

## МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ ПОТОКОВИХ ЛІНІЙ БІОГАЗОВИХ УСТАНОВОК

*В. Г. Подобайло, В. Ю. Рамш, кандидати технічних наук  
М. В. Потапенко, Н. П. Семенова, старші викладачі  
ВП НУБіП України “Бережанський агротехнічний інститут”  
e-mail: pklen\_@i.ua*

**Анотація.** Запропоновано методику розрахунку основних експлуатаційних показників надійності електрообладнання біогазових установок через визначення ймовірності станів технологічних поточкових ліній.

**Ключові слова:** біогазова установка, надійність, випадковий процес, відмова, ймовірність станів

Нині більшість технологічних процесів здійснюється за допомогою поточкових виробничих ліній. Взаємодіючими елементами поточкових ліній є різні види технологічного та електротехнічного обладнання та різні види сировини й енергоносіїв, багато видів різноманітних інформаційних матеріалів, які використовуються під час експлуатації та ремонту обладнання.

Надійність роботи автоматизованих біогазових установок забезпечується за допомогою організаційних і технічних заходів. Показники надійності оцінюються кількістю відмов установленого на машинах і механізмах обладнання й систем керування впродовж певного періоду часу та тривалістю простоїв технологічних ліній, зумовлених відновленням їх працездатності. Тому організаційно-технічні заходи можна поділити на: заходи, які забезпечують зменшення кількості аварійних відмов та заходи, які забезпечують скорочення тривалості непрацездатного стану технологічного процесу.

Розробка заходів першої групи передбачає застосування електрообладнання, яке дає змогу зменшити інтенсивність відмов.

Заходи другої групи спрямовані на суттєве скорочення часу відновлення обладнання, яке вийшло з ладу.

**Мета досліджень** – розробка методики визначення експлуатаційних показників надійності обладнання біогазових установок через параметри ймовірності станів поточно-виробничих ліній.

**Матеріали та методика досліджень.** Для підвищення ефективності використання машин та обладнання технологічних систем необхідна оптимізація відновлювальних робіт на основі діагностування й прогнозування технічного стану, що дозволить забезпечити його високу безвідмовність і довговічність.

Одним із можливих способів зменшення загального часу відновлення обладнання, що відмовило, це створення його поточного резерву, коли група основних елементів об'єкта забезпечується одним або декількома резервними елементами, кожний з яких може замінити будь-який елемент, що відмовив у даній групі.

Щоб скоротити простої технологічних ліній через відмову обладнання, кількість запасних елементів повинна бути не меншою за кількість можливих відмов основних елементів. Проте при цьому буде тривале перебування на складі запасних частин, що призводить до додаткових затрат, пов'язаних із їх зберіганням та невикористанням вкладених коштів. Але відсутність у потрібний момент запасного обладнання збільшує тривалість непрацездатного стану технологічного обладнання, що завдає значних збитків виробництву. Тому визначення об'єктованих запасів резервного обладнання належить до техніко-економічних задач.

**Результати досліджень.** Один із можливих методів розв'язання цієї задачі ґрунтується на застосуванні основних положень теорії масового обслуговування.

Припустимо, що на декількох біогазових установках є  $n$  однотипних елементів електрообладнання, яке встановлено на різних електрифікованих механізмах потокових ліній виробництва біогазу. Обладнання може знаходитися лише у двох станах: працездатному і непрацездатному. Крім того, будемо вважати, що якщо в потоковій технологічній лінії встановлено декілька елементів електрообладнання, то відмова одного з них призводить до зупинки всієї лінії.

Для підвищення коефіцієнта готовності потокової технологічної лінії за рахунок зменшення її непрацездатного стану, передбачається резерв з  $m$  одиниць взаємозамінного обладнання. При досить великому  $n$  і малому  $m$  можуть відбуватися простої одного або декількох технологічних процесів. Тому велике значення має надійність самого електрообладнання та можливість швидкої його заміни.

Працююче і резервне електрообладнання створює систему, стан якої будемо характеризувати кількістю елементів, що відмовили. Тоді можливими будуть стани системи від  $S_0$  – всі елементи системи знаходяться в справному стані до  $S_{m+n}$  – відмовили працюючі та резервні елементи, простоюють усі технологічні лінії.

Стани системи будуть безперервно змінюватися, тому що відмови можуть виникати в будь-який момент часу. Таким чином проходять випадкові процеси, які характеризуються дискретною множиною процесів та безперервним часом. Для більшості технологічних процесів інтервали між відмовами елементів обладнання розподіляються по експоненціальному закону з параметрами  $\lambda$  і  $\mu$  [1,5]. Тому можна вважати, що система зі стану  $S_i$  в стан  $S_{i+1}$  переходить по Пуассонівському потоку відмов. Інтенсивність змінюваності системи при цьому залежить від кількості ліній, які простоюють.

Якщо інтенсивність виходу з ладу одного елемента дорівнює  $\lambda$ , то при відсутності простоїв технологічних ліній система зі стану  $S_i$  в стан  $S_{i+1}$  буде переходити з інтенсивністю  $\lambda \cdot n$ . У випадку простоювання  $g$

технологічних ліній, цей перехід здійснюється з інтенсивністю  $(n - g) \cdot \lambda$  при  $g = 1, 2, \dots, (n - 1)$

Залежно від тривалості заміни елементів електрообладнання, що відмовили, час відновлення працездатності технологічних ліній  $T$  буде змінюватись в широких межах за показниковим законом [2]. Тоді інтенсивність переходу системи зі стану  $S_i$  в стан  $S_{i-1}$  можна визначити через середній час заміни одного елемента обладнання  $\bar{T}_c$ . Тобто, система переходить із неробочого стану в працездатний стан, як і в попередньому випадку, по Пуассонівському потоку відновлення. А експоненціальний характер розподілу часу перебування системи в усіх можливих станах дає змогу вважати, що випадковий процес зміни станів є Марковським [3]. Оскільки в цьому процесі переходи системи допускаються лише в сусідні стани, то її поведінку можна описати схемою чистого зникнення й розмноження [2].

Для визначення ймовірностей знаходження системи в тому або іншому стані ( $P_0, P_1, P_2, \dots, P_{m+n}$ ) складемо систему диференціальних рівнянь, які описують поведінку системи в часі  $t$ .

У загальному вигляді для системи зникнення й розмноження ці рівняння будуть мати такий вигляд:

$$\frac{dP_{j,k}}{dt} = \lambda_{k-1} \cdot P_{j,k-1}(t) - (\lambda_k + \mu_k) \cdot P_{j,k}(t) + \mu_{k+1} \cdot P_{j,k+1}(t), \quad (1)$$

$$\sum_{i=0}^{m+n} P_i(t) = 1 \quad (2)$$

де  $j$  – початкова кількість елементів обладнання, що відмовили.

Відповідно до станів системи будемо мати:

$$\begin{cases} \lambda_{k-1} = \lambda_k = \lambda \cdot n \\ \lambda_{k-1} = \lambda_k = \lambda \cdot (n - g) \\ \mu_k = \mu_{k+1} = \mu \end{cases} \begin{cases} 1 \leq k \leq m + 1 \\ m + 2 \leq k \leq m + n \\ g = 1, 2, \dots, (n - 1) \end{cases} \quad (3)$$

Для усталеного межового режиму процеси, які відбуваються в системі, не залежать від початкового стану, а ймовірності кожного стану не залежать від часу, що відповідає такій умові:

$$\frac{dP_k(t)}{dt} = 0; \quad P_k(t) = P_k. \quad (4)$$

Граничні стани існують, тому що число станів системи кінцеве, а з кожного стану можна перейти в інший.

Розв'язавши систему рівнянь (1):

$$\lambda \cdot n \cdot P_{k-1} - (\lambda \cdot n + \mu) \cdot P_k + \mu \cdot P_{k+1} = 0, \quad \text{при } 1 \leq k \leq m + 1; \quad (5)$$

$$\lambda \cdot (n - g) \cdot P_{k-1} - [\lambda \cdot (n - g) + \mu] \cdot P_k + \mu \cdot P_{k+1} = 0, \quad \text{при } m + 2 \leq k \leq m + n; \quad g = 1, 2, \dots, (m - 1),$$

отримаємо формули для визначення ймовірності станів.

$$P_k = n^k \cdot \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^k \cdot P_0, \text{ при } 1 \leq k \leq m+1; \quad (6)$$

$$P_k = n^{m+1} \cdot \prod_{N=k}^{N=m+1} (n+m+1-N) \cdot \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^k \cdot P_0, \text{ при } m+2 \leq k \leq m+n; \quad (7)$$

$$P_0 = \left[ 1 + \sum_{k=1}^{k=m+1} n^k \cdot \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^k + \sum_{k=m+2}^{k=m+n} n^{m+1} \cdot \prod_{N=m+2}^{N=k} (n+m+1-N) \cdot \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^k \right]^{-1}. \quad (8)$$

Для спрощення розрахунків за формулами (6), (7), (8) можна вираховувати не ймовірності станів безпосередньо, а співвідношення  $\frac{P_k}{P_0}$ , при цьому наступні стани вираховують рекурентно через попередні, тоді:

$$\frac{P_k}{P_0} = \frac{P_{k-1}}{P_0} \cdot n \cdot \alpha, \text{ при } 1 \leq k \leq m+1; \quad (9)$$

$$\frac{P_k}{P_0} = \frac{P_{k-1}}{P_0} \cdot (m+n-k+1) \cdot \alpha, \text{ при } m+2 \leq k \leq m+n, \quad (10)$$

$$\text{де } \alpha = \frac{\lambda}{\mu}.$$

Визначивши ймовірності станів можна вирахувати основні показники експлуатаційної надійності системи обладнання:

- середня кількість технологічних ліній, що простоюють, при різній кількості резервного обладнання:

$$\bar{n}_{np.l} = \sum_{k=m+1}^{k=m+n} (k-m) \cdot P_k; \quad (11)$$

- ймовірність того, що не буде поточкових ліній, які простоюють:

$$P_{nl} = \sum_{k=0}^{k=m} P_k; \quad (12)$$

- коефіцієнт простою технологічних ліній:

$$K_{np.l} = \frac{n_{np.l}}{n}; \quad (13)$$

- коефіцієнт готовності технологічних ліній:

$$K_{z.l} = 1 - \frac{n_{np.l}}{n}; \quad (14)$$

- середній час простою технологічної лінії:

$$t_{np.l} = \frac{n_{np.l} \cdot K_g}{\lambda \cdot (n - \bar{n}_{np.l})}, \quad (15)$$

де  $K_e$  – коефіцієнт, який характеризує тимчасове використання обладнання впродовж року.

Основними факторами, які впливають на числові значення цих показників, є напрацювання обладнання до відмови  $\bar{T}_{el} = \frac{1}{\lambda}$ , та час

перебування обладнання в ремонті  $\bar{T}_p = \frac{1}{\mu}$ .

Тому збільшення терміну служби обладнання до відмови впливає на кількість поточкових ліній, що простоюють, але не призводить до зменшення кількості резерву.

Вплив резерву на ймовірність відсутності простою технологічних ліній при різних значеннях  $\alpha = \frac{\lambda}{\mu}$  показано в табл. 1.

**1. Залежність кількості  $m$  резервного електрообладнання та ймовірності  $\bar{P}_{nl}$  відсутності простою технологічних ліній при  $\alpha=1 \cdot 10^{-2}$ ,  $2 \cdot 10^{-2}$ ,  $4 \cdot 10^{-2}$  та  $n=24$**

| $m$ | $\bar{P}_{nl}$ при $\alpha=1 \cdot 10^{-2}$ | $\bar{P}_{nl}$ при $\alpha=2 \cdot 10^{-2}$ | $\bar{P}_{nl}$ при $\alpha=4 \cdot 10^{-2}$ |
|-----|---|---|---|
| 1   | 0,88  | 0,75  | 0,63  |
| 2   | 0,95  | 0,87  | 0,77  |
| 3   | 0,99  | 0,92  | 0,83  |
| 4   | 1   | 0,98  | 0,88  |

Комплексним показником, який впливає на ефективність використання резерву електрообладнання, є коефіцієнт:

$$\rho = \alpha \cdot (n - \bar{n}_{np.l}) \quad (16)$$

При значеннях  $\rho > 0,6$  підвищити надійність технологічних ліній за рахунок створення поточного резерву практично неможливо. При малих значеннях  $\rho$  резервного запасу електрообладнання необхідна обмежена кількість.

**Висновки**

Експоненціальний характер розподілу часу перебування системи в різних станах дає змогу стверджувати, що випадковий процес зміни станів буде марковським.

Щоб спростити розрахунки диференціальних рівнянь, по яких визначаються ймовірності перебування системи в різних станах, доцільно визначати відношення  $\frac{P_k}{P_0}$ , при цьому наступні стани визначаються рекурентно через попередні.

Знаючи ймовірності станів системи можна визначити основні показники експлуатаційної надійності потокових ліній біогазових установок:

- середню кількість ліній, що простоюють;
- коефіцієнти готовності й простою;
- ймовірності того, що не буде ліній, що простоюють;
- середню кількість резервного обладнання.

### **Список літератури**

1. Надежность асинхронных электродвигателей / Б. Н. Ванеев, В. Д. Главный, В. М. Гостищев, Л. И. Сердюк. – К. : Техніка, 1983. – 143 с.
2. Гнеденко Б. В. Математические методы в теории надежности / Б. В. Гнеденко, Ю. К. Беляев, А. Д. Соловьев. – М. : Наука, 1965. – 524 с.
3. Козлов Б. А. Справочник по расчету надежности аппаратуры радиоэлектроники и автоматики / Б. А. Козлов, И. А. Ушаков. – М. : Советское радио, 1975. – 472 с.
4. Семененко И. В. Проектирование биогазовых установок / И. В. Семененко. – Сумы : МакДон, Мрия-1 ЛТД, 1996. – 347 с.
5. Степов Б. С. Основы теории и расчета надежности элементов и устройств автоматики и вычислительной техники / Б. С. Степов. – М. : Высшая школа, 1970. – 270 с.

## **МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ПОТОЧНЫХ ЛИНИЙ БИОГАЗОВЫХ УСТАНОВОК**

***В. И. Подобайло, В. Ю. Рамш, Н. В. Потапенко, Н. П. Семенова***

**Аннотация.** *Предложена методика расчета основных эксплуатационных показателей надежности оборудования биогазовых установок через определение вероятности состояний технологических потоковых линий.*

**Ключевые слова:** *биогазовая установка, надежность, случайный процесс, отказ, вероятность состояний*

## **METHOD OF DETERMINING OPERATIONAL PARAMETERS OF RELIABILITY PRODUCTION LINE BIOGAS**

***V. Podobaylo, V. Ramsh, M. Potapenko, N. Semenova***

**Annotation.** *The methods of calculation of principal exploitation indicators of equipments effectiveness in biogas devices through determination of probable states of technological lines.*

**Key words:** *biogas plant, reliability, random process, refusal, of probable states*