

## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Огренича Є.В.  
«Вдосконалення методів автоматизованого проектування тепловідвідних елементів радіоелектронних апаратів» на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.12 – системи автоматизації проектувальних робіт

**1. Актуальність теми дисертації.** Забезпечення теплових режимів є однією із важливих задач конструювання радіоелектронних апаратів. Тепловий режим у більшості випадків забезпечується використанням тепловідвідних елементів або примусовим охолодженням. Для цього використовуються додаткові елементи конструкцій (радіатори, вентилятори та ін.). Оптимізація конструкцій тепловідвідних елементів надає можливість знизити масу та габарити радіоелектронної апаратури.

При проектуванні тепловідвідних елементів на підприємствах радіоприладобудівної галузі використовуються стандартизовані конструкції радіаторів, які не є оптимальними за масогабаритами. Розробка процедур оптимізації параметрів конструкцій ребристих, штирових тепловідвідних елементів ускладнюється відсутністю аналітичних описів процесів руху теплоносіїв та поширення тепла в тривимірних конструкціях складної форми. Тому для аналізу теплових режимів в таких конструкціях набувають поширення методи чисельного моделювання, такі як методи скінченних елементів та скінченних об'ємів.

Отже, тема дисертаційної роботи Огренича Є.В, яка присвячена вдосконаленню методів автоматизованого проектування тепловідвідних елементів радіоелектронних апаратів з оптимальними масогабаритними показниками, що містять процедури чисельного моделювання теплових режимів, є актуальною. Робота виконувалась за пріоритетним напрямком відповідно до закону України «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки»: «Інформаційні та комунікаційні технології».

**2. Загальна характеристика дисертаційної роботи.** Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, який налічує 108 найменувань, та додатків. Загальний обсяг роботи – 133 сторінки, дисертація містить 111 сторінок основного тексту, 43 рисунки та 10 таблиць.

У *вступі* обґрунтовано актуальність теми дисертації, наведено загальну характеристику роботи, сформульовано мету й основні завдання досліджень. Викладено наукову новизну, практичне значення результатів досліджень, наведено відомості про особистий внесок здобувача та про апробацію результатів дисертаційної роботи.

У *першому розділі* розглянуто існуючі конструкції тепловідвідних елементів а також методі їх проектування. Вказано основні проблеми

оптимального проектування тепловідвідних елементів. Запропоновано використовувати чисельні методи для розрахунку теплових режимів радіоелектронних апаратів.

На основі проведеного аналізу сформульовано основні завдання, які необхідно вирішити в ході виконання дисертаційної роботи.

*Другий розділ* присвячено розробленню математичних та теплових моделей для мінімізації маси пластинчастих та ребристих тепловідводів. Запропоновано наступні критерії оптимізації масогабаритних параметрів: критерій мінімальної маси (М-критерій), критерій мінімального об'єму (V-критерій) та комплексний масогабаритний критерій (MV-критерій). У зв'язку з відсутністю аналітичного рівняння для розрахунку теплового опору запропоновано використовувати її апроксимацію у формі функції еліпсоїда. Для розв'язання оптимізаційної задачі використовується метод множників Лагранжа. Отримано оптимальні співвідношення для проектування ребристих тепловідводів мінімальної маси.

*Третій розділ* присвячено розробці методу параметричного синтезу та алгоритмів проектування основних типів тепловідвідних елементів: ребристого, штирового та пластинчасто-ребристого радіаторів. Розроблено алгоритми чисельного моделювання тепловідвідних елементів у системі SolidWorks. Для спрощення процедури оптимізації запропоновано модель цільової функції у формі гіперболи. Проведено параметричний синтез основних типів тепловідвідних елементів та проведено порівняння результатів для різних критеріїв оптимальності.

*Четвертий розділ* присвячений розробленню системи автоматизованого проектування радіаторів з оптимальними масогабаритними показниками. Наведено діаграми діяльності та варіантів використання автоматизованої системи, її структурна схема та метод взаємодії з SolidWorks. Розроблене програмне забезпечення дає змогу проводити проектування ребристих, штирових та пластинчасто-ребристих радіаторів з використанням розробленого методу параметричного синтезу.

**3. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій.** Вивчення матеріалів дисертаційної роботи, автореферату та публікацій дає можливість стверджувати, що обґрунтованість основних одержаних результатів забезпечується строгістю і коректністю постановки та розв'язання розглянутих у роботі завдань. Прийняті спрощення під час побудови теплових моделей тепловідвідних елементів значно не впливають на результати проектування. Використані методи чисельного моделювання теплових режимів в методі параметричного синтезу дають можливість враховувати особливості тривимірної геометрії тепловідвідних елементів.

Адекватність чисельного моделювання теплових режимів у радіоелектронних апаратах підтверджена порівняльним аналізом результатів, отриманих із застосуванням теоретичних та експериментального методів.

Обґрунтованість наукових положень, висновків, запропонованих рішень і рекомендацій підтверджується результатами апробації роботи на наукових семінарах, науково-технічних конференціях та симпозиумах.

**4. Достовірність і новизна наукових положень, висновків та рекомендацій.** Достовірність наукових положень, висновків та рекомендацій дисертаційної роботи забезпечується:

- застосуванням широко апробованих аналітичних методів багатопараметричної оптимізації;
- застосуванням сучасних методів чисельного моделювання за допомогою системи інженерного аналізу;
- апробацією положень дисертаційної роботи на наукових конференціях і семінарах різних рівнів, а також наявністю патенту та авторського свідоцтва на твір.

Сформульовані в дисертації наукові положення, висновки і рекомендації впливають безпосередньо з теоретичних та експериментальних результатів проведених досліджень.

Новизна наукових положень, висновків та рекомендацій полягає в наступному:

- вперше розроблено метод параметричного синтезу тепловідвідних елементів, який містить процедури чисельного моделювання теплових режимів та дає можливість проводити оптимізацію масогабаритних параметрів з урахуванням конструктивних та технологічних обмежень, які виникають при проектуванні радіоелектронних апаратів;
- вдосконалено моделі для оптимізації параметрів тепловідвідних елементів на основі розроблених цільових функцій за критеріями мінімізації масогабаритних параметрів, які відрізняються від існуючих використанням обмежень у формі функції еліпсоїда, що дає змогу забезпечити збіжність алгоритмів оптимізації;
- отримав подальший розвиток метод розв'язання задач оптимізації масогабаритних параметрів тепловідвідних елементів, який, на відміну від існуючих, ґрунтується на використанні методу множників Лагранжа і дає змогу отримати співвідношення для обчислення конструктивних параметрів тепловідводів.

**5. Значення дисертаційної роботи для науки і виробництва.** Одержані в роботі результати параметричного синтезу тепловідвідних елементів, а також побудовану автоматизовану систему можна використовувати для розв'язання широкого класу задач автоматизованого проектування інших конструкцій тепловідвідних елементів.

Розроблені моделі тепловідвідних елементів, а також автоматизована система проектування дають можливість підвищити ефективність проектування блоків та вузлів радіоелектронних апаратів.

Результати досліджень, проведених під час виконання дисертаційної роботи, можуть бути використані на підприємствах і в організаціях, що

займаються проектуванням теплонавантажених блоків радіоелектронної апаратури, зокрема, на ТОВ НВП «Хартрон-Юком» та КП «НВК «Іскра». Слід відмітити, що розроблений дисертантом метод параметричного синтезу тепловідвідних елементів застосовано у промисловості для оптимізації реального радіатора, який є несучою конструкцією блока джерела живлення.

Крім цього, отримані результати досліджень використовуються у навчальному процесі у Запорізькому національному технічному університеті.

**6. Повнота викладу результатів роботи в наукових фахових виданнях.** Основні результати дисертаційної роботи відображені у публікаціях здобувача. За темою дисертації опубліковано 23 друкованих праць, з яких 7 – статті у фахових наукових виданнях України; отримано один патент та одне авторське свідоцтво на твір.

Робота пройшла широку апробацію, її основні положення доповідалися на міжнародних науково-технічних конференціях.

Дисертація Огренича Є.В. «Вдосконалення методів автоматизованого проектування тепловідвідних елементів радіоелектронних апаратів» є завершеною науковою працею. Її написано грамотною технічною українською мовою та оформлено відповідно до вимог. Робота добре ілюстрована й не перевантажена зайвим матеріалом.

*Зміст* дисертаційної роботи цілком відповідає спеціальності 05.13.12 – Системи автоматизації проектувальних робіт, за якою вона подана до захисту, і профілю спеціалізованої вченої ради Д 35.052.05.

*Анотування* дисертації відображає основний зміст, положення та висновки дисертаційної роботи.

## **7. Зауваження.**

7.1. У першому розділі в табл. 1.1 не розшифровані типи сіток, такі як CutCell, Tetra, Hexa та ін.

7.2. Оскільки теплонавантажені елементи зазвичай встановлюються на радіатор через підкладку, доцільно б було враховувати це в автоматизованому проектуванні.

7.3. При побудові теплових моделей для оптимізації не зрозуміло, чи враховуються теплофізичні параметри оточуючого середовища.

7.4. При встановленні тепловідвідних елементів у блоки виникає взаємне опромінення поверхонь, що може привести до погіршення теплового режиму.

7.5. В алгоритмі моделювання теплових режимів в системі інженерного аналізу не розглянуто можливість розв'язку задач з примусовим охолодженням, а в четвертому розділі наведено приклад проектування ребристого радіатора, який використовується в умовах примусового повітряного охолодження.

7.6. В розробленій в дисертаційній роботі автоматизованій системі тривимірна геометрична модель конструкції радіатора зберігається тільки в форматі системи автоматизованого проектування SolidWorks, що потребує розробки додаткових програмних модулів для інших систем автоматизованого

проектування. Бажано зробити можливість збереження тривимірних моделей в універсальному форматі, наприклад, STEP та IGES.

Проте, зазначені вище зауваження не мають принципового характеру, не знижують наукового рівня дисертації та не впливають на позитивну оцінку роботи. Більшою мірою їх треба розглядати як побажання щодо подальших досліджень автора.

**8. Загальний висновок.** Дисертаційна робота є завершеною науково-дослідною працею, в якій отримані нові науково обґрунтовані результати, що в сукупності вирішують наукову задачу підвищення ефективності автоматизованого проектування радіаторів і інтегрованих тепловідвідних елементів радіоелектронних апаратів. За актуальністю, науковим рівнем розробок та їх практичним значенням, наявністю необхідної кількості та обсягу публікацій дисертаційна робота Огренича Євгена Вікторовича «Вдосконалення методів автоматизованого проектування тепловідвідних елементів радіоелектронних апаратів» повністю відповідає вимогам ДАК МОН України, зокрема, пп. 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», а її автор заслуговує присвоєння наукового ступеня кандидата 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

Підпис С.І. Гоменюка засвідчую



В. П. Сидоренко