процесом завантаження біомаси та спеціальних домішок в БГУ для підвищення виходу біогазу та органічних добрив.

Результати досліджень. Для забезпечення високоефективного процесу переробки біомаси і спеціальних домішок в біогаз та біологічні органічні добрива, запропонована наступна технологічна лінія (рис. 1) [1].

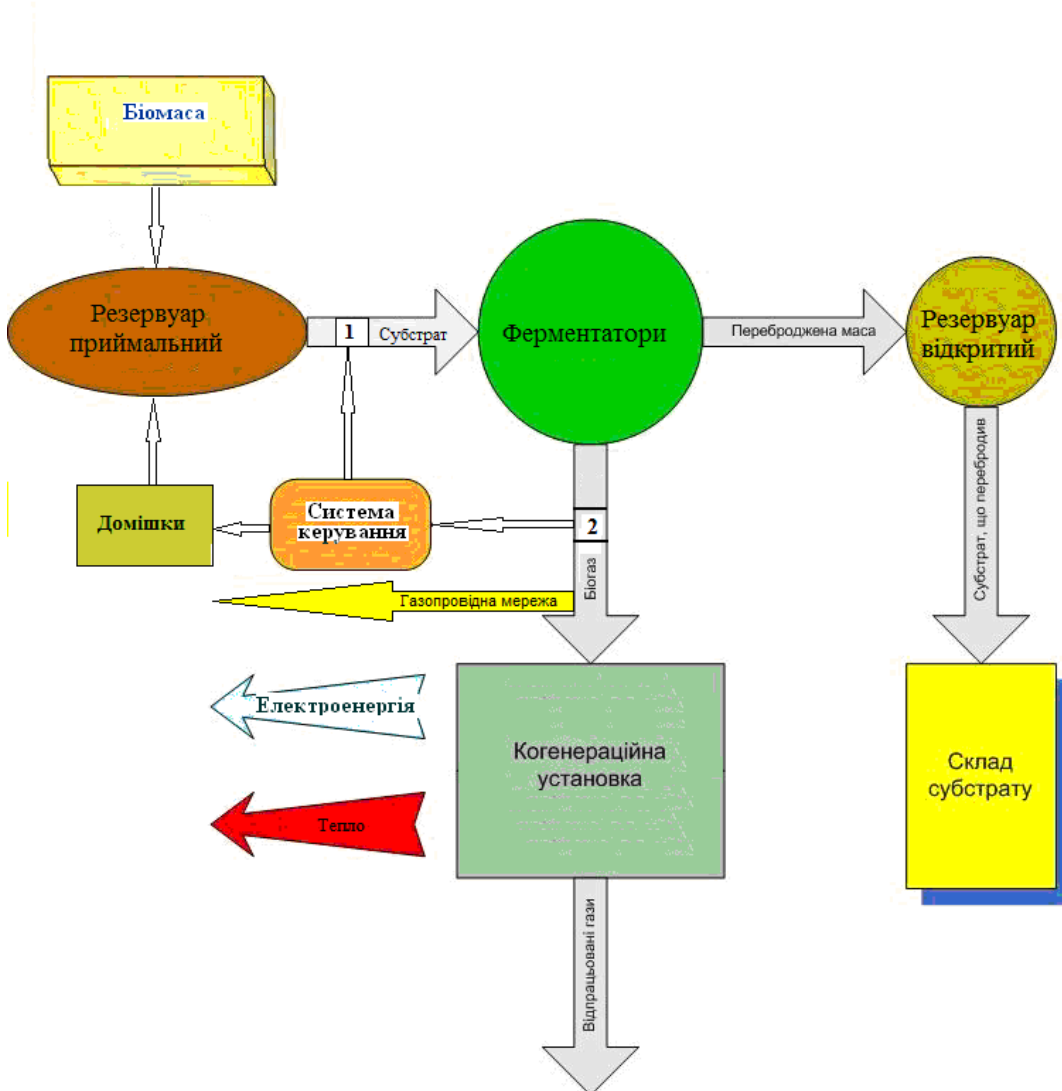


Рис. 1. Схема лінії по переробці біомаси і домішок в біогаз та біологічні органічні добрива

Технологію виробництва органічних біодобрив та біогазу можна представити у багатокроковій послідовності окремих стадій і робочих операцій. Отриманий біогаз закачується у газотранспортну систему або використовується як сировина для когенераційної установки по виробництву електроенергії та тепла.

За допомогою СК в БГУ забезпечується весь цикл операцій – від прийому оптимальних об'ємів різного виду вхідної сировини та домішок і до одержання готової продукції – біогазу та добрив.

Як показано на рис. 1, подроблена біомаса подається в приймальний резервуар, де відбувається її нагрівання і окислювання, змішування та розчинення в ній спеціальних добавок (домішок). При цьому в резервуар додаються оптимальні об'єми різних видів енергетичних культур, гною (біомаси) та спеціальних домішок для підвищення ефективності бродіння. Завантажений субстрат підігрівається за допомогою теплообмінника до

температури 25°C і може окислятися до 5 діб [1]. Подача біомаси у ферментатори відбувається по субстратопроводу за рахунок насоса-дозатора 1, яким керує система управління БГУ.

Перемішування біомаси в середині реактора здійснюється спеціальними насосами або похилими міксерами, а підігрів відбувається за рахунок циркулювання теплої води в теплообміннику або з використанням печей понад високих частот чи індукційних нагрівачів. БГУ може бути укомплектована когенераційною установкою. При цьому, витрати теплової і електричної енергії на потреби самої установки складають від 5 до 15% всієї енергії, яку дає БГУ.

Від газгольдера через очисну колону спеціальним компресором відбувається подача біогазу на когенераційну установку або у газотранспортну систему. Поброджена маса з ферментаторів за допомогою спеціальних насосів подається у відкритий резервуар для подальшого вивозу на поля або на продаж.

Для субстратів із швидким розщепленням, які через це мають схильність до окислення, рекомендується для гідролізу та окислення передбачити окремий резервуар, щоб з нього продукти розкладання дозовано подавати у ферментатор (двоступенева технологія). Перевагою такої технології є створення оптимальних умов життєдіяльності бактерій (в першу чергу через необхідний рівень рН) і досягнення більшого виробництва біогазу. Крім того, при такій технології не використані гази можна відокремлювати через біофільтр, отримуючи, таким чином, лише газ з високим вмістом метану.

Бактерії для формування своїх клітин вимагають поживних речовин, вітамінів, розчинних сполук азоту, мінеральних речовин і мікроелементів. Ці речовини в потрібній кількості містяться в рідкому і твердому гної. Достатня їх кількість міститься також в сіні, кукурудзі (свіжої або консервованої), залишках їжі, відходах кухні, нутрощах тварин, барді та молочних продуктах – всі ці продукти можуть бродити в чистому вигляді без додавання інших субстратів. Для кожного виду субстрату або суміші субстратів необхідно за допомогою СК проводити розрахунок оптимальних співвідношень речовин.

Щоб зробити процес утворення метану стійкішим доцільно окислення провести за межами основного реактора в окремому реакторі окислення де буде відбуватись безпосередньо розведення початкової органічної біомаси, підігрів її до температури початку протікання процесу збродження, а також розчинення оптимальної кількості мінеральних добавок для підвищення якості біологічних органічних добрив.

Для вибору розмірів і конструкції реактора вирішальну роль грають такі чинники: оптимальні об'єми різних видів біомаси при заповненні, ступінь бродіння субстрату як функція від концентрації сухих речовин, завантаження робочого простору БГУ, часовий цикл бродіння та інтенсивність перемішування, система виробництва, рівень механізації і автоматизації.

Температура сировини в реакторі повинна підтримуватися на рівні, оптимальному для функціонування відповідних анаеробних бактерій.

Для безперебійного функціонування БГУ необхідна автоматична СК, яка контролює всі параметри і підтримує задану температуру і режим роботи ферментатора та інтенсивність реакції. Робота СК базується на інформації, що

отримується декількома датчиками: датчиком об'ємів вхідної сировини, датчиком температури сировини в реакторі, датчиками рівня сировини в реакторі та датчиком виходу біогазу. На основі цієї інформації, а також по сигналах таймера, блок автоматики включає і вимикає систему підігріву та систему перемішування. Крім того, СК забезпечує оптимальне співвідношення різних видів вхідної сировини (гній, енергетична сировина та спеціальні види домішок) для отримання максимальних об'ємів біогазу та органічних добрив при заданій вартості вхідної біомаси та домішок.

У якості домішок доцільно застосовувати Ензим ВТ-10Х8 що значно прискорює розкладання органічних речовин, стимулює збільшення виходу біогазу.

Ензим ВТ-10Х8 прискорює розкладання міцних і стійких до деградації молекулярних ланцюгів вуглеводів в субстратах з високим вмістом волокон, лігніну, пектину і целюлози. Подібні молекулярні ланцюга складні для бактерій розкладання. Застосування ВТ-10Х8 вкорочує молекулярні ланцюги, що збільшує утворення молочної та оцтової кислоти (гідроліз) під час анаеробного бродіння біомаси. Інтенсивність утворення кислот призводить до збільшення утворення метану з того ж обсягу сировини.

У загальному випадку постановка задачі побудови СК зводиться до наступного: необхідно знайти з множини можливих варіантів (X) такий варіант побудови СК (x), при якому забезпечується отримання максимальних об'ємів біогазу та органічних добрив при заданій вартості вхідного субстрату та домішок (C). При цьому передбачається, що процес керування БГУ являє собою керований N -етапний динамічний процес, який на кожному (n -му) етапі характеризується двома видами параметрів: параметрами керування m_n (об'ємом завантаження n -го виду біомаси та домішок) і параметрами стану $G_n(m_n)$ (об'ємом отриманого біогазу та добрив на n -му етапі функціонування БГУ) [4-6]. У вигляді обмежень виступає вартість вхідного субстрату та домішок (C).

Кінцевою метою управління БГУ (W_N) є отримання максимальних об'ємів біогазу та органічних добрив.

Загалом задача оптимального керування щодо завантаження БГУ різними видами сировини та домішками може бути подана наступним чином.

Знайти

$$\max W_N = \sum_{n=1}^N G_n(m_n) \quad (1)$$

при

$$C_N \leq C, \quad (2)$$

де C_N – сумарні вартісні витрати кожного виду сировини на протязі N етапів функціонування БГУ.

З урахуванням дискретного опису процесу планування витрат різних видів сировини цільова функція ефективності функціонування БГУ (W_N) може бути подана сумою

$$W_N = \sum_{n=1}^N G_n(m_n), \quad (3)$$

де $G_n(m_n)$ – об'єм отриманого біогазу та добрив на n -му етапі функціонування БГУ;

m_n – об'єм завантаження БГУ n -м видом домішок та сировини;

N – загальна кількість видів сировини та домішок.

Таким чином, необхідно знайти такі об'єми різних видів сировини та домішок на кожному етапі функціонування БГУ, щоб максимізувати цільову функцію (3) при наступних обмеженнях:

$$\left. \begin{array}{l} a) \quad m_n = 0, 1, 2, \dots, \\ b) \quad \sum_{n=1}^N c_n m_n \leq C, \end{array} \right\} \quad (4)$$

де c_n – вартість n -го виду сировини та домішок.

Для знаходження оптимальних значень $\{m_n\}$ скористуємося методом динамічного програмування [5, 6].

Позначимо

$$\max_{m_1, \dots, m_r} \sum_{n=1}^r G_n(m_n), \quad (5)$$

при умові

$$\sum_{n=1}^r c_n m_n \leq \xi, \quad (6)$$

через $\Lambda_r(\xi)$.

Після нескладних перетворень переходимо до наступного рекурентного співвідношення динамічного програмування

$$\Lambda_r(\xi) = \max_{m_r} \{G_r(m_r) + \Lambda_{r-1}(\xi - c_r m_r)\} \quad (r = 1, \dots, N) \quad (7)$$

при умові

$$0 \leq m_r \leq \frac{\xi}{c_r}. \quad (8)$$

Характерним для динамічного програмування є визначений методичний захід, а саме: процес керування БГУ поділяється на N етапів і здійснюється послідовна оптимізація кожного з них. На кожному r -му етапі з урахуванням всіх можливих припущень результатів попереднього етапу обчислюється основне рекурентне співвідношення (7) та визначається умовний оптимальний параметр керування m_r [5, 6].

Прийнявши $\xi = \tilde{N}$ та припустивши у (7) $r=N$, отримуємо наступне співвідношення

$$\Lambda_N(\xi = C) = \max_{m_N} \{G_N(m_N) + \Lambda_{N-1}(C - c_N m_N)\} \quad (9)$$

при умові

$$0 \leq m_N \leq \frac{C}{c_N}.$$

Знайшовши з (9) оптимальне значення $m_{N_{opt}}$ та припустивши $\xi_1 = C - c_N m_{N_{opt}}(N)$, послідовно, починаючи з $(N-1)$ -го етапу, знаходяться оптимальні значення решти змінних: $m_{N-1}, m_{N-2}, \dots, m_1$. Необхідно відзначити, що метод динамічного програмування являє собою направлений послідовний перебір варіантів, що обов'язково приводить до глобального максимуму й оптимального вирішення задачі (1).

Як показують результати експериментальних досліджень застосування ВТ-10Х8 підтримує стабільність виробництва біогазу і збільшує рівень і концентрацію CH_4 (рис. 2) [7].

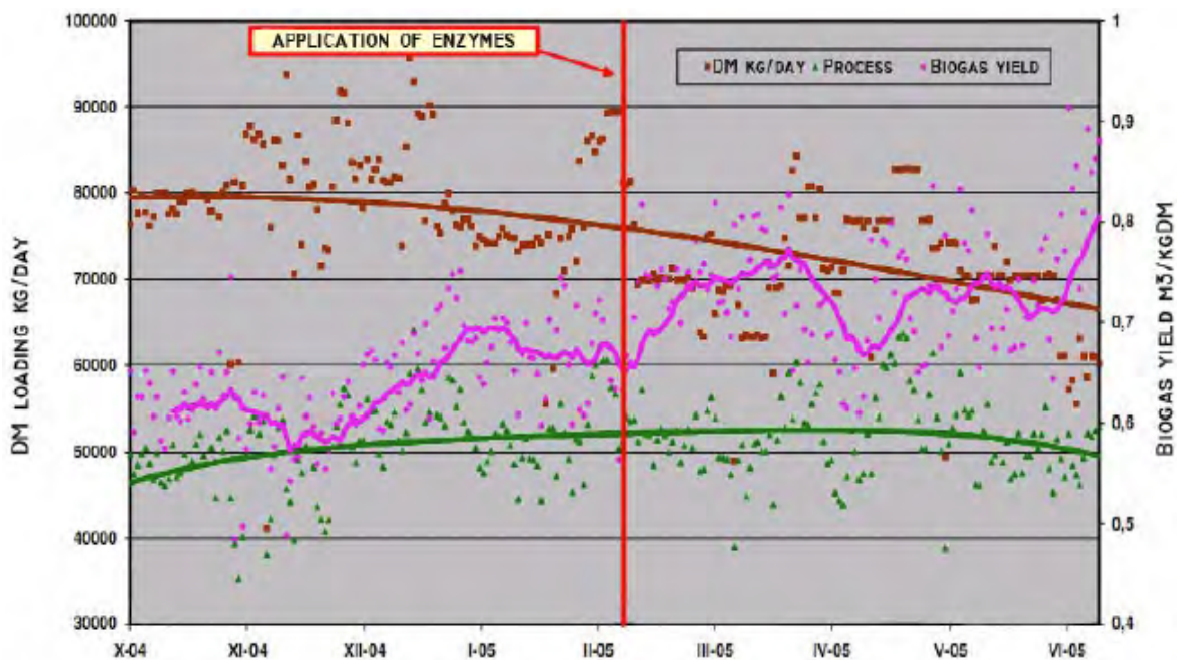


Рис. 2. Результати застосування домішок ВТ-10Х8 в БГУ при різних об'ємах завантаження біомаси

Середнє зростання виробництва біогазу становить 20-30% [7]. Застосування ВТ-10Х8 має очевидний ефект при запуску нових ферментаторів та відновленні роботи ферментаторів після дозаправки для їх швидкого запуску.

Висновки

Таким чином, за допомогою розробленої системи автоматичного керування на кожному етапі процесу функціонування БГУ забезпечується формування та переробка оптимального набору органічної сировини та домішок з урахуванням обмежень на їх вартісні витрати. При цьому забезпечується досягнення максимального об'єму біогазу та мінеральних добрив.

Список літератури

1. Друкований М.Ф. Вибір технологічного комплексу переробки біомаси в біогаз та органічні біологічні добрива / Друкований М.Ф., Яремчук О.С.,

Брянський В.В. // Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. – 2011. – №8. – С. 48-53.

2. Якушко С.І. Установка комплексної переробки органічних відходів за енергозберігаючою технологією / Якушко С.І, Яхненко С.М. // Вісник «СумДу». – 2006. – №12(96) – С. 8-84.

3. Дурдыбаев С.Д. Утилизация отходов животноводства и птицеводства / Дурдыбаев С.Д., Данилкин В.С., Рязанцев В.П. – М.:Агропромформ, – 1989. – 53 с.

4. Растринин Л.А. Обучающие системы / Л.А. Растринин // Изв. АН СССР. Техн. кибернетика. – 1993. – № 2. – С. 153-163.

5. Зайченко Ю.П. Исследование операций: Учеб. Пособие для студентов вузов. – 2-е изд., перераб и доп. / Ю.П. Зайченко. – К: Вища школа. Головное изд-во, 1979. – 392 с.

6. Зайченко Ю.П. Исследование операций: Сборник задач.- 2-е изд., перераб. и доп. / Зайченко Ю.П., Шумілова С.А. – К.: Вища школа, 1990. – 239 с.: ил.

7. Режим доступа: http://biteco-energy.com/en_download.

Предлагается система и метод управления технологическим комплексом, с помощью которого обеспечивается в процессе переработки биомассы и специальных добавок повышение выхода биогаза. Предложенные общие рекуррентные соотношения динамического программирования и схема вычислительного процесса, которые необходимы для нахождения в каждом цикле функционирования биогазовой установки (БГУ) оптимального управления по загрузке субстратом и специальными добавками БГУ с целью получения наибольшего объема биогаза и органических удобрений при ограничениях на их стоимостные затраты.

Метод оптимального управления, технологический комплекс, биогазовая установка, система управления.

We propose a system and method for managing complex process by which the processing provided in the biomass and special additives increase the yield of biogas. The proposed general recurrence relations dynamic programming scheme and the computational process which are necessary for a finding in each cycle of operation of the biogas plant (BGP) optimal control for loading substrate and special additives BGP in order to obtain the maximum amount of biogas and organic fertilizer with constraints on their cost costs.

The method of optimal control, processing facility, a biogas plant, the control system.