

**Організаційно-економічні аспекти підвищення
надійності технологічних ліній біогазових установок**

В. Ю. Рамш, кандидат технічних наук, доцент

М. В. Потапенко, 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. Біогазові установки є технологічними лініями, що складаються з біореакторів, оснащених комплексом обладнання підготовки і подачі сировини, підігрівання, перемішування, зберігання і використання біогазу, вивантаження і транспортування шламу.

Висока надійність технологічних ліній є одним із основних факторів забезпечення високої ефективності виробництва біогазу.

Мета дослідження – розробка методики розрахунку основних експлуатаційних показників надійності обладнання біогазових установок через визначення ймовірності станів технологічних ліній.

Одним із перспективних напрямків стимулювання підвищення надійності на етапі проєктування та виробництва обладнання технологічних ліній біогазових установок є включення у вартість обладнання витрат на його технічне обслуговування та ремонт на максимально можливий термін експлуатації, з урахуванням конкретних умов, у яких буде працювати технологічне обладнання.

Організаційно-економічні методи на етапі експлуатації та технічного обслуговування обладнання полягають у розробці експлуатаційного забезпечення, монтажу та налагодження обладнання, навчання персоналу навичкам роботи з новим обладнанням, кількісної оцінки оптимальних термінів та об'ємів проведення регламентних робіт.

Одержані аналітичні залежності є зручними для розрахунків надійності і економічності технологічної системи. Знаючи ймовірності станів системи можна визначити основні показники надійності технологічних ліній біогазових установок.

З економічної точки зору значне збільшення відношення інтенсивності відновлення до інтенсивності відмов $\frac{\mu}{\lambda}$ є недоцільним, оскільки це вимагає суттєвого збільшення чисельності обслуговуючого персоналу. При цьому необхідно зазначити, що через випадковий характер відмов обладнання технологічних ліній біогазових установок, працівників буде завантажено роботою нерівномірно і не

повністю, що, безсумнівно, позначиться на сумарних виробничих затратах та загальній ефективності виробництва.

Ключові слова: *організаційно-економічні методи, біогазова установка, надійність обладнання, коефіцієнт готовності, коефіцієнт технічного використання*

Актуальність. Біогазові установки є технологічними лініями, що складаються з біореакторів, оснащених комплексом обладнання підготовки і подачі сировини, підігрівання, перемішування, зберігання і використання біогазу, вивантаження і транспортування шламу [1].

Сучасні технології дозволяють переробляти в біогаз будь-які види органічної сировини, проте найефективніше використання біогазових технологій для переробки відходів тваринницьких і птахівничих ферм та стічних вод, оскільки вони характеризуються сталістю потоку відходів у часі та простотою їх збору.

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 [2].

Висока надійність технологічних ліній є одним із основних факторів забезпечення високої ефективності виробництва біогазу.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Будь-яка відмова у роботі обладнання технологічних ліній призводить до виникнення втрат, пов'язаних як із вартістю недоотриманої продукції, так і з додатковими витратами на відновлення обладнання та усунення всіх наслідків їх зупинки. У зв'язку з цим можна відстежити взаємозв'язок між надійністю обладнання біогазових установок та економічними аспектами його використання.

Можна виокремити такі напрямки підвищення надійності обладнання технологічних ліній біогазових установок:

1. Організаційно-економічні методи підвищення надійності на етапі проектування та виробництва обладнання біогазових установок.

2. Структурно-функціональні методи організації та технічного забезпечення процесу виробництва біогазу.

3. Конструктивні методи підвищення технічного рівня обладнання установок.

4. Організаційно-економічні методи на етапі експлуатації та технічного обслуговування обладнання.

Мета дослідження – розробка методики розрахунку основних експлуатаційних показників надійності обладнання біогазових установок через визначення ймовірності станів технологічних ліній.

Матеріали і методи дослідження. Одним із перспективних напрямків стимулювання підвищення надійності на етапі проектування та виробництва обладнання технологічних ліній біогазових установок є включення у вартість обладнання витрат на технічне обслуговування та ремонт на максимально можливий термін експлуатації. У цьому випадку розробники зацікавлені в отриманні точних оцінок потенційної надійності та довговічності обладнання, а виробники у підвищенні якості своєї продукції. Важливим фактором підвищення надійності обладнання є облік при проектуванні конкретних умов, у яких буде працювати технологічна лінія [3]. Необхідно враховувати такі експлуатаційні фактори, що впливають на надійність обладнання технологічних ліній біогазових установок:

1. Робочі умови. Необхідно враховувати наявність агресивного хімічного середовища, сильні вібрації, ударні дії, наявність радіації, електромагнітні впливи, стандарти та якість електричного живлення, водопостачання, каналізації, вентиляції, хімічних реагентів тощо.

2. Кліматичні умови (температура, вологість, забрудненість повітря хімічними речовинами тощо).

3. Біологічні фактори (комахи, гризуни, пліснява, грибки тощо).

Структурно-функціональні методи підвищення надійності включають використання таких схем побудови технологічних процесів, при яких відмова в роботі окремих елементів не порушує функціонування всієї системи. Це досягається за рахунок надмірності апаратних, програмних та інформаційних засобів,

використання апаратних та програмних засобів оперативного контролю та виявлення несправностей, компенсації наслідків відмов окремих елементів.

Конструктивні методи підвищення технічного рівня обладнання біогазових установок включають оптимальний вибір елементів, вибір оптимальних режимів їх роботи, удосконалення методів виявлення несправностей, скорочення часу на діагностування і усунення несправностей [4].

Організаційно-економічні методи на етапі експлуатації та технічного обслуговування обладнання біогазових установок полягають у розробці експлуатаційного забезпечення, монтажу та налагодження обладнання, навчання персоналу навичкам роботи, кількісної оцінки оптимальних термінів та об'ємів проведення регламентних робіт.

Результати досліджень та їх обговорення. Для кількісної оцінки можливих втрат через відмову в роботі обладнання технологічних ліній біогазових установок вводимо показник середніх втрат $\bar{w}$ за одиницю часу. Нехай технологічна система має один основний працездатне стан та n непрацездатних станів.

Ймовірність знаходження у кожному з n непрацездатних станів може бути визначена за формулою:

$$q_i = q_0 \cdot \frac{\lambda_i}{\mu_i}, \quad (1)$$

де q_0 – ймовірність знаходження системи у працездатному стані; λ_i – інтенсивність відмов, що призводять до i -го непрацездатного стану; μ_i – інтенсивність відновлення з i -го непрацездатного стану.

Нехай $\bar{e}_0$ – середній вихідний ефект за одиницю часу ідеальної абсолютно надійної безвідмовної роботи технологічної системи, а $\bar{e}_i$ – середні втрати вихідного ефекту за одиницю часу при знаходженні технологічної системи в i -му непрацездатному стані, q_i – ймовірність знаходження системи в i -му стані.

У цьому випадку показник середніх втрат можна визначити як математичне сподівання від середніх втрат вихідного ефекту:

$$\overline{w} = \overline{e}_0 - \sum_{i=0}^n \overline{e}_i \cdot q_i. \quad (2)$$

Часто замість абсолютних вводять відносні втрати через відмову в роботі технологічного обладнання:

$$\frac{\bar{w}}{\bar{e}_0} = 1 - \sum_{i=0}^n \frac{\bar{e}_i}{\bar{e}_0} \cdot q_i. \quad (3)$$

Для аналітичного розрахунку ймовірнісних характеристик відмов обладнання може бути використаний метод розв'язання системи зв'язаних диференціальних рівнянь [5].

У результаті одержуємо таку систему рівнянь:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dq_1(t)}{dt} = \lambda_1 \cdot q_0(t) - \mu_1 \cdot q_1(t) \\ \frac{dq_2(t)}{dt} = \lambda_2 \cdot q_0(t) - \mu_2 \cdot q_2(t) . \\ \\ \frac{dq_n(t)}{dt} = \lambda_n \cdot q_0(t) - \mu_n \cdot q_n(t) \end{array} \right. \quad (4)$$

Для розв'язання системи рівнянь (4) запишемо рівняння нормування для суми ймовірностей знаходження системи у всіх можливих станах [6]:

$$\sum_{i=0}^n q_i(t) = 1. \quad (5)$$

В усталеному стаціонарному режимі роботи система рівнянь (4) може бути записана так:

$$\begin{cases} \lambda_1 \cdot q_0(t) - \mu_1 \cdot q_1(t) = 0 \\ \lambda_2 \cdot q_0(t) - \mu_2 \cdot q_2(t) = 0. \\ \\ \lambda_n \cdot q_0(t) - \mu_n \cdot q_n(t) = 0 \end{cases} \quad (6)$$

Розв'язавши рівняння (5) і (6), одержимо:

$$q_0(t) = \frac{1}{1 + \sum_{i=1}^n \frac{\lambda_i}{\mu_i}}. \quad (7)$$

Для аналізу надійності технологічних ліній біогазових установок введемо коефіцієнт готовності K_r , що характеризує середню ймовірність $q_0(t)$ того, що обладнання перебуває у працездатному стані. Коефіцієнт готовності K_r рівний відношенню середнього часу знаходження в робочому стані до суми середнього часу знаходження в робочому стані та еквівалентного середнього часу відновлення:

$$K_r = \frac{T_0}{T_0 + \alpha \cdot T_B}. \quad (8)$$

де T_0 – середній час напрацювання на відмову; T_B – середній час відновлення після поломки; α – коефіцієнт відповідності часу відновлення та часу напрацювання на відмову.

Припускаємо, що після виникнення кожної відмови обладнання технологічної лінії негайно починають ремонтувати, а після успішного завершення кожного ремонту обладнання вводиться в експлуатацію. В цьому випадку коефіцієнт $\alpha = 1$.

Користуючись виразом (7), коефіцієнт готовності рівний:

$$K_r = q_0(t) = \frac{1}{1 + \sum_{i=1}^n \frac{\lambda_i}{\mu_i}}. \quad (9)$$

Знаходимо за допомогою виразу (9) при $n = 1$ коефіцієнт готовності одного j -го елемента:

$$K_{rj} = \frac{1}{1 + \frac{\lambda_j}{\mu_j}} = \frac{\mu_j}{\mu_j + \lambda_j}. \quad (10)$$

$$\frac{\lambda_j}{\mu_j} = \frac{1}{K_{rj}} - 1. \quad (11)$$

Підставляючи вираз (11) в (9), одержимо:

$$K_r = q_0(t) = \frac{1}{1 - n + \sum_{i=1}^n \frac{1}{K_{rj}}}. \quad (12)$$

Поряд з коефіцієнтом готовності в системах часто застосовується коефіцієнт технічного використання K_{TB} , який чисельно дорівнює відношенню сумарного часу напрацювання обладнання до загальної величини сумарного часу напрацювання, сумарного часу ремонту та сумарного часу обслуговування:

$$K_{TB} = \frac{T_{\Sigma}}{T_{\Sigma} + \alpha \cdot T_p + \alpha \cdot T_{об}}, \quad (13)$$

де T_{Σ} – сумарний час напрацювання обладнання; T_p – сумарний час ремонту обладнання; $T_{об}$ – сумарний час обслуговування обладнання; α – коефіцієнт відповідності між часом роботи, ремонту та обслуговування.

Коефіцієнт технічного використання визначається відношенням математичного сподівання часу знаходження обладнання технологічних ліній біогазових установок у працездатному стані до суми математичних сподівань часу знаходження обладнання у працездатному стані, часу ремонту та часу технічного обслуговування.

На величину коефіцієнт технічного використання K_{TB} безпосередньо впливає стратегія вибору термінів технічного обслуговування та ремонту.

Можливі три різні варіанти вибору термінів проведення технічного обслуговування та ремонту обладнання технологічних ліній біогазових установок:

1. Календарний принцип, при якому не враховується фактичний технічний стан і загальна тривалість фактичної роботи обладнання. Цей підхід є зручним з точки зору планування фактичної зайнятості обслуговуючого персоналу.

2. За відпрацюванням міжремонтного ресурсу обладнання. Цей підхід є доцільним у випадку підвищених вимог до надійності та безпеки обладнання.

3. За фактичним технічним станом справності чи працездатності обладнання. Цей підхід є економічно найбільш доцільний з точки зору затрат на експлуатацію обладнання.

В аналітичних розрахунках надійності найчастіше дотримуються підходу до вибору термінів ремонту за фактичним технічним станом і працездатністю обладнання. Керуючись цим принципом, розрахуємо час напрацювання до відмови технологічних ліній біогазових установок з $m-1$ – кратним резервуванням і

відновленням. Будемо вважати, що відбувається миттєве відновлення кожної ланки, що відмовила, і негайне введення в експлуатацію кожної відремонтованої лінії.

Середній час напрацювання до відмови для обладнання технологічних ліній з відновленням:

$$T_{\text{заг}} = \frac{1}{\lambda} \cdot \sum_{i=0}^{m-1} \frac{\left(1 + \frac{\mu}{\lambda}\right)^i}{i+1} = T_0 \cdot \sum_{i=0}^{m-1} \frac{\left(1 + \frac{\mu}{\lambda}\right)^i}{i+1}, \quad (14)$$

де μ – інтенсивність відновлення; λ – інтенсивність відмов обладнання; T_0 – напрацювання до відмови без резервування та відновлення.

Зі співвідношення (14) видно, що для системи, яка обслуговується з $m-1$ - кратним резервуванням і відновленням зі збільшенням відношення інтенсивності відновлення до інтенсивності відмов $\frac{\mu}{\lambda}$, час напрацювання до відмови асимптотично прямує до степеневого закону зростання з показником $m-1$.

Введемо коефіцієнт, який характеризує кратність збільшення часу напрацювання до відмови за рахунок відновлення

$$B(m, \mu, \lambda) = \frac{T_{\text{заг}}}{T_0} = \sum_{i=0}^{m-1} \frac{\left(1 + \frac{\mu}{\lambda}\right)^i}{i+1}. \quad (15)$$

Коефіцієнт $B(m, \mu, \lambda)$, а разом з ним і надійність збільшується як із зростанням відношення інтенсивності відновлення до інтенсивності відмов $\frac{\mu}{\lambda}$, так і збільшенням загальної кількості працюючих основних та резервних технологічних ліній.

Збільшення терміну служби обладнання до відмови впливає на кількість простоюючих технологічних ліній, але не призводить до зменшення кількості резерву.

Висновки і перспективи. Одержані аналітичні залежності є зручними для розрахунків надійності і економічності технологічної системи. Знаючи ймовірності станів системи, можна визначити основні показники надійності технологічних ліній біогазових установок.

З економічної точки зору значне збільшення відношення інтенсивності відновлення до інтенсивності відмов $\frac{\mu}{\lambda}$ є недоцільним, оскільки це вимагає суттєвого збільшення чисельності обслуговуючого персоналу. При цьому необхідно зазначити, що через випадковий характер відмов обладнання технологічних ліній біогазових установок, працівників буде завантажено роботою нерівномірно і не повністю, що, безсумнівно, позначиться на сумарних виробничих затратах та загальній ефективності виробництва.

Список використаних джерел

1. Kigozi R., Muzenda E., Aboyade A. Biogas technology: Current trends, opportunities and challenges. Renewable energy and environmental engineering. 2014. P. 311-317.
2. Потапенко М. В., Рамш В. Ю., Шаршонь В. Л. Оцінка працездатності технологічних систем виробництва біогазу за комплексними показниками. Енергетика і автоматика. 2021. № 5. С. 96-105. URL: <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Energiya/article/view/energiya2021.05.096>, (дата звернення: 15.01.2023).
3. Задоров В. Б. Системний аналіз об'єктів і процесів: технологічні основи: навч. посібник. Київ: КНУБА, 2003. 276 с.
4. Семененко И. В. Проектирование биогазовых установок. Сумы: ИПП "Мрия-1" ЛТД. 1996. 347 с.
5. Гнеденко Б. В., Беляев Ю. К., Соловьев А. Д., Каштанов В. А. Математические методы в теории надежности. М.: Книжный дом ЛИБРОКОМ, 2013. 550 с.
6. Канарчук В. Є., Полянський С. К., Дмитрієв М. М. Надійність машин: Підручник. К.: Либідь, 2003. 424 с.

References

1. Kigozi, R., Muzenda, E., Aboyade, A. (2014). Biogas technology: Current trends, opportunities and challenges. Renewable energy and environmental engineering, 311-317.
2. Potapenko, M.V., Ramsh, V.Iu., Sharshon, V.L. (2021). Otsinka pratsezdatsnosti tekhnolohichnykh system vyrobnytstva biohazu za kompleksnymy pokaznykamy [Evaluation of the performance of technological systems of biogas production according to complex indicators]. Enerhetyka i avtomatyka. 2021, 5, 96-105. URL: <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Energiya/article/view/energiya2021.05.096>
3. Zadorov, V.B. (2003). Systemnyi analiz obiektiv i protsesiv: tekhnolohichni osnovy: navch. posibnyk [System analysis of objects and processes: technological bases]. Kyiv: KNUBA, 276.
4. Semenenko, I. V. (1996). Proektirovaniye biogazovykh ustanovok [Planning of biogas options]. Sumi: P «MakDon», IPP «Mriya-1» LTD, 347.

5. 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]. Moscow: Knizhnyy dom LIBROKOM, 550.

6. Kanarchuk, V.Ie., Polianskyi, S.K., Dmytriiev M.M. (2003). *Nadiinist mashyn: Pidruchnyk* [Reliability of machines: Textbook]. Kyiv: Lybid, 424.

Organizational and economic aspects of increasing of reliability of technological lines of biogas plants

V. Ramsh, M. Potapenko, V. Sharshon

Abstract. *Biogas plants are process lines consisting of bioreactors equipped with a set of equipment for feed preparation and feeding, heating, mixing, storing and using the biogas, discharging and transporting the sludge.*

High process line reliability is one of the main factors in ensuring high efficiency in biogas production.

The purpose of the study is to develop a methodology for calculating the main operational indicators of the reliability of biogas plant equipment by determining the probability of states of technological lines.

One of the promising directions for stimulating reliability improvement at the stage of designing and manufacturing equipment for process lines of biogas plants is to include in the cost of equipment the costs of its maintenance and repair for the maximum possible service life, taking into account the specific conditions in which the process equipment will operate.

Organisational and economic methods at the equipment operation and maintenance stage consist of developing operational support, installing and setting up equipment, training personnel to operate new equipment, and quantifying the optimum timing and scope of maintenance work.

The resulting analytical dependencies are useful for calculating the reliability and efficiency of the process system. Knowing the probabilities of system states, it is possible to determine the main indicators of reliability of technological lines of biogas plants.

From an economic point of view, a significant increase in the ratio of recovery rate to failure rate $\frac{\mu}{\lambda}$ is not feasible, as it requires a significant increase in the number of maintenance personnel. At the same time, it should be noted that due to the random nature of failures in the equipment of biogas plant process lines, workers will be loaded unevenly and incompletely, which will certainly affect the total production costs and overall production efficiency.

Key words: *organisational and economic methods, biogas plant, equipment reliability, readiness factor, technical utilisation factor*