НАДІЙНІСТЬ ТА ЯКІСТЬ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ СИСТЕМ

УДК 321.396.6:658.018.2

Ю.Я. Бобало, А.П. Бондарєв, М.Д. Кіселичник, О.В. Надобко,
Л.А. Недоступ, П.В. Тарадаха
Національний університет "Львівська політехніка"

ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ ТА ПРАКТИЧНІ ОСОБЛИВОСТІ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ПРОЦЕСІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ РЕА НА СТАДІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ

© Бобало Ю.Я., Бондарєв А.П., Кіселичник М.Д., Надобко О.В., Недоступ Л.А., Тарадаха П.В., 2014

Висвітлені теоретичні та практичні аспекти моделювання та оптимізації забезпечення процесів якості РЕА на стадії виробництва. Описано програмне забезпечення для завдань оптимізації ТП і приклади його застосування.

Ключові слова: моделювання та оптимізація виробничих процесів, багатокритеріальна оптимізація.

Yu. Bobalo, A. Bondariev, M. Kiselychnyk, O. Nadobko,
L. Nedostup, P. Taradakha
Lviv Polytechnic National University

THE THEORETICAL ASPECTS AND PRACTICAL FEATURES MULTI-OBJECTIVE OPTIMIZATION OF PROCESSES TO ENSURE THE QUALITY OF REE AT THE MANUFACTURING STAGE

© Bobalo Yu., Bondariev A., Kiselychnyk M., Nadobko O., L. Nedostup, P. Taradakha, 2014

One of the most important scientific and technical problems is to ensure the quality and reliability of technical objects. In this paper the theoretical and practical aspects of modeling and optimization of quality assurance processes of radio electronic equipment (REE) at the manufacturing stage are presented. In modern conditions a hard economic situation of the problem complements the requirement of rational usage of available resources.

REE quality modeling requires the accounting of many processes at all life cycle stages (design, manufacturing, maintenance). Such processes form given, required and relevant properties of REE. The problem is solved by the modeling and optimization of technological processes (TP) of REE manufacturing, in particular by optimization of control procedures on technical and economic criterions.

Mathematical feature of optimization methods using for such TP is a very large number of parameters. Each of parameters (for example, depth of control at all technological operations (TO)) is vectorial, therefore optimization even in one parameter becomes multiparameter. The adaptation of formal mathematical optimization methods to real processes is an independently, difficult and responsible task.

Also in this paper the software (program-methodical complex) for optimization problems of TP and examples of its application are shown. This complex was used to solving problems of modeling, research and optimization of real REE manufacturing processes. This program has been tested on examples of typical manufacturing TP of printed circuit boards with six different technologies, integration chips, the universal oscilloscopes, liquid crystal indicators and other products. Optimization results open the possibility of process control by choosing the optimal (rational) structure, the optimal structure of the system control, formation of appropriate directory of the technological, control and measuring equipment. This generally guarantees the most rational using of all kinds material and technical resources. The results of sensitivity of account technological processes parameters to parameter values of technological operations showed additional opportunities of a program-methodical complex OPTAN on practical results implementation of TP optimization. The received results give the chance by development or upgrade of TP conscious to evaluate risks and the expenses caused by a deviation from best parameters values. These results give opportunity to define the most responsible links of process, quickly to estimate influence of TO parameters correlations of different physical nature on processes expenses of manufacturing and guarantee maintenance.

Key words: Modeling and optimization of manufacturing processes, Multi-objective optimization.

Вступ та постановка задачі. У Національному університеті "Львівська політехніка" проводяться дослідження з розроблення наукових основ теорії і метододів моделювання та оптимізації процесів забезпечення якості радіоелектронної апаратури (РЕА) на стадії виготовлення. Важливість і актуальність таких досліджень підтверджують публікації [1, 2]. Методи і результати досліджень опубліковано у роботах [3–5]. Уже запропоновано методологію та практичні методики моделювання та оптимізації складних виробничо-технологічних процесів виготовлення РЕА 4-го та 5-го поколінь. Такі процеси є основною стадією формування заданих (необхідних, потрібних) властивостей РЕА. Це завдання вирішене моделюванням та оптимізацією технологічних процесів (ТП) виговлення РЕА, зокрема оптимізацією контрольних процедур за технічними та економічними критеріями. Автори запропонували методики моделювання, обґрунтували методи оптимізації [3] та розробили відповідне програмне забезпечення [6]. Програмне забезпечення пройшло усі необхідні стадії тестування, апробації та практичного використання.

Наскрізні математичні моделі формування дефектності. Моделювання забезпечення якості РЕА потребує урахування великої кількості процесів на усіх стадіях життєвого циклу (проектування, вирбництва, експлуатації). Такі процеси об'єднують величезну кількість процедур, які теж мають різну фізичну природу, різні цільові функції, можуть бути виконані сумісно або розділено у часі, на одному або на різних підприємствах. Основний крок формалізації такої сукупності процесів полягав у розробленні системи забезпечення якості життєвого циклу ($S_{ЖЦ}$), структурна схема якої зображена на рис. 1.

Наведена структура містить підсистеми системотехнічного, схемотехнічного, конструкторського та технологічного проектування ($S_{СТП}$, $S_{СХП}$, $S_{КП}$, $S_{ТП}$), підсистеми формування та контролю якості ($S_{ТО}$, $S_{КО}$), підсистеми нормальної експлуатаціїї виробів, їх ремонту та профілактики ($S_{НЕ}$, $S_{Р}$, $S_{ПР}$).

Кожну з підсистем описують матриці параметрів (показників) досить великої розмірності. Основною проблемою побудови математичної моделі технологічного процесу є різноманітна фізична природа технологічних операцій, які є його складовими. Для уніфікації урахування впливу чинників різної фізичної природи на дефектність виробів запропоновано інтегральні оцінки функціональної ефективності системи та інтегральні функціональні й економічні критерії якості.

Такими інтегральними оцінками стали імовірність дефекту у виготовленому виробі та сумарна витратність процесів виготовлення (включно із операціями контролю) та експлуатації (гарантійного обслуговування) виробу. Математичною основою впровадження таких інтегральних показників став скалярний добуток матриць, які описують підсистеми.

Завдяки введенню таких інтегральних оцінок уможливилось наскрізне моделювання ТП із ТО різної фізичної природи. Використання уведених інтегральних оцінок математично реалізовано у вигляді скалярного добутку матриць формування дефектності.

Математичною особливістю застосування методів оптимізації для таких ТП є дуже велика кількість параметрів. Кожний з параметрів (наприклад, глибина контролю на усіх ТО) є векторним, отже, оптимізація навіть за одним параметром одразу стає багатопараметричною.

Запропонований уніфікований показник дефектності ТП надав можливість оптимізації за двома критеріями – дефектності та витратності виробництва.

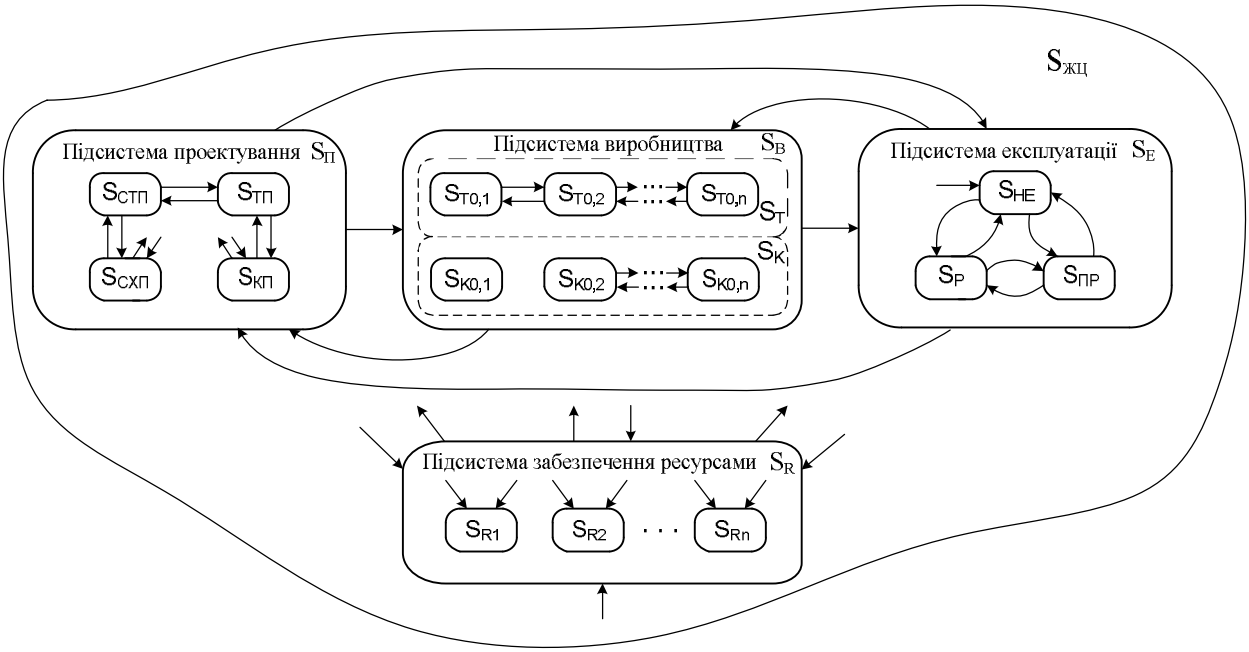


Рис. 1. Структура забезпечення якості РЕА упродовж життєвого циклу

Програмна реалізація методів багатокритеріальної оптимізації. Завдяки запровадженим методологіям оцінки ТП розроблено програмний комплекс оптимізації їх показників. Версії комплексу під загальною назвою ОПТАН захищені правами на авторську власність. Результати застосування комплексу наведено на рис. 2–4.

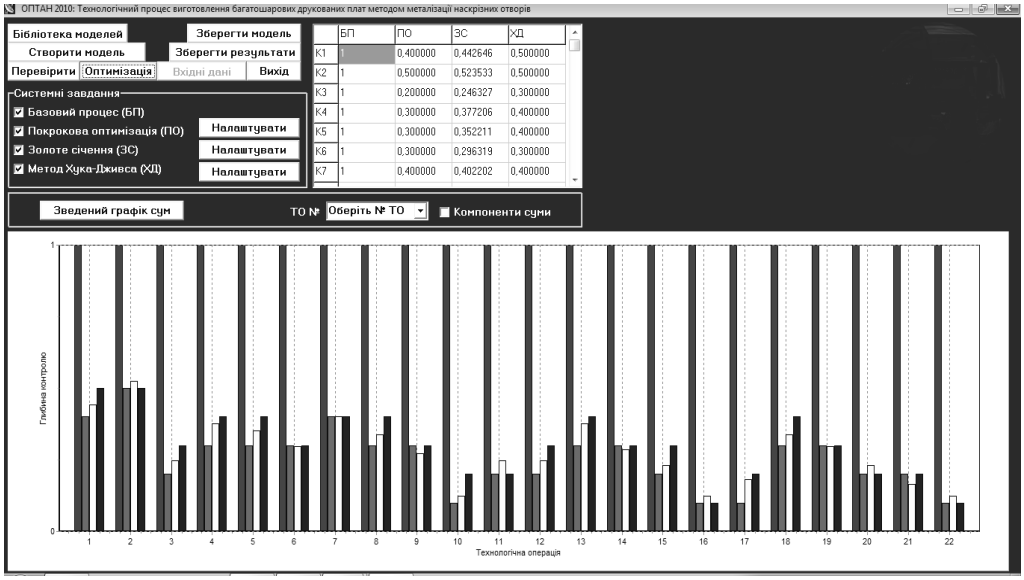


Рис. 2. Рекомендована оптимальна глибина контролю для 22-крокового процесу виготовлення друкованих плат

На рис. 2 наведено результати оптимізації глибини контролю, отримані трьома математичними методами. Отримані результати показують, що рекомендовані значення, одержані різними математичними методами, дуже близькі між собою. Ця властивість є важливою для практичної реалізації, оскільки зміна параметрів реальних технологічних процесів завжди вимагає організаційних, технічних заходів та відповідного фінансування. З іншого боку, наведений приклад показує, що практично на всіх операціях можна майже удвічі зменшити глибину контролю (і відповідні витрати), а на деяких операціях (10, 16, 22) можна взагалі знехтувати контролем.

Через різноманітну фізичну природу ТО зміна окремих параметрів потребує технічних та організаційних заходів різної складності. Під час практичної імплементації результатів оптимізації такої багатопараметричної системи необхідно приймати рішення щодо доцільності зміни окремих параметрів та ризиків у випадку відхилень значень параметрів від оптимальних.

Різниця рекомендованих різними методами оптимальних значень глибини контролю зумовлена доволі "мілким" екстремумум. Тому доведення методів оптимізації до абсолютного екстремуму не має сенсу, оскільки реалізація глибини контролю з точністю до 4–5-го знака не завжди можлива.

Розроблені версії програмного комплексу ОПТАН надають користувачу (технологу) можливість спостерігати функціональні залежності витратності процесу від його параметрів та, спираючись на свої знання організаційних та технічних заходів щодо впливу на параметри процесу, свідомо вибирати рішення щодо необхідності змін у організації процесу. Вікно програми для такого режиму наведено на рис. 3.

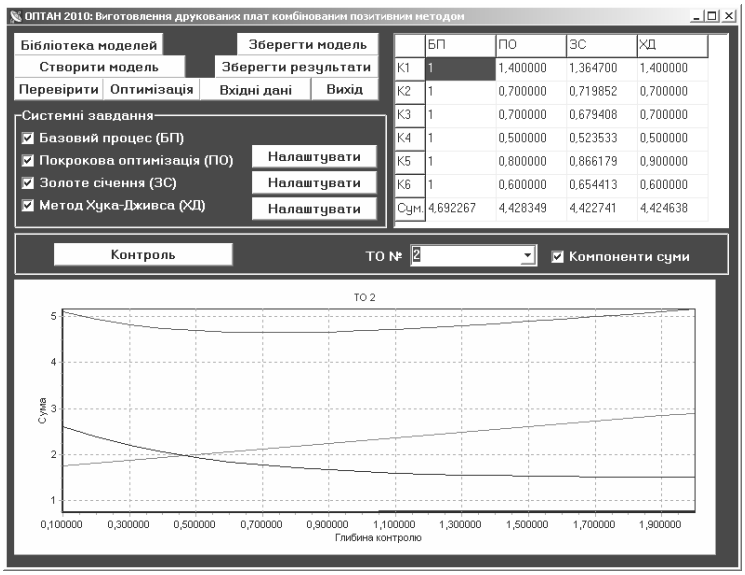


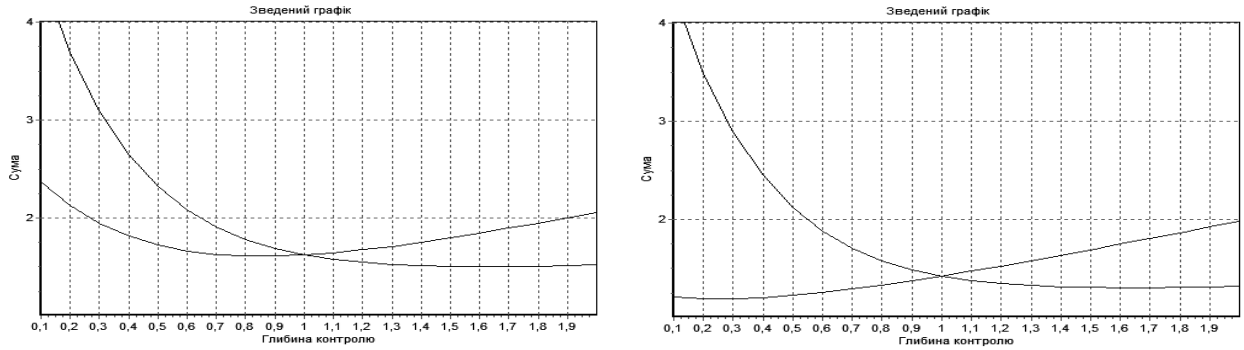
Рис. 3. Показники ризику відхилення від рекомендованої оптимальної глибини контролю

Із рис. 3 видно, що підвищення глибини контролю призводить до збільшення витрат на виробництво та до зменшення витрат на експлуатацію, і навпаки. Залежність сумарних витрат від глибини контролю (верхня лінія) має відповідний мінімум.

На рис. 4 наведено приклади отриманих залежностей сумарних витрат від зміни глибини контролю на двох технологічних операціях для різних ймовірностей введення дефектів.

З наведеного на рис. 4, а прикладу видно, що оптимальна глибина контролю на одній з ТО становить 1,7, а на другій – 0,9. Зменшення глибини контролю по першій ТО до рівня 1,0 несуттєво впливає на рівень витрат, а подальше зменшення – істотно. Щодо другої ТО, то технолог без значних ризиків може вибирати глибину контролю у межах від 0,4 до 1,3. Наслідки зменшення імовірності введення дефектів на технологічних операціях наведено на рис. 4, б. Такого зменшення можна досягти, наприклад, заміною наявного технологічного обладнання на досконаліше. З

порівняння рис. 3, а і рис. 3, б видно, що жодних змін щодо першої ТО не відбувається, а на другій ТО глибину контролю можна зменшити до рівня 0,2...0,3 і сумарні витрати у цьому випадку будуть зменшені на 50 %.



а *б*

Рис. 4.Ризики відхилення від рекомендованої оптимальної глибини контролю для випадків типової (а) та зменшеної (б) імовірності введення дефектів

Розроблений програмний комплекс надає можливість користувачу (технологу) також оцінити наслідки варіації параметрів технологічного процесу в ширшому діапазоні. Наслідки такої варіації програма показує на парето-площині (рис. 5). Зокрема, користувач може вибирати варіанти "дешевої дефектності" або "дорогої бездефектності".

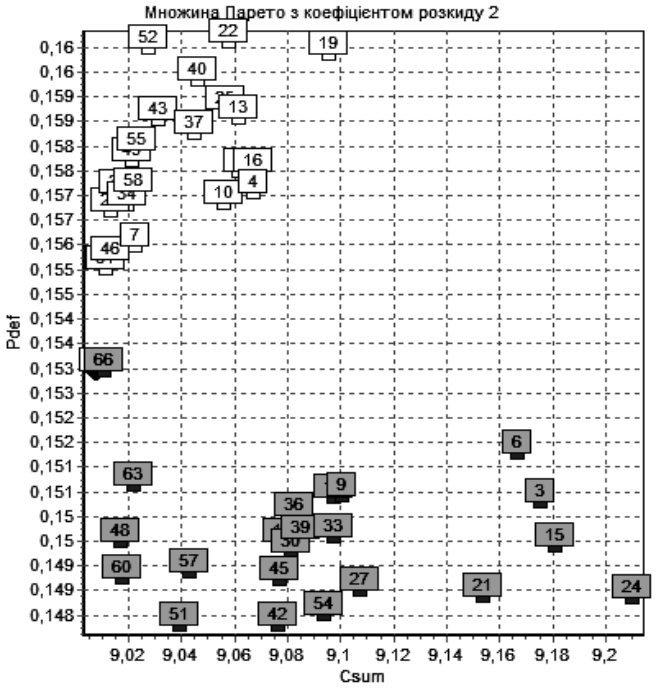


Рис. 5. Багатоваріантний аналіз показників дефектності та витратності технологічного процесу

Збільшення глибини контролю на одній технологічній операції (точка 21 на рис. 5) зменшить дефектність, але призведе до деякого збільшення загальних витрат. Наприклад, заміна контрольного обладнання на якісніше зменшить пропуск дефектів на наступну технологічну операцію. Проте вартість такого обладнання може бути набагато більшою, ніж вартість забракування виробу

(заготовки). Водночас зменшення глибини контролю на відповідній технологічній операції (точка 19) може призвести до збільшення і дефектності, і загальних витрат. Особливо це стосується початкових технологічних операцій: буде економічна вигода внаслідок встановлення дешевшого контрольного обладнання, але коли дефект, внесений на початку ТП, виявляється вже на етапі експлуатації, цілий виріб є бракованим. Витрати на здійснення всіх наступних ТО після дефектної операції значно перевищують попередній економічний ефект. Така організація виробництва недоцільна. А наведена парето-область дає можливість користувачу-технологу свідомо приймати рішення щодо варіантів та доцільності реорганізації технологічного процесу.

Практичне застосування методу багатокритеріальної оптимізації. Запропонована версія програмно-методичного комплексу була застосована для розв'язання задач моделювання, дослідження та оптимізації реальних процесів виготовлення РЕА та пройшла апробацію на прикладах типових ТП виготовлення друкованих плат за шістьма різними технологіями, виготовлення інтегральних схем, універсальних осцилографів, рідкокристалічних індикаторів та інших виробів.

Висновки та рекомендації.

1. На підставі фундаментальних теоретичних досліджень створено універсальний та зручний програмний комплекс для оптимізації параметрів технологічних процесів без обмежень на їх складність. Проведені тестування загалом підтвердили достовірність отримуваних результатів та ефективність використання комплексу.

2. Результати оптимізації ТП відкривають можливість керування ТП шляхом вибору оптимальної (раціональної) структури ТП, оптимальної організації системи контролю, формування відповідного каталогу технологічного та контрольно-вимірювального обладнання, що загалом гарантує найраціональніше використання усіх видів матеріальних та технічних ресурсів.

3. Наведені у роботі результати аналізу чутливості витратних показників технологічних процесів до значень параметрів технологічних операцій показали додаткові можливості програмно-методичного комплексу ОПТАН щодо практичної імплементації результатів оптимізації ТП. Отримані результати дають можливість під час розроблення або модернізації ТП свідомо оцінювати ризики та витрати, викликані відхиленням від оптимальних значень параметрів, визначати найвідповідальніші ланки процесу, оперативно оцінювати вплив взаємозв'язків великої кількості параметрів технологічних операцій різної фізичної природи на витратність процесів виробництва та гарантійного обслуговування.

1. Venkata Rao R. Advanced Modeling and Optimization of Manufacturing Processes // Springer-Verlag London Limited, London, Dordrecht, Heidelberg, New York, 2011. – 380 p. 2. Caramia M. Effective Resource Management in Manufacturing Systems Optimization Algorithms for Production Planning / Caramia M., Dell'Olmo P. – 216 p. 3. Jürgen Branke; Kalyanmoy Deb; Kaisa Miettinen; Roman Slowinski (21 November 2008). Multiobjective Optimization: Interactive and Evolutionary Approaches. – Springer. Retrieved 1 November 2012. 4. Бобало Ю. Я. Системний аналіз якості виробництва прецизійної радіоелектронної апаратури / Ю.Я. Бобало, М.Д. Кіселичник, Л.А. Недоступ // за ред. Л.А. Недоступа. – Львів: Вид-во Держ. ун-ту "Львів. політехніка", 1996. – 168 с. 5. Nedostup L. Sensitivity analysis of process expanse indices to the parametrs of manufacturing operations / L. Nedostup, Yu. Bobalo, A. Bondariev M. Kiselychnyk, O. Nadobko // International journal "Computional Problems of Electrical Engineering": – Lviv: LPNU, 2012. – № 2. – P. 79–84. 6. Бобало Ю.Я. Програмно-методичний комплекс для моделювання та оптимізації процесів забезпечення якості РЕА на стадії виготовлення / Бобало Ю.Я., Бондарєв А.П., Кіселичник М.Д., Надобко О.В., Недоступ Л.А., Тарадаха П.В., Чирун Л.В., Шестакевич Т.В. // Вісник Нац. ун-ту "Львів. політехніка". – 2012. – № 738: Радіоелектроніка та телекомунікації. – С. 206–212.