

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

завідувача кафедри електронних засобів та інформаційно-комп'ютерних технологій Одеського національного політехнічного університету, доктора технічних наук, доцента Єфіменка Анатолія Афанасійовича на дисертацію **Нестор Наталії Ігорівни**

«Статистичне моделювання технологічних процесів виробництва радіоапаратури методом характеристичних функцій», представлену до захисту на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю **05.12.13 – радіотехнічні пристрої та засоби телекомунікацій**

Актуальність обраної теми. Завдання аналізу та оптимізування технологічних процесів виробництва радіоелектронних пристроїв (РЕП) є актуальними, особливо на сучасному етапі, коли жорстко стоїть питання конкурентоздатності продукції. Цю конкурентну боротьбу виграє виріб, який має найкраще співвідношення ціни та якості.

Вимоги сучасного виробництва не задовольняє управління, яке обмежується початковим настроюванням обладнання, доналаштуванням або заміною неякісного інструменту. Багато технологічних процесів (ТП) вимагають застосування сучасних засобів управління, які забезпечують оптимальний хід технологічного процесу навіть при випадкових відхиленнях характеристик матеріалів, параметрів технологічного середовища, зношування інструменту, а також при температурних, силових та інших збуреннях.

Для створення таких систем управління необхідний математичний опис ТП, який розкриває вплив на нього всього різноманіття зовнішніх і внутрішніх факторів. Точність процесу в цілому залежить від різних комбінацій можливих величин кожної із виробничих похибок, що обумовлює необхідність застосування теорій ймовірностей та математичної статистики до проблем точності. Існує низка підходів до вирішення питання математичного опису технологічних процесів: точкові оцінки, інтервальні оцінки, опис за допомогою функцій розподілу ймовірностей відхилень параметрів від номіналу. Опис за допомогою функцій розподілу ймовірностей відхилень параметрів від номіналу – найбільш повний опис, але і найменш досліджений через високу складність аналізу. Цей метод є найбільш інформативним в плані моделі, тому що, маючи наскрізний закон розподілу, можна отримати будь-які необхідні точкові та інтервальні оцінки. Як правило, при такому описі застосовують апроксимацію законів розподілу відомими функціями, що дещо знижує його адекватність.

Дисертаційні дослідження Нестор Н. І. спрямовані на вирішення такого актуального наукового завдання як розроблення економного за витратами часу методу аналізу технологічних процесів виготовлення радіоелектронних пристроїв на основі імовірно-статистичних моделей із використанням характеристичних функцій.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій. У дисертаційній роботі викладені наукові положення, висновки та рекомендації достатньо обґрунтовані та підтверджені експериментально.

У вступі наведено обґрунтування вибору теми дослідження, зв'язок з науковими програмами, планами, темами, сформульовано мету та завдання дослідження, визначено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, подано інформацію про впровадження результатів роботи, особистий внесок здобувача, апробацію роботи і публікації.

У першому розділі проведено аналіз показників якості та особливостей процесів виготовлення РЕП, а також методів їх прогнозування, який показав, що структури технологічних схем різних ТП можна звести до декількох типових і переважна більшість існуючих методів прогнозування якості продукції базується на точкових або інтервальних оцінках імовірності відхилення контрольованого параметра від нормативу без урахування фактичного розподілу цих відхилень. Проведений аналіз особливостей технологічних процесів виготовлення РЕП дозволяє зробити важливий висновок про актуальність дослідження можливостей застосування апарату характеристичних функцій для дослідження задач точності технологічних процесів. Обґрунтовано роль статистичних методів для аналізу і кількісного оцінювання точності технологічних процесів. На основі проведеного аналізу викладені висновки для формування завдань, які покликані забезпечити поставлену мету роботи - розроблення економного за витратами часу методу аналізу технологічних процесів виготовлення РЕП на основі імовірно-статистичних моделей із використанням математичного апарату характеристичних функцій.

У другому розділі розроблено моделі типових технологічних операцій і метод їх побудови на основі ступінчатої функції розподілу, яку пропонується використовувати як універсальну функцію густини розподілу ймовірностей.

Ступінчаста густина розподілу ймовірностей, яка відповідає кусково-лінійному інтегральному розподілу, є зручною і простою апроксимацією для густин складної форми. Крім того, ступінчаста густина використовується для представлення в моделі вхідних даних у вигляді експериментально знятих гістограм.

Отримано вирази для характеристичних функцій такого розподілу в одно- і багатовимірному випадках. Застосування апарату характеристичних функцій дає можливість визначити статистичні характеристики будь-яких технологічних процесів без застосування наближених (апроксимаційних) методів. Як видно з наведених прикладів, точність відновлення початкового розподілу з характеристичної функції є достатньо високою, а операції з ними, виходячи з властивостей, достатньо простими. Усе це робить можливим спрощення роботи з статистичними даними технологічних процесів, зберігаючи при цьому всю інформацію про розподіл значень параметра.

Третій розділ дисертаційної роботи присвячений моделюванню точності технологічних процесів і розробленню пакету процедур для аналізу та оптимізації технологічних процесів. Реальні ТП є складними та громіздкими за своєю структурою. Для спрощення їх математичного опису та полегшення обчислень виділені типові послідовності (структури) виконання технологічних операцій. Для них виведені вирази, які дозволяють розглядати таку структуру як укрупнену технологічну операцію. Такий підхід дозволяє спрощувати моделювання та аналіз технологічних процесів.

Розроблена структура підсистеми для формування моделі ТП та його аналізу передбачає можливість згортання технологічного процесу до моделі однієї технологічної операції. В процесі розробки підсистеми береться до уваги, що для проведення статистичного аналізу можливо створювати бібліотеку моделей шляхом поновлення даних, описуючи вхідні та вихідні відносні похибки кожної з операцій технологічного процесу та у випадку неможливості здійснення такого опису, отримання експериментальних даних. Опис моделі здійснюється за допомогою як текстової так і графічної інформації.

В четвертому розділі здійснено порівняння результатів аналізу та оптимізації шестикрокового ТП виготовлення друкованих плат РЕП комбінованим позитивним методом за допомогою розробленого прототипу програмного комплексу, який використовує моделювання технологічного процесу за допомогою характеристичних функцій, та програмного комплексу ОПТАН-ГК, розробленого у Національному університеті «Львівська політехніка». Проведений аналіз показав, що врахування реальних законів розподілу відносних відхилень дає більш точний прогноз відсотка браку, аніж аналіз на основі точкових оцінок. Отримані результати показують, що розроблені моделі, на відміну від точкових та інтервальних оцінок, є чутливими до форми розподілу відносних відхилень контрольованого параметра, що дає змогу для оцінки виходу придатних виробів підвищити точність прогнозу на 6-10%.

Достовірність одержаних у роботі результатів. Наукові положення, висновки та рекомендації, сформульовані у дисертаційній роботі, є достовірними та обґрунтованими, що підтверджується відповідністю засадам теорії надійності, теорії імовірності, використанням методів оптимізації, методів прийняття рішень, а також експериментальним дослідженням та оптимізацією технологічних процесів виготовлення радіоелектронної апаратури. Всі висновки, рекомендації і положення, задекларовані у дисертаційній роботі Нестор Н.І., є науково обґрунтованими та апробованими на міжнародних науково-технічних конференціях.

Наукові та практичні результати роботи достатньо повно викладені у публікаціях автора та апробовані на конференціях.

Новизна одержаних результатів. В дисертаційній роботі отримано наукові результати, що наведені нижче:

– вперше розроблено метод аналізу похибок складних за структурою технологічних процесів, який на відміну від точкових та інтервальних оцінок ґрунтується на аналізі повного фактичного розподілу багатовимірних випадкових величин, що для лінеаризованих (відносно похибок) моделей робить можливим суттєво підвищити адекватність самої моделі, а отже знизити вартість робіт по розробці ТП;

– вперше на базі розробленого методу для оцінювання багатовимірних розподілів похибок технологічних операцій і побудови їх моделей отримані характеристичні функції, які дають змогу описувати реальні закони розподілу відносних відхилень контрольованого параметра без обмежень на характер статистичних зв'язків між ними;

– удосконалено метод прогнозування статистичних показників щодо виходу придатних виробів за статистикою дефектів технологічних операцій, що робить можливим підвищити точність оцінювання технологічного процесу з урахуванням індивідуальності конкретного виробництва.

Важливість отриманих результатів для науки і народного господарства. Наукові результати, отримані дисертантом, можуть слугувати теоретичною базою для вдосконалення аналізу технологічних процесів виготовлення радіоелектронних пристроїв на основі ймовірнісно-статистичних моделей із використанням характеристичних функцій, що дає змогу для оцінки виходу придатних виробів підвищити точність прогнозу та отримати вигоду від застосування запропонованого методу по часу на 2-3 порядки.

Практичне використання одержаних автором наукових результатів.

В ході виконання дисертаційної роботи одержано такі практичні результати:

1. На основі аналізу існуючих методів дослідження технологічних процесів зроблено висновок, що ці методи в основному використовують точкові або інтервальні оцінки. Тому актуальним є розроблення методів статистичного оцінювання ТП, які враховують реальні розподіли відносних відхилень контрольованих параметрів від номіналу.

2. Розроблено метод отримання аналітичних виразів та графіків реальних розподілів на базі характеристичних функцій, які дають змогу відновлення по них розподілу відносних відхилень контрольованого параметра з похибкою не більше 10^{-13} .

3. Визначено базовий набір операцій технологічного процесу, який складається з типових операцій обробки, а саме:

- з одним потоком на вході та одним потоком на виході;
- з декількома потоками на вході і одним потоком на виході;
- з одним потоком на вході і декількома потоками на виході.

До базового набору також внесені операції контролю з відбракуванням виробів по нижній межі та з відбракуванням виробів по верхній межі.

4. Отримані аналітичні вирази на основі характеристичних функцій для опису елементів базового набору технологічних операцій та графічно проілюстровано перетворення «вхід-вихід» закону розподілу відносних відхилень контрольованих параметрів ряду типових технологічних операцій.

5. Отримані аналітичні вирази для типових з'єднань декількох операцій:

- послідовного;
- паралельного з'єднання з однотипними потоками на вході;
- паралельного з'єднання з різнотипними потоками на вході.

6. Для прогнозування статистичних показників щодо виходу придатних виробів за статистикою дефектів технологічних операцій розроблено ітераційний алгоритм шляхом заміни декількох технологічних операцій однією еквівалентною з метою зменшення кількості обчислень. Згідно цього алгоритму спрощення можливо проводити покроково, включно із заміною усього технологічного процесу однією еквівалентною операцією.

7. Розроблений метод був застосований до аналізу чотирьох типових технологічних процесів у виробництві РЕП. Отримані результати показують, що розроблені моделі, на відміну від точкових та інтервальних оцінок, є чутливими до форми розподілу відносних відхилень контрольованого параметра, що робить можливим підвищити точність прогнозу виходу непридатних виробів на 6-10%.

8. Розроблено економний за витратами часу метод аналізу технологічних процесів виготовлення РЕП на основі імовірнісно-статистичних моделей із використанням характеристичних функцій.

Результати роботи знайшли використання в лекційному курсі та лабораторних заняттях для студентів спеціальності 122 Комп'ютерні науки на кафедрі систем автоматизованого проектування Національного університету «Львівська політехніка» в дисциплінах «Розробка систем комп'ютерного проектування» та «Автоматизовані системи технологічної підготовки виробництва». Моделі, запропоновані Нестор Н.І., використані для визначення оптимального розміщення операцій контролю і вибору параметрів контролю технологічного процесу виробництва телеметричної апаратури для ракетноносіїв ТОВ НВП «ХАРТРОН-ЮКОМ».

Повнота викладення наукових положень, висновків, рекомендацій у опублікованих працях. Наукові результати, отримані під час дисертаційних досліджень, викладено в 24 наукових роботах, серед яких: 10 наукових праць, в яких опубліковані основні результати дисертації; 14 наукових праць, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації. Аналіз змісту опублікованих наукових робіт дозволяє зробити висновок про повноту викладення у них основних результатів дисертаційної роботи, а їх кількість – про достатній рівень апробації на конференціях.

Автореферат дисертаційної роботи повністю відповідає її змісту, висвітлює всі отримані наукові та практичні результати.

Відповідність дисертації встановленим вимогам. Дисертаційна робота Нестор Н.І. представляє собою закінчене і цілісне дослідження з чіткою структурою та логічним викладенням матеріалу, повною мірою відображає зміст етапів досліджень. Грубих помилок у висунутих гіпотезах, логічності висновків, використаних методів не виявлено.

Представлені рукопис дисертації та автореферат у повній мірі відображають зміст роботи, відповідають паспорту спеціальності 05.12.13 – радіотехнічні пристрої та засоби телекомунікацій за наступними напрямками досліджень:

– дослідження й розроблення принципів і методик оптимального проектування вузлів та пристроїв радіотехніки й телекомунікацій, зокрема з урахуванням детермінованих та випадкових відхилень параметрів від номінальних значень;

– розроблення методів підвищення ефективності вузлів і пристроїв у системах радіотехніки та телекомунікацій на підставі аналізу, синтезу й оптимізації їх структурних та принципівих (електричних) схем і режимів роботи.

Дисертаційна робота за структурою, мовою та стилем викладання відповідає чинним вимогам нормативних документів МОН України щодо кандидатських кваліфікаційних наукових праць.

Застосована в роботі наукова термінологія є загально визнаною, стиль викладення автором результатів теоретичних і практичних досліджень, нових наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечує доступність їх сприйняття та використання.

Оформлення дисертації відповідає вимогам, встановленим у «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника».

Зауваження до дисертаційної роботи:

– в формулах (1.1), (1.2) відсутні складові y_i та $y_i(t)$, які приведені в поясненнях до них;

– в першій частині підрозділу 1.2 замість загальновідомих визначень елементів технологічних процесів доцільно було б навести їх класифікацію;

– у пункті 2.2.1 «...значення модуля різниці знаходиться в інтервалі від 6.698×10^{-15} до 2.19×10^{-12} ». Мабуть повинно бути $2,19 \times 10^{-12}$;

– відсутнє посилання на рис. 2.2;

– у нерівності (3.21) не розкрито позначення $cost$ (вартість);

– до рис. 3.9, 3.10 не приведені описи, які дозволили б прослідкувати побудову графової моделі ТП на основі аналітичної моделі ТП;

– у пункті 3.3.5 використано термін «технологічна ланка», але не дається його визначення;

– два рисунки мають одне позначення – рис. 3.12;

– в розділі 4 мова йде про те, що він присвячений аналізу конкретного ТП виготовлення друкованих плат, а наведений приклад у пункті 4.4.1 торкається виготовлення інтегральних схем;

Однак, виявлені зауваження не знижують наукову значимість і практичну цінність проведених автором досліджень.

ВИСНОВКИ

Вважаю, що дисертаційна робота Нестор Н.І. є завершеним науковим дослідженням, виконана на високому науковому і теоретичному рівні. Отримані нові наукові результати вирішують актуальні проблеми розроблення економного за витратами часу методу аналізу технологічних процесів виготовлення радіоелектронних пристроїв на основі ймовірнісно-статистичних моделей із використанням характеристичних функцій.

У цілому представлена робота відповідає вимогам «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України за актуальністю теми, ступенем обґрунтованості та достовірності

результатів, науковою новизною та практичним значенням, а її автор, Нестор Наталія Ігорівна, заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.13 – радіотехнічні пристрої та засоби телекомунікацій.

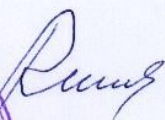
Офіційний опонент
доктор технічних наук, доцент,
завідувач кафедри електронних засобів
та інформаційно-комп'ютерних технологій
Одеського національного
політехнічного університету



А.А. Єфіменко

Підпис Єфіменка А. А. засвідчую

Вчений секретар
Ради університету



В.І. Шевчук