

## ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

на дисертацію **Невлюдової Вікторії Валеріївни**

«Технологічне забезпечення якості гнучких структур у виробках електронної техніки», подану до захисту на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.27.06 – технологія, обладнання та виробництво електронної техніки

### **Актуальність.**

Гнучкість більшості сучасних виробів електронної техніки забезпечується цілим комплексом жорстких, зчленованих один з одним елементів, найчастіше неефективних і важких у виготовленні. При цьому жорсткість і гнучкість - зазвичай взаємовиключні властивості.

Проектування гнучких або гнучко-жорстких конструкцій - це метод, заснований на ефекті розподілу навантаження по всій трансформованій конструкції, що складається з мінімального числа деталей. Він дозволяє створювати принципово нові компоненти і модулі, а також підвищує надійність, міцність, довговічність і ефективність.

В наш час все частіше можна зустріти приклади використання цього підходу у різних сферах діяльності, електронна техніка не є винятком. З використанням гнучких або гнучко-жорстких конструкцій виготовляються елементи комутації (шлейфи та гнучкі плати), чуттєві елементи сенсорів та виконавчі елементи актюаторів. Але при всій різноманітності використання гнучких структур в електронній техніці, відсутні загальні критерії підвищення якості цих виробів, насамперед їх механічних властивостей.

Таким чином заміна жорстких компонентів апаратури на гнучкі, з метою підвищення їх якості, та розробка технологічного забезпечення якості виробів ЕТ, виготовлених на основі ГС, а також удосконалення методів оцінки і прогнозування якісних характеристик таких виробів на етапах проектування, виробництва і експлуатації, є **актуальним завданням**.

Дослідження, результати яких викладені в дисертаційній роботі,





проводилися відповідно до **держбюджетних науково-дослідних робіт** (ДНДР), які виконувались в Харківському національному університеті радіоелектроніки і авторка брала участь у виконанні даних робіт як виконавець: ДНДР «Конструктивно-технологічні основи створення перспективних компонентів мікроелектромеханічних систем та технологій їх виробництва» (ДР № 0108U002216); ДНДР «Теоретичні основи мікроелектромеханічних систем, проектування та технології їх виробництва для гнучких інтегрованих систем» (ДР 0113U000358); ДНДР «Створення експериментальних зразків компонентів мікросистемної техніки для виробництв з інтелектуальними властивостями та їх впровадження» (ДР № 0113U003582); ДНДР «Створення мікромініатюрних компонентів електромеханічних інтелектуальних технологічних засобів промислового обладнання і робототехніки» (ДР № 0115U002433), **що також підтверджує актуальність роботи.**

### **Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій.**

Виконані автором дослідження базуються на ретельному та всебічному огляді наукових та практичних досягнень в галузі технологій виготовлення та підвищення якості гнучких та гнучко-жорстких конструкцій електронної техніки. В дисертації визначена сукупність завдань для досягнення основної мети дисертаційної роботи, пов'язаної з технологічним забезпеченням якості гнучких структур у виробках електронної техніки.

**У першому розділі** здобувачем проведено огляд сучасного стану та проблем застосування гнучких систем, їх конструктивно-технологічних та експлуатаційних параметрів і проведено аналіз методів забезпечення якості гнучких систем у виробках ЕТ. Поставлені основні завдання: розробка технологічного забезпечення виготовлення гнучких структур; моделювання та прогнозування їх параметрів на етапах проектування, виготовлення й експлуатації, на основі аналізу умов і режимів роботи виробів електронної техніки, параметрів технологічного процесу виготовлення гнучких структур, а



також їх вихідних параметрів.

**Другий розділ** присвячено розробці моделі забезпечення якості гнучких структур на різних етапах життєвого циклу електронної техніки, а саме проектування та виготовлення. В результаті запропоновано метод прогнозування параметрів гнучких шлейфів та плат на основі фізико-технологічної моделі, який дозволяє своєчасно виявляти критичні значення електромеханічних параметрів під час експлуатації, а також вносити коректування у технологічний процес виготовлення такої структури.

**У третьому розділі** проведено аналіз видів деформацій, що виникають у ГС і призводять до їх руйнування, розроблено модель руйнування ГС в умовах циклічних пружнопластичних деформацій гнучких структур за умов багаторазових згинань. Що дозволило запропонувати технологічні рекомендації з розробки топології гнучких систем, що застосовуються у виробках електронної техніки і МЕМС-компонентах. Зазначені вимоги до розробки топології сприяють забезпеченню надійності гнучких структур із точки зору забезпечення електромагнітної сумісності та зменшенню паразитних параметрів у процесі використання ГС у складі виробів ЕТ.

**Четвертий розділ** дисертаційної роботи містить результати експериментальних досліджень, що відповідають меті роботи. Для проведення експериментальних досліджень впливу механічних дій на фізико-технологічні параметри ГС у виробках електронної техніки запропоновані та виготовлені нові конструкції експериментальних стендів. Проведені випробування впливу деформацій на електричні та механічні параметри гнучких конструкцій, що підтверджують результати, отримані в попередніх розділах.

**У п'ятому розділі** автором досліджено гнучкі структури із багатошаровою провідниковою розводкою на полімерному носії, з реалізацією міжшарових з'єднань і можливістю монтажу навісних компонентів на ГС методом УЗ-зварювання, а також такі що містять роз'ємне сполучення зі з'єднувачем із нульовою силою вставки. За результатами досліджень запропоновано конструкцію з'єднувача із нульовою силою вставки та



технологію його виготовлення.

### **Достовірність одержаних результатів.**

Достовірність результатів досліджень забезпечується наступним:

- використанням методу кінцевих елементів, положення теорії пружності, методів математичного та комп'ютерного моделювання – для розробки моделі руйнування й оцінки напружено-деформованого стану ГС; методу регресійного аналізу та положення теорії факторного експерименту – для розробки експериментальної моделі процесу УЗ-зварювання ГС; методу системології – під час розробки фізико-технологічної моделі параметрів ГС для прогнозування якості ГС і ТП їх виготовлення;
- підтвердженням теоретичних результатів у моделюючих та експериментальних дослідженнях;
- збігом експериментальних результатів, отриманих у обчислювальних та натурних випробуваннях, з досягненнями інших наукових груп у цій галузі;
- достатнім рівнем апробації та освітлення у наукових виданнях.

### **Наукова новизна досліджень.**

Основними узагальненими новими науковими результатами можна вважати:

- вперше обґрунтовано метод контактування ГС на основі плоского роз'єму з нульовою силою вставки, що відрізняється тим, що за рахунок забезпечення рівномірного тиску на всі виводи ГС дозволяє підвищити якість її з'єднання з компонентами ЕТ;
- отримала подальший розвиток фізико-технологічна модель параметрів ГС, яка на відміну від відомих дозволяє прогнозувати якісні характеристики ГС і ТП їх виготовлення за рахунок обробки великого масиву даних;
- отримала подальший розвиток математична модель руйнування ГС, що дозволяє, на відміну від відомих моделей, виробити додаткові технологічні рекомендації щодо забезпечення якості ГС за рахунок аналізу їх фізико-

технологічних параметрів і режимів експлуатації у складі виробів ЕТ.

### **Повнота викладу основних результатів.**

Основні наукові положення, результати, висновки та рекомендації дисертаційної роботи отримані автором самостійно. За темою дисертації самостійно та у співавторстві автором опубліковано 26 наукових праць, в тому числі 3 патенти на корисні моделі та 1 авторське свідоцтво, 10 статей у наукових фахових виданнях України та Білорусі (серед них 7 внесені до міжнародних науково-метричних баз), 12 тез доповідей у збірниках праць міжнародних науково-технічних конференцій (серед них 1 включено до науково-метричної бази даних SCOPUS).

Опубліковані праці повністю освітлюють матеріали дисертаційної роботи.

Кількість та аналіз змісту наукових праць та апробацій засвідчують про повноту викладення в опублікованих роботах основних результатів дисертації.

Основні результати дисертаційної роботи здобувача пройшли всебічну апробацію на достатній кількості наукових конференцій.

Автореферат дисертації повністю відповідає змісту дисертаційної роботи, висвітлює всі отримані результати, зроблені висновки та запропоновані рекомендації.

### **Оцінка змісту дисертації**

Слід зазначити, що робота Невлюдової В.В. являє собою закінчене і цілісне дослідження з чіткою структурою і логічним викладом матеріалу, написана технічно грамотно. Вона узагальнює і розвиває дослідження автора, започатковані у науково-дослідних роботах.

Дисертаційні дослідження направлені на розробку технологічного забезпечення якості гнучких структур у виробі електронної техніки, чим відповідають формулі та пунктам паспорта спеціальності 05.27.06 – технологія, обладнання та виробництво електронної техніки.



Оформлення дисертації в цілому відповідає вимогам п.п. 11, 13-16 Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника. Стиль викладення матеріалів досліджень, наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечує доступність їх сприйняття.

**Разом з тим дисертація має ряд недоліків та зауважень:**

- У розділі 2, підрозділі 2.2 параметричне представлення моделей дестабілізуючих факторів (стор. 54) не дає можливості в повній мірі продемонструвати взаємозалежність показників таких як моделі електричних, електромагнітних, механічних процесів, моделі надійності і якості.
- В формулі 2.6 (стор. 52) не зовсім коректно повністю поєднувати показники надійності і якості.
- У розділі 3, підрозділ 3.1 не зовсім коректно називати тип деформації «розтягнення-стиснення» (стор. 83) , так як складова «стиснення» у даному контексті не впливає значно на руйнування гнучких структур.
- У підрозділі 3.3 бажано вказати не лише матеріал фольги, а ще й його марку (стор. 93) , так як механічні властивості хоча й не значно, але впливають на отримані значення.
- Відповідно до рисунку 4.17 випробування на пробіях проводилися електродами різної форми, але в поясненні до нього не вказані розміри електродів. Це дуже суттєво, так як ці параметри впливають на напругу пробою.
- Експеримент з дослідження механічного розриву ГС (підрозділ 4.5.2) не дозволяє повністю оцінити початок руйнування дослідного зразка, а саме перехід від пружних деформацій до пластичних.
- У роботі мають місце деякі одруківки та недбалості при друку, наприклад на стор. 144 та 145 на рисунках 4.25 та 4.26 через вади друку та низький градієнт сірого важко оцінити розподіл нормальних напружень та довговічності; на стор. 155 на рисунку 5.7 позначення схеми важкі для сприйняття через дрібний шрифт; в підрозділі 5.4 фотографії тестових зразків не чіткі.

Однак зазначені недоліки і зауваження не впливають на загальний науковий рівень дисертаційної роботи та можна зробити висновок, що дисертація Невлюдової В.В. є закінченою науково-дослідною роботою, в якій отримані не захищені раніше нові науково обґрунтовані розробки, що в сукупності вирішують актуальну для України проблему розробки та реалізації методів технологічного забезпечення якості гнучких структур у виробі електронної техніки.

### **Загальні висновки.**

За актуальністю теми, ступенем обґрунтованості та достовірності результатів, науковою новизною та практичним значенням дисертаційна робота Невлюдової В.В. відповідає пунктам 10 -13 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника» (постанова КМУ від 07.03.2007р. № 423 із доповненням № 1197 від 11.11.2009р.), та пунктам 2, 3 паспорта спеціальності, а її автор заслуговує присудження ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.27.06 – технологія, обладнання та виробництво електронної техніки

Офіційний опонент:

Доктор технічних наук, доцент,  
професор кафедри інформаційно-  
управляючих систем,  
Кременчуцького національного  
університету ім. М. Остроградського

С.Е. Притчин

Підпис засвідчую:

Вчений секретар  
Кременчуцького національного університету  
імені Михайла Остроградського

Т.Ф. Козловська

