кумулянтного анализа для исследования СФС. Системы фазовой синхронизации. – М., 1982. 5. Бондарев А.П. Экспериментальная проверка некоторых результатов кумулянтного анализа СФС. – Львов, 1986. Рук. деп в УкрНИИНТИ, №1130-Ук86,1986. 6. Мандзий Б.А., Бондарев А.П. Качественный анализ статистической динамики системы ФАПЧ / Известия ВУЗов СССР. Радиоэлектроника. – 1988. – № 12. – С.74–76. 7. Бондарєв А.П., Капшій О.В. Критерій граничної завадостійкості системи фазової синхронізації / Вісник ДУ"ЛП" Радіоелектроніка та телекомунікації. – 1998. –№ 352. – С. 98–100. 8. Тихонов В.И., Миронов М.А. Марковские процессы. – М., 1977. 9. Бондарев А.П. О кумулянтном анализе системы ФАПЧ при воздействии гармонической помехи / Теоретическая электротехника. – 1985. – Вып. 39. – С.79–84. 10. Андронов А.А., Витт А.А., Хайкин С.Э. Теория колебаний. – М., 1981. 11. Белюстина Л.Н., Кивелева К.Г., Фрайман Л.А. Качественно-численный метод в исследовании трехмерных нелинейных СФС. Системы фазовой синхронизации – М., 1982. 12. Бондарєв А.П., Мандзій Б.А. Аналіз граничної завадостійкості системи фазової синхронізації / Теоретична електротехніка. –1998. – Вип. 54. – С.14–17.

УДК 658.562

Леонід Недоступ, Мирослав Кіселичник,
Юрій Бобало, Григорій Васьків*, Оксана Лазько
Національний університет "Львівська політехніка",
кафедра теоретичної радіотехніки та радіовимірювань,
* кафедра електронних засобів інформаційно-комп'ютерних технологій

СТРУКТУРУВАННЯ, ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ ПРИСТРОЇВ

© *Недоступ Леонід, Лазько Оксана, Кіселичник Мирослав, Бобало Юрій, Васьків Григорій, 2004*

Розглянуто підходи до побудови наскрізних математичних моделей виробничих систем забезпечення якості радіоелектронних пристроїв. Запропоновано універсальні імовірності, функціональні та економічні критерії оцінки ефективності цих систем.

The approaches to the transparent mathematical models of radio electronic devices quality providing technological systems design are considered. The universal probability functional and economical criteria of such systems efficacy are proposed.

Вирішити проблему створення вітчизняної конкурентоспроможної продукції можна тільки шляхом впровадження у виробництво перспективних розробок і використання наукомістких технологій, включно з ефективними системами забезпечення якості. Структурно ці системи являють собою комплекси технологічних, метрологічних, виробничих та інших технічних засобів, призначених для проведення відповідних процедур з метою забезпечення необхідних властивостей виробів і збереження цих властивостей в процесі експлуатації. Це досягається забезпеченням кондиційності матеріалів, напівфабрикатів і комплектуючих виробів, точністю виконання технологічних операцій, виявленням та усуненням виробничих дефектів і причин їх виникнення. По суті такі системи є системами забезпечення безвідмовності виробів на всіх стадіях виробництва. Важливим у їх формуванні є не тільки технічні, а й організаційно-інформаційні системи, які у сукупності визначають множину часткових завдань загальної проблеми багатокритеріальної оптимізації повних технологічних процесів виготовлення РЕП. Дослідження показують, що загальної методології наскрізного моделювання процесів виробництва в плані забезпечення якості виробів і оптимізації цих процесів на сьогодні ще не створено, хоча роботи в цьому напрямку інтенсивно ведуться [1–4]. Це і обумовлює актуальність проведення подальших досліджень у цій сфері.

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

Системи забезпечення якості радіоелектронних пристроїв і математичні моделі цих систем можуть будуватись за різними принципами, але в будь-якому випадку вони повинні бути узгодженими з внутрішньою структурою виробничого процесу і структурно відповідати його ієрархії [1, 4].

Формально система забезпечення якості S може розглядатись як деяка сукупність підсистем нижчих ієрархічних рівнів S_i, $i = \overline{1,m}$, кожна з яких діє на відповідній стадії технологічного процесу:

$$S=\langle S_1 (S_{1,1}, S_{1,2}, \dots S_{1,n}), S_2(S_{2,1}, S_{2,2}, \dots S_{2,n}), \dots, S_m (S_{1m,1}, S_{m,2}, \dots S_{m,m})\rangle, \quad (1)$$

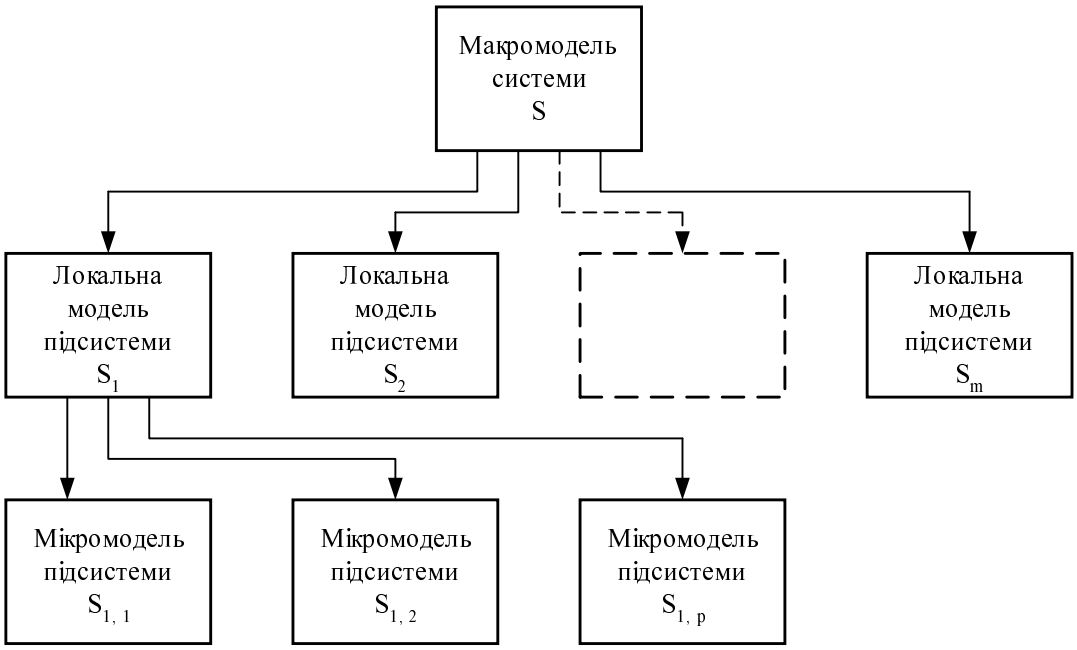
де S_1, S_2, … S_m – підсистеми другого рівня; $S_{1,1}$, $S_{1,2}$, … $S_{1,m}$, … $S_{m,1}$, $S_{m,2}$, … $S_{m,m}$ – підсистеми першого рівня.

За ознакою розмірності ці моделі можна розділити в такий спосіб (див. рисунок):

S – макромодель процесу;

S_1, … S_m – локальні моделі;

$S_{1,1}$, … $S_{m,m}$ – мікромоделі.



Формалізована структура системи забезпечення якості на стадії виробництва у модельному поданні

Принципи побудови ієрархічних систем математичних моделей детально розглянуті в [5]. До макромоделей відносяться наскрізні моделі систем забезпечення якості виробів на всіх стадіях технологічних процесів, починаючи з вхідного контролю матеріальних ресурсів, які використовуються у виробництві пристроїв, і закінчуючи завершальною стадією – вихідним контролем готової продукції. Ці системи характеризуються відносно малою оперативною керованістю [6].

Групу локальних математичних моделей становлять моделі систем забезпечення якості на стадіях виготовлення друкованих вузлів, мікрозбірок, спеціальних гібридних інтегрованих мікросхем, окремих блоків тощо на спеціалізованих виробничих дільницях з використанням операцій збирання, електричного монтажу, регулювання та технологічного припрацювання. Вони характеризуються більшою, ніж попередні, оперативною керованістю.

Підсистеми нижнього рівня ієрархії описуються мікромоделями. Вони охоплюють численні процеси структуро- і формоутворення, нанесення гальванічних, хімічних та інших захисних і спеціальних покриттів, виготовлення друкованих плат, проведення механічних термокомпресійних та інших з'єднань, процеси герметизації. Ці системи характеризуються високою динамічністю та керованістю.

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

Кількісне співвідношення систем різних рівнів визначається схемно-конструкційними особливостями виробів, складністю технологічного процесу, принципом його декомпозиції, організаційними та іншими чинниками. Як приклад, процес виготовлення сучасного одноканального електронного осцилографа може складатись з десятків локальних систем і декількох тисяч систем нижчого рівня ієрархії. Виготовлення радіоелектронних систем та комплексів характеризується значно більшою складністю технологічних процесів. Зрозуміло, що в цій ситуації математичні моделі повинні бути ізоморфними не лише стосовно якогось одного процесу, а і стосовно процесів всіх рівнів. Вони також повинні характеризуватись достатньою абстракцією, бути спроможними системно описувати процеси формування якості на всіх стадіях виробництва, абстрагуючись при цьому від конкретних фізичних явищ [2, 3].

Для наскрізного моделювання процесів забезпечення якості на стадії виробництва необхідно, щоб система в цілому і окремі підсистеми на всіх ієрархічних рівнях оцінювалась загальним показником якості, який повинен ґрунтуватись на загальній методології оцінювання з використанням загальних критеріїв. Комплексність такого підходу забезпечує не тільки можливість синтезу окремих математичних моделей в макромодель, але і можливість її раціональної декомпозиції за будь-якої складності.

Цим вимогам, зокрема, відповідають статистичні або імовірнісні моделі, параметри яких є імовірності вводу, виявлення та пропуску виробничих дефектів на всіх стадіях технологічних процесів [3].

Ступінь відповідності показників якості виробів встановленим нормам може розглядатись і оцінюватись як випадкова події виконання багатьох умов, які далі будуть фігурувати як функціональні та економічні критерії якості.

Функціональні критерії якості:

критерій придатності

$$G_{ПР}: \bigcap_{к=1}^{n} \bigcap_{i=1}^{n} (X_{к,i} \in \{X_{к,i}^{д}\}) \tag{2}$$

критерій оптимальності

$$G_{O}: \bigcap_{к=1}^{n} \bigcap_{i=1}^{n} (X_{к,i} \in \{X_{к,i}^{д}\}) \bigcap \bigcap_{к=1}^{n} \bigcap_{i=1}^{n} (X_{к,i} \in \{X_{к,i}^{opt}\}), \tag{3}$$

де $\{X_{к,i}^{opt}\}$ – множина квазіоптимальних значень параметрів;

критерій недосягнення

$$G_{H}: \bigcap_{к=2}^{n} \bigcap_{i=1}^{m} (X_{вих.к-1,i} \in \{X_{вих.к-1,i}^{д}\}) \bigcap \bigcap_{к=2}^{n} \bigcap_{i=1}^{m} (X_{вх.к,i} \in \{X_{вх.к,i}^{д}\}) \bigcap \bigcap_{к=2}^{n} \bigcap_{i=1}^{m} (X_{вих.к-1,i} < X_{вх.к,i}); \tag{4}$$

критерій статистичного збігу

$$G_{C}: \bigcap_{к=2}^{n} \bigcap_{i=m+1}^{p} (X_{вих.к-1,i} \in \{X_{вих.к-1,i}^{д}\}) \bigcap \bigcap_{к=2}^{n} \bigcap_{i=m+1}^{p} (X_{вх.к,i} \in \{X_{вх.к,i}^{д}\}) \bigcap \bigcap_{к=2}^{n} \bigcap_{i=m+1}^{p} (X_{вих.к-1,i} \in \{X_{вх.к,i}\}); \tag{5}$$

критерій перевершення

$$G_{П}: \bigcap_{к=2}^{n} \bigcap_{i=p+1}^{s} (X_{вих.к-1,i} \in \{X_{вих.к-1,i}^{д}\}) \bigcap \bigcap_{к=2}^{n} \bigcap_{i=p+1}^{s} (X_{вх.к,i} \in \{X_{вх.к,i}^{д}\}) \bigcap \bigcap_{к=2}^{n} \bigcap_{i=p+1}^{s} (X_{вих.к-1,i} > X_{вх.к,i}\}, \tag{6}$$

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

де m+p+s=n – загальна кількість стикувальних параметрів; m, p, s – кількість параметрів, для яких є визначальними умови недосягнення, статистичного збігу та перевершення, відповідно;

е*кономічний критерій якості*

$$G_E : \bigcap_{к=1}^{n} \bigcap_{i=1}^{n} (C_{з\,к,i} < C^{д}_{з\,к,i}) \bigcap \bigcap_{к=1}^{n} \bigcap_{i=1}^{n} (C_{е\,к,i} < C^{д}_{е\,к,i}), \tag{7}$$

де $C_{з,к,i}$ – витрати на забезпечення якості на к-му кроці технологічного процесу за й-м параметром; $C_{е,к,i}$ – витрати, пов'язані з втратою якості на стадії експлуатації; $C^{д}_{з,к,i}, C^{д}_{е,к,i}$ – допустимі значення.

Перші два функціональні критерії використовуються для оцінювання якості виробів шляхом зіставлення їх вихідних параметрів встановленим нормам. Наступні три критерії (4, 5, 6) використовуються для оцінювання безвідмовності систем сумісно працюючих компонентів на рівні їх стикувальних параметрів [6].

З врахуванням стохастичної природи параметрів виробів і витрат, пов'язаних з забезпеченням їх необхідних значень, показником ефективності процесу можуть бути використані імовірності виконання завдання з формування необхідних властивостей виробів за допустимих витрат ресурсів, які в загальному мають вигляд

$$P_{вз.ф} = P(\vec{X} \in \{\vec{X}^{д}\} / \{\vec{X}^{д}\} \subset \{\vec{X}^{д}_{\partial}\}); \tag{8}$$

$$P_{вз.е} = P(C_{\Sigma} < C^{д}_{\Sigma}), \tag{9}$$

де $P_{вз.ф}$ – імовірність виконання завдання стосовно забезпечення функціональної ефективності технологічного процесу; $P_{вз.е}$ – імовірність виконання завдання стосовно економічної ефективності процесу; $\vec{X}$ – вектор параметрів виробів; $\left\{\vec{X}^{д}\right\}$ – множина встановлених допустимих значень параметрів; $\left\{X^{д}_{\partial}\right\}$ – множина дійсних допустимих значень; C_{Σ} і $C^{д}_{\Sigma}$ – сумарні витрати по забезпеченню якості виробів і їх допустиме значення.

Зазначимо, що в умовній імовірності (8) умова $\left\{\vec{X}^{д}\right\} \subset \left\{X^{д}_{\partial}\right\}$ повинна виконуватись на стадії проектування виробу і технологічного процесу його виготовлення, а умова $\vec{X} \in \left\{\vec{X}^{д}\right\}$ – у процесі виробництва.

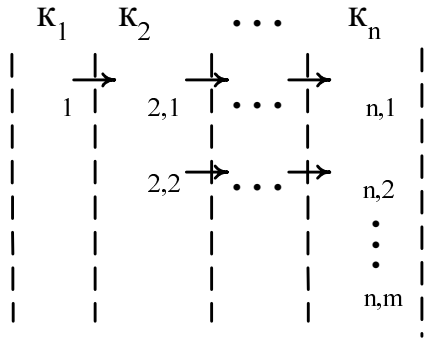
Отже, функціональна і економічна ефективності процесу забезпечення якості виробів кількісно можуть оцінюватись відповідними імовірностями виконання поставленого перед ним завдання. У кожному конкретному випадку ці імовірності мають обмеження знизу, які встановлюються з міркувань побудови загальної стратегії забезпечення необхідного рівня якості за мінімуму витрат. З врахуванням (3–7) вони набувають вигляду:

$$\begin{aligned}
&P_{вз.пр}=P_{пр}(G_{пр})\geq P_{пр.доп};\\
&P_{вз.о}=P_{о}(G_{о})\geq P_{о.доп};\\
&P_{вз.н}=P_{н}(G_{н})\geq P_{н.доп};\\
&P_{вз.с}=P_{с}(G_{с})\geq P_{с.доп};\\
&P_{вз.п}=P_{п}(G_{п})\geq P_{п.доп};\\
&P_{вз.Е}=P_{Е}(G_{Е})\geq P_{Е.доп},
\end{aligned} \tag{10}$$

де $P_{пр.доп} \div P_{Е\,доп}$ – допустимі значення відповідних імовірностей.

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

Динаміка системи забезпечення якості виробів визначається процесами послідовного формування потрібних властивостей a_{11}, a_{21}, … a_{nm} на кожному кроці технологічного процесу $К_i$, $i=\overline{1,n}$ за наведеною нижче схемою, яка в загальному випадку може описуватись верхньотрикутною матрицею А:



$$A = \begin{Vmatrix} 1,1 & 2,1 & \cdots & n,1 \\ 0 & 2,2 & \cdots & n,2 \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & n,m \end{Vmatrix} . \qquad (11)$$

Ранг цієї матриці визначається кількістю показників якості виробів m і кількістю кроків n та складністю структури.

Зазначимо, що реальні процеси характеризуються не тільки великою кількістю кроків і складністю структури, а й досить складними, часом до кінця невивченими впливами технологічних процедур на властивості виробів, що були сформульовані на попередніх кроках.

Невиконання завдання стосовно забезпечення якості на к-му кроці технологічного процесу оцінюється імовірністю $P_{деф.к,i}$ протилежної події – появи дефекту за формування і-го параметра:

$$P_{деф.к,i}=1-P_{в.з\ к,i}. \qquad (12)$$

Для n-крокового процесу це буде матриця $\mathbf{P}_{деф}$:

$$P_{деф} = \begin{Vmatrix} 1-P_{1,1} & 1-P_{вз.2,1} & \ldots & 1-P_{\cdot вз.n,1} \\ 0 & 1-P_{вз2,2} & \ldots & 1-P_{\cdot вз.n,2} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 1-P_{вз.n,m} \end{Vmatrix} = \left\| P_{деф.к,i} \right\| ,$$
$$к=\overline{1,n}, \quad i=\overline{1,m} . \qquad (13)$$

При проведенні технологічних та контрольних процедур відбуваються події вводу, виявлення та пропуску дефектів, які відображаються відповідно

$$P_в = \left\| P_{в.к,i} \right\| ; \quad P_{вя} = \left\| P_{\cdot вя.к,i} \right\| ; \quad P_{пр} = \left\| P_{пр.к,i} \right\| . \qquad (14)$$

Елементи цих матриць пов’язані співвідношеннями

$$P_{деф.\ к,i} = P_{пр.к-1,i} + (1 - P_{пр.\ к-1,i})P_{в.\ к,i} ; \qquad (15)$$

$$P_{\ вя.\ к,i} = P_{деф.к,i}P_{к,i} ; \qquad (16)$$

$$P_{пр.\ к,i} = P_{деф.\ к,i} \cdot (1-P_{к,i}) , \qquad (17)$$

у яких $P_{к,i}$ – імовірність правильного контролю показників якості виробів.

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

Елементи матриці $P_{пр.}$ являють собою рекурентні функції виду

$$P_{\text{пр. к,i}} = f(P_{\text{пр. к-1,i}}; P_{\text{пр. к-2,i}}; \ldots; P_{\text{пр. 1,i}}) . \quad (18)$$

Загальна дефектність виробу подається почленним добутком матриць $P_{деф}$ і $P_{н.к}$:

$$P_{пр.} = P_{деф} \cdot P_{н.к}, \quad (19)$$

де $P_{н.к}$ – матриця неправильного контролю, а добуток матриць $P_{деф}$ і $P_{н.к}$ – почленний.

За оцінки якості виробів після завершення повного технологічного процесу матриці $P_{деф.n}$ і $P_{н.к.n}$ мають вигляд

$$\mathbf{P}_{\text{деф. n}} = (P_{\text{деф. n,1}}; P_{деф. n,2}; \ldots; P_{\text{деф. n,m}})^{T}; \quad (20)$$

$$\mathbf{P}_{\text{нк. n}} = (1 - P_{\text{n,1}}; 1\text{-}P_{\text{n,2}}; \ldots; 1\text{-}P_{\text{n,m}})^{T}. \quad (21)$$

Отже, математична модель дефектності виробів після завершення процесу їх виготовлення у матричному поданні набуває такого вигляду:

$$\mathbf{P}_{\text{пр. n}} = (P_{\text{деф. n,1}} \cdot P_{\text{нк. n,1}}; P_{\text{деф. n,2}} \cdot P_{\text{нк. n,2}}; \ldots; P_{\text{деф. n,m}} \cdot P_{\text{нк. n,n}})^{T} . \quad (22)$$

Математична модель сумарних витрат C_{Σ} загалом подається сумою витрат на забезпечення якості виробів в процесі їх виготовлення – $C_{в}$ і витрат, пов'язаних з їх гарантійним обслуговуванням в процесі експлуатації, – $C_{е}$:

$$C_{\Sigma} = C_{в} + C_{е}. \quad (23)$$

Оптимізація процесу забезпечення якості може бути проведена шляхом розв'язку прямої або оберненої задач:

пряма задача

$$\begin{aligned} P_{\text{вз.ф}} &= \sup P_{\text{вз.}} \\ C_{\Sigma} &\le C_{\Sigma}^{Д} \end{aligned} \quad (24)$$

обернена задача

$$\begin{aligned} C_{\Sigma} &= \inf C_{\Sigma}^{Д}; \\ P_{\text{вз.}} &\ge P_{\text{вз.зад.}}, \end{aligned} \quad (25)$$

де $P_{в.з.}$, $P_{в.з.\,зад}$ – імовірність виконання завдання по забезпеченню якості виробів і її задане значення.

Висновок

Розглянуто підхід до стохастичного моделювання, оцінювання ефективності та оптимізації виробничих систем забезпечення якості радіоелектронних пристроїв, які слід розглядати як крок до створення автоматизованої системи проектування та керування процесами створення цього виду техніки з гарантованими техніко-економічними характеристиками. Основна складність такого підходу полягає у встановленні залежностей $P_{в.з.ф}$ і C_{Σ} як показників функціональної та економічної ефективності процесів забезпечення якості виробів на всіх стадіях технологічних процесів. Реальним шляхом створення адекватних математичних мікромоделей, локальних моделей і макромоделей є використання результатів активних та особливо пасивних експериментів, що забезпечують можливість отримання необхідної інформації. Варто відзначити, що недолік пасивного експерименту, обумовленого можливістю цілеспрямованої варіації параметрів процесів в

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

широких межах, перекривається можливістю врахування впливу на них об'єктивно існуючих, але заздалегідь непередбачуваних дестабілізуючих чинників, що і забезпечує адекватність моделей.

1. Недоступ Л.А. Оптимизация контроля, регулировки и технологической приработки приборов. – Львов, 1987. 2. Бобало Ю.Я., Кіселичник М.Д., Недоступ Л.А. Систематичний аналіз якості виробництва прецизійної радіоелектронної апаратури. – Львів, 1996. 3. Кіселичник М.Д. Моделювання та оптимізація процесів формування і контролю якості радіоелектронної апаратури. – Львів, 2001. 4. WH Middendorf. Design of devices and systems. – Marcel Dekker, New York, 1990. 5. Радченко С.Г. Математическое моделирование технологических процессов в машиностроении. – К., 1998. 6. L. Nedostup, M. Kyselychnyk, Y. Bobalo, O.Lasko. The system analysis, modeling and optimization of security processes of quality radio-electronic devices. Modern problems of radio engineering telecommunications and computer science. Proceedings of the international conference TCSET'2004.

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua