

2. Концентратори в декілька разів ($\approx 1,1-2$ рази) збільшують величину нормальних до поперечного перерізу механічних напружень і в $0,43-1,58$ разів змінюють величину тангенціальних механічних напружень.

1. Палатник А.С., Фукс М.Я. Косевич В.М. Механизм образования и субструктура конденсированных пленок. – М.: Наука, 1972. – 318 с. 2. Р.У. Гофман. Механические свойства тонких конденсированных пленок. – ФТП, Т.3. – М.: Мир, 1978. – 358 с. 3. Г.И. Елифанов, Ю.А. Мома. Физические основы конструирования и технологии РЭА и ЭВА. – М.: Советское радио, 1979. – 350 с. 4. Н.П. Захаров, А.В. Багдасарян. Механические явления в интегральных структурах. – М.: Радио и связь, 1992. – 146 с. 5. Электрохимические покрытия изделий радиоэлектронной аппаратуры: Справочник / И.Д. Груев, Н.И. Матвеев, Н.Г. Сергеева. – М.: Радио и связь, 1988. – 304 с. 6. Матвійків М.Д., Петрушка А.І. Вплив пружних деформацій на властивості плівкових систем / Збірник наукових праць 1-ї міжнар. конф.і “Електронна база: стан та перспективи розвитку”. – Т.3. – МРСР Харків–Судак, 2008. – С. 91–94.

УДК 621.396.

Л.А. Недоступ, М.Д. Кіселичник, П.М. Заярнюк
Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра теоретичної радіотехніки та радіовимірювань

ОЦІНЮВАННЯ БЕЗВІДМОВНОСТІ РЕА ЗА РІВНЕМ ПАРЦІАЛЬНОЇ ВИРОБНИЧОЇ ДЕФЕКТНОСТІ

© Недоступ Л.А., Кіселичник М.Д., Заярнюк П.М., 2011

Розглянуто процес формування парціальної виробничої дефектності. Наведені результати експериментально-статистичних досліджень відмов радіоелектронної апаратури з причин виробничої дефектності і отримані аналітичні залежності показників надійності виробів від допущеної дефектності. Результати можуть бути використані для розроблення математичних моделей процесів формування надійності.

Ключові слова: надійність, безвідмовність, дефектність, інтенсивність відмов, імовірність безвідмовної роботи, імовірність пропуску дефектів.

In this paper the process of partial manufacturing defect are given. Results of experimental and statistical studies of failures of electronic equipment production by these defections. Analytical products depending on the reliability of assumed defect received. Results can be used to develop a mathematical models of processes forming of reliability.

Key words: defect, forming of reliability, process, failures.

Вступ

Визначення і забезпечення надійності радіоелектронної апаратури (РЕА) набуває конкретного змісту з розкриттям поняття працездатності як здатності виконувати нею задані функції згідно з призначенням.

Втрата працездатності або відмова апаратури є подією випадковою в часі, але не випадковою за своєю причинно-наслідковою фізичною сутністю. Вона зумовлена одним або деякою множиною дефектів, які з певною імовірністю супроводжують усі стадії її життєвого циклу. Не зменшуючи значущості дефектності, що виникає під час проектування і експлуатації РЕА, статистика засвідчує, що переважаючою для більшості її видів залишається виробнича дефектність, яка і спричиняє основну кількість відмов. Однією з причин такого стану є недостатнє вивчення процесів утворення парціальної виробничої дефектності, її природи, структури і впливовості на формування надійності виробів на всіх стадіях технологічного процесу. Таким напрямком дослідження присвячена ця стаття.

Формування процесів дефектності

Процеси виготовлення радіоелектронної апаратури в загальному вигляді формалізуються паралельними, послідовними і змішаними структурами у складі технологічних і контрольних процедур, які виконуються у покроковому режимі. Кожний крок процесу призначений для надання виробу певної кількості властивостей, які у сукупності визначають його якість, тобто придатність виконувати покладені на нього функції згідно з призначенням. Одночасно з формуванням потрібних властивостей виробу відбувається формування небажаних властивостей, які характеризуються відхиленням отриманих показників якості від заданих норм. Ці відхилення є дефектами виробництва і за своєю сутністю є причиною втрати виробом своєї працездатності, а можливо працездатності апаратури, в якій він використовується. Дослідження показують, що між параметрами потоків дефектів і параметрами потоків відмов апаратури існує доволі тісний кореляційний зв'язок. Встановлення особливостей формування дефектності на кожному кроці технологічного процесу відкриває можливість зведення задачі забезпечення заданих показників надійності РЕА до задачі керування технологічними процесами і їх оптимізації за критеріями точності, стабільності і сумарних витрат, пов'язаних з процедурами забезпечення якості на стадії виробництва і витратами у разі відмови. Багатопараметричний зв'язок між дефектністю апаратури і її безвідмовністю, а також багатокритеріальний характер відповідних оптимізаційних задач вимагає системного підходу до їх розв'язання. Аналіз цих процесів проводиться на рівні k -го кроку.

Дефектність виробів на виході технологічної системи $S_{TO,k}$ (рис. 1) має дві складові. Першою є дефектність, що надійшла на k -й крок технологічного процесу з попередніх кроків. Другою є дефектність, що утворилась під час проведення k -ї технологічної операції. Кількісно вони оцінюються відповідними ймовірностями пропуску і вводу дефектів – $P_{пр,k-1}$ і $P_{в,k}$, які є вхідними параметрами технологічної системи $S_{TO,k}$. Вихідним параметром є ймовірність появи дефектів у виробі після проведення технологічної операції $P_{деф,k}$.

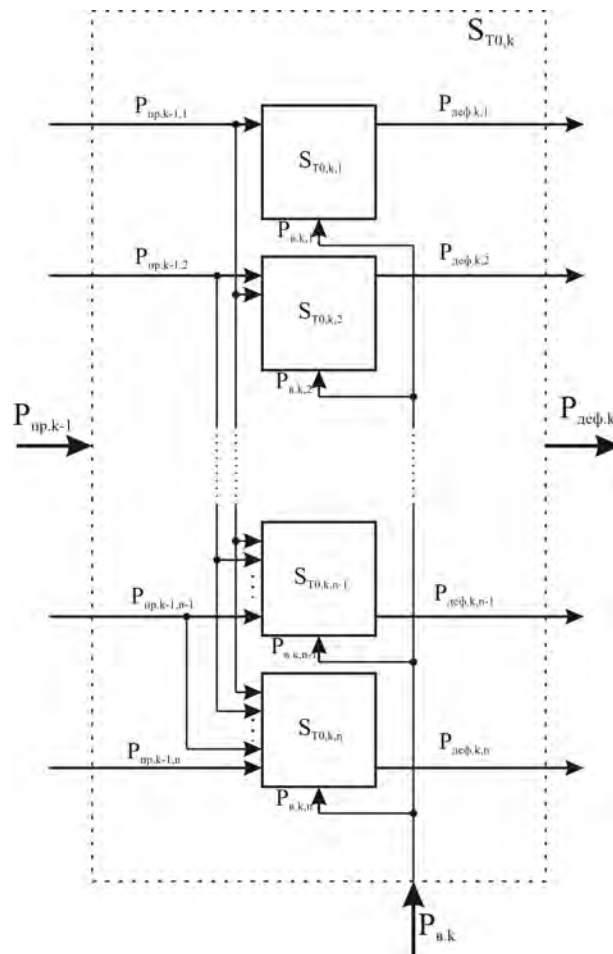


Рис. 1. Система формування дефектності на k -му кроці технологічного процесу

За своєю сутністю $P_{пр.k-1}$ є оцінкою адитивної складової вхідної дефектності. Другою адитивною складовою є дефектність, що оцінюється імовірністю $P_{в.к}$.

У зв'язку з тим, що на проведення k -ї технологічної операції на k -му кроці технологічного процесу впливають дефекти, допущені і не усунуті на попередніх кроках, виникає системний зв'язок між кроковими підсистемами, відомий під назвою емергентність. Наслідком такого зв'язку є зростання вихідної дефектності за рахунок її мультиплікативної складової.

Активно формуючою технологічною операцією є операція, що виконується підсистемою $S_{ТО.k,n}$, яка передбачена структурою виробничого процесу для формування n -го показника якості виробу. Вхідними параметрами цієї підсистеми є імовірності пропуску дефектів $P_{пр.k-1,1}, P_{пр.k-1,2}, \dots, P_{пр.k-1,n-1}, P_{пр.k-1,n}$, і $P_{в.к,n}$, а вихідним параметром імовірність $P_{деф.k,n}$. Вплив дефектів з $k-1$ -го кроку технологічного процесу на операцію формування заданих властивостей виробу підсистемою $S_{ТО.k,n}$ спричинює вищезгаданий системний ефект. Імовірність вводу дефектів є умовною імовірністю, яка в загальному випадку описується залежністю вигляду

$$P_{в.к,n} = \Psi_{к,n} (P_{в.к,n}^*, P_{пр.k-1,1}, P_{пр.k-1,2}, \dots, P_{пр.k-1,n}), \quad (1)$$

у якій $P_{в.к,n}^*$ – імовірність вводу дефектів, що виникають як результат похибки технологічного обладнання, задіяного в цьому процесі, без врахування впливу інших дестабілізуючих факторів, зокрема пропущених дефектів з попередніх кроків.

За умови сумісності подій пропуску дефектів з $k-1$ -го кроку і вводу дефектів під час виконання k -ї технологічної операції, дефектність на вході підсистеми $S_{ТО.k,n}$ визначається імовірністю $P_{деф.k,n}$.

$$P_{деф.k,n} \approx P_{пр.k-1,n} + (1 - P_{пр.k-1,n}) \cdot P_{в.к,n} \quad (2)$$

Пасивно формуючі операції, наведені на рис. 1 підсистемами $S_{ТО.k,1}, S_{ТО.k,2}, \dots, S_{ТО.k,n-1}$. Вони передбачені структурою реального виробничого процесу. За своєю формалізованою сутністю вони є відображенням внесення дефектності під час виконання k -ї технологічної операції у виробі з раніше сформованими показниками якості.

Дефектність на виході пасивно формуючих операцій визначається залежностями

$$P_{деф.k,i} = P_{пр.k-1,i} + (1 - P_{пр.k-1,i}) \cdot P_{в.к,i}, \quad i=1, 2, \dots, n-1, \quad (3)$$

у яких

$$\begin{aligned} P_{в.к,1} &= \Psi_1(P_{в.к,n}^*, P_{пр.k-1,1}), \\ P_{в.к,2} &= \Psi_2(P_{в.к,n}^*, P_{пр.k-1,1}, P_{пр.k-1,2}), \\ &\dots, \\ P_{в.к,n-1} &= \Psi_{n-1}(P_{в.к,n}^*, P_{пр.k-1,1}, P_{пр.k-1,2}, \dots, P_{пр.k-1,n}). \end{aligned} \quad (4)$$

Наведені залежності можна описувати різними функціями, які задовольняють такі умови:

$$\begin{aligned} P_{в.к,i} &= P_{в.к,i}^* \quad \text{при} \quad P_{пр.k-1,i} = 0, \quad i=1, 2, \dots, n, \\ P_{в.к,i} &= 0 \quad \text{при} \quad P_{в.к,i}^* = 0, \quad i=1, 2, \dots, n, \\ \lim_{P_{в.к,i}^* \rightarrow 1} P_{в.к,i} &= 1 \quad \text{при} \quad \forall P_{пр.k,i} = [0,1], \end{aligned} \quad (5)$$

Наприклад, імовірність $P_{в.к,i}$ у межах реальних значень $P_{в.к,n}^*, K_{a,i}, P_{пр.k-1,i}$ задовільно визначаються залежністю:

$$P_{в.к,n} = 1 - (1 - P_{в.к,n}^*) \cdot \exp\{-K_{a,i} \cdot P_{в.к,n}^* \cdot (1 - P_{в.к,n}^*) \cdot P_{пр.k-1,i}\}, \quad (6)$$

в якій $K_{a,i}$ – адаптаційний коефіцієнт, що визначається для конкретного кроку технологічного процесу.

Приклад такої залежності, отриманої експериментально-статистичним методом дослідження процесу нанесення гальванічних покриттів під час виготовлення друкованих плат, наведено на рис. 2.

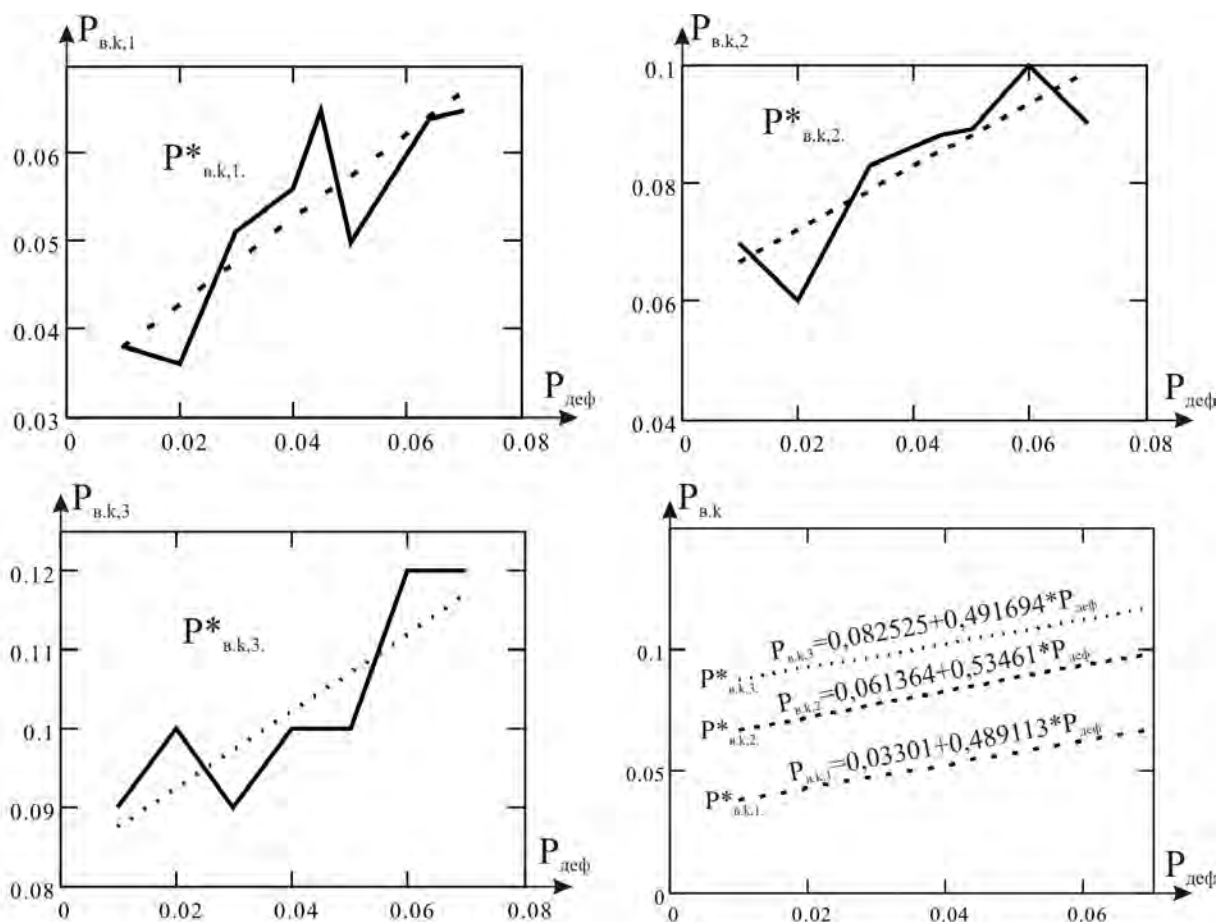


Рис. 2. Залежність імовірності вводу дефектів під час нанесення гальванічних $P_{в.к,i}$ покриттів від дефектності попередніх кроків для трьох значень $P_{в.к,i}^*$

З рисунка видно, що приріст дефектності на кожній технологічній операції за рахунок мультиплікативної складової може становити десятки відсотків від рівня адитивної складової. У разі багатокрокових процесів накопичення дефектності виробів упродовж технічного процесу може бути істотнішим. Отже, кожний крок технологічного процесу характеризується множиною показників дефектності, що виникає під час виконання технологічної операції під впливом пропущених дефектів попередніх кроків:

$$P_{деф,k} = [P_{деф,k,1}, P_{деф,k,2}, \dots, P_{деф,k,n-1}, P_{деф,k,n}] \quad (7)$$

Аналогічний вигляд має множина інтенсивностей відмов виробу з причини допущеної дефектності на k -му і попередніх кроках:

$$\lambda_k = [\lambda_{k,1}, \lambda_{k,2}, \dots, \lambda_{k,n-1}, \lambda_{k,n}] \quad (8)$$

Аксіоматичним є твердження, що причинами відмов є дефекти, повністю позбуватись яких неспроможне будь-яке виробництво. Частина дефектів, які називаються несправністю, можуть з певною імовірністю не призводити продовж деякого часу t_p до повної або часткової втрати працездатності. Цей час приймається як призначений або гамма-відсотковий ресурс виробу.

Дефектність і безвідмовність виробів

Виріб після проведення технологічної операції на k -му кроці технологічного процесу може перебувати в одному з двох можливих станів:

– у стані, що визначається закладеною в ньому виробничою дефектністю, яка виникла на цьому кроці і яка призводить до відмови виробу під час експлуатації;

– у стані, який визначається спроможністю виробу працювати безвідмовно за наявності у ньому допущеної дефектності.

Перший з них описується функцією:

$$Q_k = Q[P_{\text{деф.к}}, K_k(t_p)], \quad (9)$$

у якій $K_k(t_p)$ – показник зв'язку між імовірністю безвідмовної роботи виробу $P_{\text{б.р.}}(t_p)$ і імовірністю допущеної дефектності $P_{\text{деф.к}}$ на k -му кроці,

$$K_k(t_p) = K[P_{\text{б.р.}}(t_p), P_{\text{деф.к}}]. \quad (10)$$

Другий стан описується функцією

$$P_k = P\{P_{\text{б.р.к}}[\Pi_n(t_p)]\}, \quad (11)$$

у якій $\Pi_n(t_p)$ – показник надійності виробу.

Відмова виробу з зазначених причин і його безвідмовна робота є випадковими, несумісними, протилежними подіями, які утворюють повну групу цих подій. Сума їх ймовірностей дорівнює одиниці.

Тому

$$1 - Q_k - P_k = 0. \quad (12)$$

Показник надійності $\Pi_n(t)$ у загальному випадку визначається з умови

$$\Pi_n(t_p) = \arg[1 - Q_k - P_k = 0], \quad (13)$$

Якщо як показник надійності виробу прийняти часто вживану інтенсивність його відмови $\lambda_k(t_p)$, а закон розподілу часу наробітку на відмову вважати експоненціальним, то (13) після конкретизації можна звести до вигляду

$$\lambda_{k,i}(t_p) = \arg[1 - P_{\text{деф.к.і}} \cdot P_{\text{відм.к}}(t_p) - \exp(-\int_0^{t_p} \lambda_{k,i}(t_p) dt) = 0], \quad (14)$$

або

$$\lambda_{k,i}(t_p) = \arg[1 - P_{\text{деф.к.і}} \cdot P_{\text{відм.к}}(t_p) = \exp(-\int_0^{t_p} \lambda_{k,i}(t_p) dt)], \quad (15)$$

Зазначимо, що у цих виразах $P_{\text{відм.к}}(t_p)$ – імовірність того, що протягом часу t_p виробничий дефект виробу призведе до його відмови.

Оскільки

$$\ln[1 - P_{\text{деф.к.і}} \cdot P_{\text{відм.к}}(t_p)] = -\int_0^{t_p} \lambda_{k,i}(t_p) dt, \quad (16)$$

$$\frac{d}{dt} \ln[1 - P_{\text{деф.к.і}} \cdot P_{\text{відм.к}}(t_p)] = -\lambda_{k,i}(t_p) \Big|_0^{t_p}, \quad (17)$$

то

$$\lambda_{k,i}(t_p) = \frac{\frac{d}{dt} \{-\ln[1 - P_{\text{деф.к.і}} \cdot P_{\text{відм.к}}(t_p)]\}}{t_p}. \quad (18)$$

При $\lambda_{k,i}(t_p) = \lambda_{k,i} = \text{const}$

$$\lambda_{k,i} = \frac{-\ln[1 - P_{\text{деф.к.і}} \cdot P_{\text{відм.к}}(t_p)]}{t_p}. \quad (19)$$

Приклад визначення $\lambda_{k,i} = \xi[P_{\text{деф.к.і}}, P_{\text{відм.к}}, t_p]$ за допомогою номограми наведено на рис. 3.

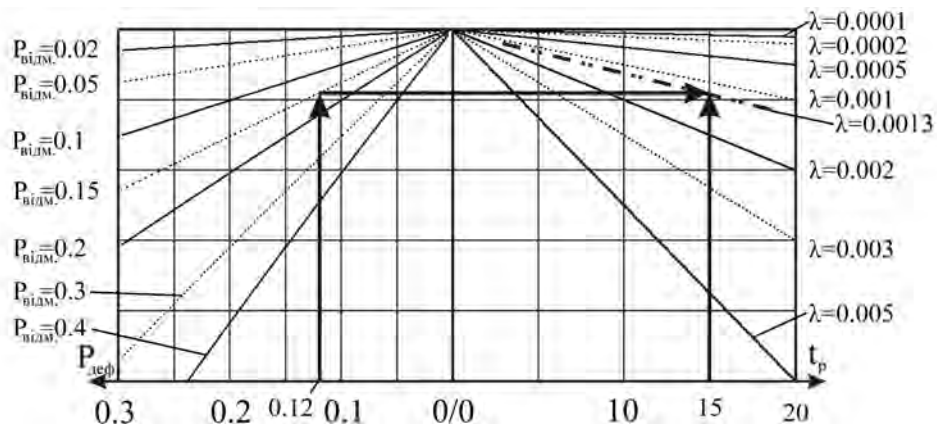


Рис.3. Залежність між λ , $P_{\text{деф}}$, $P_{\text{відм}}$, t_p – відображена у вигляді номограми

На рис. 4 наведені отримані експериментально-статистичним методом середні значення коефіцієнтів $K_{k,i}(t_p)$ для основних стадій технологічних процесів виготовлення електронних осцилографів. Ці значення можуть бути використані для розв'язання конкретних задач визначення показників надійності виробів за рівнем виробничої дефектності.

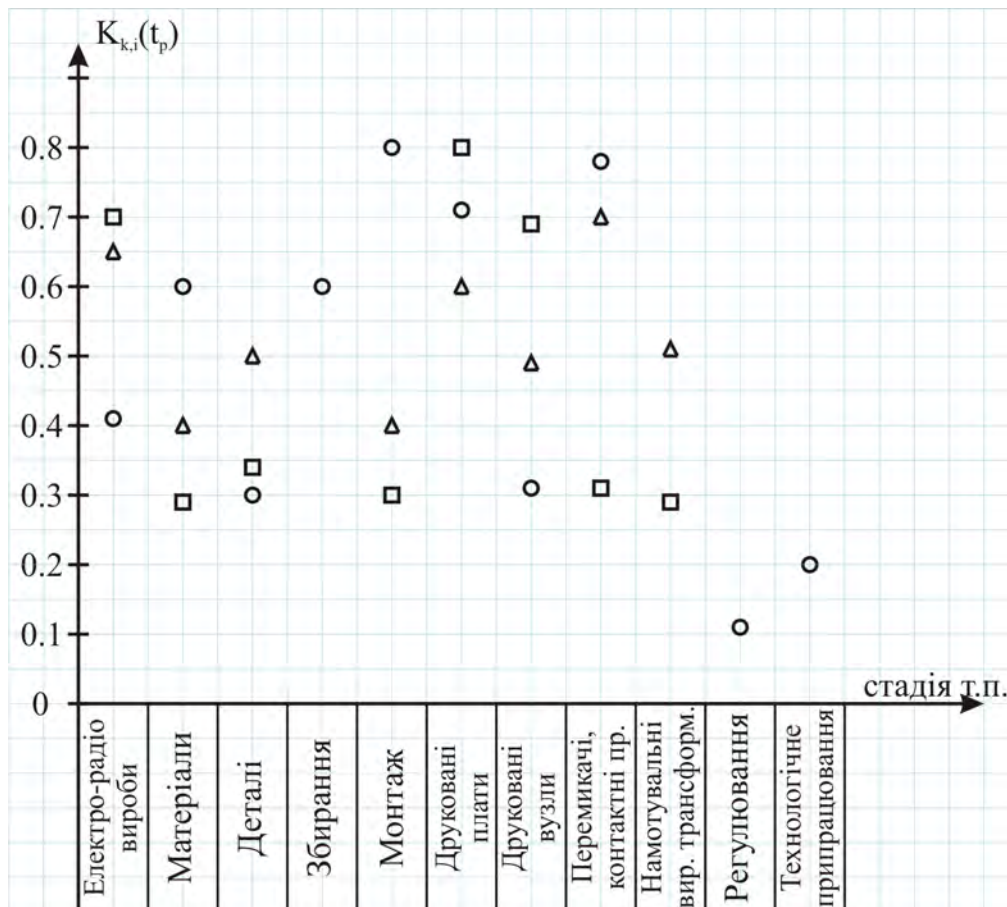


Рис. 4. Результати дослідження коефіцієнтів $K(t_p)$ на основних стадіях технологічного процесу виготовлення трьох типів електронних осцилографів

Істотний розкид значень коефіцієнтів $K(t_p)$ осцилографів, які були виготовлені на одному підприємстві за ідентичними технологіями, приводить до висновку про необхідність подальшого дослідження цих зв'язків з метою встановлення конструкційних і технологічних факторів, що спричиняють відзначені розкиди і їх значущості.

За наявності контролю якості виробів після проведення технологічних операцій з імовірністю правильного контролю $P_{k,i}$ рівняння (14) набуває вигляду

$$\lambda_{k,i}(t_p) = \arg[1 - P_{\text{деф.к,і}} \cdot (1 - P_{k,i}) \cdot P_{\text{відм.}}(t_p) - \exp(-\int_0^{t_p} \lambda_{k,i}(t_p) dt) = 0], \quad (20)$$

звідки

$$\lambda_{k,i} = \frac{-\ln[1 - P_{\text{деф.к,і}} \cdot (1 - P_{k,i}) \cdot P_{\text{відм.}}(t_p)]}{t_p}. \quad (21)$$

Загальна інтенсивність відмов виробу на виході підсистеми $S_{\text{ТО.к}}$ визначається сумою парціальних інтенсивностей відмов, спричинених “власними” дефектами k -го кроку і дефектами, пропущеними з попередніх кроків.

$$\lambda_k(t_p) = \sum_{i=1}^k \lambda_{k,i}(t_p), \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (22)$$

Імовірність безвідмовної роботи виробу після k -го кроку технологічного процесу визначається, за відомих припущень стосовно розподілу t_p , за формулою

$$P_k(t_p) = \exp(-\int_0^{t_p} \lambda_k(t) dt), \quad (23)$$

або при $\lambda_k = \text{const}$

$$P_k(t_p) = \exp(-\lambda_k \cdot t_p). \quad (24)$$

Отриману таким чином сумарну для k -го кроку інтенсивність відмови $\lambda_k(t_p)$ можна розглядати у часі як парціальну складову параметра сумарного потоку відмов, спричинених дефектами упродовж повного технологічного процесу і використовувати для розрахунку безвідмовності виробу на стадії виробництва.

Висновки

Проведені експериментально-статистичні дослідження відмов радіоелектронної вимірювальної апаратури різного призначення з причин допущеної виробничої дефектності підтвердили можливість досягнення заданих рівнів надійності цілеспрямованим керуванням якістю проведення технологічних операцій на всіх стадіях виробничого процесу. Отримані аналітичні залежності показників надійності виробів від допущеної дефектності доповнені номограмами для оперативного аналізу надійності за поточною інформацією про стан конкретного виробництва. Результати проведених досліджень є стартовим матеріалом для розроблення методів створення математичних моделей процесів формування надійності виробів і їх оптимізації за техніко-економічними критеріями.

**Бобало Ю.Я., Кіселичник М.Д., Недоступ Л.А. Системний аналіз якості виробництва прецизійної радіоелектронної апаратури / За ред. Л.А. Недоступа, – Львів: Держ. ун-т “Львівська політехніка”, 1996. – 168 с.*