

**ВІДГУК**

офіційного опонента, доктора технічних наук, професора, завідувача кафедри систем автоматизованого проектування Національного університету «Львівська політехніка» **Лобура Михайла Васильовича** 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.**

Проблема точності та надійності радіоелектронної апаратури є комплексною та охоплює всі стадії життєвого циклу. Особливе місце для вирішення цієї проблеми належить стадії проектування, бо саме на цій стадії відбувається вибір схемних та конструктивних рішень, розробляються технологічні операції, формуються вимоги та правила експлуатації радіоелектронних пристроїв. Одним з шляхів вирішення проблеми підвищення точності та надійності на етапі проектування є розробка методів синтезу та аналізу допусків з урахуванням економічних, технологічних та експлуатаційних обмежень. Для цього необхідно розробити: стратегії допускового проектування, що нададуть можливість враховувати особливості технологічного процесу або цінкові показники; математичні моделі допускових областей для різних законів розподілу відхилень параметрів елементів; методи синтезу допусків з використанням цих моделей та з урахуванням дії зовнішніх впливів на етапі експлуатації.

Тематика дисертаційної роботи відповідає пріоритетному напрямку розвитку науки і техніки на період до 2020 року «Інформаційні та комунікаційні технології», відповідно до Закону України «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки» від 11.07.2001 р. № 2623-III та пріоритетному тематичному напрямку наукових досліджень і науково-технічних розробок «Технології та засоби математичного моделювання, оптимізації та системного аналізу розв'язання надскладних завдань державного значення», відповідно до Постанови Кабінету Міністрів України «Про затвердження переліку пріоритетних тематичних напрямів наукових досліджень і науково-технічних розробок на період до 2020 року» від 07.09.2011 № 942.

Окрім того тематика дисертаційної роботи пов'язана із виконанням науково-дослідних робіт «Методи оптимізації параметрів радіоелектронних пристроїв з використанням геометричних моделей допускових областей». (№ держреєстрації 0107U000440), «Об'єктно-орієнтовані методи проектування радіоелектронних апаратів». (№ держреєстрації 0110U001141)

**Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій. Достовірність результатів досліджень.**

Основні наукові положення роботи обґрунтовано в достатній мірі. Запропоновані методи для допускового проектування докладно обґрунтовано теоретичними викладками та обчислювальними експериментами.

Достовірність одержаних результатів визначається коректним застосуванням математичного апарату теорії ймовірності та методів оптимізації. Результати, одержані у роботі, узгоджуються із відомими у науковій літературі методами аналізу та синтезу допусків.

**Наукова новизна отриманих результатів.**

1. 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;

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

– 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;

– 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;

2. Набуло подальший розвиток:

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

– 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 отриманих результатів для науки і практичного використання.**

Одержані результати у подальшому доцільно використовувати для наукових досліджень у напрямку розроблення методів для допускового проектування в інших галузях, наприклад, машинобудування, робототехніці та інших. Практичне використання запропонованого математичного та програмного забезпечення для аналізу та синтезу допусків має місце під час проектування радіоелектронних пристроїв, до яких висуваються вимоги підвищеної надійності та точності. Результати дисертаційної роботи впроваджено на підприємствах радіоприладобудівної галузі: при проектуванні НВЧ-пристроїв на КП НВК «Іскра» та бортових приладів для супутників та ракетноносіїв на ТОВ «Хартрон-Юком». Розроблені методи та автоматизована система допускового проектування використовується в навчальному процесі кафедри інформаційних технологій електронних засобів Запорізького національного технічного університету при викладанні дисциплін для студентів спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка».

**Повнота викладення результатів в опублікованих матеріалах.**

Результати дисертаційної роботи опубліковано в 61 науковій праці, з яких 23 статі у фахових наукових журналах і збірниках наукових праць України та інших держав, що відповідають вимогам. Серед зазначених публікацій, 6 статей опубліковано у журналах, які входять до наукометричної бази Scopus.

Результати роботи пройшли апробацію на міжнародних конференціях. В опублікованих працях викладено основні отримані здобувачем результати.

Рівень та кількість публікацій відповідають вимогам, що ставляться до докторських дисертаційних робіт.

### **Структура та зміст дисертації.**

Дисертацію викладено на 321 сторінці, із яких 250 сторінок основного тексту. Робота складається з анотації українською та англійською мовами, списку публікацій здобувача, змісту, списку умовних позначень, вступу, семи розділів, висновків, списку використаних джерел, що включає 297 найменувань, та двох додатків, які містять 3 акти про впровадження та список публікацій здобувача.

*У першому розділі* виконано огляд стану проблеми. Сформульовано задачу синтезу допусків як задачу умовної оптимізації. Проаналізовано сучасне математичне та програмне забезпечення, що використовується для задач призначення допусків в системах автоматизованого проектування радіоелектронних пристроїв. Наприкінці розділу докладніше сформульовано задачі дослідження.

*Другий розділ* присвячено визначенню стратегій допускового проектування та розробленню методу синтезу гарантованих допусків за критерієм максимального об'єму допускової області, рівних допусків, мінімальної вартості та оптимального співвідношення ціна/якість.

*У третьому розділі* розроблено метод дотичних для синтезу допусків з урахуванням нормального закону розподілу значень параметрів компонентів радіоелектронної апаратури, в якому допускова область формується як еліпсоїд. Розроблено алгоритми призначення допусків для нормального закону за різними стратегіями проектування

*Четвертий розділ* присвячено створенню математичних моделей законів розподілу параметрів, заданих статистичними рядами та розробленню методу згладжених вершин для синтезу допусків з використанням цих моделей.

*У п'ятому розділі* проведено дослідження впливу кореляції параметрів на форму допускових областей, отримано співвідношення для визначення допустимих відхилень параметрів в цих випадках. Розроблено метод оцінювання положення допускових областей в області працездатності для нормального закону розподілу параметрів з урахуванням кореляційних зв'язків між ними.

*Шостий розділ* присвячено вдосконаленню методу інтервального оцінювання параметрів елементів радіоелектронних пристроїв та розробці методу відображень для синтезу допусків, що надають можливість

враховувати компенсацію при одночасній дії зовнішніх факторів під час експлуатації.

У цьому розділі наводиться опис моделі архітектури інтегрованого середовища для автоматизації допускового проектування, що містить засоби для створення інтерфейсу з зовнішніми САПР. Надано приклади застосування програмного забезпечення для математичних моделей вихідних функцій у аналітичному та табличному вигляді. Показано можливість інтеграції з сучасними системами проектування НВЧ пристроїв.

### Аналіз автореферату

Автореферат ідентичний за змістом до дисертації і достатньо повно відображає основні наукові положення, практичну цінність та одержані результати. Дисертаційна робота та автореферат оформлені у відповідності до вимог, що висуваються нормативними документами МОН України.

### Зауваження до роботи.

1. У всіх розділах дисертаційної роботи автором в одних випадках призначені допусків використовується радіоелектронні елементи в інших радіоелектронні компоненти, а також радіоелектронні пристрої і радіоелектронні апарати, апаратури. На жаль не має чіткого визначення, автор сприймає це як синоніми, але це не так;
2. В першому розділі в параграфі **1.4 Автоматизація процедур допускового проектування в ECAD та CAE системах** перераховано системи, які можуть бути використані для проектування НВЧ пристроїв, але жодного слова не сказано чи можна перераховані системи використовувати для аналізу допусків в НВЧ пристроях, за винятком модуля Optimetrics., який частково вирішує аналіз допусків. Стр.68;
3. В одному параграфі для різних величин використовуються однакові позначення,  $\Omega$  – область працездатності,  $\Omega$  – допускова область, що не сприймається при читанні роботи. Стр 86;
4. На сторінці 90 поставлена оптимізаційна задача синтезу допусків в незрозумілій формі  $\delta = |\delta_i| = \text{idem} (i = \overline{1, n})$ , а в подальшому обмеження також записані не коректно  $\underline{b} = \underline{y} - \underline{a}_0 - \sum_{i=1}^n \underline{a}_i x_{ri}$ ;  $\bar{b} = \bar{y} - \bar{a}_0 - \sum_{i=1}^n \bar{a}_i x_{ri}$ , не завжди відхилення параметрів в одну сторону приводять до зміни вихідних величин в туж сторону;
5. Стратегії синтезу допусків розглянуті в другому розділі дисертаційної роботи мають право на існування при використанні радіоелементів однієї

фірми поставщика, найчастіше таких фірм є багато і одночасно можуть бути використані радіоелементи від різних фірм;

6. Приклади підтвердження стратегії синтезу допусків в теперішніх умовах підібрані невдало, перевіряти стратегію на прикладі із п'яти радіоелементів при складності апаратури в сотні тисяч елементів не коректно;
7. При розгляді стратегії призначення допусків при нормальних законах розподілу вхідних параметрів прийнято припущення, що залежність вихідних параметрів є лінійною, при сьогоднішній складності радіоапаратури це виглядає оптимістично і нереально;
8. В третьому розділі дисертаційної роботи стр.150 не коректно поставлена оптимізаційна задача і обмеження до неї, при такій постановці задача не має рішення.

$$G(\mathbf{H}) \rightarrow \text{optimum}; X = X_r, \quad (h_i = 0), \quad (4.31)$$

$\mathbf{h}_r = [h_r; \bar{h}_r]$  – інтервал зміни допустимих відхилень значень параметрів;

9. Не наведено прикладів використання запропонованих методів для аналізу та синтезу допусків на параметри елементів цифрових схем.
10. Не обґрунтовано використання методу множників Лагранжа для отримання співвідношень оптимізації допусків на параметри за критеріями максимізації об'єму допускової області, мінімізації вартості, оптимального співвідношення ціна/якість;
11. Між параметрами радіоелементів, які використовуються при виготовленні радіоапаратури існують кореляційні зв'язки пов'язані в одних випадках з груповою технологією виготовлення в інших схемотехнічним рішенням. Яким чином визначаються коефіцієнти кореляції в другому випадку, які використовуються в стратегії призначення допусків в параграфі 5.1;
12. В п'ятому розділі дисертації зроблено висновок, що для групових технологій виготовлення НВЧ пристроїв можна використати стратегію запропонованому у наведених виразах. Це можливо використовувати тільки при умові визначення коефіцієнтів кореляції. В роботі не описано як це робиться при груповій технології виготовлення;
13. Приклади математичних моделей областей працездатності наводяться лише для обмежень, що задані однією вихідною характеристикою радіоелектронного пристрою;
14. Для конструкцій пристроїв надвисокої частот не показано зв'язок допусків, що призначені на параметри елементів з технологічними операціями;

15. В шостому розділі роботи приведено твердження, які при детальному вивченні потребують глибокого осмислення (Із рис. 6.7 видно, що використання інтервальних структур дозволяє значно зменшити експлуатаційні відхилення вихідних функцій електронних апаратів без погіршення достовірності результату оцінювання стр. 196), на жаль в роботі таких тверджень є декілька;
  16. Декларація (Чергове відображення рівнянь область дійсних чисел утворює чотири рівняння, які використовуються при виборі коефіцієнтів зовнішніх впливів), не підтверджена використанням уявних чисел;
  17. В сьомому розділі дисертаційної роботи проведена робота по інтеграції існуючих систем проектування для призначення допусків на параметри радіоелементів і елементів пристроїв НВЧ. Вся стратегія використання побудована на концепції побудови XML форматів. Існує серйозна загроза використання програмних продуктів, які мають власне середовище і використовують власне лінгвістичне середовище;
  18. Викликає серйозна перешкода в передачі вхідних параметрів і вихідних параметрів для використання запозичених систем проектування, і очевидно в використанні інформації для сучасної технології виготовлення елементів і пристроїв електронної апаратури;
  19. В роботі не приведено даних для яких операційних систем може бути використана розроблена методика не приведені ресурси пам'яті для функціонування розробленої системи, не має прогнозу затрат часу на призначення допусків.
  20. В роботі спостерігається поспішність, яка підтверджується використанням різних позначень однакових об'єктів в розділах дисертаційної роботи;
  21. У роботі присутні орфографічні, пунктуаційні та стилістичні неточності.
- Дисертація в цілому, не зважаючи на висловлені зауваження, справляє позитивне враження і є суттєвим внеском в галузь радіоприладобудування.

### **Загальні висновки.**

Дисертаційна робота Шило Галини Миколаївни на тему «Статистично-орієнтовані методи допускового проектування радіоелектронних пристроїв» є завершеною науковою працею, в якій отримані нові наукові та практичні результати, що вирішують 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.

Результати дисертаційної роботи, за якими здобувач захистив кандидатську дисертацію не виносяться на захист докторської дисертації.

За актуальністю теми, рівнем та обсягом виконаних досліджень, науковою новизною та практичним значенням отриманих результатів дисертаційна робота відповідає вимогам п.10 «Порядку присудження наукових ступенів» 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:**

завідувач кафедри систем  
автоматизованого проектування  
Національного університету  
«Львівська політехніка»,  
доктор технічних наук,  
професор

М.В. Лобур

Підпис д.т.н., проф. Лобура М.В. засвідчую.

Вчений секретар  
Національного університету  
«Львівська політехніка»,  
кандидат технічних наук, доцент



Р.Б. Брилинський