

## МОДЕЛЮВАННЯ ТА КЕРУВАННЯ ПОТОКАМИ ДЕФЕКТІВ ТА ВІДМОВ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ ПРИСТРОЇВ

### Вступ та постановка задачі

Функціонування сучасних систем керування якістю продукції базується на використанні математичних моделей процесів, що відбуваються при формуванні заданих властивостей виробів, зокрема процесів виникнення виробничих дефектів, які в подальшому стають причиною їх несправностей та відмов. Основними задачами при створенні вказаних моделей є задача моделювання вихідного потоку дефектів з параметром  $\omega_B^\partial$ , який визначає рівень якості виробів, і задача моделювання потоку їх відмов з параметром  $\omega$ , спричинених дефектами виробництва [1]. Перший з них описується функцією парціальних потоків, що виникають на окремих стадіях виробництва з причин дефектів матеріалів, напівфабрикатів і комплектуючих виробів, а також різного роду відхилень при проведенні технологічних і контрольних процедур  $\omega_B^\partial = \Phi(\{\omega_B^\partial\}_{s_1}, \{\omega_B^\partial\}_{s_2}, \dots, \{\omega_B^\partial\}_{s_n})$ , другий є функцією потоку дефектів, який утворюється на виході виробничого процесу  $\omega = \psi(\omega_B^\partial)$ .

Оскільки події виникнення виробничих дефектів і події відмов, спричинені ними, є стохастичними і статистично пов'язаними, зв'язок між ними можна визначити рівнянням лінійної регресії  $\omega = \varepsilon \omega_B^\partial + \omega_0$ , де  $\{\omega_B^\partial\}_{s_j}$ ,  $j = \overline{1, m}$  – множина параметрів потоків дефектів підсистем  $S_j$ , які у сукупності утворюють технологічний процес,  $\omega_0$  – вільний член,  $\varepsilon$  – коефіцієнт пропорційності. Формально таке перетворення може розглядатись як відображення деякої підмножини виробничих дефектів  $\Omega^\partial = [\omega_{B1}^\partial, \omega_{e2}^\partial, \dots, \omega_{e,n}^\partial]$ , що належать до множини  $\Omega^{\partial*}$  всіх дефектів, які виникають на стадії виробництва і надходять до цієї стадії разом з використовуваними матеріалами, напівфабрикатами і комплектуючими виробами, на множині відмов  $\Omega = [\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_m]$ , як це відображено на рис. 1, на якому позначено:  $\Omega^{\partial*}$  – повна множина дефектів, що характеризують стадію виробництва;  $\Omega_B^\partial$  – множина виробничих дефектів, що обумовлюють відмови апаратури при експлуатації;  $\Omega^e$  – повна множина відмов, що виникла при експлуатації;  $\Omega$  – множина відмов, спричинених дефектами виробництва, які були невиявлені і пропущені з останнього кроку технологічного процесу.

Останній  $n$ -й крок технологічного процесу характеризується системою  $n$  відображень  $\varepsilon_{n,1}^\partial \omega_{n,1}^\partial \rightarrow \omega_{n,1}, \varepsilon_{n,2}^\partial \omega_{n,2}^\partial \rightarrow \omega_{n,2}, \dots, \varepsilon_{n,n}^\partial \omega_{n,n}^\partial \rightarrow \omega_{n,n}$ , кожне з яких визначає складову повного потоку відмов виробу за відповідним показником якості. Така формалізація процесу виникнення виробничих

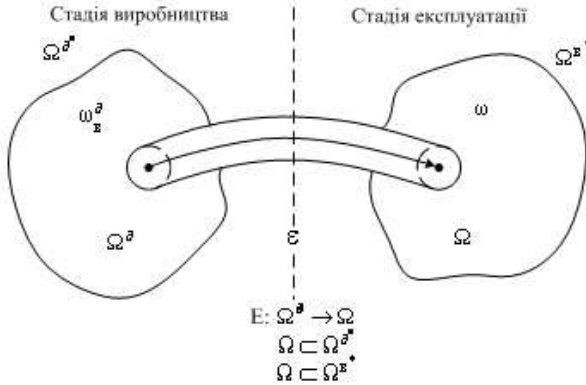


Рис. 1 – Відображення множини виробничих дефектів у множині відмов.

дефектів і відмов, що приводить до часткової або повної втрати працездатності виробів під час експлуатації базується на тім, що не всі складові множини  $\Omega^{\partial*}$ , а тільки деяка їх частина зумовлює відмови. Друга частина дефектів проявляється як несправності. Вона може не приводити до втрати працездатності, але знижує загальний рівень якості виробів. Множина  $\Omega^*$  також має структурні особливості. Значна частина відмов, що утворюють потік  $\Omega$ , є відмовами, викликаними виробничими дефектами. Решта відмов обумовлена комплексом причин невиробничого характеру, наприклад, неправильним використанням виробу, низькою кваліфікацією персоналу, недотриманням встановленої періодичності і режимів профілактичних робіт тощо. На сьогодні не існує загальноприйнятих і придатних для практичного використання аналітичних методів кількісної оцінки зв'язку  $\omega^{\partial}$  і  $\omega$ , що ускладнює прогнозування надійності виробів. В цих умовах важливою задачею є встановлення зв'язку між параметрами потоків дефектів і відмов апаратури шляхом математичного моделювання.

### Моделювання перетворення потоків виробничих дефектів

Параметр потоку відмов радіоелектронної апаратури з причин виробничих дефектів визначається з умови [2,3]:

$$1 - \left[ 1 - \prod_{j=1}^N \prod_{i=1}^n (1 - P_{np,j,i}) \right] \cdot [1 - P(t)] = e^{-\int_0^t \omega(t) dt}, \quad (1)$$

звідки при постійному  $\omega(t) = \text{const}$  впливає, що

$$\omega = \frac{\ln \left\{ 1 - \left[ 1 - \prod_{j=1}^N \prod_{i=1}^n (1 - P_{np,j,i}) \right] \cdot [1 - P(t)] \right\}}{t}. \quad (2)$$

У випадку, якщо  $\omega(t)$  змінюється у часі, маємо:

$$\omega(t) = \frac{1 - \prod_{j=1}^N \prod_{i=1}^n (1 - P_{np,j,i})}{1 - \left[ 1 - \prod_{j=1}^N \prod_{i=1}^n (1 - P_{np,j,i}) \right] \cdot [1 - P(t)]} \cdot f(t), \quad (3)$$

де  $f(t) = dP(t)/dt$  – щільність розподілу імовірності часу напрацювання до відмови.

Інтенсивність потоків виробничих дефектів в значній мірі визначаються ресурсними, технологічними і організаційними особливостями конкретного виробництва. Встановлені узагальнені властивості цих потоків можна подати в вигляді наведених нижче тверджень, де використано наступні позначення:  $\Omega_{np,k-1}^{\partial} = (\omega_{np,k-1,1}^{\partial}, \omega_{np,k-1,2}^{\partial}, \dots, \omega_{np,k-1,k}^{\partial})$  – сумарний вхідний потік виробничих дефектів підсистеми  $S_k$ , що надходить з підсистеми  $S_{k-1}$ ;  $\Omega_{\sigma,k}^{\partial} = (\omega_{\sigma,k,1}^{\partial}, \omega_{\sigma,k,2}^{\partial}, \dots, \omega_{\sigma,k,k}^{\partial})$  – сумарний вхідний потік дефектів, що вводяться при виконанні технологічної операції на  $k$ -тому кроці технологічного процесу;  $\Omega_{\sigma,k}^{\partial} = (\omega_{\sigma,k,1}^{\partial}, \omega_{\sigma,k,2}^{\partial}, \dots, \omega_{\sigma,k,k}^{\partial})$  – сумарний потік виявлених дефектів в результаті проведення контрольної операції;  $\Omega_{np,k}^{\partial} = (\omega_{np,k,1}^{\partial}, \omega_{np,k,2}^{\partial}, \dots, \omega_{np,k,k}^{\partial})$  – сумарний потік пропущених дефектів в результаті недосконалого контролю;  $P_k = (P_k, 1, P_k, 2, \dots, P_k, k)$  – узагальнене значення імовірності вірного контролю на  $k$ -тому кроці технологічного процесу;  $\Gamma_k = (\gamma_k, 1, \gamma_k, 2, \dots, \gamma_k, k)$  – узагальнене значення показника ущільнення потоку дефектів при виконанні технологічної операції;  $\omega_{np,k-1,i}^{\partial}, \omega_{\sigma,k,i}^{\partial}, \omega_{\sigma,k,i}^{\partial}, \omega_{np,k,i}^{\partial}, i = \overline{1, k}$  – парціальні потоки дефектів;  $P_{k,i}$  – парціальні значення імовірності вірного контролю;  $\gamma_k, 1, \gamma_k, 2, \dots, \gamma_k, k$  – парціальні значення показника ущільнення потоку.

**Твердження 1.** Параметр сумарного вхідного потоку дефектів підсистеми  $S_k$  завжди є рівнозначним з параметром вихідного потоку, тобто  $\Omega_{\sigma,k}^{\partial} = \Omega_{вих,k}^{\partial}$  де  $\Omega_{вих,k}^{\partial} = \Omega_{np,k-1}^{\partial} + \Omega_{\sigma,k}^{\partial}$ ,  $\Omega_{вих,k}^{\partial} = \Omega_{np,k}^{\partial} + \Omega_{\sigma,k}^{\partial}$ .

Доведення цього твердження випливає з рівнянь  $\Omega_{np,k-1}^{\partial} + \Omega_{\sigma,k}^{\partial} = (\Omega_{np,k-1}^{\partial} + \Omega_{\sigma,k}^{\partial})(1 - P_k) + \Omega_{np,k-1}^{\partial} + \Omega_{\sigma,k}^{\partial} P_k = \Omega_{np,k}^{\partial} + \Omega_{\sigma,k}^{\partial}$  оскільки  $(\Omega_{np,k-1}^{\partial} + \Omega_{\sigma,k}^{\partial})(1 - P_k) = \Omega_{np,k}^{\partial}$ ,  $(\Omega_{np,k-1}^{\partial} + \Omega_{\sigma,k}^{\partial})P_k = \Omega_{\sigma,k}^{\partial}$ .

В наведених залежностях видно, що на  $k$ -тому кроці технологічного процесу при проведенні контрольної операції, якщо при цьому не вводяться додаткові дефекти, відбувається розрідження сумарного вхідного потоку виробничих дефектів зі зменшенням параметра потоку в  $(1 - P_k, i)$  раз. При цьому  $1 - P_{k,i} = \omega_{np,k,i} / \omega_{def,k,i}$ , або  $1 - P_{k,i} = \omega_{np,k,i} / (\omega_{np,k-1,i} + \omega_{\sigma,k,i})$ .

При проведенні  $k$ -тої технологічної операції внаслідок вводу дефектів відбувається ущільнення вхідного потоку дефектів з параметром  $\omega_{np,k-1,i}$  в  $\gamma$  раз. При цьому  $\gamma = \omega_{def,k,i} / \omega_{np,k-1,i}$ , або  $\gamma = (\omega_{np,k-1,i} + \omega_{\sigma,k,i}) / \omega_{np,k-1,i}$ .

Величини  $\gamma$  і  $(1 - P)$  надалі будуть розглядатись як відповідні показники ущільнення і розрідження потоків дефектів. Наведені перетворення потоків при проведенні технологічних і контрольних процедур шляхом цілеспрямованої зміни цих показників можуть бути використані

для забезпечення ефективності технологічних процесів в цілому в рамках рішення задач їх комплексної оптимізації за критеріями якості та надійності виробів.

**Твердження 2.** Параметр потоку дефектів, який проходить через підсистему  $S_k$ , не змінює своєї величини, якщо добуток показників ущільнення і розрідження дорівнює одиниці, тобто  $\Omega_{np,k-1}^\partial = \Omega_{np,k}^\partial$  при  $\Gamma_k(1 - P_k) = 1$ .

Доведення цього твердження базується на наступних рівняннях  $\Omega_{np,k-1}^\partial + \Omega_{в,к}^\partial - \Omega_{в,я,к}^\partial = \Omega_{np,k-1}^\partial + \Omega_{в,к}^\partial - (\Omega_{np,k-1}^\partial + \Omega_{в,к}^\partial)P_k = (\Omega_{np,k-1}^\partial + \Omega_{в,к}^\partial)(1 - P_k) = \Omega_{np,k}^\partial$  за умови, що  $\Omega_{np,k-1}^\partial + \Omega_{в,к}^\partial = \Omega_{np,k-1}^\partial \cdot \Gamma_k$ ,  $\Omega_{np,k-1}^\partial \Gamma_k(1 - P_k) = \Omega_{np,k}^\partial$  при  $\Gamma_k(1 - P_k) = 1$ ,  $\Omega_{np,k-1}^\partial = \Omega_{np,k}^\partial$ .

З цього твердження виходить логічний висновок: при  $\Gamma_k(1 - P_k) > 1$  – потік дефектів ущільнюється; при  $\Gamma_k(1 - P_k) < 1$  – потік дефектів розріджується.

Слід зауважити, що використання умов  $\Gamma_k(1 - P_k) < 1$  і  $\gamma_k, i(1 - P_k, i) < 1$  для зменшення дефектів виробів вимагає врахування додаткових умов організаційного, ресурсного, економічного і іншого змісту, оскільки на практиці зміна множників лівої частини наведеної нерівності може бути суттєво неоднозначною. З приведених залежностей випливає, що ефект розрідження потоків у виробничих дефектів буде тим більший, чим більше значення ймовірності правильного контролю  $P_k, i$ .

Таким чином кожний крок технологічного процесу може розглядатися як підсистема перетворення потоку дефектів, пропущених з попереднього кроку –  $\omega_{np,k-1}^\partial$ , що є вхідним параметром підсистеми, у потік дефектів  $\omega_{np,k}^\partial$ , пропущених з  $k$ -того кроку, що є її вихідним параметром, а також перетворення потоку  $\omega_{np,k-1}^\partial$  у потік виявлених дефектів  $\omega_{в,я,к}^\partial$  при проведенні контролю.

Позначимо  $\nu_{np,k} = \gamma_k(1 - P_k)$ ,  $\nu_{в,я,к} = \gamma_k \cdot P_k$  відповідні комбіновані показники перетворення потоків. Тоді модель формування дефектів в повному технологічному процесі виготовлення виробів описується матрицями цих показників  $\|\nu_{np}\|$  і  $\|\nu_{в,я}\|$ , які мають верхньотрикутну структуру:

$$\|\nu_{np}\| = \begin{vmatrix} \nu_{np,1,1} \nu_{np,2,1} \dots \nu_{np,n,1} \\ 0 \nu_{np,2,2} \dots \nu_{np,n,2} \\ \vdots \\ 00 \dots \nu_{np,n,n} \end{vmatrix}; \|\nu_{в,я}\| = \begin{vmatrix} \nu_{в,я,1,1} \nu_{в,я,2,1} \dots \nu_{в,я,n,1} \\ 0 \nu_{в,я,2,2} \dots \nu_{в,я,n,2} \\ \vdots \\ 00 \dots \nu_{в,я,n,n} \end{vmatrix}. \quad (4)$$

При проведенні комплексної оптимізації технологічних процесів за критеріями якості виробів, яка процедурно реалізується шляхом ітераційного діалогу розробника процесу з ЕОМ і знаходження таким чином оптимального варіанту з врахуванням реальних технологічних можливостей щодо ресурсів і інших обмежень, наведені матриці забезпечують не локальне, а панорамне сприймання процесу щодо його спроможності забезпечити необхідний рівень бездефектності на різних стадіях виробництва.

При цьому матриця  $\|\nu_{np}\|$  використовується для визначення потоків дефектів на всіх стадіях технологічного процесу, а матриця  $\|\nu_{вв}\|$  – для визначення виявлених дефектів  $\|\omega_{np,k}^{\partial}\| = \|\omega_{np,k-1}^{\partial}\| \cdot \|\nu_{np}\|$ ,  $\|\omega_{вв,k}^{\partial}\| = \|\omega_{np,k-1}^{\partial}\| \cdot \|\nu_{вв}\|$ , а також парціальних і сумарних витрат, пов'язаних з виявленим браком:

$$C_{сум} = \|\omega_{вв,e}^{\partial}\| \cdot \|C_e\| + \|\omega_{вв,e}^{\partial}\| \cdot \|C_e\|, \quad (5)$$

де  $\|\omega_{вв,e}^{\partial}\|$ ,  $\|\omega_{вв,e}^{\partial}\|$  – матриці потоків дефектів, виявлених на стадіях виробництва і експлуатації відповідно;  $\|C_e\|$  і  $\|C_e\|$  – матриці парціальних витрат, пов'язаних з виявленими дефектами на стадіях виробництва і експлуатації.

### Висновки

Проведені дослідження засвідчили можливість створення математичних моделей процесів формування та перетворення потоків виробничих дефектів, що виникають в ході виробництва РЕА та приводять до втрати її працездатності в процесі експлуатації. Аналіз властивостей цих процесів, їх кількісне оцінювання і встановлення взаємозв'язків є теоретичною основою створення методології управління якістю виробництва РЕА шляхом їх ущільнення та розрідження, прогнозування надійності виробів на всіх стадіях технологічного процесу та комплексної оптимізації всього процесу виробництва за критеріями якості та надійності виробів.

### Література

1. Бобало Ю.Я., Кіселичник М.Д., Недоступ Л.А. Системний аналіз якості виробництва прецизійності радіоелектронної апаратури. - Львів: Державний університет "Львівська політехніка", 1996. – 168 с.
2. Бобало Ю.Я., Кіселичник М.Д., Недоступ Л.А. Питання теорії перетворення потоків при проведенні технологічних і контрольних процедур // Вісник Держ. ун-ту "Львівська політехніка". – 1999. - 369: Радіоелектроніка та телекомунікації. - С.172-176.
3. Кіселичник М.Д. Динаміка потоків дефектів у виробництві електроніки і радіоелектронної техніки // Технічна електродинаміка. - 2001. - 3. - С. 73-75.

Отримано 24.11.2008 р.