

67-72-09/2  
18.02.19

## ВІДГУК

### офіційного опонента

на дисертаційну роботу Нестор Наталії Ігорівни, яка виконана за темою  
«Статистичне моделювання технологічних процесів виробництва  
радіоапаратури методом характеристичних функцій», подану на здобуття  
наукового ступеня кандидата технічних наук  
за спеціальністю 05.12.13 – радіотехнічні пристрої та засоби телекомунікацій

**Актуальність теми дисертації.** Процес моделювання та оптимізації технологічного процесу безпосередньо пов'язаний із процедурою статистичного опрацювання даних комп'ютерного чи реального експерименту. Такий підхід не лише не розриває неперервний виробничий процес, але й дає змогу здійснювати його цілеспрямовану корекцію, в тому числі – за умови шкідливих впливів різноманітних випадкових факторів, зокрема таких, як фізична неоднорідність матеріалів, параметри якості енергоносіїв, втомлюваність засобів виробництва, температурні, силові та інші збурення. Як свідчить практика, оптимальним в цьому плані залишається математичне моделювання на основі співвідношень і теорем теорії ймовірностей та математичної статистики. Незважаючи на те, що базові засади статистично-оптимізаційних методів в основному розроблені, врахування реальних виробничих дефектів вимагає конкретизації самих математичних моделей, перш за все, із урахуванням результатів різноманітних процедур інтерполяції та лінеаризації експериментальних даних. Тому актуальним є наукове завдання розроблення економного за витратами часу методу аналізу технологічних процесів виготовлення радіоелектронних пристроїв на основі імовірнісно-статистичних моделей із використанням характеристичних функцій, що і стало метою дисертаційної роботи.

Для досягнення поставленої мети в дисертаційній роботі проведено аналіз існуючих методів дослідження технологічних процесів, зокрема у галузі виробництва радіоелектронних пристроїв; розроблено метод отримання аналітичних виразів для опису реальних розподілів на базі характеристичних функцій, які дають можливість відновлення розподілу відносних відхилень контрольованих параметрів із максимальною точністю; визначено базовий набір операцій технологічного процесу, який складається з операцій обробки та

операцій контролю; отримано аналітичні вирази на основі характеристичних функцій для опису елементів базового набору технологічних операцій; досліджено вплив технологічних операцій з типового набору на закон розподілу відносних відхилень контрольованих параметрів виробу; отримано аналітичні вирази для еквівалентних перетворень послідовного та паралельного з'єднання технологічних операцій, які складають базовий набір; розроблено алгоритм прогнозування відсотка придатних виробів на виході технологічного процесу згідно зі статистикою дефектів технологічних операцій.

### **Наукова новизна одержаних результатів.**

1. Уперше розроблено метод аналізу похибок складних за структурою технологічних процесів (ТП), 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 на розроблення ТП.

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

3. Удосконалено метод прогнозування статистичних показників якості готових виробів на основі статистики дефектів технологічних операцій, що робить можливим підвищити точність оцінювання технологічного процесу з урахуванням індивідуальності конкретного виробництва.

**Зв'язок теми дисертації з державними програмами, науковими напрямами університету та кафедри.** Завдання, які розглядаються у дисертаційній роботі, є складовою частиною наукових проектів, які здійснюються на кафедрі теоретичної радіотехніки та радіовимірювань Національного університету «Львівська політехніка». Зокрема, тема дисертаційної роботи відповідає науковому напрямку кафедри «Теоретична радіотехніка та радіовимірювання» – «Теорія і методи проектування радіотехнічних кіл, систем і комплексів та забезпечення їх якості» та науковому напрямку кафедри «Системи автоматизованого проектування» – «Моделювання технологічних процесів та складних систем».

### **Структура роботи:**

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.

У **другому розділі** – розроблено моделі типових технологічних операцій і метод їх побудови на основі ступінчастої функції розподілу. **Третій розділ** – дисертаційної роботи присвячений моделюванню точності технологічних процесів і розробленню пакету процедур для аналізу та оптимізації технологічних процесів.

У **четвертому розділі** – здійснено порівняння результатів аналізу та оптимізації шести-крокового ТП виготовлення друкованих одношарових плат РЕА 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».

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

Представлені рукопис дисертації та графічний матеріал 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 принципових (електричних) схем і режимів роботи.

Автореферат ідентичний за змістом до дисертації і достатньо повно відображає основні наукові положення, практичну цінність та одержані результати.

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

**Науково-практичне значення отриманих результатів** полягає в тому, що розроблені моделі та алгоритми роблять можливим ще на ранніх стадіях проектування радіоелектронних пристроїв проаналізувати похибки технологічного процесу, прогнозувати процент виходу придатних виробів. Вони можуть бути використані при оптимізації структури процесу виготовлення виробів і, в остаточному рахунку, скоротити терміни впровадження серії у виробництво, знизити витрати трудових і матеріальних ресурсів, підвищити якість продукції.

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.

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

3. 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.

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.

4. 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.

5. Розроблений метод був застосований до аналізу чотирьох типових технологічних процесів у виробництві РЕА. 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%.

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

Наукові та практичні 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 ракетносіїв ТОВ НВП «ХАРТРОН-ЮКОМ».

### **Достовірність та обґрунтованість отриманих 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.

### **Зауваження до дисертаційної роботи:**

1. В першому розділі недостатньо уваги приділено аналізу існуючих методів моделювання та оптимізації технологічних процесів.

2. В другому розділі не наведено рекомендацій щодо вибору кроку  $h$  для побудови ступінчастої густини розподілу випадкової величини та не показано впливу цього кроку на точність розрахунків.

3. В дисертаційній роботі при моделюванні операцій контролю враховується можливість тільки повної відбраковки виробів, однак існує необхідність враховувати вироби, якість яких можна покращити якщо відправити на доробку.

4. Не наведено математичної постановки задачі оптимізації технологічного процесу.

5. В четвертому розділі при порівнянні результатів аналізу технологічних процесів запропонованим в дисертаційній роботі методом з результатами отриманим в системі ОПТАНТ-ГК не показано вплив законів розподілу окремих операцій технологічного процесу на результати моделювання.

6. На стор.15 в авторефераті п.2 висновків вказана дуже велика похибка контрольованого параметра  $10^{13}$

7. Для впровадження технологій четвертої промислової революції необхідно забезпечити не тільки аналіз та оптимізацію технологічних процесів на етапі проектування, а й швидкий аналіз та автоматизоване управління технологічним процесом під час виготовлення. З дисертаційної роботи не зрозуміло чи може використовуватись характеристичні функції в системах автоматизованого управління технологічними процесами.

### Загальні висновки:

1. Дисертаційна робота є завершеною науково-дослідною працею, в якій отримані нові науково обґрунтовані результати, що в сукупності вирішують науково-технічне завдання розроблення економного за витратами часу методу аналізу технологічних процесів виготовлення радіоелектронних пристроїв на основі ймовірнісно-статистичних моделей із використанням характеристичних функцій.

2. За змістом дисертаційна робота відповідає вимогам паспорту спеціальності 05.12.13 – радіотехнічні пристрої та засоби телекомунікацій. Автореферат відображає основні положення дисертації.

3. За актуальністю, науковим рівнем розробок та їх практичним значенням, наявністю необхідної кількості та обсягу публікацій дисертаційна робота «Статистичне моделювання технологічних процесів виробництва радіоапаратури методом характеристичних функцій» повністю відповідає вимогам пп. 9, 11, 12 „Порядку присудження наукових ступенів”, а її автор Нестор Наталія Ігорівна заслуговує присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.13 – радіотехнічні пристрої та засоби телекомунікацій.

Офіційний опонент:

кандидат технічних наук, доцент,  
завідувач кафедри інформаційних  
технологій електронних засобів

Запорізького національного технічного університету

Г.М. Шило

Підпис Шило Г.М. засвідчую  
Вчений секретар Запорізького національного  
технічного університету,  
к.соц.н., доцент



В.В. Кузьмін