3. Драгинский В.П. Озонирование в процессах очистки воды / В.П. Драгинский, Л.П. Алексеева, В.Г. Самойлович. – М.: ДеЛи принт, 2007. – 400 с.

УДК 663/664:621.891

ПОКАЗНИКИ НАДІЙНОСТІ ОБЛАДНАННЯ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ ВІД ЗНОСО – ТА КОРОЗІЙНОЇ СТІЙКОСТІ БАЗОВИХ ДЕТАЛЕЙ

Сухенко Ю.Г., д-р техн. наук, професор, Сухенко В.Ю., канд. техн. наук, доцент,
Василів В.П., канд. техн. наук, старший науковий співробітник
Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ
Кудашев С.М., канд. техн. наук, старший науковий співробітник,
Пушкар Т.Д., молодший науковий співробітник
Одеська національна академія харчових технологій, м. Одеса

Робота присвячена обґрунтуванню ресурсів роботи машин та апаратів, які використовуються в харчовій промисловості. Запропонована методика розрахунку експлуатації обладнання при потрібній імовірності безвідмовної роботи.

The paper is devoted rationale resources of machines and equipment used in foot industry. The method of calculation of operating equipment when necessary imo-fidelity uptime

Ключові слова: корозія, експлуатація, розрахунок, надійність, навантаження, методика.

Закономірності зношування та корозії деталей у технологічних середовищах харчових виробництв є функції випадкових аргументів, тому що зовнішні фактори (стан середовища, навантаження, швидкість ковзання), характеристики матеріалів (твердість, межа міцності) і умови експлуатації є випадковими величинами. Тому прогнозування надійності машин і апаратів повинно зводитись до визначення імовірності безвідмовної роботи і строку служби. При розв'язанні цієї задачі необхідно спиратися на закономірності теорій імовірності та надійності [1-3].

Можна припустити, що корозія або зношування (зміна параметра виробу) відбуваються за лінійним законом:

$$X = K \cdot t, \tag{1}$$

де К – швидкість протікання процесу (корозії або зношування), t – час.

Найбільш характерний випадок, коли швидкість зношування або корозії підвладна нормальному закону, тому що вона залежить від великої кількості випадкових факторів; навантаження, швидкості ковзання, температури, складу технологічного середовища тощо. Виходячи з цього, можна записати:

$$f_0(\kappa) = \frac{1}{\sigma_K \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(K-K_{cp})^2}{2\sigma_K^2}}, \tag{2}$$

де $f_0(к)$ – щільність імовірності; $К_{ср}$ – середнє значення швидкості зношування або корозії (зміни вихідного параметра Х); $\sigma_к$ – середнє квадратичне відхилення швидкості зносу або корозії. При $X=X_{мах}$ наступає граничний стан, який визначає строк служби виробу t=T як функцію випадкового аргументу К [3]:

$$T = \varphi(\kappa) = \frac{X_{\max}}{K} \tag{3}$$

Середній строк служби виробу

$$T_{cp} = \frac{X_{\max}}{K_{cp}} \tag{4}$$

Задача полягає у знаходженні імовірності безвідмовної роботи P(T) за заданою функцією $f_0(К)$. Для функцій випадкового аргументу в теорії імовірності використовується формула [1] :

$$f(T) = f_0\big(\psi(T)\big)\cdot\big(\psi'(T)\big) \tag{5}$$

де ψ (T) – обернена функція φ(к), і $\psi(T)=X_{max}/T$, $\psi'(T)=-(X_{max}/T^2)$ – похідна цієї функції. Підставляючи ці значення в (39) і роблячи перетворення, отримаємо :

$$f(T) = \frac{T_{cp}}{\gamma_K\sqrt{2\pi}}\cdot\frac{1}{T^2}\cdot e^{-\frac{(T_{cp}-T)^2}{2\gamma_K^2 T^2}}, \tag{6}$$

де $\gamma_K = \sigma_K / K_{cp}$ – коефіцієнт варіації (безрозмірна величина).

Для зручності розрахунків введемо безрозмірний час (в частках від T_{cp}):

$$\tau = T/T_{cp} \tag{7}$$

Тоді формула набуде вигляду

$$f(\tau) = \frac{1}{\gamma_K\sqrt{2\pi}}\cdot\frac{1}{\tau^2}\cdot e^{-\frac{(1-\tau)^2}{2\gamma_K\tau^2}}, \tag{8}$$

де $f(\tau) = f(T)$; $T = \tau\cdot T_{cp}$. Ця формула зручна тим, що щільність імовірності є функцією лише одного безрозмірного параметра γ_K. Для визначення імовірності відмови F(T) необхідно проінтегрувати функцію щільності імовірності :

$$F(T) = \int_0^T f(T)dT = \int_0^\tau f(\tau)d\tau = F(\tau) \tag{9}$$

Якщо ввести перемінну $Z = \dfrac{1-\tau}{\gamma_K\cdot\tau}$, то даний інтеграл зводиться до функції Лапласа і, враховуючи, що ймовірність безвідмовної роботи визначається $P_u(T)=1-F(t)$, отримаємо :

$$P_u(T) = 0{,}5 + \Phi\left(\frac{1-\tau}{\gamma_K\cdot\tau}\right) \tag{10}$$

де Ф – нормована функція Лапласа.

Формулу (10) можна записати в іншому вигляді, виразивши через параметри X_{max}, K_{cp} і γ_k, які є вихідними в розв'язані поставленої задачі.

Враховуючи залежності (4) і (7) отримаємо:

$$P_u(T) = 0{,}5 + \Phi\left(\frac{X_{max} - K_{cp}T}{T\cdot\sigma_K}\right) \tag{11}$$

Розглянута схема розрахунку є дещо ідеалізованою, тому що не враховує розсіювання початкового параметра виробу (точність виготовлення, твердість матеріалу тощо). Із урахуванням цих параметрів рівняння (1) запишеться так:

$$X = a + Kt, \tag{12}$$

де a – початковий параметр деталі.

Термін служби є функцією двох незалежних випадкових аргументів a і К:

$$T = \frac{X_{max} - a}{K}, \tag{13}$$

У випадку розподілу аргументів a і К за нормальним законом параметр X для кожного значення t=T буде розподілений за таким же законом з параметрами:

$$X_{cp} = a_0 + K_{cp}T; \quad \sigma_K = \sqrt{\sigma_a^2 + T^2\cdot\sigma_K^2}, \tag{14}$$

де a_0 – математичне очікування; σ_a – середнє квадратичне відхилення випадкового параметра a.

$P_u(T)$ можна визначити, враховуючи, що імовірність бєзвідмовної роботи виробу дорівнює імовірності того, що параметр X при заданому t=T не вийде за межі максимально допустимого значення X мах:

$$P_u(T) = I_{мов}\left(X \leq X_{\max}\right) \tag{15}$$

Тому імовірність безвідмовної роботи чисельно дорівнює площі кривої щільності розподілу f(x) в межах від – ∞ до X_{max}:

$$P_u(T) = \int_{-\infty}^{X_{\max}} \frac{1}{\sigma_K\sqrt{2\pi}} \exp\left(\frac{\left(x - x_{cp}\right)^2}{2\sigma_K^2}\right)dx = 0,5 + \Phi\left(\frac{x_{\max} - x_{cp}}{2\sigma_K}\right) \tag{16}$$

Підставляючи в цю формулу (14) отримаємо:

$$P_u(T) = 0,5 + \Phi\left[\frac{X_{\max} - a_0 - K_{cp}T}{\sqrt{\sigma_a^2 + \sigma_K^2 \cdot T^2}}\right] \tag{17}$$

При a_0 =0 і σ_a =0 ця формула перетворюється в формулу (11).

Деталі машин і апаратів, які працюють у технологічних середовищах харчових і переробних виробництв, одночасно з поступовими відмовами мають і раптові. Причини виникнення останніх пов’язані не лише зі зміною стану деталей, але й із небажаним співвідношенням діючих факторів.

Побудова моделі раптової відмови пов’язана з аналізом умов експлуатації машини, режимів її роботи, можливістю виникнення екстремальних навантажень і активного впливу навколишнього середовища. Імовірність безвідмовної роботи у цьому випадку описується експоненційним законом:

$$P_в(T) = e^{-\lambda T} \tag{18}$$

де λ – інтенсивність відмов (імовірність виникнення відмови за одиницю часу).

При сумісній дії поступових і раптових відмов імовірність безвідмовної роботи може бути підрахована за теоремою множення імовірностей.

$$P(T) = P_u(T) \cdot P_в(T) \tag{19}$$

Використовуючи (17) і (18), отримаємо:

$$P(T) = \left[0,5 + \Phi\left(\frac{X_{\max} - a_0 - K_{cp} \cdot T}{\sqrt{\sigma_a^2 + \sigma_K^2 \cdot T^2}}\right)\right] \cdot e^{-\lambda T} \tag{20}$$

Таким чином, якщо відомі параметри законів розподілення Тср, σ, λ, то можна підрахувати імовірність безвідмовної роботи деталі або вузла.

У початковий період роботи машини чи апарата на імовірність безвідмовної роботи в основному впливають раптові відмови, а потім все більшого значення набувають поступові. У деяких випадках фізика відмов настільки складна, що вміщує в собі елементи як зносних, так і раптових відмов. Наприклад, вихід із ладу деталей з причини втоми пов’язаний з розвитком тріщин у зоні місцевої концентрації напружень, технологічного дефекту або початкового пошкодження. При цьому період часу до зародження мікротріщини характеризується ознаками поступової відмови, а процес руйнування – раптової.

Розглянемо приклад використання викладеної методики для розрахунку показників надійності дифузійного апарата бурякоцукрового виробництва, який працює в корозійно-активному середовищі – дифузійному сокові.

Нехай відомі такі вихідні дані:

— середня швидкість корозійно-механічного зношування корпуса Кср=1мм/рік;

— середнє квадратичне відхилення швидкості корозії σк = 0,07 мм/рік;

— середнє квадратичне відхилення початкового параметра σ_a = 0,2 мм.

З умов функціонування апарата визначена допустима величина корозійно-механічного зносу Xmax=2мм (товщина захисного покриття на корпусі).

Є потреба розрахувати ресурс дифузійного апарата за базовою деталлю (корпусу) при заданій імовірності безвідмовної роботи Р(Т) від 0,9 до 0,9999.

Із формули (17) отримаємо для визначення Т квадратне рівняння:

$$U_\alpha \cdot \sqrt{\sigma_a^2 + \sigma_K^2 \cdot T} = X_{\max} - a_0 - K_{cp} \cdot T \tag{21}$$

Порядок розрахунку полягає в тому, що для заданого значення Р(Т) за таблицями для квантилів нормального розподілу знаходимо відповідні значення U_α та з рівняння (21) визначаємо ресурс Т. При Р(Т) = 0,5, квантилі $U_\alpha = 0$, із врахуванням (21) і (13) отримаємо середній строк служби корпуса:

$$T_{cp} = \frac{X_{\max} - a_0}{K_{cp}} \tag{22}$$

Таким чином, середній строк служби корпуса дифузійного апарата дорівнює

$$T_{cp} = \frac{2-0}{1} = 2 \text{ роки}$$

Підставивши у формулу (21) значення вихідних даних і розв'язавши квадратне рівняння відносно Т, отримаємо формулу для розрахунку за даною квантилею:

$$T = \frac{K_{cp}X_{\max} + \sqrt{K_{cp}^2 X_{\max}^2 + \left(U_\alpha^2 \sigma_K^2 + K_{cp}^2\right)\cdot\left(U_\alpha^2 \sigma_a^2 - X_{\max}^2\right)}}{K_{cp} - U_\alpha^2 \sigma_K^2} \tag{23}$$

Результати розрахунків зведемо в таблицю (1).

Таблиця 1 – Залежність ресурсу корпуса дифузійного апарата від імовірності безвідмовної роботи

Імовірність безвідмовної роботи Р(Т)	Квантиль	Ресурс Т, років
0,9	1,282	1,701
0,99	2,326	1,476
0,999	3,090	1,319
0,9999	3,719	1,194

Із наведених розрахунків виходить, що вибір ресурсу повинен бути достатньо точним, тому що невеликі його зміни можуть значно вплинути на імовірність безвідмовної роботи.

Запропонована методика розрахунку дозволяє на основі апріорної вихідної інформації про стан машин чи апаратів і можливі умови їхньої експлуатації розрахувати ресурс при потрібній імовірності безвідмовної роботи визначити, які заходи будуть мати найбільший ефект для підвищення надійності і зробити кількісну оцінку значності кожного фактора.

Література

1. Вайнберг А.А., Котляр Л.И. Эксплуатационная надежность оборудования зерноперерабатывающих предприятий. – М.: Колос, 1971. – 207 с.
2. Подлекарев Н.Н. Повышение срока службы сельскохозяйственных машин, работающих в коррозионно-активных средах / Автореф. дис.... д-ра техн. наук. – Минск, 1984. – 35 с.
3. Проников А.С. Основы надежности и долговечности машин. – М.: Машгиз, 1960. – 250 с.

УДК 620.197.5: 664.01

ОДЕРЖАННЯ ЗАХИСНИХ ПОКРИТТІВ НА ОСНОВІ МОЛІБДЕНУ ТА ВОЛЬФРАМУ НА МЕТАЛЕВИХ ДЕТАЛЯХ, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ У ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВАХ

Кузнєцова І.О., канд. техн. наук, доцент, Янченко К.А., асистент
Одеська національна академія харчових технологій, м. Одеса

Розроблено електроліт і запропоновано умови проведення електроосадження молібденових покриттів на сталеві поверхні. Відмінністю запропонованого електроліту від раніше застосовуваного є порівняно нижча концентрація молібдену та дещо підвищена температура електроосадження.

Developed electrolyte and proposed conditions of electro-precipitation of molybdenum coatings on steel surfaces. The difference of the proposed electrolyte from the previously applied a relatively lower concentration of molybdenum and slightly elevated temperature electro-precipitation.

Ключові слова: корозійностійкі покриття, електроосадження, молібденування.