

ВИБІР КРИТЕРІЮ ОЦІНКИ СТІЙКОСТІ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ ВИРОБНИЦТВА БІОГАЗУ

В. Ю. Рамш, кандидат технічних наук, доцент

М. В. Потапенко, кандидат технічних наук, старший викладач

В. Л. Шаршонь, асистент

*Відокремлений підрозділ Національного університету біоресурсів і
природокористування України "Бережанський агротехнічний інститут"*

E-mail: m.potapenko19@gmail.com

Анотація. Одним з найбільш перспективних відновлювальних джерел енергії є виробництво біогазу з відходів і його подальше використання.

Стійкість технологічних систем виробництва біогазу описується сукупністю кількісних показників, які залежать від структури, алгоритму функціонування та показників стійкості окремих елементів.

При розробці технологічних систем керування біогазовими установками необхідно вирішувати цілий комплекс задач, пов'язаних із обробкою вихідної інформації для аналізу і синтезу оптимальних варіантів системи.

Метою дослідження є розробка методики визначення стійкості системи автоматичного керування процесами виробництва біогазу як складової частини технологічної системи, яка дозволяє формалізувати її кількісні і якісні ознаки та створити алгоритмічну і програмну базу для розрахунків.

Оскільки технологічні системи керування біогазових установок є нелінійними об'єктами регулювання, то для дослідження їх роботи передбачають лінеаризацію в межах базового режиму, при цьому заданий оптимізатором режим знаходиться в межах похибки лінеаризації.

Завдання проектування вирішуються за наявності аналітичних залежностей показників стійкості системи від показників стійкості об'єктів.

Враховуючи те, що взаємодіючими елементами систем є окремі види обладнання та різні види сировини та енергоносіїв, які беруть участь в технологічних процесах, слід використовувати велику кількість інформаційних матеріалів при експлуатації обладнання біогазових установок.

При проектуванні технологічної системи виробництва біогазу для конкретного об'єкта необхідно створити його умовно повну динамічну модель, а за допомогою моделі розрахувати матриці R для різних режимів роботи та визначити границі спектрів власних чисел і розглянути варіанти узгодження регулятора з об'єктом. Враховуючи приблизно однакові затрати, кращим слід вважати варіант, який забезпечує найбільший запас стійкості.

Ключові слова: технологічна система, біогаз, стійкість, матриця коефіцієнтів, власні значення, динамічна модель

Актуальність. Одним з найбільш перспективних відновлювальних джерел енергії є виробництво біогазу з відходів і його подальше використання.

Біогаз - це газ, що одержують в результаті зброджування і розкладання біомаси під впливом бактерій, що є практично повним аналогом природного газу, який містить в складі від 55 до 75 % метану та від 25 до 45 % вуглекислого газу.

Як сировину для виробництва біогазу використовуються: органічні відходи тваринного походження, побутові відходи, рослинні рештки та різноманітні енергетичні культури [1].

Біогазові установки виробляють біогаз шляхом контрольованого зброджування біомаси в анаеробних умовах.

Для поширення біогазових технологій особливо важливе значення мають такі фактори як вартість установки; питома продуктивність; повнота переробки зброженої біомаси та біогазу в найбільш цінні продукти порівняно з вихідною сировиною; ефективність у вирішенні завдань, пов'язаних із охороною довкілля; висока експлуатаційна надійність та простота обслуговування і ремонту.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Незважаючи на велику різноманітність технологічних систем, кожна з них складається з підсистем основного і допоміжного обладнання та системи програмного забезпечення [2].

До основного технологічного обладнання біогазових установок належить обладнання, в якому проходять процеси підготовки та переробки сировини та проміжних продуктів, допоміжне обладнання здійснює матеріальне та енергетичне забезпечення основного обладнання, його регулювання і контроль режимів роботи.

Стійкість технологічної системи є інтегральною характеристикою і визначає ефективність її функціонування в умовах різноманітних впливів.

Програмне забезпечення технологічних систем біогазових установок є комплексом інформаційних матеріалів необхідних для нормального функціонування системи, алгоритмів та програм для контролерів, які використовуються для ведення технологічних процесів в оптимальних режимах.

В основному технологічні системи виробництва біогазу є гетерогенними системами, які складаються з неоднорідних елементів обладнання і процесів. Всі елементи системи пов'язані різними видами зв'язку – фізичними, логічними,

інформаційними. Але ці зв'язки проявляються нерівномірно і знаходяться в широкому діапазоні значень [3].

Стійкість технологічних систем описується сукупністю кількісних показників, які залежать від структури, алгоритму функціонування та показників стійкості окремих елементів.

При розробці технологічних систем керування біогазовими установками необхідно вирішувати цілий комплекс задач пов'язаних із обробкою вихідної інформації для аналізу і синтезу оптимальних варіантів системи.

Мета дослідження – розробка методики визначення стійкості системи автоматичного керування процесами виробництва біогазу як складової частини технологічної системи, яка дозволяє формалізувати її кількісні і якісні ознаки та створити алгоритмічну і програмну базу для розрахунків.

Матеріали і методи дослідження. Процеси, які відбуваються в технологічній системі керування біогазовими установками, поділяються на дві групи: процеси нагромадження – зміна кількості речовини й енергії в елементі обладнання та процеси переносу – зміна властивостей речовини й енергії або їх місце перебування.

Більшість процесів нагромадження в технологічній системі керування біогазовими установками описуються рівняннями виду [4]:

$$\frac{dW}{dt} = \sum_{i=1}^n V_c i - \sum_{j=1}^m V_a j, \quad (1)$$

де W – кількість речовини або енергії; $\sum V_a$ – сумарна витрата речовини або енергії на виході елемента; $\sum V_c$ – сумарна витрата речовини або енергії на вході елемента.

Величини складових в правій частині рівняння (1) визначаються процесами переносу.

Протікання більшості процесів переносу можна описати рівнянням:

$$\frac{dM}{dt} = K \cdot F \cdot \theta, \quad (2)$$

де M – величина, яка характеризує результат процесу, тобто кількість переміщеної або перетвореної речовини або енергії; F – величина, яка визначає інтенсивність

протікання процесу; $K = \frac{1}{R}$ – коефіцієнт швидкості процесу; R – опір протікання цього процесу; θ – рушійна сила процесу.

У свою чергу процеси можна поділити на процеси переносу з перетворенням, при яких в речовині або енергії відбуваються як кількісні, так якісні перетворення і процеси переносу без перетворення, при яких речовина і енергія переміщуються лише в просторі.

Різноманітні елементи обладнання технологічних систем біогазових установок з'єднані між собою декількома потоками речовини й енергії, причому види з'єднань можуть бути різними – послідовними, паралельними або комбінованими. У математичній моделі для оптимізації необхідно передбачити можливість зміни з'єднань окремих елементів, вмикання і вимикання їх із роботи схеми.

Якщо відомо число елементів обладнання, яке створює технологічну систему, і число потоків, що їх з'єднує, то описати способи з'єднання блоків системи можна за допомогою таблиці, яка перетворюється в матрицю індексів потоків. У такій матриці кожен рядок відповідає деякому одному елементу обладнання і в ній подані всі номери потоків, які зв'язані з даним елементом: із знаком «+», якщо потік входить в елемент, та із знаком «–», якщо потік виходить із елемента.

Конструктивні і режимні параметри такої системи стають вхідними параметрами математичної моделі, а тому модель є придатною для розрахунку на ПЕОМ всіх можливих варіантів з'єднання елементів системи при відповідній зміні матриці потоків.

Більшість існуючих методів оптимізації режимів роботи технологічних систем розроблено з припущенням, що реалізація оптимальних керуючих дій пов'язана з незначними затратами. У дійсності, перехід від вихідного до оптимального режиму вимагає технологічних і організаційних перебудов, які тимчасово знижують економічність і надійність, витрачають ресурс регульованого обладнання, що призводить до певних втрат. Після реалізації керуючих впливів можуть виникнути непередбачувані зміни умов роботи, через які ретельно розрахований режим роботи може виявитись далеким від оптимального.

Результати досліджень та їх обговорення. Технологічні системи керування біогазових установок є нелінійними об'єктами регулювання. Для дослідження роботи автоматичної системи керування, як правило, передбачають її лінеаризацію в межах базового режиму, при цьому заданий оптимізатором режим знаходиться в межах похибки лінеаризації.

Рух об'єктів під дією автоматичної системи керування можна описати рівнянням [5]:

$$X^{t+1} - X^t = S \cdot X^t, \quad (3)$$

де X – вектор-стовпець координат об'єкту в просторі відхилення від заданого режиму; S – квадратична матриця, яка враховує властивості лінеаризованого об'єкта і системи керування.

Матрицю S розкладаємо на канонічні складові, а вектор X подаємо в головних осях простору станів, таким чином, рівняння (3) розкладається на m незалежних різницевих рівнянь:

$$X_q^{t+1} - X_q^t = \lambda_q \cdot X_q^t, \quad (4)$$

де X_q – координата вектору стану у відхиленнях від заданого режиму по q -й головній осі; λ_q – власне значення матриці S , яке відповідає її q -й канонічній складовій.

Розв'язок рівняння (4) матиме вигляд:

$$X_q^{t+1} = (1 + \lambda_q) \cdot X_q^t. \quad (5)$$

Система керування буде стійкою, якщо вона стійка за всіма складовими рівняння (5). Характер руху q -ої головної осі визначається значенням коефіцієнтів $1 + \lambda_q$ і не залежить від значення X_q^t .

Відхилення вектору стану від заданого значення буде затухати при виконанні умови:

$$(1 + \lambda_q) < 1. \quad (6)$$

Для виконання нерівності (6) необхідно, щоб всі власні значення λ_q були від'ємними, тобто матриця S повинна бути негативно визначеною. При $\lambda_q = 0$

складова вектору стану у відхиленнях від заданого режиму не затухає і не наростає. Теоретично така система стійка, але вона не має асимптотичної стійкості. Практично керування системою в цьому випадку є неможливим, тому що через випадкові впливи нульове значення λ_q може стати додатним і система керування втратить стійкість. Найбільш ефективною система керування буде при такому виборі матриці коефіцієнтів C , коли всі власні значення матриці S в рівнянні (3) рівні одиниці. Цього можна досягнути при умові:

$$S = R \cdot C = -E, \quad (7)$$

де R – матриця параметрів лінеаризованого об'єкта; C – матриця коефіцієнтів зворотного зв'язку за станом системи; E – одинична матриця.

Тоді всі коефіцієнти $1 + \lambda_q = 0$ і відхилення від заданого режиму зникають за один сигнал. Умова (5) виконується, якщо матриця C основного регулятора визначається при його налагодженні шляхом обернення вимірюної на об'єкті матриці R :

$$C = -\frac{1}{R}. \quad (8)$$

Такий розрахунок є можливим внаслідок відмови від діагональної форми матриці C , тобто відмови від незалежного регулювання кожної з координат. Водночас, найбільш просту технологічну систему керування біогазовою установкою можна побудувати, якщо прийняти її матрицю діагональною, яка складається із однакових елементів, що дає можливість замінити її одним числовим коефіцієнтом. Вплив такого коефіцієнта на стійкість системи визначається:

$$E + R \cdot C \det(E + R \cdot C - \lambda) = 0. \quad (9)$$

Множення матриці на коефіцієнт c призводить до перемноження всіх її елементів на цей коефіцієнт. Тому власні значення матриці RC і R пов'язані співвідношенням:

$$\lambda_q \cdot (E + R \cdot C) = 1 + c \cdot \lambda_q \cdot (R). \quad (10)$$

Таким чином, стійкість технологічної системи виробництва біогазу залежить від складу власних значень матриці R та значень коефіцієнта c . Якщо всі власні значення $\lambda_q(R) > 0$, то існують такі від'ємні значення c , при яких всі власні значення

матриці S задовольняють умову стійкості. Якщо всі власні значення $\lambda_q(R) < 0$, тобто матриця R негативно визначена, то стійкість досягається при додатних значеннях c .

Найбільше абсолютне значення c , при якому забезпечується стійкість позитивно визначеної матриці, можна визначити з виразу (4):

$$1 + c \cdot \lambda_{\max} = -1, \quad (11)$$

де $\lambda_{\max}$ - найбільше власне значення матриці R .

Найменше абсолютне значення c прямує до нуля. Тому коефіцієнт c для позитивно визначеної матриці R повинен знаходитись в межах:

$$-\frac{2}{\lambda_{\max}} < c < 0. \quad (12)$$

Для негативно визначеної матриці R :

$$0 < c < -\frac{2}{\lambda_{\max}}. \quad (13)$$

Оптимальний коефіцієнт c , при якому значення відхилень буде найменшим, залежить від максимального $\lambda_{\max}$ і мінімального $\lambda_{\min}$. При цьому необхідно, щоб відповідні канонічні складові затухали рівномірно, тобто $-(1 - c \cdot \lambda_{\max}) = 1 - c \cdot \lambda_{\min}$.

Оптимальне значення коефіцієнта c :

$$c_{opt} = \frac{2}{\lambda_{\max} + \lambda_{\min}}. \quad (14)$$

Якщо простий варіант системи керування буде стійким, то її можна замінити більш простими регуляторами дискретної дії на окремих елементах. Всі ці елементи об'єднанні в єдину систему і діють за принципом, щоб була виконана виробнича мета, яка стоїть перед системою в цілому.

Завдання проектування вирішуються за наявності аналітичних залежностей показників стійкості системи від показників стійкості об'єктів. Тільки для систем із простою структурою або малою кількістю складових теоретично встановлюються відповідні залежності. У більш складних ситуаціях можна застосовувати алгоритми експериментальної побудови залежностей. Оскільки значна кількість досліджуваних залежностей, пов'язана з різною розмірністю, структурою, алгоритмами

функціонування, то це вимагає аналізу можливостей застосування всієї сукупності алгоритмів від стандартних до нових, що використовують перетворення змінних та побудову наближених формул шляхом апроксимації експериментальних даних.

Висновки і перспективи. Враховуючи те, що взаємодіючими елементами систем є окремі види обладнання та різні види сировини та енергоносіїв, які беруть участь в технологічних процесах, слід використовувати велику кількість інформаційних матеріалів при експлуатації обладнання біогазових установок.

Проектуючи технологічну систему виробництва біогазу, для конкретного об'єкта необхідно створити його умовно повну динамічну модель, а за допомогою моделі розрахувати матриці R для різних режимів роботи та визначити границі спектрів власних чисел і розглянути варіанти узгодження регулятора з об'єктом. Враховуючи приблизно однакові затрати, кращим слід вважати варіант, який забезпечує найбільший запас стійкості.

Список використаних джерел

1. Потапенко М. В., Лещій Р. М., Шаршонь В. Л. Оцінка стійкості електропривода при проектуванні потокових ліній біогазових установок. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Харків: ХНТУСГ, 2019. Вип. 203. С. 73-76.
2. Задоров В. Б. Системний аналіз об'єктів і процесів: технологічні основи. Київ: КНУБА, 2003. 276 с.
3. Семененко И. В. Проектирование биогазовых установок. Сумы, ИПП "Мрия-1" ЛТД, 1996. 347 с.
4. Либерман Н. Г., Бурда Б. О., Полторан А. О. Автоматизированное проектирование оптимальных технологических систем пищевой промышленности. М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. 260 с.
5. Башняков О. М., Гаращенко Ф. Г., Пічкур В. В. Практична стійкість, оцінки та оптимізація. К.: ВПЦ «Київський університет», 2008. 383 с.

References

1. Potapenko, M. V., Leshchii, R. M., Sharshon, V. L. (2019). Otsinka stiikosti elektropriyvoda pry proektuvanni potokovykh linii biohazovykh ustanovok [Assessment of stability of the electric drive at design of product lines of biogas installations]. Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu silskoho hospodarstva imeni Petra Vasylenka, 203, 73–76.
2. Zadorov, V. B. (2003). Systemnyi analiz obiektiv i protsesiv: tekhnolohichni osnovy: navch. posibnyk [System analysis of objects and processes: technological bases]. Kyiv: KNUBA, 276.
3. Semenenko, I. V. (1996). Proektirovaniye biogazovykh ustanovok [Planning of biogas options]. Sumi: P «MakDon», IPP «Mriya-1» LTD, 347.

4. Liberman, N. G., Burda, B. O., Poltoran, A. O. (1981). Avtomatizirovannoye proyektirovaniye optimal'nykh tekhnologicheskikh sistem pishchevoy promyshlennosti [Automated design of optimal technological systems of the food industry]. M.: Legkaya i pishchevaya promyshlennost', 260.

5. Bashniakov, O. M., Harashchenko, F. H., Pichkur, V. V. (2008). Praktychna stiikist, otsinky ta optymizatsiia [Practical stability, evaluation and optimization]. Kyiv: VPTs «Kyivskyi universytet», 383.

ВЫБОР КРИТЕРИЯ ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПРОИЗВОДСТВА БИОГАЗА

В. Ю. Рами, Н. В. Потапенко, В. Л. Шаршонь

Аннотация. Одним из наиболее перспективных возобновляемых источников энергии является производство биогаза из отходов и его дальнейшее использование.

Устойчивость технологических систем производства биогаза описывается совокупностью количественных показателей, зависящих от структуры, алгоритма функционирования и показателей устойчивости отдельных элементов.

При разработке технологических систем управления биогазовыми установками необходимо решать целый комплекс задач, связанных с обработкой исходной информации для анализа и синтеза оптимальных вариантов системы.

Целью исследования является разработка методики определения устойчивости системы автоматического управления процессами производства биогаза как составной части технологической системы, позволяющей формализовать количественные и качественные признаки и создать алгоритмическую и программную базу для расчетов.

Поскольку технологические системы управления биогазовых установок являются нелинейными объектами регулирования, то для исследования их работы предусматривают линеаризацию в пределах базового режима, при этом заданный оптимизатором режим находится в пределах погрешности линеаризации.

Задачи проектирования решаются при наличии аналитических зависимостей характеристик устойчивости системы от характеристик устойчивости объектов.

Учитывая, что взаимодействующими элементами систем являются отдельные виды оборудования и различные виды сырья и энергоносителей, участвующих в технологических процессах, следует использовать большое количество информационных материалов при эксплуатации оборудования биогазовых установок.

При проектировании технологической системы производства биогаза для конкретного объекта нужно создать его условно полную динамическую модель, а с помощью модели рассчитать матрицы R для различных режимов работы и определить границы спектров собственных чисел и рассмотреть варианты согласования регулятора с объектом. Учитывая примерно одинаковые затраты, предпочтительным следует считать вариант, обеспечивающий наибольший запас устойчивости.

Ключевые слова: технологическая система, биогаз, устойчивость, матрица коэффициентов, собственные значения, динамическая модель

SELECTION OF CRITERIA FOR ASSESSMENT OF SUSTAINABILITY IN THE DESIGN OF TECHNOLOGICAL SYSTEMS FOR BIOGAS PRODUCTION

V. Ramsh, M. Potapenko, V. Sharshon

Abstract. *One of the most promising renewable energy sources is the production of biogas from waste and its further use.*

The stability of technological systems for biogas production is described by a set of quantitative indicators that depend on the structure, operation algorithm and stability indicators of individual elements.

When developing technological control systems for biogas plants, it is necessary to solve a whole range of tasks related to the processing of initial information for the analysis and synthesis of optimal system options.

The aim of the study is to develop a methodology for determining the stability of the automatic control system for biogas production processes as an integral part of the technological system, which makes it possible to formalize quantitative and qualitative characteristics and create an algorithmic and software base for calculations.

Since the technological control systems of biogas plants are nonlinear control objects, then to study their operation, linearization is provided within the basic mode, while the mode specified by the optimizer is within the linearization error.

Design problems are solved in the presence of analytical dependences of the stability characteristics of the system on the stability characteristics of objects.

Considering that the interacting elements of the systems are individual types of equipment and various types of raw materials and energy carriers involved in technological processes, a large number of information materials should be used when operating equipment of biogas plants.

When designing a technological system for biogas production for a specific object, it is necessary to create its conditionally complete dynamic model, and using the model, calculate matrices R for various operating modes and determine the boundaries of the spectra of eigenvalues and consider options for matching the regulator with the object. Considering approximately the same costs, the preferred option should be considered the option that provides the greatest margin of stability.

Key words: *technological system, biogas, stability, coefficient matrix, eigenvalues, dynamic model*