

РЕЗУЛЬТАТИ ВПРОВАДЖЕННЯ ПРОГРАМНО-МЕТОДИЧНОГО КОМПЛЕКСА МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ ПРОЦЕСІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ РЕА НА СТАДІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ

Представлені результати використання програмно-методичного комплексу ОПТАН при вирішенні задач моделювання та оптимізації процесів забезпечення якості РЕА на стадії її виготовлення. Ефективність програмного забезпечення доведено на прикладах процесів виготовлення друкованих плат, а також універсальних осцилографів та підсилювачів. Сформульовані рекомендації щодо його використання для дослідження технологічних процесів виготовлення виробів електронної техніки, приладобудування тощо

Ключові слова: технологічні процеси виготовлення РЕА, оптимізація технологічних процесів, програмно-методичний комплекс ОПТАН

Представлены результаты применения программно-методического комплекса ОПТАН для решения задач моделирования и оптимизации процессов обеспечения качества РЕА на стадии ее изготовления. Эффективность программного обеспечения доказана на примерах процессов изготовления печатных плат, а также универсальных осциллографов и усилителей. Сформулированы рекомендации по его использованию для исследования технологических процессов изготовления изделий электронной техники, приборостроения и т.д.

Ключевые слова: технологические процессы изготовления РЕА, оптимизация технологических процессов, программно-методический комплекс ОПТАН

Ю.Я. Бобало

Доктор технічних наук, професор*

Контактний тел.: (032) 258-21-56

E-mail: trr@polinet.lviv.ua

А.П. Бондарєв

Доктор технічних наук, доцент*

Контактний тел.: (032) 258-21-56

E-mail: bondap@ukr.net

М.Д. Кіселичник

Кандидат технічних наук, доцент*

Контактний тел.: (032) 258-21-56

E-mail: trr@polinet.lviv.ua

О.В. Надобко

Кандидат технічних наук, доцент*

Контактний тел.: (032) 258-21-56, (032) 222-66-48

E-mail: t-pasha-red@mail.ru

Л.А. Недоступ

Доктор технічних наук, професор*

Контактний тел.: (032) 258-21-56, 098-127-19-98

E-mail: trr@polinet.lviv.ua

П.В. Тарадаха*

*Кафедра теоретичної радіотехніки та радіовимірювань**

Контактний тел.: 096-820-36-77

E-mail: t-pasha-red@mail.ru

Л.В. Чирун

Кандидат технічних наук, доцент

Кафедра програмного забезпечення**

Контактний тел.: (032) 258-21-56, (032) 223-62-84

E-mail: chyrunlv@mail.ru

Т.В. Шестакевич

Асистент

Кафедра інформаційних систем та мереж**

Контактний тел.: (032) 258-21-56

E-mail: fishmy2006@rambler.ru

**Національний університет «Львівська політехніка»

вул. С. Бандери, 12, м. Львів, Україна, 79000

1. Вступ та постановка задачі

В Національному університеті «Львівська політехніка» колективом авторів під науковим керівництвом проф. Недоступа Л.А. проводяться роботи з розробки

наукових основ та методів моделювання та оптимізації процесів забезпечення якості РЕА на стадії виготовлення. Результати цих досліджень опубліковані в багатьох наукових роботах, наприклад, в [1-3]. Можна стверджувати, що сьогодні розроблена універсальна

методологія моделювання та оптимізації виробничо-технологічних процесів виготовлення РЕА як основної стадії, на якій формуються потрібні властивості та якісні показники виробів. Перелічені вище та інші роботи авторів склали основу для розробки відповідного прикладного програмного забезпечення, яке відоме під загальною назвою “програмно-методичний комплекс “ОПТАН“. Комплекс ОПТАН уже знайшов використання при вирішенні ряду конкретних практичних задач [4,5].

Метою даної роботи є аналіз результатів практичного використання та впровадження комплексу ОПТАН з метою розширення переліку вирішуваних задач, розробки рекомендацій для більш широкого його використання, подальшого удосконалення як методики моделювання та оптимізації технологічних процесів (ТП), так і програмного забезпечення в цілому.

2. Призначення комплексу ОПТАН

Програмно-методичний комплекс ОПТАН призначений для вирішення задач, пов'язаних з моделюванням виробничо-технологічних процесів виготовлення РЕА будь-якої складності та призначення, дослідження базових варіантів реалізації цих процесів та їх оптимізації шляхом оптимізації операцій контролю за критерієм мінімуму сумарних виробничих та експлуатаційних витрат.

3. Перелік досліджуваних технологічних процесів

Для тестування комплексу, оцінки ефективності його практичного використання проведені комплексні дослідження трьох груп технологічних процесів виготовлення РЕА. Першу групу складають типові технологічні процеси виготовлення друкованих плат за різними технологіями, в тому числі комбінованим позитивним методом, виготовлення плат із металізованими отворами на фольгованому матеріалі (субтрактивний метод), виготовлення плат на нефольгованих матеріалах з адгезивним шаром (напівадитивний метод), а також виготовлення багат шарових плат методом металізації наскрізних отворів. Вибір саме таких процесів зумовлений наступними міркуваннями. По-перше, ці процеси складають групу типових ТП, а отже добре відпрацьовані і широко використовуються. По-друге, для їх практичної реалізації використовується типове технологічне та контрольне обладнання. Важливо також, що на підприємствах-виробниках плат накопичені необхідні об'єми інформації стосовно їх ефективності, переліку та видів виявлених дефектів, витрат на їх усунення, перелік виявлених дефектів на стадії експлуатації та ін. Все це дозволяє провести достатньо повні та об'єктивні дослідження таких процесів.

Другу групу складають ТП виготовлення виробів електронної техніки, серед яких процеси виготовлення рідкокристалічних індикаторів та інтегральних біполярних мікросхем. Вибір цих процесів дозволив зробити висновки щодо використання програмного забезпечення не лише для моделювання та оптимізації ТП виготовлення РЕА, а і виробів електронної техніки.

До третьої групи увійшли процеси виготовлення універсальних осцилографів та високоякісних побутових підсилювачів. Розглядаючи ці вироби як завершені конструктивні та технологічні об'єкти, проведені дослідження ТП їх виготовлення, включаючи також етап гарантійної експлуатації. Для спрощення аналізу таких великих виробничо-технологічних структур, якими без сумніву є ТП виготовлення вказаних виробів, використаний принцип декомпозиції. Такий підхід дозволив провести спочатку аналіз простіших ТП, визначити оптимальні варіанти їх реалізації, а потім перейти до етапу моделювання та оптимізації ТП в цілому. Досвід показав, що в цьому випадку часто можна мати декілька варіантів реалізації ТП в цілому, оскільки можуть бути різні варіанти побудови простих ТП, зумовлені в першу чергу можливістю використання різного технологічного та контрольного обладнання.

4. Математична модель сумарних витрат

Одним із критеріїв оптимальності є критерій мінімуму сумарних виробничих та експлуатаційних витрат. В загальному випадку функція сумарних витрат представляється у вигляді функції багатьох параметрів ТП:

$$C_{\Sigma} = C(\{P_{пр,0,i}\}, \{P_{в,k,i}\}, \{P_{k,i}\}, \{K_{k,i}\}, \{C_{кон,k,i}\}, \{C_{k,i}\}, \{C_{експ,i}\}, N), (1)$$

тут $\{P_{пр,0,i}\}$ - імовірності пропуску дефектів з вхідного контролю; $\{P_{в,k,i}\}$ - імовірності введення дефектів при формуванні і-го параметра виробів на k-му кроці ТП; $\{P_{k,i}\}$ - імовірності правильного контролю і-го параметра на k-му кроці ТП; $\{K_{k,i}\}$ - параметри глибини поопераційного контролю; $\{C_{кон,k,i}\}$ - витрати, пов'язані з проведенням контролю і-го параметра на k-му кроці ТП; $\{C_{k,i}\}$ - витрати на усунення дефектів, виявлених при контролі; $\{C_{експ,i}\}$ - витрати на усунення дефектів виробництва виявлених на стадії гарантійної експлуатації; N - кількість виробів.

Множини параметрів, які входять в (1) представляються у вигляді відповідних матриць, що суттєво спрощує роботу з такою моделлю. Принципи формування та структури цих матриць описані у багатьох роботах авторів [1-3].

Один із можливих варіантів задання функції (1), який реалізований в комплексі ОПТАН, має такий вигляд:

$$C_{\Sigma} = (K \cdot C_{кон}) + (C_k \cdot P_{дем} \cdot P) + (C_{експ} \cdot P_{пр}), (2)$$

тут в дужках умовно показані добутки відповідних матриць, які передбачають поелементне множення відповідних матриць з подальшим обчисленням суми елементів результуючих матриць.

Функція сумарних витрат (2) містить три складові. Перша з них – це витрати, пов'язані з організацією та проведенням операцій контролю якості виконання кожної технологічної операції. Друга складова – витрати, які виникають в результаті необхідності усунення дефектів, виявлених в ході виготовлення виробів. Третя складова – це витрати, які несе виробник і які

пов'язані з необхідністю усунення дефектів (браку), виявлених в період гарантійної експлуатації виробів.

Всі параметри функції (2) можуть виступати в якості параметрів оптимізації. На практиці серед них все ж вибирають, в першу чергу, такі, які мають найбільший вплив на функцію (2), функціонально пов'язані з іншими параметрами, легко можуть змінюватися в умовах реального виробництва. Таким вимогам найбільше відповідають параметри глибини контролю, які формально задаються множиною $\{k_{i,i}\}$.

Таким чином, якщо в якості параметрів оптимізації (і, відповідно, й параметрів керування ТП) вибрати параметри глибини контролю, то задача оптимізації ТП зводиться до оптимізації процедур контролю:

$$\begin{aligned} \{k_{i,i}\} &\rightarrow \{k_{i,i}\}_{\text{opt}}, \\ C_{\Sigma} &= C_{\Sigma\text{min}}. \end{aligned} \quad (3)$$

Слід відмітити, що крім задачі (3) в комплексі ОПТАН передбачена можливість вирішення і інших задач оптимізації, в тому числі, наприклад, вирішення задачі (3) при додатковій умові забезпечення допустимого рівня дефектів, або задачі мінімізації дефектів при допустимому рівні сумарних витрат та ін.

5. Вибір методів оптимізації

Серед переліку вирішуваних задач задача оптимізації ТП є основною. В рамках програмно-методичного комплексу ОПТАН ця задача вирішується шляхом оптимізації процедур контролю технологічних операцій, а параметром оптимізації вибрано глибину контролю. Кількісно цей параметр визначається як відношення числа фактично контрольованих параметрів на відповідній стадії ТП до числа параметрів контролю, заданих технологічними документами. При аналізі базового варіанту ТП приймається, що глибина контролю рівна одиниці.

В [6] показано, що для вирішення задач оптимізації в заданій постановці можна використати три методи оптимізації – метод покрокової оптимізації, методи “золотого січення” та Хука-Дживса. Додатково в комплексі ОПТАН передбачена можливість використання як одного з цих методів окремо, так і одночасно всіх трьох з паралельним виводом результатів оптимізації. Вибір варіанту використання методів оптимізації залежить від мети оптимізації, очікуваних результатів, глибини аналізу технологічних процесів та варіантів їх контролю та інших вимог.

6. Результати практичного використання

Як приклад, на рис. 1 наведена формалізована схема технологічного процесу виготовлення друкованих плат комбінованим позитивним методом. Відповідно до авторської методики такий ТП представлений у вигляді 6-ти крокової моделі і описується системою імовірнісних характеристик, які в цілому характеризують імовірності пропуску дефектів з вхідного контролю, імовірності формування дефектів при виконанні відповідної технологічної операції, імовірності правильного контролю, імовірності виявлення та пропуску дефектів після проведення контролю на кожній технологічній операції.

Ці імовірності виступають аргументами функції сумарних витрат (1), а взаємозв'язки між ними складають суть математичної моделі досліджуваного ТП [1-3].

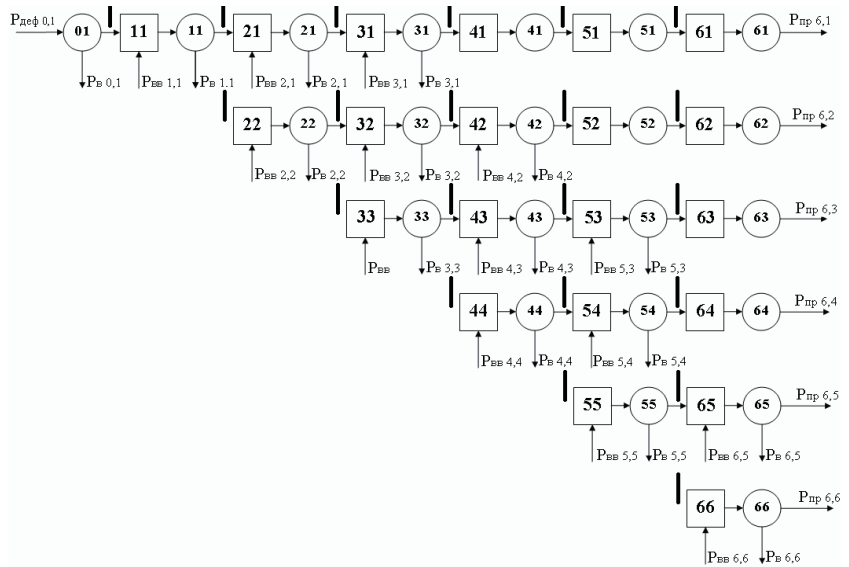


Рис. 1. Формалізована схема технологічного процесу виготовлення друкованих плат комбінованим позитивним методом

На рис. 2а представлено вікно введення текстової інформації про досліджуваний ТП, включаючи назву моделі, кількість та назви формалізованих технологічних операцій. рис. 2б ілюструє приклад формування (введення) матриці ймовірностей введення дефектів, використовуючи стандартні матриці-шаблони.

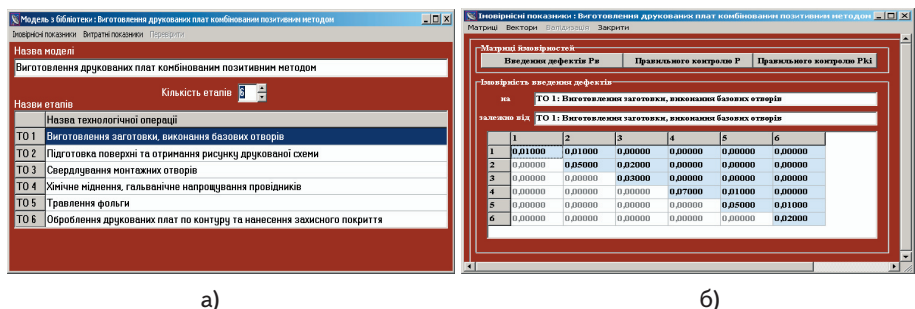


Рис. 2. Вікна введення інформації про ТП виготовлення друкованих плат комбінованим позитивним методом: а – приклад введення текстової інформації; б – приклад введення матриці

Результати оптимізації приведені на рис. 3, де зображені порівняльні діаграми оптимальних значень глибини контролю для ТП виготовлення

друкованих плат за субтрактивною технологією (рис. 3а) та виготовлення рідкокристалічних індикаторів (рис. 3б).

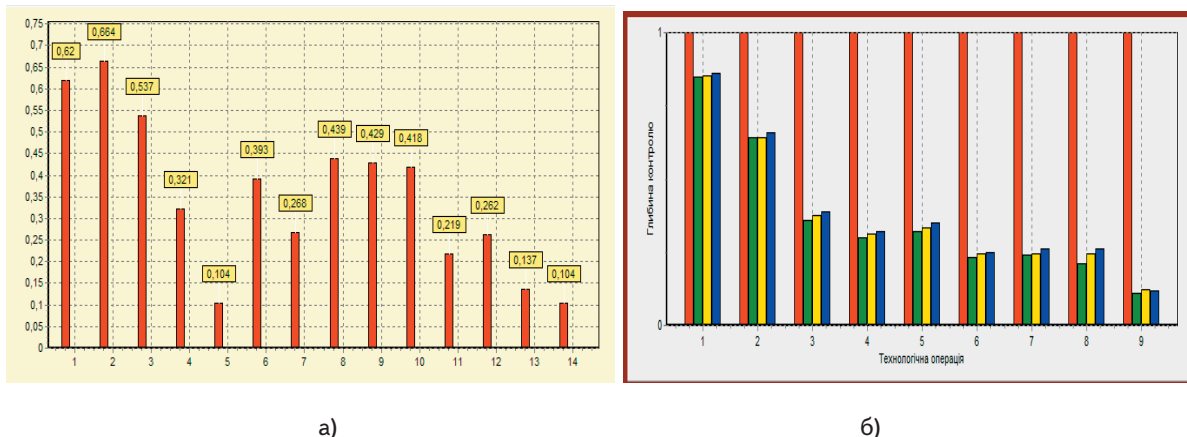


Рис. 3. Результати оптимізації ТП виготовлення плат субтрактивним методом (а) (реалізований метод покрової оптимізації) та виготовлення рідкокристалічних індикаторів (б) (реалізовані методи покрової оптимізації, “золотого січення” та Хука-Дживса)

Варіант формування графічної інформації ілюструє рис. 4. Наявність таких залежностей дозволяє вибирати раціональні варіанти організації контролю, близькі до оптимальних. Така ситуація може

виникнути, коли реалізація строго оптимального варіанту контролю неможлива, наприклад, із-за відсутності потрібного технологічного та контрольного обладнання та в інших випадках.

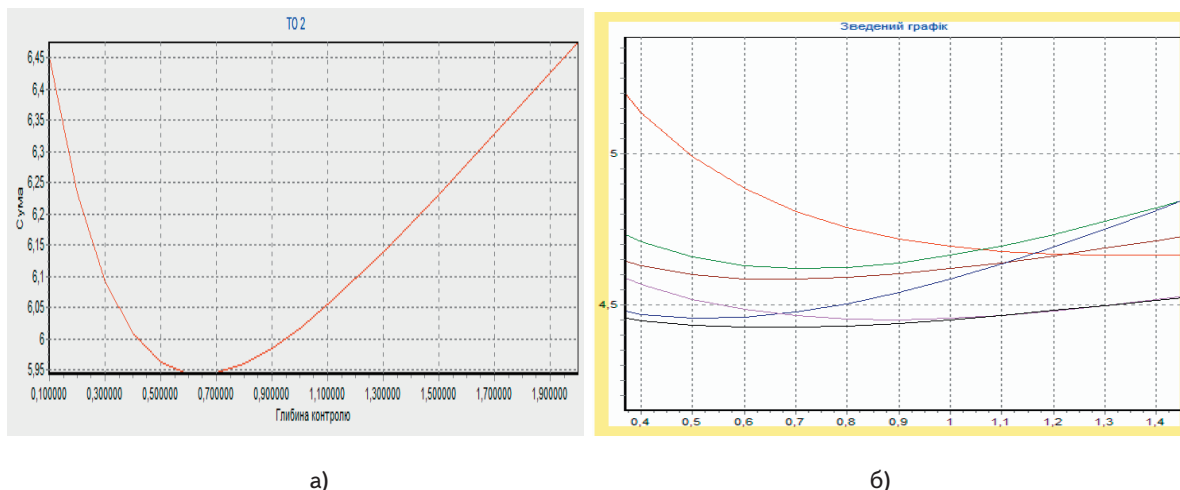


Рис. 4. Принцип формування графічної інформації: а – залежність сумарних витрат від глибини контролю для ТП виготовлення рідкокристалічних індикаторів (ТО 2 – нанесення прозорого струмопровідного шару); б – зведені графіки аналогічних залежностей, отримані для ТП виготовлення друкованих плат комбінованим позитивним методом

7. Висновки

Програмно-методичний комплекс ОПТАН є універсальним програмним продуктом і придатний для вирішення цілого переліку практичних задач з моделювання, дослідження та оптимізації виробничо-технологічних процесів виготовлення РЕА, виробів електронної техніки, а також може знайти застосування в приладобудуванні, машинобудуванні та інших галузях.

Його застосування дає можливість створити як універсальні математичні, так і універсальні комп’ютерні моделі відповідних ТП, що дозволяє їх використовувати на усіх підприємствах-виробниках аналогічної продукції. Рекомендується для вирішення задач оцінки ефективності існуючих варіантів контролю ТП, при розробці ТП, виборі раціональних варіантів контролю, обґрунтуванні вибору використовуваного контрольного та технологічного обладнання та ін.

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 [Текст] / 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 [Текст] / Ю.Я. Бобало, Л.А. Недоступ, М.Д. Кіселичник // Вісник Національного університету „Львівська політехніка”. – 2009. – № 637: Електроенергетичні та електромеханічні системи. – С. 7-11.
4. Bobalo Yu., Nedostup L., Nadobko O., Kiselychnyk M., Lazko O. OPTAN - Software for Modelling, Analysis and Optimization of Electronic Devices Process Improvement // Przegląd Elektrotechniczny (Electrical Review). – ISSN 0033-2097. - 2009. – R. 85. - NR 4. - P. 59-61.
5. Програмний комплекс для вирішення задач моделювання та оптимального керування процесами забезпечення якості радіоелектронної апаратури / Кіселичник М.Д., Надобко О.В., Недоступ Л.А., Чирун Л.В., Шестакевич Т.В. // АВТОМАТИКА / AUTOMATICS-2011:: матеріали конф., Львів - Л.: Вид-во Львів. політехніки, 2011. – С. 394-395.
6. Надобко, О.В. Методи оптимізації процесів забезпечення якості РЕА на стадії виготовлення [Текст] / 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.

Abstract

At the Lviv Polytechnic National University under the scientific guidance of professor Nedostup L. A. a group of authors are developing the scientific basis and methodology of modeling and optimizing of radio-electronic equipment (REE) at the stage of its manufacturing. Nowadays, a software complex OPTAN, which is applied to solve a range of practical tasks was developed at the basis of this work.

The aim of this work is to analyze the results of practical usage and the implementation of OPTAN complex to expand the list of solved problems, develop recommendations for its wider use, as well as further improvement of both modeling and optimization of technological processes (TP) techniques, and software in general.

Three groups of REE manufacturing processes were conducted to test OPTAN and evaluate its practical use. The first group is typical TP of PCB fabrication with various techniques. The second group consists of technological processes of electronic equipment manufacturing, such as liquid crystal display and bipolar integrated circuits manufacturing processes. The third group includes universal oscillographs processes and high quality domestic amplifiers. The principle of decomposition is applied to simplify the analysis of such industrial and technological structures, when initially the simpler TP is analyzed, optimal options for their implementation are determined, and then passes to the stage of TP modeling and optimization in general

Keywords: *technological processes of radio electronic equipment production, technological processes optimization, program-methodical complex OPTAN*