67-72-111/2
16.11.2018р.

Відгук офіційного опонента

на дисертаційну роботу Возняка Андрія Геннадійовича на тему «ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРИ І ТИСКУ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ І ГЕРМЕТИЧНОСТІ ВУЗЛІВ ВОЛОГОЗАХИСТУ ПЛІВКОВИХ КОНДЕНСАТОРІВ», представлену на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.09 – динаміка та міцність машин

1. **Актуальність теми.** Аналіз конструкторських особливостей сучасних виробів та засобів радіоелектронної апаратури свідчить, що вирішення задач по забезпеченню захисту від вологи та стійкості при зміні температури і тиску зовнішнього середовища викликало використання в конструкціях нових матеріалів з недостатньо вивченими властивостями. Механічна взаємодія елементів конструкцій, виготовлених з таких матеріалів може суттєво впливати на процеси, що протікають в таких виробах, на працездатність виробу в цілому. Конденсатори входять до складу будь - якого виробу електронної техніки, через їх дефекти відбувається до 60% від загальної кількості відмов РЕА. Причиною таких відмов є також розгерметизація конденсаторів при змінах температури та тиску навколишнього середовища. В Україні також існує проблема досить частих відмов тонко плівкових алюмінієвих конденсаторів К-78, К-50 та інших внаслідок розгерметизації їх вузлів вологозахисту з прохідними виводами. Слід зазначити, що в наш час роботи з проектування РЕА, як правило, проводяться лише виключно на підставі врахування чисто радіотехнічних проблем, при цьому не здійснюється необхідний обсяг проектних розрахунків на міцність оцінки параметрів напружено-деформованого стану матеріалу конструкцій в цілому, а також – їх окремих вузлів та елементів. Проте, забезпечення механічної міцності, надійності роботи приладів в умовах перепадів температур та тисків, впливів зовнішнього середовища, є невід'ємною та важливою складовою процесу проектування елементів електронної апаратури взагалі, та плівкових конденсаторів зокрема.

Тому тема даної дисертаційної роботи, що спрямована на розроблення нових та удосконалення існуючих методів та засобів проектування, розрахунку та експериментальної оцінки величин внутрішніх напружень в матеріалах вузлів та елементів РЕА є актуальною та важливою.

Цей висновок підтверджується також тим, що тематика роботи відповідає пріоритетним напрямам розвитку робіт з оцінки статичної та динамічної міцності виробів РЕА, що розвивався на кафедрі прикладної механіки Хмельницького національного університету, а в подальшому – на кафедрі телекомунікацій та радіотехніки, держбюджетних робіт 4Б-2015 «Розвиток наукових та інженерних основ надійності електронної техніки шляхом удосконалення технологій її тестування на вібрації та удари», а також теми «Розробка наукових основ захисту виробів радіоелектроніки,

закріплених на об'єднувальних платах, від деформацій плат, а плат від динамічних і теплових навантажень» (№ДР 0117U001168). м

2. **Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій, сформульованих у роботі.**

Наукові положення, розроблені методики, висновки, рекомендації, викладені в дисертаційній роботі, підтверджуються наступним:

- коректністю постановки задач та цілей досліджень;
- вірно обраними методами досліджень, які базуються на системному аналізі, графічному структурному аналізі, теорії імовірності, теорії цифрової обробки сигналів, теорії прийняття рішень, методах реєстрації сигналів, методах цифрової фільтрації;
- методами розрахунку на міцність товстостінних циліндрів;
- адекватністю математичного апарату, що використовується, задачам роботи;
- застосуванням комплексу запропонованих теоретичних та експериментальних методик і отриманих результатів досліджень, які підтверджують висновки та положення роботи;
- позитивними практичними результатами впровадження.

3. **Новизна отриманих у дисертаційній роботі результатів.**

Основними теоретичними та практичними результатами дисертаційної роботи є те, що в роботі розроблено математичну модель впливу розігрітого повітря всередині корпусу плівкового конденсатора на етапі заливки і полімеризації компаунда на герметичність гермо вузла, на основі якої запропонована альтернативна технологія полімеризації компаунда яка забезпечує герметичність і міцність конструкції; на основі математичного аналізу взаємодії системи «корпус-компаунд-вивід» у діапазоні температур $+100^0$C …… -60^0C, в яких може експлуатуватись апаратура, до складу якої входить досліджуваний конденсатор, розраховано розміри канавки в компаунді для вузлів вологозахисту конденсатора трьох різних типорозмірів, що забезпечує герметичність конструкцій конденсаторів К78 та його міцність. В роботі запропоновано застосування розділювального кільця у конструкції вузла вологозахисту та проведено обґрунтування його ефективності. При цьому визначено розміри саме такого кільця, яке забезпечить герметичність і міцність вузла вологозахисту. В роботі запропоновано математичну модель, виконано розрахунок дформацій перегородки внаслідок дії надлишкового тиску розігрітого повітря, на основі чого отримано такі розміри перегородки та опори, які забезпечать її надійну роботу під дією надлишкового тиску порі грітого повітря всередині конденсатора. Розроблена також математична модель контактної взаємодії компаунда з оболонкою і контактним виводом на етапах полімеризації та термоударів, яких зазнає апаратура, що дало можливість отримати різні технічні рішення з метою забезпечення герметизації та міцності вузла герметизації конденсатора. В роботі з розробленої математичної моделі було реалізовано наступні основні технічні рішення, завдяки яким було забезпечено герметичність вузла герметизації: можливість секторної

конструкції вузла герметизації, визначено оптимальну форму герметизую чого компаунда. Автором роботи сформульовано конструкторсько-технологічні пропозиції та заходи, спрямовані на підвищення експлуатаційної надійності плівкових конденсаторів, для чого проаналізовано та встановлено вплив на міцність конструкцій змінення товщини шару компаунду, введення «зігу» в конструкцію корпусу, застосування фігурних перегородок, влаштування канавок у компаунді, використання кільця для зменшення внутрішніх напружень, розроблено та запропоновано конструктивні рішення,які дають можливість перейти від тришарової схеми конструкції до двохшарової, комбінацію циліндричної обичайки та гнучкої форми перегородки. З результатів проведених розрахунків розроблено два різних варіанти пристосувань для формування фігурної форми компаунда у вузлах герметизації виробів.

4. **Практична цінність отриманих у дисертаційній роботі результатів.**

З точки зору спеціалістів та фахівців, що працюють в галузі розробки та вдосконалення обладнання, приладів та систем РЕА одержані теоретичні результати дисертаційної роботи розширюють область застосування плівкових конденсаторів різних типів, розроблених в роботі методів діагностики, оцінювання параметрів напружено-деформованого стану матеріалу виробів. Результати роботи можуть бути науково-методичною основою для розробки відповідних алгоритмів і програмного забезпечення для конструкторських, технологічних підрозділів підприємств, які займаються проектуванням нових конструкцій та виробів радіоелектронної апаратури. Практична цінність отриманих результатів полягає у наступному:

- розроблено математичні моделі існуючих конструкцій гермо вузлів та отримані аналітичні вирази для визначення переміщень оболонок з перегородкою та при її відсутності;
- розроблено математичні моделі лії надлишкового тиску повітря всередині конденсатора в осьовому і радіальному напрямку як на етапі полімеризації компаунда, так і після закінчення полімеризації;
- аналіз результатів проведених розрахунків дозволяє зробити висновок, що для передбачених технічними умовами на виготовлення конденсаторів розмірів текстолітової перегородки, «зигу», допусків на них в умовах дії на перегородку надлишкового тиску розігрітого повітря, при температурі 100^0 С до закінчення полімеризації компаунда, вдається забезпечити опирання прокладки на «зиг» лише в конструкціях конденсаторів першого типорозміру. У конструкціях другого та третього типорозмірів за рахунок допустимої зміни радіуса перегородки можливе невиконання вимоги герметичності;
- виконані розрахунки по впливу розмірів текстолітової перегородки на герметичність вузла вологозахисту та визначені оптимальні розміри перегородки та «зигу», які забезпечують герметичність вузла вологозахисту;
- запропоновано секторну конструкцію вузла вологозахисту та розроблено її математичну модель;

- побудовано математичну модель та отримано формули для визначення контактного тиску за схемою двошарового та тришарового циліндрів;
- для регулювання контактного тиску запропоновано змінити тришарову конструкцію на дві двошарові шляхом утворення в прошарку компаунда до половини висоти заливки компаунда канавку і на розгляді трьох його типорозмірів проведено обчислювальні експерименти з визначення розмірів канавок, які можуть забезпечити міцність і герметичність вузла вологозахисту. Шляхом згладжування гострух кромок канавки отримано фігурну форму компаунда;
- розроблено та запропоновано два варіанти пристосувань для формування фігурної форми компаунда на основі використання циліндричної обичайки та гнучкої перегородки фігурної форми. Встановлено переваги ат недоліки таких варіантів конструкцій;
- запропоновано та обґрунтовано використання в конструкції вузла вологозахисту розділювального кільця, проведено обґрунтування його ефективності. Визначено розміри такого кільця, які забезпечують герметичність вузла вологозахисту конденсатора;
- розроблено та введено в практику тензометричний спосіб перевірки конструкцій на герметичність, висотність, а також визначення часу закінчення полімеризації компаунда. Доопрацьована апаратура з урахуванням специфіки неметалевих матеріалів, які використовуються в РЕА, а також розмірів реальних виробів;
- застосовано методи схемної та послідовної температурної компенсації похибки тензометрування при термоударах;
- тензометруванням підтверджено результати розрахунків по збільшенню надійності герметизації та міцності вузла вологозахисту плівкових конденсаторів, які мають оптимальну фігурну форму компаунда у порівнянні із серійною, а також – секторні конструкції із розділювальним кільцем;

Практична цінність розробок підтверджена впровадженням результатів дисертаційної роботи на підприємстві «Лотос-Вест».

5.**Пропозиції щодо використання отриманих в роботі результатів.**

Отримані результати дисертаційної роботи можуть знайти використання при розробці та вдосконаленні комплексу теоретичних та експериментальних методів та засобів проектування, випробовування та доводки виробів РЕА на підприємствах і фірмах, які займаються проектуванням та виготовленням, вдосконаленням виробів РЕА. Результати дисертаційної роботи можуть також знайти впровадження у навчальному процесі навчальних закладів, в яких розглядаються та вивчаються питання покращення експлуатаційної надійності та стійкості, витривалості та випробовувань, оцінки якості елементів та вузлів РЕА.

6.**Апробація роботи.**

Основні результати дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на численних міжнародних та всеукраїнських науково-технічних конференціях: IX міжнародній науковій конференції «наука і освіта», січень 2016, м.

Хайдусобосло, Угорщина; XI міжнародній науковій конференції «Сучасні досягнення в науці і освіті», жовтень 2016, м. Єрусалим, Ізраїль; X міжнародній науковій конференції «Наука і освіта», квітень 2017, м. Рим, Італія; XII міжнародній науковій конференції «Сучасні досягнення в науці і освіті», вересень 2017, м. Нетанія, Ізраїль; VI міжнародній науково-технічній конференції «Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування», вересень 2017, м. Вінниця, Україна; X Всеукраїнській науково-практичній конференції «Освітньо-наукове забезпечення діяльності складових сектору безпеки і оборони України», листопад, 2017, м. Хмельницький, Україна; XIII міжнародній науковій конференції «Сучасні досягнення в науці і освіті», січень 2018, м. Хайдусобосло, Угорщина; XII міжнародній науковій конференції «Наука і освіта», червень 2018, м. Осло, Норвегія.

Основні результати роботи опубліковано у 16 наукових працях, з них 8 статей у фахових виданнях, в тому числі 2 входять до міжнародних науково метричних баз, 8 статей опубліковано в працях міжнародних конференцій

7. **Мова та стиль дисертації.** Текст дисертації та автореферату, оформлення роботи, стиль представлення та викладення її основного змісту – чіткий, зрозумілий, побудований та структурований методично правильно, легко сприймається читачем, послідовний, супроводжується необхідними поясненнями, посиланнями, ілюстраціями. Текст автореферату ідентичний змісту та основним положенням дисертації.

9. **Переваги.** Робота містить чіткі висновки та рекомендації, необхідні пояснення, хороший та якісний ілюстративний матеріал. В роботі запропоновано досить ефективний комплекс конструктивно-технологічних заходів, які можуть бути використані на підприємствах та наукових підрозділах, закладах, що займаються розробкою, проектуванням, та випробовуванням виробів електронної техніки. З цією метою в роботі розроблено та запропоновано комплекс заходів, спрямованих на покращення якості продукції, що випускається, розробляється, а також – вдосконалюється та модернізується. Для цього розроблено теоретичні засади оцінювання впливу змінення товщини шару компаунду на параметри напружено-деформованого стану конденсаторів, запропоновано та обґрунтовано введення «зигу» в конструкцію корпусу виробу, використання фігурних перегородок, влаштування канавок у компаунді, використання металевого кільця для зменшення внутрішніх напружень в матеріалі компаунда, запропоновано та обґрунтовано низку конструктивних рішень, що дозволяє перейти від тришарової конструктивної схеми до двошарової, комбінації циліндричної обичайки та гнучкої фігурної форми перегородки.

Представлена робота має потенціал, який повинен бути розвинений у подальшій діяльності автора даної дисертаційної роботи.

9. **Зауваження та недоліки.** Разом з тим робота не позбавлена деяких недоліків і вад, основними з яких є:

9.1. В розділах 3.1.1.та 3.1.2 проведено дослідження деформативності та

міцності конденсаторів у радіальному та осьовому напрямках, після чого сформульовано умови міцності. Чому на підставі проведеного дослідження не було визначено головні напруження та не здійснено оцінку міцності саме за головними напруженнями із використанням теорій міцності, які враховують об'ємний (або плоский напружений стан) матеріалу конструкції?

9.2. В роботі вдало визначено коливання (в межах допуску на розмір) небезпечних напружень,визначено допустимі коливання цих розмірів для кожного типу конденсаторів. Було б дуже цінним використати запропоновану автором методику для визначення допустимих інтервалів перепадів тиску та температури. Чому цього не зроблено в роботі?

9.3. Не зовсім зрозуміло, чому в роботі зроблено припущення, що перегородка не буде створювати опір дії повітря (стор. 61. 1-й рядок) ?

9.4. Чому у науковій новизні (стор. 16-17) у жодному пункті, так само як і у висновках по кожному розділу та у загальних висновках немає слово «вперше»?

9.5. На стор.8, 6-й рядок зверху сказано, що була доопрацьована тензометрична апаратура, стало можливим регулювати силу струму, що дозволило не перегрівати тензорезистори. А як при цьому буде змінюватись чутливість тензорезисторів, як це впливає на достовірність та якість інформації, що отримується?

9.6. Чому в списку наукових публікацій немає жодного патенту?

9.7. На стор. 16 вказано, що визначено впливи на виріб температурних інтервалів $+100^0$C …… -60^0C, а також тиску. Чому не вказано, в яких діапазонах може змінюватись цей тиск, не викликаючи механічних руйнувань?

9.8. На стор.22 (3-й абзац) помилково сказано, що буде протікати напруга…. Протикати буде струм.

9.9. Було б набагато зручніше та легше читати роботу, якщо б всі назви параграфів, розділів та підрозділів було б виділено жирним шрифтом.

9.10. В усі розрахункові вирази в роботі входять величини модуля пружності І-го роду та коефіцієнта Пуассона. Для матеріалу компаунда та перегородки це значення можуть змінюватись в певних діапазонах пр. зміненні температури, не залишаються сталими. Чому в роботі не згадано в яких межах ці величини залишаються сталими, а коли – почнуть змінюватись?

9.11. У формулах (4.30), (стор. 106) некоректно писати межу, до якої йде певна величина, не вказавши умову, за якою це відбувається ($a_1 \to \infty$);

9.12. В роботі також присутня певна кількість стилістичних похибок,

7

наприклад стор.24- 2-й абзац знизу 4 (чотири) рази повторюється буква «і». Невже не можна було її замінити на «та»?

10. **Висновки.** Дисертаційна робота Возняка Андрія Геннадійовича на тему «Вплив температури і тиску на характеристики напружено-деформованого стану і герметичності вузлів вологозахисту плівкових конденсаторів», незважаючи на зроблені зауваження та вказані недоліки є завершеною науковою працею, в якій отримано нові науково обгрунтовані результати щодо вдосконалення методів експериментальних досліджень в закладах, що займаються проектуванням, вдосконаленням, підвищенням якості та експлуатаційної надійності підвищенням точності, достовірності та ефективності елементів та виробів РЕА, що має важливе економічне, соціальне, наукове, інженерно-технічне значення, стимулює розвиток робіт в цій галузі. Дисертаційна робота написана на високому науково-технічному рівні, відповідає паспорту спеціальності 05.02.09.

Враховуючи актуальність теми, високий науковий рівень, новизну досліджень і отриманих результатів, а також їхню практичну корисність, можна зробити загальний висновок про те, що дисертаційна робота «Вплив температури і тиску на характеристики напружено-деформованого стану і герметичності вузлів вологозахисту плівкових конденсаторів», відповідає вимогам п. 9, 10, 13 Постанови Кабінету міністрів України від 24.02.2013, № 567 про «Порядок присудження наукових ступенів», а її автор Возняк Андрій Геннадійович заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.09 – динаміка та міцність машин.

Офіційний опонент, доктор технічних наук,
професор кафедри професійної та технологічної
освіти і загальної фізики
інституту фізичних, технічних
і комп'ютерних наук Чернівецького
національного університету
імені Юрія Федьковича О.Г.Шайко-Шайковський

Підпис Шайко-Шайковського О.Г. засвідчую
Учений секретар Чернівецького національного
університету імені Юрія Федьковича
12 "листопада" 2018 р.