

**ТЕХНОЛОГІЯ ТА КОНСТРУЮВАННЯ
В РАДІОЕЛЕКТРОНІЦІ**

УДК 321.396.6:658.018.2

**МОДИФІКОВАНИЙ МЕТОД ОПТИМІЗАЦІЇ ПРОЦЕСІВ
ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ РЕА НА СТАДІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ**

*Тарадаха П. В., аспірант, Недоступ Л. А., д.т.н., професор,
Надобко О. В., к.т.н., доцент
Національний університет "Львівська політехніка", Львів, Україна*

**THE MODIFIED PROCESS OPTIMIZATION METHOD THE QUALITY
ASSURANCE OF REE AT A MANUFACTURING STAGE**

*Pavlo Taradakha, Postgraduate Student;
Leonid Nedostup, Doctor of Engineering, Professor;
Oleg Nadobko, PhD, Associate Professor
Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine*

Вступ

В Національному університеті "Львівська політехніка" ведуться роботи з розробки теорії та методів моделювання та оптимізації процесів забезпечення якості радіоелектронної апаратури (РЕА) на стадії виготовлення [1-3]. В рамках цієї загальної проблеми розглядаються також задачі моделювання та оптимізації виробничо-технологічних процесів як основних стадій із формування заданих (потрібних) властивостей РЕА. Вирішення останньої задачі зводиться до оптимізації параметрів контрольних процедур шляхом оптимізації глибини контролю, дотримання яких гарантує заданий рівень якості РЕА при мінімальних сумарних (виробничих та експлуатаційних) витратах. Саме для такої задачі сьогодні запропоновано методи оптимізації [4] та розроблено відповідне програмне забезпечення, яке уже використане для вирішення ряду практичних задач [5]. Одним із недоліків вказаного підходу є те, що отримувані оптимальні значення глибини контролю не завжди можна практично реалізувати. В більшості випадків ці значення знаходяться як результат чисто математичного рішення задачі оптимізації і це зовсім не стосується реальних технологічних процесів (ТП). Пов'язано це, в першу чергу, з тим, що для відповідного набору контрольних обладнання значення глибини контролю (це значення визначається як відношення числа фактично контрольованих параметрів до нормативно встановленого числа контрольних параметрів на відповідній технологічній операції) є величиною фіксованою. Заміна контрольних обладнання приведе до зміни одного фіксованого значення глибини контролю на

інше, тоді як отримане оптимальне значення може відрізнятися від цих значень і ці відмінності, як показує практика, в деяких випадках є досить відчутними. Звідси і виникає запитання, як такі оптимальні значення глибини контролю можна реалізувати в умовах реального виробництва?

Основана частина

Модифікація методу полягає у використанні принципів Парето-оптимізації для розробленої методології оптимізації технологічних процесів виготовлення РЕА [2, 5]. Тобто на основі технологічної катри ТП будується його формалізована модель, після чого за запропонованою методикою [1] складається математична модель. Наступним кроком є пошук найкращих можливих варіантів для вирішення задачі за декількома критеріями (дефектність на виході ТП і мінімальні сумарні витрати) по Парето.

Запропонований модифікований метод передбачає використання для вирішення задач оптимізації ТП оптимізаційних Парето-площин. Ідею методу ілюструє рис. 1.

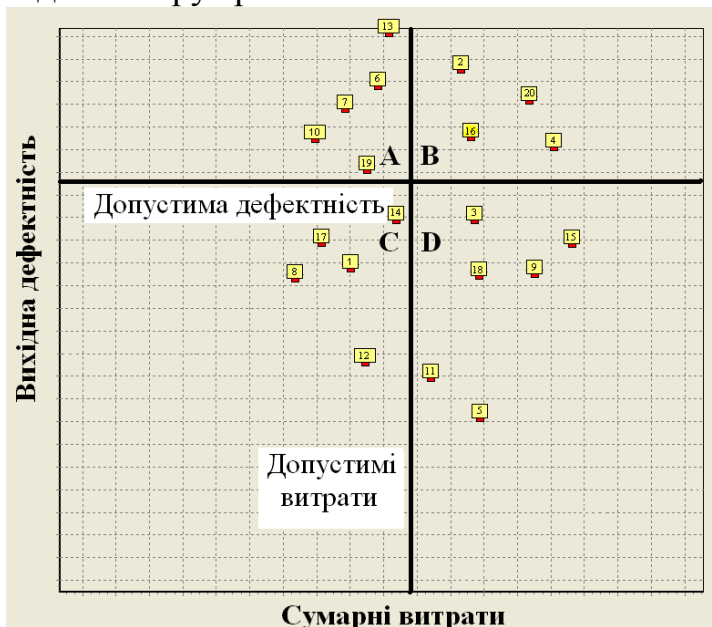


Рис. 1. Принцип побудови оптимізаційної Парето-площини “сумарні витрати – вихідна дефектність”

ного із сформованих варіантів ТП обчислюються оцінки інтегрального показника якості у вигляді імовірності формування вихідної дефектності виробів та сумарних витрат на забезпечення потрібного рівня якості, які в подальшому відображаються на відповідній Парето-площині. Задаючи допустимі рівні дефектності та сумарних витрат, можна виділити ті варіанти ТП, які гарантують заданий рівень якості РЕА при допустимих рівнях витрат.

На наведеній площині можна виділити чотири умовні області, які позначені відповідними буквами (рис. 1). Зрозуміло, що в область С попадають ті варіанти ТП, які відповідають вимогам забезпечення допустимих рі-

Для побудови Парето-площин проводиться детальний аналіз можливих варіантів реалізації ТП з фіксацією наборів використаного контрольно-технологічного обладнання і обчислення значень глибини контролю для всіх технологічних операцій. Після цього формується протокол досліджень відповідного ТП у вигляді множини наборів параметрів глибини контролю. Далі за допомогою розробленого програмного забезпечення для кож-

внів дефектності та витрат і в такому розумінні є оптимальними (раціональними). Практика показує, що таких варіантів ТП може бути декілька, тоді вибір остаточного варіанта залежить від умов конкретного виробництва, враховуючи наявність потрібного контрольного та технологічного обладнання, рівень ресурсного забезпечення, кваліфікацію виконавців та інші фактори. Область В містить варіанти ТП, реалізація яких не забезпечує потрібних рівнів якості виробів і витрат. Очевидно, що з цього погляду вони є непридатними для практичної реалізації.

Цікаві висновки та рекомендації можна сформулювати стосовно областей А та D. Так область D можна умовно назвати областю "дешевих дефектів". Реалізація ТП, які попадають в цю область, веде до деякого збільшення дефектів, хоча сумарні витрати при цьому залишаються меншими допустимого рівня. Цей факт можна проілюструвати такими прикладами. Нехай при виготовленні друкованої плати на стадії формування заготовок плат появляється механічний дефект, який не виявляється на початкових стадіях ТП, а виявляється лише після установки елементів на стадії вихідного контролю якості функціонування плати, або навіть під час гарантійної експлуатації. Очевидно, що витрати, пов'язані із забракуванням плати в цьому випадку, будуть великими. Суттєво меншими витрати будуть, коли після появи такого дефекту він практично зразу ж виявляється. Навіть, якщо число дефектів буде більше допустимого рівня, сумарні витрати можуть залишатися меншими заданого значення.

В область А попадають варіанти ТП, які реалізуються за принципом "досягнення потрібного рівня якості виробів за будь-яку ціну". Хоча цей принцип організації ТП використовується рідко, для деяких видів РЕА — таких як апаратура відповідального призначення, виготовлена в одиничних екземплярах та ін. такий підхід є обґрунтованим.

Результати досліджень багатьох ТП показують, що базові (існуючі) варіанти ТП переважно попадають або в область В, або С. Перший випадок свідчить про необхідність удосконалення ТП, в тому числі і шляхом покращення процедур контролю. Другий випадок — це додаткове підтвердження високої якості організації ТП, які не потребують жодних корекцій.

Варіанти оптимальних ТП, отримані з використанням класичних методів оптимізації, в переважній більшості розміщуються в області С, "переміщуючись" сюди із області В після проведення процедури оптимізації. Якщо відсутні обмеження на дефектність виробів, то можливий варіант попадання оптимальних ТП і в область D. При жорстких обмеженнях вихідної дефектності оптимальні варіанти ТП розміщуються на границі областей С і D, забезпечуючи при цьому відносно незначні зменшення витрат.

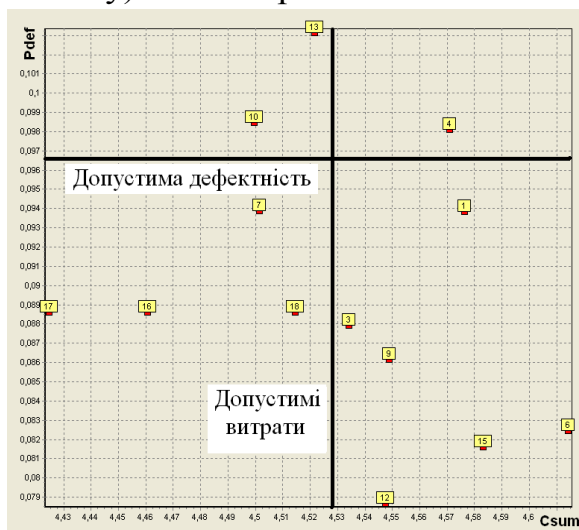
Додаткову інформацію при дослідженні реальних ТП можна отримати аналізуючи взаємне розміщення множини досліджуваних процесів відносно виділених областей. Тут можливі декілька ситуацій. Основною і най-

більш характерною є ситуація, коли існують варіанти ТП, які попадають в усі чотири області оптимізаційної Парето-площини. Саме в цій ситуації є можливість вибрати оптимальний (раціональний) варіант ТП, який максимально врахував би особливості конкретного виробництва. Протилежною є ситуація, коли множина досліджуваних ТП займає лише область В. Це свідчить про те, що серед можливих варіантів ТП немає жодного, який би відповідав заданим вимогам щодо якості виробів та організації ТП в цілому. Очевидно, що така ситуація - це підтвердження низького рівня технологічних рішень.

Практичною особливістю запропонованого методу оптимізації ТП є можливість побудови також і інших оптимізаційних Парето-площин, наприклад, “сумарні витрати — імовірність введення дефектів на відповідних технологічних операціях”, “сумарні витрати — імовірність пропуску дефектів із вхідного контролю” тощо. Положення відповідної точки на кожній із таких площин однозначно визначається значеннями глибини контролю на кожній контрольній операції. Число можливих варіантів, як уже зазначалося, формується у вигляді протоколу досліджень ТП, який враховує принципову можливість зміни глибини контролю на кожній контрольній операції, варіанти використовуваного технологічного та контрольного обладнання та інші фактори з максимальним врахуванням реальної ситуації для досліджуваного ТП. Аналізуючи положення кожної точки на всіх площинах, а також враховуючи всі можливі критерії, вимоги та обмеження, можна виділити оптимальну (раціональну) область розв’язків.

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	Csum	Pdef
1	0,7	0,7000	0,7000	0,5000	0,9000	0,7000	4,5762	0,0938
2	1,4000	0,7000	0,7000	0,5000	0,9000	0,7000	4,4246	0,0886
3	2,8	0,7000	0,7000	0,5000	0,9000	0,7000	4,5342	0,0879
4	1,4000	0,35	0,7000	0,5000	0,9000	0,7000	4,5709	0,0981
5	1,4000	0,7000	0,7000	0,5000	0,9000	0,7000	4,4246	0,0886
6	1,4000	1,4	0,7000	0,5000	0,9000	0,7000	4,6141	0,0824
7	1,4000	0,7000	0,35	0,5000	0,9000	0,7000	4,5013	0,0938
8	1,4000	0,7000	0,7000	0,5000	0,9000	0,7000	4,4246	0,0886
9	1,4000	0,7000	1,4	0,5000	0,9000	0,7000	4,5488	0,0861
10	1,4000	0,7000	0,7000	0,25	0,9000	0,7000	4,4995	0,0984
11	1,4000	0,7000	0,7000	0,5000	0,9000	0,7000	4,4246	0,0886
12	1,4000	0,7000	0,7000	1	0,9000	0,7000	4,5474	0,0786
13	1,4000	0,7000	0,7000	0,5000	0,45	0,7000	4,5215	0,1031
14	1,4000	0,7000	0,7000	0,5000	0,9000	0,7000	4,4246	0,0886
15	1,4000	0,7000	0,7000	0,5000	1,8	0,7000	4,5830	0,0816
16	1,4000	0,7000	0,7000	0,5000	0,9000	0,35	4,4606	0,0886
17	1,4000	0,7000	0,7000	0,5000	0,9000	0,7000	4,4246	0,0886
18	1,4000	0,7000	0,7000	0,5000	0,9000	1,4	4,5146	0,0886

а



б

Рис. 2. Приклад оптимізації 6-ти крокового ТП виготовлення друкованих плат: а – варіант протоколу дослідження; б – оптимізаційна Парето-площина ”сумарні витрати – вихідна дефектність”

Як приклад, на рис. 2,а представлений варіант протоколу дослідження ТП виготовлення друкованих плат комбінованим позитивним методом, а на рис. 2,б — відповідна Парето-площина. Як бачимо, лише частина варіа-

нтів ТП відповідають заданим вимогам. Серед них і будуть знаходитись потрібні оптимальні (раціональні) розв'язки.

Наведений на рис. 2 приклад — це приклад параметричної оптимізації, який передбачає підбір параметрів глибини контролю для кожної технологічної операції без зміни структури ТП. Одночасно запропонований метод придатний також для вирішення задач структурної оптимізації ТП. Для цього кожен із варіантів ТП, які мають свої структури, достатньо представити як окремі технологічні процеси, сформувавши для них протоколи досліджень і після комплексних досліджень всіх варіантів вибрати найбільш вдалий.

Висновки та рекомендації

1. Запропонований метод є універсальним, простим для практичного використання, не передбачає жодних обмежень на складність та призначення технологічних процесів, дозволяє проводити як параметричну, так і структурну оптимізацію ТП.

2. За результатами оптимізації в більшості випадків рекомендуються для реалізації декілька варіантів ТП. Цей факт дозволяє вибрати такий варіант, який максимально наближений до умов конкретного виробництва, враховує наявний парк технологічного і контрольного обладнання, ресурсні можливості підприємства, вимоги щодо якості виробів та передбачуваних сумарних витрат в цілому.

3. Для практичного використання методу повністю придатне раніше розроблене програмне забезпечення, яке відоме під загальною назвою "програмно-методичний комплекс ОПТАН". В рамках цього комплексу задача оптимізації технологічних процесів за допомогою оптимізаційних Парето-площин сформована для зручності у вигляді окремої задачі.

4. Результати досліджень рекомендуються для використання при оцінці ефективності існуючих варіантів ТП, пошуку шляхів їх удосконалення, підвищенні якості виробів в цілому, а також при розробці нових технологічних процесів, включаючи формування їх структури, підбір технологічного та контрольного обладнання тощо.

Література

1. Бобало Ю. Я. Системний аналіз якості виробництва прецизійної радіоелектронної апаратури [Текст] / Ю. Я. Бобало, М. Д. Кіселичник, Л. А. Недоступ // За ред. Л. А. Недоступа. — Львів: ДУ "Львів. політехніка", 1996. — 168 с.

2. Недоступ Л. А. Забезпечення якості та надійності радіоелектронних пристроїв шляхом комплексної оптимізації процесів виробництва / Л. А. Недоступ, Ю. Я. Бобало, М. Д. Кіселичник, О. В. Лазько // Вісник Національного університету „Львівська політехніка”. — 2005. — № 534: Радіоелектроніка та телекомунікації. — С. 45–51.

3. Бобало Ю. Я. Керування процесами формування та контролю заданих властивостей у виробництві електронних пристроїв / Ю. Я. Бобало, Л. А. Недоступ, М. Д. Кіселичник // Вісник Національного університету „Львівська політехніка”. — 2009. — № 637: Електроенергетичні та електромеханічні системи. — С. 7–11.

4. Надобко О. В. Методи оптимізації процесів забезпечення якості РЕА на стадії виготовлення / О. В. Надобко, Л. А. Недоступ, Л. В. Чирун, Т. В. Шестакевич // Вісник Національного університету „Львівська політехніка”. — 2011. — № 705: Радіоелектроніка та телекомунікації. — С. 237–242.

5. Бобало Ю. Я. Програмно-методичний комплекс для моделювання та оптимізації процесів забезпечення якості РЕА на стадії виготовлення / Ю. Я. Бобало, А. П. Бондарєв, М. Д. Кіселичник, О. В. Надобко, Л. А. Недоступ, П. В. Тарадаха, Л. В. Чирун, Т. В. Шестакевич // Вісник Національного університету „Львівська політехніка”. — 2012. — № 738: Радіоелектроніка та телекомунікації. — С. 206–212.

References

1. Bobalo Yu. Ya. Systemnyi analiz yakosti vyrobnytstva pretsyziinoi radioelektronnoi aparatury [Text]/ Yu.Ya. Bobalo, M.D. Kiselychnyk, L.A. Nedostup/ Za red. L.A. Nedostupa. – Lviv: DU “Lviv. politekhnik”, 1996. – 168 s.

2. Nedostup L.A. Zabezpechennia yakosti ta nadiinosti radioelektronnykh prystroiv shliakhom kompleksnoi optymizatsii protsesiv vyrobnytstva / L.A. Nedostup, Yu. Ya. Bobalo, M.D. Kiselychnyk, O.V. Lazko // Visnyk Natsionalnoho universytetu “Lvivska politekhnik”. – 2005. - № 534: Radioelektronika ta telekomunikatsii. – S. 45-51.

3. Bobalo Yu. Ya. Keruvannia protsesamy formuvannia ta kontroliu zadanykh vlastyvostei u vyrobnytstvi elektronnykh prystroiv / Yu. Ya. Bobalo, L.A. Nedostup, M.D. Kiselychnyk // Visnyk Natsionalnoho universytetu “Lvivska politekhnik”. – 2009. - № 637: Elektroenerhetychni ta elektromekhanichni systemy. – S. 7-11.

4. Nadobko O. V. Metody optymizatsii protsesiv zabezpechennia yakosti REA na stadii vyhotovlennia / Visnyk Natsionalnoho universytetu “Lvivska politekhnik”. – 2011. - №705: Radioelektronika ta telekomunikatsii. – S. 237-242.

5. Bobalo Yu.Ya. Prohramno-metodychnyi kompleks dlia modeliuvannia ta optymizatsii protsesiv zabezpechennia yakosti REA na stadii vyhotovlennia / Yu. Ya. Bobalo, A.P. Bondariev, M.D. Kiselychnyk, O.V. Nadobko, L.A. Nedostup, P.V. Taradakha, L.V. Chyrun, T.V. Shestakevych // Visnyk Natsionalnoho universytetu “Lvivska politekhnik”. – 2012. - № 738: Radioelektronika ta telekomunikatsii. – S. 206-212.

Тарадаха П. В., Недоступ Л. А., Надобко О. В. Модифікований метод оптимізації процесів забезпечення якості РЕА на стадії виготовлення. Пропонується метод оптимізації технологічних процесів виготовлення радіоелектронної апаратури, який базується на використанні оптимізаційних Парето-площин. Метод є універсальний, не містить обмежень на складність процесів і дозволяє встановлювати варіанти технологічних процесів, які відповідають умовам забезпечення заданого рівня дефектності виробів при допустимих витратах.

Ключові слова: оптимізація процесів забезпечення якості РЕА, технологічні процеси виготовлення РЕА, оптимізаційні Парето-площини.

Тарадаха П. В., Недоступ Л. А., Надобко О. В. Модифицированный метод оптимизации процессов обеспечения качества РЭА на стадии изготовления. Предлагается метод оптимизации технологических процессов изготовления радиоэлектронной аппаратуры, базирующийся на использовании оптимизационных Парето-плоскостей. Метод универсален, не содержит ограничений на сложность процессов и позволяет устанавливать варианты технологических процессов, которые отвечают условиям обеспечения заданного уровня дефектности изделий при допустимых затратах.

Ключевые слова: оптимизация процессов обеспечения качества РЭА, технологические процессы изготовления РЭА, оптимизационные Парето-плоскости.

Taradakha P., Nedostup L., Nadobko O. The modified process optimization method the quality assurance of REE at a manufacturing stage.

Introduction. The process optimization method of the manufacturing of radio-electronic equipment, based on using of optimizing Pareto-planes is offered.

Main part. Proposed method involves the using of optimization Pareto-planes for solving problems of optimization processes (TP) which can be considered as modification of Pareto. The method is universal, does not contain restrictions on processes complexity and allows establishing technological processes options which meet conditions of providing the set level of products deficiency at admissible expenses.

Conclusions. Offered a universal method of optimization that uses the principles of Pareto optimization and is as close to the real production conditions, including taking into account the possible configurations of used technological and control equipment, requirements for quality and reliability of products in general.

***Keywords:** process optimization the quality assurance of REE, technological processes of manufacturing of REE, optimizing Pareto- planes*