



ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з наукової роботи
Національного університету
«Львівська політехніка»

д-р. проф. Іван ДЕМИДОВ
2024 р.

ВИСНОВОК

про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів докторської дисертації
завідувача кафедри рисунку та проєктної графіки Хмельницького національного
університету КОВТУНА Ігоря Івановича на тему «Розроблення науково-прикладних засад
динаміки та міцності несівних систем електронної апаратури», поданої на здобуття наукового
ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.02.09 – динаміка та міцність машин.

Призначені рішенням Вченої ради Національного університету "Львівська політехніка"
(протокол № 8 від 30 січня 2024 р.) рецензенти, а саме:

- **ПУКАЧ Петро Ярославович**, директор навчально-наукового інституту прикладної
математики та фундаментальних наук Національного університету «Львівська політехніка»,
доктор технічних наук, професор;

- **ХАРЧЕНКО Євген Валентинович**, завідувач кафедри опору матеріалів та будівельної
механіки навчально-наукового інституту будівництва та інженерних систем Національного
університету «Львівська політехніка», доктор технічних наук, професор;

- **ВІКОВИЧ Ігор Андрійович**, професор кафедри транспортних технологій навчально-
наукового інституту механічної інженерії та транспорту Національного університету
«Львівська політехніка», доктор технічних наук, професор,

розглянувши докторську дисертацію КОВТУНА Ігоря Івановича на тему «Розроблення
науково-прикладних засад динаміки та міцності несівних систем електронної апаратури» та
наукові публікації, в яких висвітлено основні наукові результати, підготували висновок про
наукову новизну, теоретичне і практичне значення результатів докторської дисертації:

1. Дисертація КОВТУНА Ігоря Івановича, представлена на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук за спеціальністю 05.02.09 – динаміка та міцність машин, є
кваліфікаційною науковою працею, підготовленою у вигляді рукопису, характеризується
єдністю змісту, відповідає принципам академічної доброчесності, підготовлена здобувачем
самостійно. За обсягом, актуальністю, рівнем наукової новизни та практичної цінності
дисертаційна робота відповідає вимогам п. 7-9 «Порядку присудження та позбавлення
наукового ступеня доктора наук», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України
№ 1197 від 17 листопада 2021 року.

2. Актуальність теми дослідження

Розроблення науково-прикладних засад динаміки та міцності несівних систем
електронної апаратури з урахуванням дії технологічних і експлуатаційних навантажень має
істотне значення для оцінювання і забезпечення міцності та жорсткості деталей, вузлів та
блоків електронної апаратури на стадіях проєктування, виробництва і експлуатації. Проблема
міцності стала особливо актуальною в умовах сучасних тенденцій до зменшення ваги та
збільшення щільності монтажу в технології виробництва електронної апаратури, що призвело
до зменшення запасів міцності створюваних конструкцій.

Внаслідок дії технологічних і експлуатаційних навантажень у несівних системах
електронної апаратури, які призначені для забезпечення електричних контактів, механічної
підтримки та захисту електронних компонентів і вузлів від зовнішніх впливів, виникають
статичні та динамічні напруження і деформації. Виникнення та передача деформацій на різних
рівнях конструктивної складності відбувається через механічний зв'язок і взаємодію елементів
конструкцій, що, створюючи механічне напруження, нерідко виявляється причиною
руйнування електричних кіл та втрати працездатності вузлів, блоків та систем електронної
апаратури.

Аналіз робіт Зінковського Ю.Ф., Уварова Б.М., Маквєцова Е. Н., Тартаковського А. М., Матвєєва С. Е., Ройзмана В. П., Кофанова Ю. М., Талицького Е. Н., Терещука Р.М., Штейнберга Д., Бегер Е., Перри К., Грешникова В.А., Аглієтті Г. і др. дозволяє зробити висновок про те, що на сьогодні застосування розрахунково-експериментальних методів оцінки напружено-деформованого стану і динамічних процесів в деталях, вузлах та блоках електронної апаратури суттєво ускладнюється через такі причини як відсутність загальноприйнятої термінології, методик оцінки міцності та норм міцності, за якими повинні вестись проектування, розрахунки, випробування і впровадження в серійне виробництво та експлуатацію виробів електронної апаратури, на противагу багатьом іншим галузям техніки. Крім того, складність натурних конструкцій, що є багатозв'язними механічними системами і спроби розрахунку їх напружено-деформованого стану нерідко призводять до неточності рішень і компрометують найсучасніші методики розрахунку, особливо в умовах нестабільності фізико-механічних характеристик використовуваних матеріалів і технології виробництва.

На сьогодні застосування розрахунково-експериментальних методів оцінки напружено-деформованого стану та забезпечення міцності деталей, вузлів та блоків електронної апаратури на етапах проектування, виробництва, випробування та експлуатації суттєво ускладнюється через наступні причини.

По-перше, покищо відсутня загальноприйнята термінологія і методика вимірювання напружень, на противагу багатьом іншим галузям техніки; в електроніці не існує “Норм міцності на вироби електронної техніки”, тобто збірника керівних документів щодо забезпечення міцнісної надійності та витривалості, за якими повинні вестись проектування, розрахунки, випробування та впровадження в серійне виробництво і експлуатацію виробів електронної промисловості.

По-друге, попри існування низки експериментальних методів, які дають можливість визначати напружено-деформований стан деталей та вузлів несівних систем технічних засобів, вони не завжди можуть застосовуватись для дослідження напружено-деформованого стану конструкцій електронної апаратури через малогабаритності елементів, непрозорості матеріалів, або особливостей експлуатації та конструювання електронної апаратури.

По-третє, відомі теорії міцності не завжди можуть об'єктивно оцінювати працездатність конструкції через те, що в залежності від напруженого стану багато матеріалів можуть змінювати свої фізико-механічні властивості, тому оцінка реальних коефіцієнтів запасу міцності досліджуваних конструкцій електронної апаратури у даний час є можливою лише за умови експериментального дослідження натурних об'єктів.

По-четверте, натурні конструкції електронної апаратури є структурно-складними, багатозв'язними коливними механічними системами, у яких кожен з елементів характеризується як жорсткістю, так і масою, є як збудником, так і гасником коливань, а спроби визначення за допомогою проектно-технічної документації для системи, яка не має вивчених аналогів, кількісних характеристик мас, жорсткостей, коефіцієнтів демпфування та параметрів напружено-деформованого стану часто призводять до неточності рішень і компрометують найсучасніші методики розрахунків.

У дисертації наведено теоретичне узагальнення та нове вирішення актуальної науково-прикладної проблеми в галузі «Технічні науки», спрямоване на зменшення статичних і динамічних навантажень, напружень і деформацій та забезпечення міцності деталей, вузлів та блоків електронної апаратури на стадіях проектування, виробництва і експлуатації на основі проведення комплексного математичного моделювання динамічних процесів у несівних системах електронної апаратури з урахуванням дії технологічних і експлуатаційних навантажень.

3. Дисертаційна робота виконувалась у відповідності до державних і науково-технічних програм згідно з пріоритетним напрямом фундаментальних наукових досліджень, в межах таких науково-дослідних робіт Хмельницького національного університету: 7Б-97 «Розробка акусто-емісійного комплексу та його застосування для неруйнівного контролю, діагностики та прогнозування міцності нових матеріалів та деталей нафтогазового обладнання» (1997-1999 рр., номер держреєстрації 0197U016018); 3Б-2000 «Розробка комплексу лінійної,

площинної об'ємної локації сигналів акустичної емісії та його застосування для неруйнівного контролю, діагностики та прогнозування міцності матеріалів, деталей та електронних систем нафтогазового обладнання» (2000-2002 рр., номер держреєстрації 0100U001979); 2Б-2004 «Розробка новітніх технологій, що забезпечують підвищення міцнісної надійності машин та їх електронного обладнання» (2004-2005 рр., номер держреєстрації 0104U002103); 12Б-2011 «Забезпечення міцності і герметичності модулів, герметизованих компаундом, при термоударах» (2011-2012 рр., номер держреєстрації 0111U002304); Ф41.2/025-2011 «Дослідження електрокерованих нанорозмірних компаундів і можливості їх застосування в безрезонансних кріпильних пристроях для тестування виробів електронної техніки на вібро- та удароміцність» (2011-2012 рр., номер держреєстрації 0111U006775); 5Б-2013 «Множинні зворотні задачі механіки структурно-складних технічних систем» (2013-2015 рр., номер держреєстрації 0113U002064); 4Б-2015 «Розвиток наукових та інженерних основ надійності електронної техніки шляхом удосконалення технології її тестування на вібрації та удари» (2015-2016 рр., номер держреєстрації 0115U000225); 2Б-2017 «Розробка наукових основ захисту виробів радіоелектроніки, закріплених на об'єднувальних платах, від деформацій плат, а плат від динамічних і теплових навантажень» (2017-2019 рр., номер держреєстрації 0117U001168); госпдоговірної теми 02-2019 «Розробка методів контролю, діагностики та прогнозування міцності та герметичності корпусів інтегральних модулів надвисоких частот в умовах перепадів тиску та температури» (2019 р., номер держреєстрації 0119U101419); 1Б-2020 «Наукові основи перетворення критичних обертів в некритичні, резонансних частот в нерезонансні і критичних сил по Ейлеру в некритичні в виробках військової і невійськової техніки» (2020-2022 рр., номер держреєстрації 0120U102067); 3Б-2020 «Неруйнівний контроль, діагностування та прогнозування технічного стану електронних систем методом акустичної емісії в виробках військової і невійськової техніки» (2020-2021 рр., номер держреєстрації 0120U102069).

4. Особистий внесок здобувача в отриманні наукових результатів

У дисертаційній роботі автором обґрунтовано загальну концепцію роботи, сформульовано мету і завдання досліджень та визначено підходи до їх реалізації. Основні наукові положення та практичні результати дисертаційної роботи, які виносяться на захист, одержані здобувачем особисто.

Особиста основна ідея здобувача, яка подана у цій дисертаційній роботі – теоретичне обґрунтування можливості зменшення статичних і динамічних навантажень, напружень і деформацій та забезпечення міцності деталей, вузлів та блоків електронної апаратури на стадіях проектування, виробництва і експлуатації на основі проведення комплексного математичного моделювання динамічних процесів у несівних системах електронної апаратури з урахуванням дії технологічних і експлуатаційних навантажень.

3 робіт, опублікованих у співавторстві, використовуються результати, отримані здобувачем особисто: [1, 5, 7, 17, 18, 43, 48, 49] – визначено вплив конструктивно-технологічного виконання на передачу деформацій в конструкціях друкованих плат; [1, 5, 7, 18, 38, 42] – обґрунтовано технологічні способи зменшення передачі деформацій від друкованої плати до електронних компонентів та удосконалено методику визначення допустимого короблення друкованих плат; [4, 6, 13–16, 22, 31, 33, 38–40, 53] – подано розрахункові та експериментальні методи оцінки та забезпечення міцності герметизованих електронних компонентів під дією експлуатаційних навантажень; [13, 14, 39, 40] – отримано вираз для визначення контактного тиску на межі поділу матеріалів електронних компонентів, що мають форму тіл обертання, та оточуючого шару герметика, в умовах експлуатаційного напружено-деформованого стану; [4, 15, 16, 22, 30, 33, 38] – запропоновано створення пружно-дисипативного зв'язку між електронним компонентом та герметиком та оцінено його ефективність для захисту електронних компонентів герметизованих компаундом; [1, 3, 19, 27, 28, 41, 44–46, 50–52, 55] – розвинуто методику акустико-емісійного діагностування технічного стану дефектів паяних з'єднань друкованих плат та [1, 20, 31, 44, 55] – герметичності корпусів модулів надвисоких частот; [1, 10, 21, 25, 30, 37] – розвинуто теорію вібраційного захисту електронної апаратури за рахунок застосування комплексного підходу до математичного моделювання вільних і кінематично-збуджуваних коливань друкованих плат;

[1, 10, 21, 23, 29, 32, 37, 47] – запропоновані методи дослідження процесу передачі динамічних деформацій у структурно-складних конструкціях електронної техніки; [35–37, 49, 54] – розроблено математичну модель оцінки динамічного напружено-деформованого стану друкованих плат під дією інерційного гармонічного навантаження; [11, 36, 37] – отримано функціональні залежності динамічних напружень та переміщень від геометричних параметрів друкованих плат та обґрунтовано незалежність максимальних динамічних напружень друкованих плат від місця розташування зосередженої маси; [8, 11, 36, 37] – запропоновано метод визначення максимальних динамічних напружень конструкції друкованих плат представлених еквівалентною коливною системою із зосередженою масою; [9, 10, 11, 34, 37] – визначено вплив пружно-дисипативних характеристик на різних рівнях конструктивної складності несівних конструкцій електронної апаратури на вібраційну збудженість друкованих плат та встановлено, що конструкційне демпфування сухого тертя перевершує демпфування внутрішнього в'язкого тертя в матеріалі деталей; [9, 12, 26, 37] – теоретично та експериментально обґрунтовано ефективність застосування демпферу сухого тертя та визначено його конструктивні параметри.

5. Ступінь використання в дисертації матеріалів і висновків кандидатської дисертації здобувача. У докторській дисертації «Розроблення науково-прикладних засад динаміки та міцності несівних систем електронної апаратури» матеріали кандидатської дисертації «Діагностика міцності нероз'ємних елементів конструкцій методом акустичної емісії» (1998 р.) Ковтуна І. І. не використовувались.

6. Достовірність та обґрунтованість отриманих результатів та запропонованих автором рішень, висновків, рекомендацій забезпечені чіткою постановкою та виконанням завдань, використанням фундаментальних законів механіки, математики та математичної фізики. Дослідження вільних і кінематично збуджуваних вимушених коливань друкованої плати проведено із застосуванням методів динаміки дискретних і континуально-дискретних пружних систем. Розроблення методів аналітичної оцінки напружено-деформованого стану і динамічних процесів у платах виконано для конструкцій друкованих плат, що перебувають під дією статичних і динамічних навантажень із застосуванням методів теоретичної механіки, опору матеріалів, будівельної механіки, теорії пружності та теорії механічних коливань; розрахунки кріпильних вузлів друкованих плат на міцність і деформативність проведено методом сил, дослідження міцності елементів електронних компонентів, що мають форму тіл обертання, використовуються в конструкціях із загальною герметизацією та перебувають під дією термоударів, – із застосуванням теорії Ламе-Гадоліна про взаємодію складених товстостінних циліндрів; дослідження динамічної поведінки конструкцій друкованих плат в умовах кінематичного збудження – із застосуванням теорії обернених задач динаміки, методу Мора, методів розв'язання рівнянь математичної фізики тощо. Розроблення методу ідентифікації фізико-механічних характеристик матеріалів елементів несівних конструкцій електронної апаратури в умовах, наближених до експлуатаційних, здійснено шляхом розв'язання обернених задач міцності. Перевіркові розрахунки та симуляція напружено-деформованого стану і динамічних процесів друкованих плат виконані із використанням системи автоматизованого проєктування MathCad та пакету прикладних програм для числового аналізу Matlab, зокрема візуального програмування Simscape Multibody. Для експериментального визначення напружень і деформацій в несівних конструкціях електронної апаратури різного рівня конструктивної складності із врахуванням особливостей дослідження параметрів напружено-деформованого стану малогабаритних елементів конструкцій були модифіковані і адаптовані такі методи експериментального дослідження як метод електротензометрії, метод акустичної емісії, методи віброметрії.

Обґрунтованість та вірогідність отриманих наукових результатів підтверджується апробацією результатів роботи на наукових семінарах та міжнародних науково-технічних конференціях, а також впровадженням результатів роботи у виробництво та у навчальний процес.

7. Наукова новизна одержаних результатів

Наукова новизна дисертаційної роботи полягає у розвитку науково-прикладних засад динаміки та міцності несівних систем електронної апаратури, спрямованих на зменшення напружень і деформацій в елементах конструкцій за рахунок раціонального добору їх геометричних, інерційних та пружно-дисипативних параметрів систем. Зокрема:

уперше:

- із застосуванням методу скінченних елементів для моделювання напружено-деформованого стану і коливальних процесів у друкованій платі теоретично обґрунтовано застосування розрахункової моделі друкованої плати у вигляді багатопрогонової балки із зосередженими та розподіленими масами, шарнірно-закріпленої на кінцях, що дає можливість істотно спростити динамічний аналіз механічної системи;

- запропоновано низку дискретних і континуально-дискретних математичних моделей вільних і кінематично-збуджуваних коливань друкованої плати, із застосуванням яких проілюстровано істотний вплив вібрацій на умови експлуатації електронної апаратури;

- теоретично обґрунтовано можливість виникнення резонансних коливань друкованої плати під час експлуатації не лише на нижчій, а й на більш високих власних частотах. Усунення цих небезпечних явищ може бути здійснено лише на основі детального аналізу динамічних процесів у механічній системі плати;

- встановлено закономірності впливу геометричних та фізико-механічних параметрів друкованої плати, а також характеристик динамічних процесів, що виникають під час експлуатації блоків електронної апаратури, на максимальні напруження і деформації елементів несівної системи, що дає можливість здійснювати раціональний добір параметрів конструкцій для забезпечення міцності і необхідної жорсткості друкованої плати;

- теоретично обґрунтовано ефективність зменшення динамічних навантажень, напружень і деформацій друкованої плати за рахунок оснащення несівної системи демпфером сухого тертя та раціонального добору його пружно-дисипативних характеристик. Розроблена математична модель дає можливість обґрунтовувати значення коефіцієнту жорсткості та проводити інженерний розрахунок конструктивних параметрів демпферу сухого тертя у вигляді пів-еліптичної балки прямокутного поперечного перерізу;

удосконалено:

- технологію наскрізного монтажу електронних компонентів із збільшенням довжини монтажних виводів на друкованій платі, що забезпечує зменшення коефіцієнта передачі деформацій від основи друкованої плати до електронних компонентів, на відміну від технології низького наскрізного, або поверхневого монтажу. Ефективність технології обґрунтовано математичним моделюванням напружено-деформованого стану конструкції друкованої плати у вигляді статично невизначуваної плоскої стрижневої системи в умовах дії експлуатаційного навантаження;

- технологію визначення допустимого короблення друкованої плати, яка полягає у забезпеченні допустимого параметру напружено-деформованого стану паяних з'єднань, що відповідає відношенню границі текучості паяного з'єднання до коефіцієнту запасу короблення, на відміну від стандартизованого показника якості друкованої плати – площинності, для оцінки якого застосовують характеристики згинання та скручування основи друкованої плати;

- методологію аналізу напружено-деформованого стану елементів герметизованого електронного модуля у вигляді складеного товстостінного циліндра з урахуванням особливостей взаємодії керамічного сердечника з композитним захисним шаром за перепаду температур фізичних тіл. Встановлено, що в матеріалі електронного компоненту і в оточуючому шарі герметика радіальні напруження досягають максимальних значень на межі їх контакту, а колові – на внутрішній поверхні кожного циліндру за відсутності перепаду температур;

набула подальшого розвитку:

- теорія вібраційного захисту електронної апаратури за рахунок застосування комплексного підходу до математичного моделювання вільних і кінематично-збуджуваних коливань друкованих плат;

– акустико-емісійна методика неруйнівної діагностики міцності нероз’ємних елементів конструкцій електронної апаратури, зокрема їх паяних та зварних з’єднань, відмінність якої від існуючих полягає у відборі таких інформативних параметрів як амплітуда та сумарний рахунок сигналів акустичної емісії, обмеження яких щодо порогового рівня в умовах циклічного навантаження свідчить про придатність об’єкту дослідження до експлуатації.

8. Практична цінність результатів дослідження із зазначенням конкретного підприємства або галузі народного господарства, де вони можуть бути застосовані

Практичні рекомендації спрямовані на забезпечення міцності несівних систем електронної апаратури, містять: технологічні методи забезпечення міцності компонентів та вузлів, що перебувають під дією статичних та циклічних технологічних навантажень; інженерні методи оцінки та конструктивні методи забезпечення міцності деталей та вузлів в умовах дії динамічних експлуатаційних навантажень; методи ідентифікації фізико-механічних характеристик матеріалів елементів несівних конструкцій електронної апаратури в умовах наближених до експлуатаційних.

Здійснено впровадження результатів наукових досліджень на наступних підприємствах: Державному підприємстві «Новатор», м. Хмельницький – застосування демпферу сухого тертя для зменшення динамічного напружено-деформованого стану друкованих плат (акт від 12.12.2022), метод розрахунку та вимірювання напружень і деформацій та технологічні методи захисту електронних компонентів у герметизованих компаундом електронних модулях під дією термоударів (акт від 11.12.12) та конструктивні методи забезпечення міцності деталей та вузлів електронної апаратури в умовах дії динамічних навантажень (акт від 27.12.2016); науково-дослідному інституті радіолокаційних систем «Квант-радіолокація», м. Київ – інженерні методи оцінки та забезпечення міцності друкованих плат в умовах вібраційних навантажень (акт від 20.12.2016); Подільському експертно-технічному центрі Держнаглядохоронпраці, м. Хмельницький – методика акустико-емісійної неруйнівної технічної діагностики із застосуванням лінійної, площинної та просторової локації дефектів та метод електротензометрії посудин що працюють під тиском (акт від 21.12.2001); ТзОВ «Альпмонтаж», м. Хмельницький – метод акустико-емісійного неруйнівного діагностування міцності і герметичності модулів та компонентів бортового радіоелектронного обладнання (корпусів модулів НВЧ, керамічних конденсаторів) під дією надмірного тиску та температури в статичному та циклічному режимі навантажень (акти від 06.09.2019 та від 08.12.2022).

9. Перелік наукових праць, які відображають основні результати дисертації

Дисертація Ковтуна І. І. містить особисто отримані здобувачем науково обґрунтовані результати, а кількість та якість наукових праць, опублікованих за її матеріалами, відповідають постанові Кабінету Міністрів України № 1197 від 17 листопада 2021 року «Деякі питання присудження (позбавлення) наукових ступенів», що затверджує «Порядок присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук».

За результатами досліджень опубліковано 55 наукових праць, у тому числі: 2 монографії; 1 розділ монографії опублікований у закордонному виданні; 13 публікацій, включених до переліку наукових фахових видань України; 3 статті у наукових періодичних виданнях інших держав; 6 публікацій у закордонних виданнях, проіндексованих у наукометричних базах Web of Science та Scopus; 1 патент України на корисну модель; 11 матеріалів доповідей на міжнародних конференціях у виданнях, що реферуються наукометричними базами Web of Science, Scopus; 12 праць апробаційного характеру; 6 праць, які додатково відображають наукові результати докторської дисертації. Провідний внесок за обсягом у матеріали публікацій належить здобувачу. 3 робіт, опублікованих у співавторстві, в дисертації використані лише ті результати, які були одержані автором особисто. Перераховані публікації достатньо повно відображають запропоновані в роботі теоретичні та практичні рішення.

Монографії:

1. **Ковтун І. І.** Деформації конструкцій електронних техніки в умовах експлуатаційних навантажень / І. І. Ковтун, В. П. Ройзман. – Хмельницький: ХНУ, 2019. – 230 с.

Здобувачем обґрунтовано загальну концепцію роботи, сформульовано мету і завдання досліджень та визначено підходи їх реалізації.

2. **Ковтун І. І.** Наукові та прикладні основи забезпечення міцності електронних систем під дією експлуатаційних та технологічних навантажень / І. І. Ковтун. – Хмельницький: ХНУ, 2021. – 256 с.

Розділи монографій, що опубліковані у закордонних виданнях:

3. **Kovtun I.** Acoustic emission diagnostics of solder joints on printed circuit boards / I. Kovtun, V. Royzman, A. Voznyak // Quality and Reliability of Technical Systems: Theory and Practice. JVE Book Series on Vibroengineering / JVE International Ltd. – Vol. 2. – Vilnius: Lithuania, 2018. – P. 214–229. – ISSN 2351-5260. DOI: <https://doi.org/10.21595/9786099603636>.

Здобувачем запропоновано методику акустико-емісійного діагностування міцності нероз'ємних елементів конструкцій електронної техніки на основі ефекту Кайзера.

Перелік статей у журналах, що реферуються науково-метричними базами даних Scopus, Web of Science:

4. Calculation of mechanical stresses in adjoint system of electronic component and compound and strength assessment / V. Royzman, S. Petrashchuk, **I. Kovtun**, A. Lokoshchenko // Journal of Vibroengineering. - Vilnius, 2013. – Vol. 15, Issue 1. – P. 65–71. – ISSN 1392-8716.

Здобувачем виявлено закономірність виникнення максимальних напружень електронних компонентів, що мають форму тіл обертання та оточуючого шару компаунду.

5. Effects of the strain transmission from the main board to the installed electronic components / **I. Kovtun**, J. Boiko, S. Petrashchuk, G. Baurienė, K. Pilkauskas // Mechanika. – Kaunas: KTU, 2016. - Vol. 22, № 6. - P. 494–489. - ISSN 1392–1207. DOI: <https://doi.org/10.5755/j01.mech.22.6.16891>.

Здобувачем визначено вплив конструктивно-технологічного виконання на передачу деформацій в конструкціях друкованих плат.

6. Petrashchuk S. Solving Problem of Thermal Conduction for Providing Strength of Electronic Units on Thermal Impacts / S. Petrashchuk, **I. Kovtun**, A. Voznyak // Heat and Mass Transfer in the System of Thermal Modes of Energy. Technical and Technological Equipment (HMTTSC-2016): MATEC Web of Conferences (Tomsk, April 19-21, 2016). – Vol. 72, P. 5. – eISSN 2261-236X. DOI: <https://doi.org/10.1051/mateconf/20167201086>.

Здобувачем здійснено аналітичну оцінку напружень від дії контактного тиску та нерівномірності розподілення температури в герметизованих електронних компонентах.

7. **Kovtun I.** Stress computation and reduction by cyber-physical systems controlling printed circuit board manufacturing technology / I. Kovtun, V. Royzman // Book Chapter: Cyber-Physical Systems: Design and Application for Industry 4.0, Studies in Systems, Decision and Control. – 2021. – Vol. 342. – P. 49–60. – ISSN 2198-4182. DOI: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-66081-9_4.

Здобувачем теоретично обґрунтовано зменшення напружено-деформованого стану електронних компонентів за рахунок збільшення монтажної довжини їх виводів.

8. **Kovtun I.** Mathematical modeling of stress in circuit cards represented by mechanical oscillatory systems / I. Kovtun, A. Goroshko, S. Petrashchuk // Advances in Science and Technology Research Journal, 2022. – Vol. 16, Iss. 1. – P. 303–315. – ISSN 2299-8624 DOI: <https://doi.org/10.12913/22998624/144574>.

Здобувачем розроблено математичну модель визначення максимальних напружень друкованих плат представлених коливною системою у вигляді балки шарнірно-закріпленої на кінцях.

9. **Kovtun I.** Design of Dry Friction Damper to Reduce Vibration Impacts to Circuit Cards at Critical Frequencies / I. Kovtun, A. Goroshko, S. Petrashchuk // Advances in Science and Technology Research Journal. – 2024. – Vol. 18, Issue 2. – P. 78-87. – ISSN 2299-8624. DOI: <https://doi.org/10.12913/22998624/184026>.

Здобувачем теоретично обґрунтовано ефективність зменшення динамічних навантажень, напружень і деформацій друкованої плати за рахунок оснащення несівної

системи демпфером сухого тертя та раціонального добору його пружно-дисипативних характеристик.

Перелік статей у наукових періодичних виданнях інших держав:

10. Theory and practice of vibration analysis in electronic packages / **Kovtun I.**, Boiko J., Petrashchuk S., Kałaczyński T. // The 17th International Conference Diagnostics of Machines and Vehicles: MATEC Web of Conferences (Bydgoszcz, September 25-26, 2018). – Vol. 182 (02015). – 10 p. – eISSN 2261-236X. DOI: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201818202015>.

Здобувачем проведено експериментальне дослідження процесу передачі динамічних деформацій у структурно-складних конструкціях електронної техніки.

11. Methods for Vibration Reduction in Enclosed Electronic Packages / **Igor Kovtun**, Juliy Boiko, Svitlana Petrashchuk, Tomasz Kałaczyński // The 18th International Conference Diagnostics of Machines and Vehicles. Diagnostics of Various Technical Objects: MATEC Web of Conferences (Bydgoszcz, December 12, 2019). – Vol. 302, 10 p. – eISSN 2261-236X. DOI: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201930201008>.

Здобувачем обґрунтована ефективність конструкційного демпфування, обумовленого силою сухого тертя, в порівнянні із демпфуванням, зумовленим силою внутрішнього в'язкого тертя в матеріалі деталей.

12. Design of elastic and dissipation joints in bearing structures of electronic packages / **I. Kovtun**, J. Boiko, S. Petrashchuk, M. Liss // The 20th International Conference Diagnostics of Machines and Vehicles. Hybrid Multimedia Mobile Stage: MATEC Web of Conferences (Bydgoszcz-Poledno, December 1–2, 2021). – Vol. 351. – P. 11. – eISSN 2261-236X. DOI: <https://doi.org/10.1051/mateconf/202135101012>.

Здобувачем теоретично обґрунтовано і експериментально підтверджено ефективність зменшення динамічних напружень та переміщень друкованих плат об'єднаних в коливній системі із демпфером сухого тертя.

Перелік статей у виданнях, що входять до переліку наукових фахових видань України (категорії Б):

13. Камбург В. Г. Моделирование температурных полей в сложных микромодулях, герметизируемых компаундом / В. Г. Камбург, С. А. Григоренко, **И. И. Ковтун** // Вісник Технологічного університету Поділля. – Хмельницький: ХНУ, 2000. – №6, ч. 3: Спец. випуск. – С. 10-13.

Здобувачем аналітично обґрунтовано визначення максимальних напружень в системі електронний компонент – компаунд для сталого перепаду температур.

14. Ройзман В. П. Ідентифікація фізико-механічних характеристик полімерних матеріалів / В. П. Ройзман, **І. І. Ковтун**, С. А. Петрашук // Вісник Технологічного університету Поділля. – Хмельницький: ТУП, 2002. – № 4, ч. 1. – С. 18-25.

Здобувачем отримано вираз для визначення контактного тиску на межі поділу матеріалів електронних компонентів, що мають форму тіл обертання, та оточуючого шару герметика, в умовах експлуатаційного напружено-деформованого стану.

15. Ройзман В. П. Розрахунок напружень в системі компаунд-електронний елемент при термоударах / В. П. Ройзман, **І. І. Ковтун**, С. А. Петрашук // Вісник Технологічного університету Поділля. – Хмельницький: ТУП, 2002. – № 1. – С. 189-195.

Здобувачем отримані епюри розподілення напружень по радіусу електронного компонента та оточуючого шару компаунда.

16. Ройзман В. П. Забезпечення термоміцності пасивних електронних елементів в вузлах з загальною герметизацією компаундом / В. П. Ройзман, **І. І. Ковтун**, С. А. Петрашук // Вісник Технологічного університету Поділля. – Хмельницький: ТУП, 2002. – № 6, ч. 1. – С. 234-237.

Здобувачем запропоновано експериментальний спосіб визначення граничних напружень в електронних елементах із загальною герметизацією компаундом.

17. Ройзман В. П. Забезпечення завадостійкості дротяних малобазних тензорезисторів для вимірювання дійсних значень деформацій виробів електронної техніки / В. П. Ройзман, **І. І. Ковтун**, О. К. Білик // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – Хмельницький, 2018. – № 6, т. 1. – С. 234-239.

Здобувачем виявлено конструктивно-технологічні фактори, що впливають на тензочутливість і спричиняють похибку вимірювання малобазних тензодатчиків.

18. Вплив технології формування виводів дискретних компонентів на передачу деформацій від об'єднувальної плати / Ю. М. Бойко, **І. І. Ковтун**, С. А. Петрашук, Р. В. Тертичний // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. Радіотехніка, електроніка та телекомунікації. – Хмельницький: ХНУ, 2018. – № 5. – С. 73-78.

Здобувачем запропоновано технологію монтажу, що дозволяє зменшення передачі деформацій від основи друкованої плати до електронних компонентів.

19. **Kovtun I.** Acoustic emission application for nondestructive strength diagnostics of printed circuit boards / I. Kovtun, J. Boiko, S. Petrashchuk // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – Хмельницький: ХНУ, 2018. – № 1 (257). – С. 12-17.

Здобувачем визначено інформативні параметри акустичної емісії для виявлення дефектів паяних з'єднань друкованих плат.

20. Методи неруйнівної діагностики надійності герметизації модулів надвисоких частот / Ю. М. Бойко, **І. І. Ковтун**, С. А. Петрашук, О. В. Ковальчук // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – Хмельницький: ХНУ, 2018. – № 6, т. 1. – С. 227-233.

Здобувачем розроблено акустико-емісійну методику неруйнівної діагностики герметичності модулів надвисоких частот.

21. Ройзман В. П. Оцінка вібрацій в конструкціях блоків радіоелектронної апаратури під дією зовнішнього динамічного навантаження / В. П. Ройзман, **І. І. Ковтун**, Б. О. Жухоров // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – Хмельницький: ХНУ, 2018. – № 6, т. 1. – С. 26-31.

Здобувачем експериментально визначено власні частоти і форми коливань друкованих.

22. **Ковтун І. І.** Вплив герметизації на виникнення та передачу температурних деформацій електронних модулів / І. І. Ковтун, С. А. Петрашук, Ю. М. Бойко // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – Хмельницький: ХНУ, 2022. – № 3. – С. 20-25.

Здобувачем розвинуто аналітичний та експериментальний методи оцінки об'ємного напружено-деформованого стану герметизованих електронних модулів.

23. Горошко А. Підвищення точності вібраційного аналізу друкованих плат бортової електроніки / А. Горошко, **І. Ковтун**, М. Зембицька / Вісник ХНУ. Технічні науки. - Хмельницький: ХНУ, 2022. - С. 301-306.

Здобувачем проведено аналіз аналітичного методу та здійснено експериментальне визначення власних частот і форми коливань друкованих плат

24. **Ковтун І. І.** Вібраційні випробування та захист несівних конструкцій електронної апаратури на різних рівнях конструктивної складності // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – Хмельницький: ХНУ, 2023. – № 5, т. 2. – С. 182-191.

25. **Ковтун І. І.** Математичне моделювання вільних і кінематично збуджуваних коливань друкованої плати електронної апаратури / І. І. Ковтун, А. Р. Біловус // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – Хмельницький: ХНУ, 2024. – № 3, т. 2. – С. 467-479.

Здобувачем розроблено математичні моделі вільних і кінематично-збуджуваних коливань друкованої плати електронної апаратури.

Патент на корисну модель:

26. Пат. 150735 U Україна, МПК F16F15/00 H05K7/12. Пристрій зниження динамічних напружень та деформацій друкованих плат/ **Ковтун І. І.**, Горошко А. В.; Петрашук С. А., Бойко Ю. М.; заявник і патентотримувач Хмельниц. нац. ун-т. – № u 202105920; заявл. 21.10.2021; опубл. 06.04.2022, Бюл. № 14. - 5 с. : іл.

Здобувачем розроблено пристрій для зниження динамічних напружень та деформацій друкованих плат.

Матеріали доповідей на міжнародних конференціях у виданнях, що реферуються наукометричними базами Web of Science, Scopus:

27. Silin R. I. Improving Reliability of Machine Units and Details by Acoustic Emission Diagnosing / R. I. Silin, V. P. Royzman, **I. I. Kovtun** // Proceedings of the 11th World Congress in Mechanism and Machine Science, (Tianjin, China, 1–4 April 2004). – Tianjin, 2004. – P. 2217–2221.

Здобувачем запропоновано реалізацію та перспективи застосування акустико-емісійної неруйнівної діагностики міцності та локації дефектів об'єктів техніки.

28. **Kovtun I.** Nondestructive strength diagnostics of solder joints on printed circuit boards / I. Kovtun, J. Boiko, S. Petrashchuk // Proceedings of the Second IEEE International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics (UkrMiCo 2017), (Odessa, Ukraine, 1115 September, 2017). – P. 1–4. DOI: <https://doi.org/10.1109/UkrMiCo.2017.8095401>.

Здобувачем розроблено метод неруйнівної діагностики міцності друкованих плат під дією статичного навантаження на згин.

29. Boiko J. Vibration transmission in electronic packages having structurally complex design / J. Boiko, **I. Kovtun**, S. Petrashchuk // Proceedings of the First Ukraine IEEE international Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON - 2017), (Kiev, 29 May – 2 June, 2017). – P. 514–517 DOI: <https://doi.org/10.1109/UKRCON.2017.8100294>.

Здобувачем розвинуто підхід до вібраційного дослідження структурно-складних конструкцій електронної техніки.

30. **Kovtun I.** Stress estimation for encapsulated electronic packages subjected to thermal impacts / Kovtun I., Petrashchuk S., Boiko J. / Proceeding of the IEEE International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics (UkrMiCo), (Odessa, 10–14 September, 2018). – P. 5. DOI: <https://doi.org/10.1109/UkrMiCo43733.2018.9047514>.

Здобувачем отримані функції визначення максимальних загальних напружень електронних компонентів та оточуючого шару компаунду від дії контактного тиску.

31. **Kovtun I.** Nondestructive hermetic seal diagnostics and prediction method for super-high-frequency modules / I. Kovtun; J. Boiko; S. Petrashchuk // The 14th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics. Telecommunications and Computer Engineering (TCSET), (Lviv – Slavske, 20–24 February, 2018). – P. 776 – 780. DOI: <https://doi.org/10.1109/TCSET.2018.8336314>.

Здобувачем виявлено характер напружено-деформованого стану та запропонована методика діагностики міцності корпусів модулів НВЧ.

32. **Kovtun I.** Identification of natural frequency and form of oscillation for electronic packages subjected to vibration / I. Kovtun, J. Boiko, S. Petrashchuk // Proceedings of the 38th IEEE International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO), (Kiev, 24–26 April, 2018). – P. 621–626. DOI: <https://doi.org/10.1109/ELNANO.2018.8477492>.

Здобувачем запропоновані методи дослідження передачі динамічних деформацій до друкованих плат в структурно-складних несівних конструкціях.

33. **Kovtun I.** Thermal stress in encapsulated electronic packages / I. Kovtun, S. Petrashchuk, J. Boiko // Proceedings of the IEEE International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics (UkrMiCo), (Odessa, Ukraine, 9–13 September, 2019). – P. 6. DOI: <https://doi.org/10.1109/UkrMiCo47782.2019.9165520>.

Здобувачем проведено аналітичний аналіз загальних напружень в герметизованих електронних модулях в нестационарному та стаціонарному режимі температурного навантаження.

34. **Kovtun I.** Assessing Enclosure Case Design on Excitation and Transmission of Vibration in Electronic Packages / I. Kovtun, J. Boiko, S. Petrashchuk // Proceedings of the 2nd IEEE Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON), (Lviv, July 2–6, 2019). – P. 265–270. DOI: <https://doi.org/10.1109/UKRCON.2019.8879782>.

Здобувачем визначено вплив пружно-дисипативних характеристик на різних рівнях конструктивної складності несівних конструкцій на збудженість коливань друкованих плат.

35. **Kovtun I.** Mathematical model for dynamic force analysis of printed circuit boards / I. Kovtun, J. Boiko, S. Petrashchuk // Journal of Physics: Conference Series, The First International Conference on Advances in Smart Sensor, Signal Processing and Communication Technology (ICASSCT 2021), (Goa, India, March 19–20, 2021). – P. 1–8. DOI: <http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/1921/1/012120>.

Здобувачем розроблено математичну модель розрахунку максимальних напружень і деформацій у друкованих платах в умовах дії динамічного навантаження.

36. **Kovtun I.** Mathematical Model for Dynamic Strength and Stiffness Control in Printed Circuit Boards // I. Kovtun, A. Goroshko, S. Petrashchuk // Proceedings of the 25th International scientific conference «Mechanika 2021», (Kaunas, Lithuania, May 21, 2021). – Kaunas: KTU, 2021. – P. 28–29. DOI: <https://mechanic.ktu.edu/mechanika-2021/#Section-A>.

Здобувачем розроблено математичну модель оцінки динамічної міцності та жорсткості друкованих плат в умовах динамічного гармонічного навантаження.

37. **Kovtun I.** Deformations in structures of electronic systems under external impacts / I. Kovtun, S. Petrashchuk, J. Boiko // Proceedings of the IEEE International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics (UkrMiCo 2021), (Kiev, November 29 – December 3, 2021). – P. 304-309. DOI: <https://doi.org/10.1109/UkrMiCo52950.2021.9716709>.

Здобувачем подано розрахункові та експериментальні методи оцінки та забезпечення міцності електронних систем під дією експлуатаційних та технологічних навантажень.

Праці апробаційного характеру:

38. Ройзман В. П. Термопрочность компаундированных пассивных электронных элементов / В. П. Ройзман, **И. И. Ковтун**, С. А. Петрашук // Современные информационные и электронные технологии: зб. праць третьої міжнар. наук.-практ. конф. (СИЭТ 2002), (Одеса, 20–24 травня 2002 р.). – Одеса: Одеський політехнічний університет, ОАО «Нептун», 2002. – С. 145.

Здобувачем запропоновано експериментальний спосіб оцінки термоміцності герметизованих конструкцій.

39. Петрашук С. А. Визначення фізико-механічних характеристик полімерних матеріалів методом ідентифікації / Петрашук С. А., Ройзман В. П., **Ковтун І. І.** // Підвищення якості, надійності та довговічності технічних систем і технологічних процесів: зб. праць VI між нар. наук. техн. конф., (Хургада, Єгипет, 2–9 грудня 2007 р.). – Хмельницький: ХНУ, 2007. – С. 140-145.

Здобувачем експериментально визначено фізико-механічні характеристик кераміки резисторів та компаунду.

40. Petrashchuk S. Theoretical and experimental evaluation of strain in compounded electronic components under thermal impact / Svitlana Petrashchuk, **Igor Kovtun** // Proceedings of the International Conference on Science and Education, (Colombo, Sri Lanka, February 12–22, 2010). – Khmelnytskyi: KHNU, 2010. – P. 79–84.

Здобувачем проведено розрахунок радіальних та тангенціальних напружень електронних компонентів герметизованих компаундом.

41. Горошко А. В. Диагностика технического состояния изделий радиоэлектроники методом акустической эмиссии / А. В. Горошко, **И. И. Ковтун**, А. Т. Богорош // Наука і освіта: зб. праць міжнар. наук. метод. семінару, (Дубай, ОАЕ, 13–20 грудня 2011 р.). – Хмельницький: ХНУ, 2011. – С. 38-41.

Здобувачем визначено інформативні параметри акустичної емісії для технічної діагностики виробів радіоелектроніки.

42. **Ковтун І. І.** Проблема міцності та надійності експлуатації виробів радіоелектроніки, закріплених на об'єднувальних платах, в умовах деформацій, що виникають від дії зовнішнього силового навантаження, та захист від нього / І. І. Ковтун, С. А. Петрашук / Сучасні досягнення в науці і освіті: зб. праць XI між нар. наук. конф., (Ієрусалим, Ізраїль 28 вересня – 5 жовтня 2016 р.). – Хмельницький: ХНУ, 2016. – С. 76-84.

Здобувачем сформульовано ідею створення теорії і практики захисту виробів електронної апаратури від силового навантаження.

43. **Ковтун І. І.** Вибір та характеристика методу для неруйнівної діагностики міцності паяних з'єднань друкованих плат / І. І. Ковтун, С. А. Петрашук // Наука і освіта: зб. праць X Міжнар. наук. конф. (Рим, Італія, 27 квітня – 4 травня 2017 р.). – Хмельницький: ХНУ, 2017. – С. 24-32.

Здобувачем показано перспективи використання методу акустичної емісії для виявлення дефектів паяних з'єднань.

44. Неруйнівне діагностування і прогнозування міцності та герметичності корпусів електронних модулів НВЧ / Ю. М. Бойко, В. П. Ройзман, **І. І. Ковтун**, С. А. Петрашук // Проблеми координації воєнно-технічної та оборонно-промислової політики в Україні. Перспективи розвитку озброєння та військової техніки: V Міжнародна науково-практична конференція «Зброя та безпека 2017», (Київ, 11–12 жовтня 2017 р.). – Київ: МВЦ. – С. 223–225.

Здобувачем подано методики неруйнівного діагностування герметичності корпусів електронних модулів НВЧ при циклічному пневматичному навантаженні.

45. **Ковтун І. І.** Визначення навантаження та деформацій, що приводять до руйнування контактних ділянок керамічних конденсаторів / І. І. Ковтун, Ю. М. Бойко, С. А. Петрашук // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах: матеріали XVII міжнар. наук.-техн. конф., (Одеса, 8–13 червня 2017 р.). – Одеса: Одеська нац. акад. зв'язку ім. О. С. Попова, 2017. – С. 192–194.

Здобувачем запропоновано методику випробування паяних з'єднань керамічних конденсаторів.

46. **Kovtun I. I.** Acoustic emission application for nondestructive solder joint diagnostics / I. I. Kovtun, S.A Petrashchuk // Science and education: proceedings of the XII International Conference, (Oslo, Norway, 1–10 July, 2018). – Khmel'nitskiy: KHNU, 2018. – P. 3–13.

Здобувачем подано методику неруйнівної діагностики міцності наскрізного та поверхневого монтажу електронних компонентів.

47. **Kovtun I. I.** Natural frequency estimation for electronic packages subjected to vibration / I. I. Kovtun, S. A. Petrashchuk // Modern Achievements of Science: proceedings of the XIII international conference, (Netanya, Israel, September 6–13, 2018). – Khmel'nitskiy: KHNU, 2018. – P. 142–148.

Здобувачем проведено аналіз математичної моделі на основі теорії коливань пластин для визначення власної частоти та форми коливань друкованих плат.

48. **Ковтун И. И.** Расчет и снижение напряжений в печатных платах под действием внешней нагрузки / И. И. Ковтун, В. П. Ройзман // Математические методы в технике и технологиях: сб. трудов 33-й междунар. науч. конф., (Казань, 14 – 18 сентября 2020 г.). – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2020. – С. 96–99.

Здобувачем теоретично обґрунтовано зменшення передачі деформацій від друкованої плати до електронних компонентів.

49. **Kovtun I.** Dynamic Strength and Stiffness Assessment of Circuit Cards with Respect to Their Geometric Parameters / I. Kovtun, A. Goroshko, S. Petrashchuk / Сучасні досягнення у науці та освіті : зб. пр. XVI Міжнар. наук. конф., 1 – 8 листоп. 2021 р., м. Нетанія (Ізраїль). – Хмельницький : ХНУ, С. 100–103.

Здобувачем отримано закономірність впливу геометричних параметрів друкованої плати на максимальні напруження і деформації елементів несівної системи електронної апаратури.

Опубліковані праці, які додатково відображають наукові результати докторської дисертації:

50. Пат. 41138 А Україна, МКИ G 01 N 29/04. Пристрій для визначення координат джерела акустичної емісії / С. В. Прохоренко, В. П. Ройзман, **І. І. Ковтун**, А. В. Горошко ; заявник та патентовласник Хмельн. нац. ун-т. – № 2001031425; заявл. 01.03.2001; опубл. 15.08.2001, Бюл. № 7. – 3 с.: іл.

Здобувачем розроблено апаратно-програмну частину системи акустичної емісії.

51. Пат. 51981 А Україна, МПК G 01 N 29/04. Спосіб визначення координат дефектів методом акустичної емісії // В. П. Ройзман, А. В. Горошко, **І. І. Ковтун**; заявник та патентовласник Хмельн. нац. ун-т. – № 2001128312; заявл. 04.12.2001; опубл. 16.12.2002, Бюл. № 12. – 3 с.: іл.

Здобувачем розроблено апаратно-програмну частину 6-ти каналної системи акустико-емісійної локації.

52. **Kovtun I.** Reliability improvement of printed circuit boards by designing methods for solder joint technical diagnostics with application of acoustic emission method / I. I. Kovtun, J. M.

Boiko, S. A. Petrashchuk // Visnyk NTUU KPI. Seria: Radiotekhnika, Radioaparaturbuduvannia. – Kyiv: NTUU KPI, 2019. – Iss. 79. – P. 60-70.

Здобувачем здійснено відбір інформативних параметрів: амплітуди та сумарного рахунку сигналів акустичної емісії для діагностики міцності паяних з'єднань.

53. Strength of electronic components encapsulated with compound under thermal impacts / J. Boiko, S. Petrashchuk, **I. Kovtun**, O. Repyuk // Вісник Університету «Україна». Інформатика, обчислювальна техніка та кібернетика. – Київ, 2019. – № 2 (23). – С. 142-150.

Здобувачем проведена аналітична та експериментальна оцінка міцності електронних компонентів герметизованих компаундом.

54. **Ковтун І. І.** Оцінка міцності та жорсткості конструкції друкованих плат в умовах динамічних навантажень / І. І. Ковтун, А. В. Горошко, С. А. Петрашук // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – Хмельницький: ХНУ, 2021. – № 1. – С. 113-120.

Здобувачем розроблено математичну модель розрахунку максимального повного напруження та прогину друкованих плат в умовах динамічного навантаження.

55. **Ковтун І. І.** Неруйнівна діагностика міцності нероз'ємних елементів конструкцій електронної техніки / І. І. Ковтун, А. В. Горошко, С. А. Петрашук // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – Хмельницький: ХНУ, 2022. – № 2. – С. 95-102.

Здобувачем розвинуто експериментальну методику неруйнівної діагностики міцності нероз'ємних елементів конструкцій електронної техніки.

10. Апробація основних результатів дослідження на конференціях, симпозіумах, семінарах тощо

Основні положення та результати дисертаційної роботи доповідалися і обговорювалися на конференціях: III міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні інформаційні та електронні технології» (м. Одеса, 2002); XI World Congress in Mechanism and Machine Science (Tianjin, China, 2004); VI міжнародній науково-технічній конференції «Підвищення якості, надійності та довговічності технічних систем і технологічних процесів» (м. Хургада, Єгипет, 2007); Міжнародних наукових конференціях «Наука і освіта» (м. Коломбо, Шрі-Ланка, 2010, Дубай, ОАЕ, 2011, Рим, Італія, 2017, Осло, Норвегія, 2018); Міжнародних наукових конференціях «Сучасні досягнення в науці і освіті» (Єрусалим, Ізраїль, 2016, Нетанія, Ізраїль, 2018); MATEC Web of Conferences «Heat and Mass Transfer in the System of Thermal Modes of Energy – Technical and Technological Equipment» (Tomsk, Russia, 2016); The Ukraine IEEE international Conferences on Electrical and Computer Engineering (Kiev, 2017, Lviv, 2019); XVII міжнародній науково-технічній конференції «Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах» (м. Одеса, 2017); The IEEE International Conferences on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics (Odessa, 2017, 2018, 2019, Kyiv, 2021); V Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми координації військово-технічної та оборонно-промислової політики в Україні. Перспективи розвитку озброєння та військової техніки» (Київ, 2017); The 14th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (Lviv – Slavske, 2018); The 38th IEEE International Conference on Electronics and Nanotechnology (Kiev, 2018); The International Conferences Diagnostics of Machines and Vehicles : MATEC Web of Conferences, (Bydgoszcz, Poland, 2018, 2019, Bydgoszcz-Poledno, Poland, 2021); 33 Міжнародній науковій конференції «Математические методы в технике и технологиях» (Казань, Россия, 2020); The First International Conference on Advances in Smart Sensor, Signal Processing and Communication Technology (Goa, India, 2021); The 25th International scientific conference «Mechanika 2021» (Kaunas, Lithuania, 2021).

11. Наукове значення виконаного дослідження із зазначенням можливих наукових галузей та розділів програм навчальних курсів, де можуть бути застосовані отримані результати

Теоретична цінність дисертації полягає у вирішенні актуальної науково-технічної проблеми зменшення статичних і динамічних напружень і деформацій та забезпечення

працездатності деталей, вузлів та блоків електронної апаратури на стадіях проєктування, виробництва і експлуатації на основі розроблення моделей і методів динаміки та міцності несівних систем електронної апаратури з урахуванням дії технологічних і експлуатаційних навантажень.

Отримані результати роботи, методики і моделі використовуються в освітньому процесі Хмельницького національного університету при викладанні дисциплін: «Конструювання та технологія виробництва електронної апаратури» (акт від 11.12.2015), «Електротехнічні матеріали», «Математичне моделювання систем і процесів» (акт від 21.12.2016) та під час виконання здобувачами вищої освіти кваліфікаційних робіт.

12. Оцінка структури дисертації, її мови та стилю викладення

Матеріали дисертації викладено послідовно у формально-логічний спосіб з дотриманням науково стилю. Дисертаційну роботу викладено на 385 стор., вона складається зі вступу, 5 розділів, висновків, додатків, списку використаних джерел із 229 найменувань.

Структура дисертації, мова та стиль викладення відповідають вимогам, що висуваються до докторських дисертацій відповідно до наказу МОН № 40 від 12.01.2017 р. (із змінами, внесеними згідно з Наказом МОН № 759 від 31.05.2019).

13. Відповідність принципам академічної доброчесності

Під час виконання дисертації здобувач КОВТУН Ігор Іванович дотримувався принципів академічної доброчесності. За результатами перевірки та аналізу матеріалів дисертації не було виявлено ознак академічного плагіату, самоплагіату, фабрикації, фальсифікації. Використані в дисертації ідеї, положення чи гіпотези інших авторів мають відповідні посилання і використані лише для підкріплення ідей здобувача.

14. Відповідність дисертації паспорту спеціальності, зв якою вона представлена до захисту. Дисертація відповідає паспорту спеціальності **05.02.09** – динаміка та міцність машин (затверджений постановою президії ВАК України від 18.11.2009 р. протокол № 30–08/5), оскільки, *згідно формули спеціальності*, на основі *дослідження динамічних процесів* у несівних системах електронної апаратури з урахуванням дії технологічних і експлуатаційних навантажень вирішує важливу науково-технічну проблему *захисту машин, приладів і апаратури, а також оператора від ударів і вібрацій* створенням розрахункових та експериментальних методів оцінки та забезпечення міцності деталей, вузлів та блоків електронної апаратури на стадіях проєктування, виробництва і експлуатації.

15. Характеристика здобувача, ступінь наукової зрілості. Проведені дослідження та опубліковані наукові праці характеризують Ковтуна І. І. як кваліфікованого фахівця та дослідника. Здобувач на високому рівні володіє методологією наукових досліджень. Здатен логічно мислити, ставити наукові завдання та пропонувати нестандартні шляхи їх вирішення. Ковтун І.І. є сформованим, кваліфікованим науковцем з глибоким теоретичним та практичним рівнем підготовки.

ВИСНОВОК

Дисертація Ковтуна Ігоря Івановича «Розроблення науково-прикладних засад динаміки та міцності несівних систем електронної апаратури» є завершеною кваліфікаційною науковою працею виконаною здобувачем самостійно, у якій представлено нове вирішення актуальної науково-технічної проблеми в галузі «Технічні науки», спрямоване на зменшення статичних і динамічних навантажень, напружень і деформацій та забезпечення міцності деталей, вузлів та блоків електронної апаратури на стадіях проєктування, виробництва і експлуатації на основі проведення комплексного математичного моделювання динамічних процесів у несівних системах електронної апаратури з урахуванням дії технологічних і експлуатаційних навантажень.

Результати дисертації повністю відображені у 55 наукових працях, у тому числі: 2 монографіях; одному розділі монографії, опублікованому у закордонному виданні; 13

включених до переліку наукових фахових видань України; 3 статтях у наукових періодичних виданнях інших держав; 6 публікаціях у закордонних виданнях, проіндексованих у наукометричних базах Web of Science та Scopus; 1 патенті України на корисну модель; 11 матеріалах доповідей на міжнародних конференціях у виданнях, що реферуються наукометричними базами Web of Science, Scopus; 12 працях апробаційного характеру; 6 працях, які додатково відображають наукові результати докторської дисертації.

Дисертація підготовлена за спеціальністю 05.02.09 – динаміка та міцність машин, і відповідає паспорту спеціальності 05.02.09 – динаміка та міцність машин (Перелік наукових спеціальностей, затверджений Наказом Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України 14 вересня 2011 року № 1057), та вимогам, які пред'являються до робіт на здобуття наукового ступеня доктора наук, п. 7 та 9 Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 17 листопада 2021 року №1197.

З урахуванням актуальності теми дослідження, наукової новизни, теоретичного та практичного значення одержаних результатів, впровадження їх у практику, обґрунтованості висновків на основі одержаних достовірних результатів, особистому внеску здобувача у розв'язання важливої науково-технічної проблеми, достатньої повноти викладення матеріалів дисертації, що характеризується єдністю змісту, відповідності принципам академічної доброчесності, а також беручи до уваги наукову зрілість та професійні якості Ковтуна Ігоря Івановича, рекомендувати дисертацію «Розроблення науково-прикладних засад динаміки та міцності несівних систем електронної апаратури» для подання до розгляду у спеціалізовану вчену раду на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.02.09 – динаміка та міцність машин.

Рецензенти:

директор Інституту прикладної
математики та фундаментальних наук
Національного університету
«Львівська політехніка»,
доктор технічних наук, професор

 Петро ПУКАЧ

завідувач кафедри опору матеріалів
та будівельної механіки
Інституту будівництва та інженерних систем
Національного університету
«Львівська політехніка»,
доктор технічних наук, професор

 Євген ХАРЧЕНКО

професор кафедри транспортних технологій
Інституту механічної інженерії та транспорту
Національного університету
«Львівська політехніка»,
доктор технічних наук, професор

 Ігор ВІКОВИЧ

24.04.2024 р.