

УДК 620.92: 621.3.019.3

ОЦІНКА ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ ВИРОБНИЦТВА БІОГАЗУ ЗА КОМПЛЕКСНИМИ ПОКАЗНИКАМИ

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

В. Ю. Рамиш, кандидат технічних наук, доцент

В. Л. Шаршонь, асистент

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

E-mail: m.potapenko19@gmail.com

Анотація. Перспективним альтернативним джерелом енергії є біогаз, який одержують у результаті переробки бактеріями органічного субстрату без доступу кисню.

Ефективність використання і функціонування технологічних систем визначається показниками їх працездатності і надійності.

Метою дослідження є розробка методики оцінки працездатності технологічних систем виробництва біогазу за комплексними показниками.

У статті проаналізовано методи комплексної оцінки стану технологічних систем. Розглянуті методи мають такі недоліки: більшість з них можна застосовувати тільки після певного напрацювання системи; експертні оцінки ґрунтуються на інтуїції і, внаслідок цього, не завжди є об'єктивними; функціонально-параметричний підхід носить скоріше методологічний, ніж практичний характер; визначення коефіцієнта збереження ефективності зі зростанням числа елементів і ускладненням структури технологічної системи стає достатньо утрудненим.

Працездатність технологічних систем виробництва біогазу із збільшенням термінів їх експлуатації виражається через зміну показників технічного стану, зниження продуктивності та зміну економічних показників: зростання витрат на одиницю виконаної роботи і додаткові витрати на утримання ремонтно – обслуговуючої бази.

Для аналізу технічного стану технологічних систем виробництва біогазу доцільно застосовувати комплексний експлуатаційний показник $V(t)$, що враховує одночасно його технічні і економічні характеристики протягом періоду експлуатації, тобто питомі витрати на забезпечення працездатності через вартість одиниці виробленої продукції протягом терміну експлуатації до граничного стану.

Ключові слова: технологічна система, біогаз, надійність, працездатність, коефіцієнт збереження ефективності, комплексний експлуатаційний показник.

Актуальність. У зв'язку із постійним зростанням показників споживання та обмеженими традиційними енергоресурсами, стрімких обертів набуває розвиток технологій одержання енергії з альтернативних джерел.

Перспективним альтернативним джерелом енергії є біогаз, який одержують у результаті переробки бактеріями органічного субстрату без доступу кисню [1].

Біогазові установки є будівельними об'єктами, що складаються з біореакторів, оснащених комплексом систем подачі сировини, підігрівання, перемішування, каналізації, повітряної газової та електричної. Біогазові установки виробляють біогаз шляхом контрольованого зброджування біомаси в анаеробних умовах.

Найбільшій економічній ефективності можна досягти при реалізації біогазових технологій, напрямлених на вирішення енергетичних, агрохімічних і екологічних завдань.

Біогазові технології стають рентабельними, якщо як субстрат використовуються відходи, що містять в своєму складі значну частину органічних речовин: відходи тваринництва і птахівництва, рослинні відходи сільського господарства, рідкі та тверді органічні відходи легкої і харчової промисловості, побутового та комунального сектора [2].

Для більш широкого поширення біогазових технологій особливе значення набувають такі фактори: вартість установки; питома продуктивність; повнота переробки біомаси; ефективність у вирішенні завдань, пов'язаних з охороною навколишнього середовища; висока експлуатаційна надійність і простота обслуговування.

На сучасному етапі розвитку біотехнологій важливого значення набуває інтенсифікація процесу метанового зброджування і зниження за рахунок цього капітальних і експлуатаційних витрат.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Ефективність використання і функціонування технологічних систем визначається показниками їх працездатності і надійності. Технологічна система виробництва біогазу є складною структурою з великою кількістю елементів. Для простоти розрахунків надійність поділяють на структурну і функціональну. Структурна і функціональна є розрахунковими

моделями надійності системи, коли управління комутацією мережі здійснюється в разі відмов елементів за заданими алгоритмами і програмами. Можливі відмови системи (аварії), які виявляють при аналізі розрахункових моделей, є розрахунковими подіями. На них орієнтована вся структура і автоматика технологічної системи. У реальних технологічних системах виробництва біогазу крім розрахункових відмов відбуваються аварії непрогнозовані, коли в ході розвитку первинних відмов мають місце відмови та неправильні дії персоналу і засобів керування, а також вплив стихійних сил і сторонніх факторів.

Загальна тривалість простоїв машин і обладнання внаслідок технічного обслуговування і ремонту становить значну частку річного фонду робочого часу. У зв'язку з цим виникає необхідність комплексної оцінки працездатності технологічних систем виробництва біогазу.

Мета дослідження – розробка методики оцінки працездатності технологічних систем виробництва біогазу за комплексними показниками.

Матеріали і методи дослідження. Для оцінки працездатності елементів технологічних систем в період їх роботи розроблений ряд ймовірнісних показників роботи. Найважливішим техніко-економічним показником якості будь-якого технічного пристрою, що визначає її здатність безвідмовно працювати з незмінними технічними характеристиками протягом заданого проміжку часу за певних умов експлуатації, є надійність.

До числа широко застосовуваних кількісних характеристик надійності відносяться: ймовірності безвідмовної роботи і відмови, частота відмов, коефіцієнт готовності, параметр потоку відмов тощо. [3]. Ці параметри мають ймовірнісний характер і описуються відповідними законами розподілу.

Результати досліджень та їх обговорення. Технологічні системи виробництва біогазу відносяться до відновлюваних систем, тобто характеризуються періодичними інтервалами справної роботи і відновлення при відмовах. У силу цього показники надійності вибирають з таким розрахунком, щоб з їх допомогою можна було б оцінити надійність як окремих елементів, так і в цілому відновлюваної системи, що складається з різнотипних елементів.

Надійність елементів технологічних систем виробництва біогазу оцінюється ймовірнісними показниками надійності. При цьому виходять з того, що в будь-який момент часу стан елемента або системи описується випадковим вектором:

$$x(t) = [x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)], \quad (1)$$

який може приймати завжди два значення при одномірній змінній: $x(t)=1$, якщо система чи елемент знаходиться в працездатному стані, і $x(t)=0$ при відмові. Компоненти вектора $x(t)$ можуть набувати значення різних параметрів системи.

Випадковий вектор $x(t)$ характеризується розподілом ймовірностей $F(x_1, x_2, \dots, x_n, t)$, тобто ймовірністю того, що $x_1(t) \leq x_1, \dots, x_n(t) \leq x_n$. Кожному з граничних значень, що характеризують стан системи, відповідає математичне сподівання цільової функції $M(t)$ в інтервалі $a \leq x \leq b$.

На основі теорії надійності розроблений системний підхід, який передбачає визначення ймовірності безвідмовної роботи кожного з елементів системи. Надійність всієї системи визначається як добуток надійності її елементів. В основу цього методу покладено такі припущення: кожен елемент системи може знаходитися в двох станах - виконання функції або відмови; розглядаються відмови пов'язані тільки з функціонуванням елементів, простої, викликані іншими причинами, не є його відмовами [4].

Широкого поширення набули методи експертних оцінок працездатності технологічних систем. Під експертними методиками розуміють комплекс логічних і математико-статистичних процедур, спрямованих на отримання від фахівців інформації, її аналіз і узагальнення з метою підготовки та вибору раціональних рішень [5]. На підставі цього застосовується комплексний показник, що дозволяє кількісно оцінити технічний стан системи з урахуванням якісних показників. Спосіб дозволяє оцінювати технічний стан, як в період експлуатації, так і після ремонту на підставі комплексного діагностування.

У практиці експлуатації так само використовується функціонально-параметричний підхід, заснований на взаємозв'язку показників надійності з виконуваними об'єктом функціями, умовами експлуатації і часом.

В основу функціонально-параметричного підходу покладено такі принципи: процес функціонування об'єкта і його технічний стан в будь-який момент часу визначаються кінцевим набором параметрів об'єкта; будь-яка технологічна система, виконуючи певні функції, знаходиться у взаємодії з людиною, навколишнім середовищем, компонентами технологічного процесу; накопичення різних впливів на систему призводить до зміни її параметрів; технічний об'єкт неможливо ізолювати від впливу зовнішнього середовища; всі види енергії впливають на об'єкт і викликають в ньому оборотні і необоротні процеси, які змінюють його початкові характеристики; відмови є наслідком відхилень параметрів від вихідних значень, формою прояву відмови є вихід параметрів за межі області допустимих значень; якщо процеси зміни параметрів спостережувані, то існує можливість запобігання відмов [6].

Критерій якості функціонування технологічної системи задається у вигляді функціоналу:

$$\Phi = f(W, Q), \quad (2)$$

де W – параметри ефективності технологічної системи.

Q – умови експлуатації технологічної системи.

Таким чином, синтез технічних об'єктів полягає у формуванні структури об'єкта і виборі значень внутрішніх параметрів [6].

Одним із сучасних методів комплексної оцінки стану технологічних систем є метод, який ґрунтується на визначенні коефіцієнта збереження ефективності. Розглядається технологічна система, яка при відмовах деяких своїх елементів продовжує функціонувати, але зі зниженою ефективністю. Залежно від здатності функціонувати з одним або декількома рівнями ефективності, системи прийнято поділяти на прості і складні. При цьому прості системи розглядаються як окремий випадок складних. Складова частина системи (елемент) здатна перебувати тільки в двох станах: працездатності та відмови.

Складні системи, як і прості, можуть перебувати в стані відмови, але на відміну від простих вони можуть перебувати не в одному, а в декількох станах працездатності з різними рівнями ефективності.

Показником надійності, який враховує час безвідмовної роботи $T_{сер}$ і час простою $\tau_{сер}$, є коефіцієнт готовності [7]:

$$K_{Г} = \frac{T_{сер}}{T_{сер} + \tau_{сер}}, \quad (3)$$

і коефіцієнт відмови

$$K_{відм} = 1 - K_{Г} = \frac{\tau_{сер}}{T_{сер} + \tau_{сер}}. \quad (4)$$

Обидва параметра характеризуються законами розподілу часу безвідмовної роботи і часу відновлення та відображають ймовірність знаходження технологічної системи виробництва біогазу в справному стані або в стані відмови, відповідно.

Відносний час вимушеного простою через відмови в системі за рік

$$\bar{P}(E) = \frac{t_{ПП}}{T_{р}} = \frac{t_{ПП}}{t_{ПП} + T_{БР}}, \quad (5)$$

де $t_{ПП}$ – час простою за рік;

$T_{БР}$ – час безвідмовної роботи за рік.

Показник $\bar{P}(E)$ є ймовірністю вимушеного (аварійного) простою і складає з ймовірністю справного стану повну групу подій.

Для оцінки надійності складних технологічних систем виробництва біогазу використовується коефіцієнт збереження ефективності $K_{еф}$, що показує, яка частина ефективності повністю справної системи збережеться, якщо врахувати можливі відмови її елементів. $K_{еф}$ - комплексний показник і у випадках простих систем, необхідною умовою ефективності яких є їх безвідмовна робота на всьому заданому інтервалі часу, він переходить в коефіцієнт оперативної готовності, який, в свою чергу, в залежності від особливостей технічного обслуговування і роботи системи може перейти в коефіцієнт готовності або ймовірність безвідмовної роботи.

Одним з методів розрахунку коефіцієнта збереження ефективності є метод усереднення за станом, при якому $K_{еф}$ визначається формулою:

$$K_{еф} = \sum_{i=1}^n P_n \cdot \bar{W}_n, \quad (6)$$

де P_n – ймовірність n -го стану системи;

$\overline{W}_n = W_n / W_0$ - коефіцієнт відносної ефективності системи в n -му стані, W_n , W_0 , - показники ефективності системи відповідно в її n -му стані і в повністю справному стані.

Розрахункову формулу коефіцієнта відносної ефективності системи на основі виразу (6) можна вивести прямим перебором всіх станів системи, що відрізняються станами її елементів [8].

Розглянуті методи комплексної оцінки працездатності технологічних систем мають такі недоліки: більшість з них можна застосовувати тільки після певного напрацювання системи; експертні оцінки ґрунтуються на інтуїції і, внаслідок цього, не завжди є об'єктивними; функціонально-параметричний підхід носить скоріше методологічний, ніж практичний характер; визначення коефіцієнта збереження ефективності зі зростанням числа елементів і ускладненням структури системи стає достатньо утрудненим.

У зв'язку з цим виникає потреба розробки такого показника, що дозволяє оцінити працездатність технологічних систем виробництва біогазу, як на початку періоду експлуатації, так і в процесі їх роботи з урахуванням їх технічного стану, показників надійності роботи і умов експлуатації.

Для проектних і практичних робіт доцільно використовувати експлуатаційний показник працездатності технологічних систем виробництва біогазу, тому що він поєднує як технічні, так і економічні дані, які характеризують зміну технічного стану системи з врахуванням термінів експлуатації, тобто питомі витрати на забезпечення працездатності через вартість одиниці виробленої продукції протягом терміну експлуатації до граничного стану.

Оскільки показники працездатності є змінними величинами, то економічний показник можна виразити змінною величиною у виді функції тривалості експлуатації:

$$V(t) = \frac{B_p(t) + B_o(t)}{t}, \quad (7)$$

де B_p - сумарні витрати на обслуговування і ремонт;

B_Q - сумарні втрати від зниження продуктивності;

t - тривалість експлуатації.

Комплексний експлуатаційний показник працездатності можна визначити в будь – який момент часу:

$$V(t) = \int_{t_1}^t \frac{[B_P(t) + B_Q(t)] \cdot dt}{t_2 - t_1}. \quad (8)$$

Висновки і перспективи. Працездатність технологічних систем виробництва біогазу із збільшенням термінів їх експлуатації виражається через зміну показників технічного стану, зниження продуктивності та зміну економічних показників: зростання витрат на одиницю виконаної роботи і додаткові витрати на утримання ремонтно – обслуговуючої бази.

Для аналізу технічного стану технологічних систем виробництва біогазу доцільно застосовувати комплексний експлуатаційний показник $V(t)$, що враховує одночасно його технічні і економічні характеристики протягом періоду експлуатації.

Список використаних джерел

1. Баадер В., Доне Е., Бренндерфер М. Биогаз: теория и практика. М.: Колос, 1982. 148 с.
2. Семененко И.В. Проектирование биогазовых установок. Суми: П «МакДон», ИПП «Мрия-1» ЛТД, 1996. 347 с.
3. Котеленец Н.Ф., Кузнецов Н.Л. Испытания и надежность электрических машин. М.: Высшая школа, 1988. 232 с.
4. Задоров В.Б. Системный анализ объектов и процессов: технологичні основи. К.: КНУБА, 2003. 276 с.
5. Дружинин Г.В. Надежность автоматизированных производственных систем. М.: Энергоатомиздат, 1986. 480 с.
6. Абрамов О.В. Функционально-параметрический подход к задачам обеспечения надежности технических систем. *Надежность и контроль качества*. 1999. № 5. С. 34-45.
7. Гнеденко Б.В., Беляев Ю.К., Соловьев А.Д., Каштанов В.А. Математические методы в теории надежности. М.: Книжный дом ЛИБРОКОМ, 2013. 550 с.
8. Ризкин И.Х. Машинный анализ и проектирование технических систем. М.: Наука, 1985. 160 с.

References

1. Baader, V., Done, E., Brennderfer, M. (1982). Biogaz: teoriya i praktika [Biogas: theory and practice]. Moskow: Kolos, 148.
2. Semenenko, I. V. (1996). Proektirovaniye biogazovykh ustanovok [Planning of biogas options]. Sumi: P «MakDon», IPP «Mriya-1» LTD, 347.
3. Kotelenets, N.F., Kuznetsov N.L. (1988). Ispytaniya i nadezhnost elektricheskikh mashin [Testing and reliability of electrical machines]. Moskow: Vysshaya shkola., 232.
4. Zadorov, V.B. (2003). Systemnyi analiz obektiv i protsesiv: tekhnologichni osnovy: navch. posibnyk [System analysis of objects and processes: technological bases]. Kyiv: KNUBA, 276.
5. Druzhinin, G.V. (1986). Nadezhnost' avtomatizirovannykh proizvodstvennykh sistem [Reliability of automated manufacturing systems]. Moskow: Ehnergoatomizdat, 480.
6. Abramov, O.V. (1999). Funktsionalno-parametricheskiiy podkhod k zadacham obespecheniya nadezhnosti tekhnicheskikh system [Functional-parametric approach to the problems of ensuring the reliability of technical systems]. Nadezhnost i kontrol kachestva, 5, 34-45.
7. Gnedenko, B.V., Belyayev YU.K., Solov'yev A.D., Kashtanov V.A. (2013). Matematicheskiye metody v teorii nadezhnosti [Mathematical methods in the theory of reliability]. Moskow: Knizhnyy dom LIBROKOM, 550.
8. Rizkin, I.KH. (1985). Mashinnyy analiz i proyektirovaniye tekhnicheskikh sistem [Machine analysis and design of technical systems]. Moskow: Nauka, 160.

ОЦЕНКА РАБОТОСПОСОБНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПРОИЗВОДСТВА БИОГАЗА ПО КОМПЛЕКСНЫМ ПОКАЗАТЕЛЯМ

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

Аннотация. Перспективным альтернативным источником энергии является биогаз, получаемый в результате переработки бактериями органического субстрата без доступа кислорода.

Эффективность использования и функционирования технологических систем определяется показателями их работоспособности и надежности.

Целью исследования является разработка методики оценки работоспособности технологических систем производства биогаза по комплексным показателям.

В статье проанализированы методы комплексной оценки состояния технологических систем. Рассмотренные методы имеют следующие недостатки: большинство из них можно применять только после определенной наработки системы; экспертные оценки основываются на интуиции и, вследствие этого, не всегда объективны; функционально-параметрический подход носит скорее методологический, чем практический характер; определение коэффициента сохранения эффективности с ростом числа элементов и усложнением структуры технологической системы становится достаточно затруднительным.

Работоспособность технологических систем производства биогаза с увеличением сроков их эксплуатации выражается через изменение показателей технического состояния, снижение производительности и изменение

экономических показателей: рост затрат на единицу выполненной работы и дополнительные расходы на содержание ремонтно - обслуживающей базы.

Для анализа технического состояния технологических систем производства биогаза целесообразно применять комплексный эксплуатационный показатель $V(t)$, учитывающий одновременно его технические и экономические характеристики в течение периода эксплуатации, то есть удельные затраты на обеспечение работоспособности через стоимость единицы продукции в течение срока эксплуатации до предельного состояния.

Ключевые слова: *технологическая система, биогаз, надежность, работоспособность, коэффициент сохранения эффективности, комплексный эксплуатационный показатель*

ESTIMATION OF THE OPERABILITY OF TECHNOLOGICAL SYSTEMS FOR THE PRODUCTION OF BIOGAS BY COMPREHENSIVES INDICATORS

M. Potapenko, V. Ramsh, V. Sharshon

Abstract. *A promising alternative energy source is biogas, which is obtained by bacteria processing an organic substrate without access to oxygen.*

The efficiency of the use and functioning of technological systems is determined by the indicators of their operability and reliability.

The aim of the study is to develop a methodology for assessing the performance of technological systems for biogas production by complex indicators.

The article analyzes the methods of complex assessment of the state of technological systems. The considered methods have the following disadvantages: most of them can be used only after a certain operating time of the system; expert assessments are based on intuition and, as a result, are not always objective; the functional-parametric approach is methodological rather than practical; determination of the efficiency retention coefficient with an increase in the number of elements and the complication of the structure of the technological system becomes rather difficult.

The operability of technological systems for biogas production with an increase in their service life is expressed through a change in technical condition indicators, a decrease in productivity and a change in economic indicators: an increase in costs per unit of work performed and additional costs for maintaining a repair and maintenance base.

To analyze the technical state of technological systems for biogas production, it is advisable to use a complex operational indicator $V(t)$, which simultaneously takes into account its technical and economic characteristics during the period of operation, that is, the unit costs of ensuring operability through the cost of a unit of production during the service life up to the limiting state.

Key words: *technological system, biogas, reliability, operability, efficiency preservation ratio, comprehensive performance indicator*