

## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу  
Шило Галини Миколаївни  
на тему «Статистично-орієнтовані методи допускового  
проектування радіоелектронних пристроїв», подану на здобуття  
наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю  
05.13.12 – системи автоматизації проектувальних робіт

**Актуальність теми дисертаційної роботи.** Розвиток автоматизованих систем та їх застосування при проектуванні виробів надає можливість розробнику радіоелектронних пристроїв використовувати принципово нові інструменти та підходи до скорочення термінів розробки, підвищення якості, вдосконалення технічних рішень та покращення економічних показників.

Від розв'язку задач автоматизації допускового проектування залежать основні показники точності та надійності пристроїв. Параметри елементів радіоелектронного пристрою не можуть бути реалізованими зі значеннями, що в точності дорівнюють номінальному. На відхилення параметрів будуть впливати технологічні похибки виробництва, розкид параметрів матеріалів, а також умови експлуатації. Тому параметри елементів пристроїв є випадкові величини з певними статистичними характеристиками. Це призводить до появи розкидів вихідних характеристик радіоелектронних пристроїв. Знайти розкид вихідних характеристик можна з допомогою комп'ютерного моделювання, або виготовивши дослідну партію компонентів радіоелектронних пристроїв, дослідивши їх та виконавши статистичну обробку результатів вимірювань. Однак такий підхід вимагає значних витрат часу, матеріалів і трудових ресурсів, крім того, у разі аналізу параметрів значної кількості різних електронних компонентів складність задачі значно підвищується. В сучасних системах автоматизованого проектування радіоелектронних засобів реалізовано лише задачі аналізу допустимих відхилень. Існуючі методи синтезу допусків на параметри компонентів

радіоелектронних пристроїв не забезпечують достатньої точності та не використовуються в системах автоматизованого проектування.

Тому тема дисертаційної роботи Шило Г.М., що присвячена вирішенню проблеми підвищення надійності та точності радіоелектронних пристроїв шляхом розроблення методів та засобів призначення допусків параметри елементів, які враховують технологічні та експлуатаційні обмеження, а їх програмна реалізація інтегрована з системами автоматизованого проектування, є актуальною.

**Дисертація безпосередньо пов'язана з планами наукових досліджень**, які виконувалися за держбюджетною тематикою, кафедри інформаційних технологій електронних засобів Запорізького національного технічного університету: «Методи оптимізації параметрів радіоелектронних пристроїв з використанням геометричних моделей допускових областей» (№ держреєстрації 0107U000440) та «Об'єктно-орієнтовані методи проектування радіоелектронних апаратів» (№ держреєстрації 0110U001141).

**Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій** забезпечена коректним застосуванням методів теорії ймовірності для побудови математичних моделей допускових областей; методів інтервального аналізу для розв'язку задач призначення гарантованих допусків; методів оптимізації для отримання співвідношень обчислення допусків на параметри елементів радіоелектронних пристроїв за різними стратегіями допускового проектування.

**Достовірність** підтверджується порівнянням отриманих результатів обчислювальних експериментів з результатами інших методів, відомих з літератури, та використанням на експериментальному виробництві КП НВК «Іскра» та ТОВ НВП «Хартрон-Юком».

**Наукова новизна отриманих результатів**, полягає у тому що:

– вперше розроблено метод дотичних для синтезу допустимих відхилень параметрів елементів від номінальних значень, у якому дотичні до межі області працездатності та допускової області співпадають, а допускова



область формується як описаний біля області розсіяння брус або еліпсоїд, та який надає можливість використовувати стратегії допускового проектування для отримання оптимальних розв'язків за критеріями рівних допусків на параметри, мінімальної вартості, оптимального співвідношення ціна/якість, максимального об'єму допускової області;

– вперше розроблено метод оцінювання положення допускових областей в області працездатності з урахуванням нормального закону розподілу відхилень параметрів елементів від їх номінальних значень та кореляційних зв'язків, що надає можливість підвищити точність призначення допусків та вибору параметрів елементів при серійному виробництві радіоелектронних пристроїв;

– вперше розроблено метод згладжених вершин для допускового проектування радіоелектронних пристроїв, який включає апроксимацію граничних ділянок законів розподілу відхилень значень параметрів елементів функціями подібних до нормального закону та надає можливість враховувати закони розподілу, задані статистичними рядами;

– вперше розроблено метод відображень, що моделює граничні умови дії зовнішніх впливів, враховує їх компенсацію та надає можливість призначати допуски на параметри радіоелектронних пристроїв з урахуванням експлуатаційних навантажень;

– удосконалено метод інтервального оцінювання параметрів із застосуванням моделей зовнішніх впливів у вигляді інтервальних структур, що у сукупності забезпечують підвищення точності призначення експлуатаційних допусків;

– удосконалено модель архітектури програмного забезпечення для інтегрованого середовища системи автоматизованого проектування, яка на відміну від існуючих містить пакети прикладних програм для допускового проектування радіоелектронних пристроїв за різними стратегіями та формами допускових областей.

### **Значущість дисертаційної роботи для науки і практики.**

Застосування статистично-орієнтованих підходів до створення моделей області працездатності надало можливість розширити запропоновані у дисертаційній роботі методи на інші процедури проектування, наприклад, розробити методи оптимізації тепловідвідних і несучих конструкцій радіоелектронних пристроїв за масогабаритними показниками.

Результати дисертаційної роботи впроваджено на підприємствах радіоприладобудівної галузі: при проектуванні НВЧ-пристроїв на КП НВК «Іскра» та бортових приладів на ТОВ НВП «Хартрон-Юком». Розроблені методи, алгоритми та автоматизована система допускового проектування використовується в навчальному процесі кафедри інформаційних технологій електронних засобів Запорізького національного технічного університету при викладанні дисциплін «Автоматизація конструкторсько-технологічного проектування радіоелектронних апаратів» та «Математичне моделювання в САПР» для студентів спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка».

### **Повнота викладення результатів в опублікованих працях.**

Результати дисертаційної роботи опубліковано в 61 науковій праці, серед яких 23 статті у наукових фахових виданнях України що відповідають вимогам (з них 6 включено у наукометричну базу Scopus), 1 патент на корисну модель та 1 свідоцтво про реєстрацію авторського права.

Основні наукові, теоретичні положення та практичні результати дисертаційної роботи доповідалися і обговорювалися на 29 міжнародних науково-технічних конференціях. В працях, що опубліковані в наукових фахових виданнях, викладено основні отримані здобувачем результати дисертації. Рівень та кількість публікацій відповідають вимогам, що ставляться до дисертаційних робіт на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук.

**Зміст автореферату** ідентичний до основних положень дисертації і достатньо повно відображає наукову новизну, практичну цінність та одержані результати.



**Зміст дисертації.** Дисертаційна робота включає анотації, список публікацій здобувача, умовні скорочення, вступ, сім розділів, висновки, список використаних джерел та додатки. Загальний обсяг роботи складає 321 сторінка, із них 250 сторінки основного тексту.

У першому розділі проаналізовано сучасне математичне та програмне забезпечення, що використовується для задач вирішення задач допускового проектування радіоелектронних пристроїв та сформульовано мету та задачі дисертаційної роботи. У другому розділі запропоновано критерії оптимізації допустимих відхилень параметрів, сформульовано стратегії допускового проектування (рівних допусків, максимального об'єму допускової області, мінімальної вартості та оптимального співвідношення ціна/якість), розроблено метод дотичних для синтезу гарантованих допусків, у якому допускова область формується як вписаний в область працездатності брус, та алгоритми, що надають можливість обчислювати допуски за різними стратегіями. Третій розділ присвячено розробленню методу дотичних та алгоритмам для синтезу допусків з урахуванням нормального закону розподілу параметрів. У четвертому розділі розроблено метод згладжених вершин для синтезу допусків, якщо допускова область формується у вигляді брусів зі згладженими вершинами. Наведено порівняння результатів обчислень для різних законів розподілу параметрів. У п'ятому розділі розроблено метод оцінювання положення еліпсоїдних та брусоеліпсоїдних допускових областей в області працездатності з урахуванням кореляційних зв'язків між параметрами елементів. Шостий розділ присвячено вдосконаленню методу інтервального оцінювання параметрів елементів та розробці методу відображень для синтезу допусків з урахуванням експлуатаційних обмежень. У сьомому розділі розроблено архітектуру інтегрованого середовища, що містить пакети прикладних програм для автоматизації допускового проектування та засоби для створення інтерфейсу з зовнішніми САПР. У додатках наведено акти впровадження на підприємствах радіоприладобудівної галузі та в навчальний процес

Запорізького національного технічного університету, список публікацій здобувача.

### **Зауваження щодо змісту дисертації.**

1. В дисертаційній роботі не проведено аналіз зростання обчислювальної складності алгоритмів у залежності від кількості параметрів елементів та вихідних характеристик радіоелектронних пристроїв.

2. Не вказано обмеження щодо застосування запропонованих методів та алгоритмів.

3. В п'ятому розділі не наведено практичного прикладу використання методу згладжених вершин для задачі обчислення допусків з урахуванням кореляційних зв'язків між параметрами елементів.

4. В шостому розділі розв'язок задачі синтезу допусків з урахуванням впливу зовнішніх факторів показано лише для випадку, коли допускова область задана у вигляді брусу. Дисертаційна робота не містить розв'язок цієї задачі для еліпсоїдних та брусоеліпсоїдних допускових областей.

5. В прикладі інтеграції програмного забезпечення допускового проектування з зовнішньою системою автоматизованого проектування показано лише результати аналізу допусків, не наведено результати синтезу.

Вказані зауваження не впливають на загальний науковий рівень дисертаційної роботи.

### **Висновки.**

1. Дисертаційна робота Шило Галини Миколаївни є завершеною науковою працею, що присвячена розв'язанню комплексу завдань, які у сукупності вирішили науково-прикладну проблему підвищення надійності та точності радіоелектронних пристроїв шляхом розроблення та застосування методів та засобів призначення допусків на електричні та конструктивні параметри елементів, які враховують технологічні та експлуатаційні обмеження, забезпечують багатокритеріальну оптимізацію допусків, а їх програмна реалізація інтегрована з системами автоматизованого проектування.



2. Зміст дисертаційної роботи відповідає паспорту спеціальності 05.13.12 – системи автоматизації проектувальних робіт.

3. Результати наукових досліджень, за якими здобувач захистив кандидатську дисертацію не виносяться на захист докторської дисертації.

4. Дисертаційна робота відповідає вимогам «Порядку присудження наукових ступенів», зокрема п. 10 щодо докторських дисертацій, а її автор Шило Галина Миколаївна заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.12 – системи автоматизації проектувальних робіт.

#### ОФІЦІЙНИЙ ОПОНЕНТ:

декан математичного факультету  
Запорізького національного університету,  
доктор технічних наук,  
професор



С.І. Гоменюк

ВЧЕНИЙ СЕКРЕТАР  
Запорізький національний  
університет



А. Троценко