

**Науковий журнал**

**6.2002**

---

# **ВІСНИК**

**Технологічного  
університету Поділля**

**Частина 1**

---

**Технічні науки**

**Хмельницький 2002**

**ВІСНИК**

**Технологічного**

**університету**

**Поділля**

*Засновано в липні 1997р.*

*Виходить 6 разів на рік*

---

**Хмельницький, 2002, №6 Ч.1 (47)**

---

**Засновник і видавець : Технологічний університет Поділля (м. Хмельницький)**

<b>Головний редактор</b>	<b>Скиба М.Є.</b> , заслужений працівник народної освіти України, академік УТА, професор, ректор Технологічного університету Поділля
<b>Голова редакційної колегії</b>	<b>Сілін Р.І.</b> , заслужений працівник народної освіти України, академік МАІ, академік АІН України, академік УТА, д.т.н., професор
<b>Заступник головного редактора</b>	<b>Каплун В.Г.</b> , академік УТА, д.т.н., професор
<b>Відповідальний секретар</b>	<b>Гуляєва В.О.</b>

**Ч л е н и р е д к о л е г і ї**

*Технічні науки*

д.т.н. Костогриз С.Г., д.т.н. Ройзман В.П., д.т.н. Локазюк В.М., д.т.н. Ковтун В.В., д.т.н. Шевеля В.В., д.т.н. Кіницький Я.Т., к.т.н. Драпак Г.М., д.т.н. Параска Г.Б., к.т.н. Баннова І.М., к.т.н. Троцишин І.В., к.т.н. Косенков В.Д., д.т.н. Мазур М.П., д.т.н. Гладкий Я.М., д.т.н. Калда Г.С., д.т.н. Мичко А.А., д.т.н. Стечишин М.С., д.т.н. Кузьменко А.Г., д.т.н. Рудницький В.Б., д.т.н. Камбург В.Г., д.т.н. Мясішев О.А.

*Відповідальний за I, IV розділ проф. Кіницький Я.Т.*

*Відповідальний за II розділ проф. Кузьменко А.Г.*

*Відповідальний за III розділ проф. Ройзман В.П.*

*Технічний редактор Горященко К.Л.*

*Редактор-коректор Мільман В.І.*

Адреса редакції :  
Україна, 29016, м. Хмельницький, вул. Інститутська, 11, Технологічний університет Поділля,  
редакція журналу "Вісник Технологічного університету Поділля"  
☎ (03822) 2-51-08  
e-mail: patent\_1@beta.tup.km.ua  
[http://www.tup.km.ua:8081/visnyk\\_tup.htm](http://www.tup.km.ua:8081/visnyk_tup.htm)

Зареєстровано Міністерством України у справах преси та інформації.  
Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації  
Серія КВ №2362 від 27 грудня 1996 року

© Технологічний університет Поділля, 2002  
© Редакція журналу "Вісник Технологічного університету Поділля", 2002

## ЗМІСТ

## І. АНАЛІЗ І СИНТЕЗ МЕХАНІЗМІВ І МАШИН

<b>В.Н. ЗАГРЕБЕЛЬНЫЙ, В.Б. ЗЕЛЕНСКИЙ, Е.И. ЗИНЧЕНКО</b> АЛГОРИТМ КИНЕМАТИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ШЕСТИЗВЕННЫХ МЕХАНИЗМОВ ЧЕТВЕРТОГО КЛАССА С ВЫХОДНЫМ ЗВЕНОМ ПОЛЗУНОМ И КОРОМЫСЛОМ .....	7
<b>В.П. ІЗЮМСЬКИЙ, З.С. САФОНОВА, А.О. ЗАРУБИНА</b> МЕТОДИКА КІНЕМАТИЧНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРНИХ ГРУП КЛАСУ, ВИЩОГО ЗА ДРУГИЙ ЗА АРТОБОЛЕВСЬКИМ .....	9
<b>В.Р. ПАСІКА</b> ЧИСЕЛЬНИЙ СИНТЕЗ КРИВОШИПНО-ПОВЗУННИХ МЕХАНІЗМІВ З НАКЛАДЕНИМИ КІНЕМАТИЧНИМИ ВИМОГАМИ .....	12
<b>С.М. КОМАРОВ, В.Р. ПАСІКА</b> ВИКОРИСТАННЯ ТВЕРДОТІЛОГО МОДЕЛЮВАННЯ В ДИСЦИПЛІНАХ ТЕОРІЯ МЕХАНІЗМІВ І МАШИН І ДЕТАЛІ МАШИН .....	15
<b>І.Г. ЗАВІРОХІН, М.І. ЗАВІРОХІН</b> УМОВНИЙ ПРОСТОРОВИЙ ШАРНІРНИЙ МЕХАНІЗМ .....	18
<b>Н.І. ГАЛАБУРДА</b> ЩОДО ВИБОРУ ДОПУСТИМОГО КУТА ТИСКУ В КУЛАЧКОВИХ МЕХАНІЗМАХ ПРИ КУРСОВОМУ ПРОЕКТУВАННІ .....	21
<b>В.О. КУЗНЕЦОВ</b> АВТОМАТИЗОВАНИЙ СИНТЕЗ КРИВОШИПНО-КОРОМИСЛОВИХ ШАРНІРНИХ ЧОТИРИЛАННИКІВ .....	23
<b>В.А. ТКАЧЕНКО, В.М. САПРИКІН, І.Г. ШЕБАНОВ</b> СИНТЕЗ ДИФЕРЕНЦІАЛІВ РІЗНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ .....	26
<b>А.Ф. КИРИЧЕНКО, А.І. ПАВЛОВ</b> ПОРІВНЯННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОСТОРОВИХ ПЕРЕДАЧ .....	32
<b>О.М. ХОМЯК</b> ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ПРИВОДА В'ЯЗАЛЬНИХ МАШИН .....	34
<b>А.І. ТАРАСЕНКО</b> ЗУСИЛЛЯ ПЕРЕМІЩЕННЯ ВЕДУЧОГО РОЛИКА ЛОБОВОГО ФРИКЦІЙНОГО ВАРІАТОРА З АВТОМАТИЧНИМ РЕГУЛЮВАННЯМ ПРИТИСКУ РОБОЧИХ ТІЛ .....	36
<b>Б.Ф. ППА, С.О. ЛОВЕЙКІНА</b> ОПТИМІЗАЦІЯ ЗУСИЛЛЯ ПРИТИСКУ РОБОЧИХ ТІЛ ЛОБОВОГО ФРИКЦІЙНОГО ВАРІАТОРА З ПОСТІЙНИМ МОМЕНТОМ НА ВИХОДІ .....	39
<b>І.М. ПАСТУХ</b> МЕТОДИКА ОБРОБКИ ДАНИХ БАГАТОФАКТОРНИХ МОДЕЛЕЙ .....	42
<b>О.О. БІЛЕЦЬКИЙ, М.С. СТЕЧИШИН</b> ДО ВИБОРУ ОБМЕЖЕНЬ НЕРОБОЧИХ ЗОН РОЗВАНТАЖУВАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ .....	46
<b>В.Г. ЗДОРЕНКО</b> РОЗРОБКА МЕХАНІЗМУ ПРИМУСОВОГО РУХУ СКАЛА НА БАЗІ ТРЬОХЛАНКОВОГО КУЛІСНОГО МЕХАНІЗМУ З ЗУПИНКОЮ .....	49
<b>С.А. ВАСИЛИШИН, И.Г. ГУРАЛЬ</b> ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ГВОЗДЕЙ С УВЕЛИЧЕННОЙ ГОЛОВКОЙ .....	57
<b>В.О. ХАРЖЕВСЬКИЙ, Я.Т. КІНИЦЬКИЙ, О.Б. СВЕТЛОВСЬКИЙ</b> АНАЛІТИЧНА КІНЕТОСТАТИКА ПЛОСКИХ ВАЖІЛЬНИХ МЕХАНІЗМІВ ІІ КЛАСУ З ВРАХУВАННЯМ СИЛ ТЕРТЯ .....	61

<b>SVETISLAV RADOVIĆ, MILAN DEDIĆ, RADOVAN BULATOVIĆ</b> DESIGN OF THE CROSS-SECTION OF BEAM IN SLANT BENDING BY AN OPTIMIZATION PROCEDURE WITH DISPLACEMENT CRITERION AND BY THE CIRCULAR FREQUENCY OF FREE VIBRATIONS CRITERION .....	65
<b>О.Ю. КОМИССАРОВ</b> МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ БАЗИ ЗНАНЬ З ТЕХНОЛОГІЇ ШВЕЙНИХ ВИРОБІВ .....	72
<b>Р.В. АМБАРЦУМЯНЦ, К.Р. АМБАРЦУМЯНЦ</b> ПЕРСПЕКТИВА ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ МНОЖЕСТВА ФУНКЦИЙ ОДНОЙ ПЕРЕМЕННОЙ ГЕНЕРАТОРАМИ ФУНКЦИЙ МНОГИХ ПЕРЕМЕННЫХ .....	73
<b>Р.В. АМБАРЦУМЯНЦ, А.О. ГАВРИЛЮК</b> ПРОЕКТУВАННЯ МЕХАНІЗМІВ ДЛЯ ПЛАВНОГО ПУСКУ МАШИН І МЕХАНІЗМІВ .....	77
<b>II. ТЕРТЯ ТА ЗНОШУВАННЯ В МАШИНАХ</b>	
<b>А.В. ГАЙДАМАКА, В.Н. ЗАГРЕБЕЛЬНЫЙ, Н.Э. ТЕРНЮК</b> О НЕОБХОДИМОСТИ СОЗДАНИЯ НОВЫХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ ДЛЯ РЕСУРСΟΣБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ УПРОЧНЕНИЯ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ УЗЛОВ ТРЕНИЯ .....	80
<b>А.В. ГАЙДАМАКА, Н.Э. ТЕРНЮК</b> МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭТАПОВ СОЗДАНИЯ МОДИФИКАЦИОННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ УЗЛОВ ТРЕНИЯ .....	81
<b>РОМУАЛЬД МАКОВСКИ</b> ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ИСПЫТАНИЯ ПОРШНЕВЫХ КОМПРЕССОВ, СМАЗЫВАЕМЫХ МАСЛАМИ С ДОБАВКАМИ ЧАСТИЧЕК МЕТАЛЛОВ .....	84
<b>И.В. ШЕВЕЛЯ, В.П. ОЛЕКСАНДРЕНКО, В.В. ШЕВЕЛЯ</b> ВЛИЯНИЕ МАГНИТОМЕХАНИЧЕСКОГО ГИСТЕРЕЗИСА НА ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ФЕРРОМАГНИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ .....	88
<b>О.І. ПИЛИПЕНКО, В.А. МАКСИМЕНКО</b> АНАЛІЗ НАПРУЖЕНОГО СТАНУ ЕЛЕМЕНТІВ ЛАНЦЮГОВОГО ПРИВОДА .....	90
<b>О.І. ДУБИНЕЦЬ, Г.В. АРХАНГЕЛЬСЬКИЙ</b> ДИНАМІЧНА НАВАНТАЖЕНІСТЬ РЕМЕНІВ КЛИНОПАСОВИХ ВАРІАТОРІВ .....	98
<b>Л.П. ВОВК</b> МАТЕМАТИЧНО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА МОДЕЛЬ РІШЕННЯ ЗАДАЧІ АНАЛІЗУ НАПРУЖЕНО- ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ПОРШНЕВИХ ПАЛЬЦІВ .....	102
<b>М.В. МАТІЇШИН, І.І. СЛЄПКО, І.М. БЕРЕГОВИЙ</b> ЗНОШУВАННЯ ВСТАВОК КОТКІВ І НАДІЙНІСТЬ РОБОТИ ВАНТАЖНИХ КАРЕТОК КАНАТНИХ ЛІСОТРАНСПОРТУВАЛЬНИХ УСТАНОВОК .....	104
<b>М.С. СТЕЧИШИН, А.Є. ДАЦКО, В.Г. ВОЙТКОВ</b> КОРОЗИЙНА ЗНОСОСТІЙКІСТЬ ВУГЛЕЦЕВИХ СТАЛЕЙ ПІСЛЯ ЇХ ТЕРМОДИФУЗІЙНОГО ХРОМУВАННЯ .....	107
<b>І.В. БЕЛЬМАС, О.І. БІЛОУС, Г.І. ТАНЦУРА</b> ВИЗНАЧЕННЯ ЗУСИЛЛЯ В ГІЛЬЦІ НАБІГАННЯ В ПЕРЕДАЧІ ТЕРТЯМ З ГНУЧКИМ ТЯГОВИМ ОРГАНОМ .....	112
<b>Я. ЦВАНЕК, В. ЛЮБИМОВ</b> ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ПОВЕРХНОСТИ ГОЛОВОК ИСКУССТВЕННЫХ ТАЗОБЕДРЕННЫХ СУСТАВОВ (ЭНДОПРОТЕЗОВ) WELLER”А .....	116
<b>Е. ЯНКОВСЬКА, В. ЗЕМБА, В. ЛЮБИМОВ</b> К ВОПРОСУ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ СТРУКТУР ПОВЕРХНОСТЕЙ ...	121
<b>Ю.В. КУЛЄШКОВ, В.О. ДУБОВИК, В.А. ПАВЛЮК-МОРОЗ</b> ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ КОРПУСІВ ШЕСТЕРЕННИХ НАСОСІВ ТИПУ НЩ-У ШЛЯХОМ ЇХ ТЕРМОМЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ .....	125

<b>А.А. ПАСІЧНИК</b> ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ПАР ТЕРТЯ В АВАРІЙНИХ УМОВАХ ЗУПИНКИ ПОДАЧІ МАСТИЛА ТА НЕДОСТАТНЬОМУ ЗМАЩУВАННІ .....	128
<b>В.П. ТЕРЕЩЕНКО, М.С. СТЕЧИШИН, М.В. ЛУК'ЯНЮК</b> КАВІТАЦІЙНО-ЕРОЗІЙНЕ ЗНОШУВАННЯ ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ В СЕРЕДОВИЩАХ- ЕЛЕКТРОЛІТАХ .....	131
<b>Ю.М. КІПРЕЄВ</b> ХАРАКТЕРИСТИКИ МАСТИЛЬНОГО ШАРУ В КОНТАКТАХ ПОВЕРХОНЬ ІЗ ЗЛАМОМ .....	135
<b>В.І. СКИЦЮК, Р.С. СІЛІН</b> РУЙНУЮЧЕ ТОРКАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ .....	142
<b>С.В. ПСЬОЛ</b> МЕТОДИКА РОЗРАХУНКОВО - ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ ОЦІНКИ НАДІЙНОСТІ ПІДШИПНИКІВ КОВЗАННЯ АВТОМОБІЛЬНОЇ ТЕХНІКИ .....	150
<b>ІІІ. ТЕОРІЯ КОЛИВАНЬ ТА ВІБРОЗАХИСТ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ</b>	
<b>В.М. ГОЛУБЕЦЬ, Є.М. ЛЮТИЙ, М.П. МАРТИНЦІВ, В.В. БАРИЛЯК</b> ОСНОВНІ НАПРЯМКИ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ І ВДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЙ НЕСУЧИХ І ТЯГОВИХ КАНАТНИХ СИСТЕМ .....	155
<b>А.А. ДЁГТЕВ, В.А. ЖОВДАК, А.С. СТЕПЧЕНКО</b> ИССЛЕДОВАНИЕ КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В ЗАМКОВОМ СОЕДИНЕНИИ ЛОПАТОК НА ОСНОВЕ ТРЕХМЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ .....	159
<b>І.А. ВІКОВИЧ</b> КОЛИВАННЯ ПРУЖНОЇ ДВОШАРНІРНОЇ МАЯТНИКОВОЇ ШТАНГИ ОБПРИСКУВАЧА .....	167
<b>Г.Б. ФІЛІМОНІХІН</b> ПАСИВНІ АВТОБАЛАНСИРИ З ТВЕРДИМИ КОРИГУВАЛЬНИМИ ВАНТАЖАМИ .....	173
<b>К.М. ЛУКАСИК</b> СРАВНЕНИЕ ВИБРОАКУСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РАЗЛИЧНОЙ КОНСТРУКЦИОННОЙ ФОРМЫ КЛАПАНОВ ГОМОГЕНИЗАТОРОВ ДАВЛЕНИЯ .....	178
<b>Т.І. СЛЄПКО</b> ДО ПИТАННЯ ДИНАМІКИ ТЯГОВОГО КАНАТУ ПРИ ПІДЙОМІ ВАНТАЖУ .....	182
<b>О.В. БОГОМОЛОВ</b> ДО ПИТАННЯ УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ВІБРАЦІЙНОГО СЕПАРАТОРА ЗЕРНОВИХ СУМІШЕЙ .....	185
<b>В.Г. ТАБУНЦІКОВ, О.Г. АРХИПОВ, Г.В. ЛІПКО</b> ПИТАННЯ ПОДІБНОСТІ ПРИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ КОЛИВАНЬ ТВЕРДИХ ТІЛ НА РОЗТЯЖКАХ .....	189
<b>SVETISLAV RADOVIC, RADOVAN BULATOVIC, MILE SAVKOVIC</b> DYNAMIC ANALYSIS OF MECHANISMS OF CLOSED KINEMATIC CHAIN FORM BY D'ALAMBERT'S PRINCIPLE WITH APPLICATION TO TECHNICAL OBJECTS .....	192
<b>А.І. ГОРДЄЄВ, О.Б. ЛАВРЕНТЬЄВ, Ю.В. САВИЦЬКИЙ</b> ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ ВІБРАЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ ЗМІЦНЕННЯ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ .....	197
<b>А.Н. ОРЛОВ, А.М. КАБАКОВ, Л.М. МАМАЄВ</b> ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВИБРОЗАЩИТНЫХ УСТРОЙСТВ ПРИ РАБОТЕ МЕХАНИЗМА ПОДЪЕМА КРАНА .....	202
<b>О.М. ПОЛЮДОВ, І.І. РЕГЕЙ, Я.М. УГРИН</b> СИНТЕЗ ЗРІВНОВАЖУВАЛЬНОГО ПРИСТРОЮ ДЛЯ МЕХАНІЗМУ БЕЗВИСТІЙНОГО ВИГОТОВЛЕННЯ РОЗГОРТОК ПАКОВАНЬ ІЗ КАРТОНУ .....	205

<b>А.В. КУНИЦЯ</b> ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ МЕТОДИКИ УЗГОДЖЕННЯ МІЖ СОБОЮ ХАРАКТЕРИСТИК І ПАРАМЕТРІВ ІНЕРЦІЙНО – ІМПУЛЬСНОГО МЕХАНІЗМУ, ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ І ПРИЙМАЧА ЕНЕРГІЇ .....	208
<b>Є.І. ОКСЕНЬ</b> ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ НАВАНТАЖЕННЯ РОБОЧИХ ОРГАНІВ СТРІЧКОВИХ ЖИВИЛЬНИКІВ .....	211
<b>О.О. АКІМОВ, П.І. ЧЕРЕДНІЧЕНКО</b> УПРАВЛІННЯ ВЛАСНИМИ ЧАСТОТАМИ КОЛИВАНЬ БОБІНОТРИМАЧІВ АПАРАТІВ ДЛЯ НАМОТУВАННЯ СКЛЯНИХ НИТОК .....	215
<b>В.П. РОЙЗМАН, А.В. ЛЕБІДЬ</b> ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ГЕРМЕТИЗАЦІЇ ЦИЛІНДРИЧНИХ ГОРЛОВИН ІЗ ПРОХІДНИМИ ВИВОДАМИ (НА ПРИКЛАДІ БАНОЧНИХ КОНДЕНСАТОРІВ) .....	218
<b>В.П. РОЙЗМАН, А.В. ГОРОШКО, І.І. КОВТУН</b> НЕРУЙНІВНИЙ КОНТРОЛЬ, ДІАГНОСТУВАННЯ І ПРОГНОЗУВАННЯ МІЦНОСТІ ВУЗЛІВ І ДЕТАЛЕЙ МАШИН МЕТОДОМ АКУСТИЧНОЇ ЕМІСІЇ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ЛОКАЦІЇ .....	224
<b>В.П. РОЙЗМАН, І.І. КОВТУН, С.А. ПЕТРАЩУК</b> ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕРМОМІЦНОСТІ ПАСИВНИХ ЕЛЕКТРОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ В ВУЗЛАХ З ЗАГАЛЬНОЮ ГЕРМЕТИЗАЦІЄЮ КОМПАУНДОМ .....	234
<b>IV. ПРОБЛЕМИ ВИКЛАДАННЯ У ВИЩИХ НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДАХ ТЕОРІЇ МЕХАНІЗМІВ І МАШИН, ДЕТАЛЕЙ МАШИН І ПРИКЛАДНОЇ (ТЕХНІЧНОЇ) МЕХАНІКИ</b>	
<b>Р.И. СИЛИН</b> ОБЪЕДИНЕНИЕ УЧЕНЫХ С ЦЕЛЬЮ ДАЛЬНЕЙШЕГО ПРОГРЕССА И РАЗВИТИЯ НАУКИ .....	237
<b>Ю.М. КІПРСЬВ</b> ВИКЛАДАННЯ ЗАГАЛЬНОТЕХНІЧНИХ ДИСЦИПЛІН У НОВИХ УМОВАХ НАВЧАННЯ .....	239
<b>В.М. ЗАГРЕБЕЛЬНИЙ, О.В. КРАХМАЛЬОВ</b> СТАНОВЛЕННЯ ДИСТАЦІЙНОГО КУРСУ З ТЕОРІЇ МЕХАНІЗМІВ І МАШИН .....	243
<b>В.П. ІЗЮМСЬКИЙ, М.Е. ТЕРНЮК, В.М. ЗАГРЕБЕЛЬНИЙ</b> ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИКЛАДАННЯ ТЕОРІЇ МЕХАНІЗМІВ І МАШИН ЗМІСТОВНИМИ ПІДРУЧНИКАМИ .....	244
<b>Я.Т. КІНИЦЬКИЙ</b> МЕТОДИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДИСЦИПЛІН КАФЕДРИ МАШИНОЗНАВСТВА ТЕХНОЛОГІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ПОДІЛЛЯ .....	248
<b>О.Г. АРХИПОВ</b> ЗАСОБИ ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЗАСВОЄННЯ ДИСЦИПЛІН “ДЕТАЛІ МАШИН” І “ПРИКЛАДНА МЕХАНІКА” .....	254
<b>В.П. ТАРАСЕНКО, І.А. ДИЧКА</b> СПОСОБИ УЩІЛЬНЕННЯ ДАНИХ ПРИ ЇХ ПОДАННІ У ВИГЛЯДІ КОЛЬОРОВИХ СТЕКОВИХ ШТРИХОВИХ КОДІВ .....	256
<b>М.Є. СКИБА</b> ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ПОСЛАБЛЕННЯ ВОЛОКОННОЇ СТРУКТУРИ ШКІРИ ПРИ РОЗТЯГУ .....	263
<b>В.М. ПЕТРИЦЬКА, О.Б. АЙВАЗЯН</b> БІБЛІОТЕКА В ЄДИНОМУ ІНФОРМАЦІЙНО-ОСВІТНЬОМУ ПРОСТОРІ ВУЗУ .....	274

**ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕРМОМІЦНОСТІ ПАСИВНИХ ЕЛЕКТРОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ В ВУЗЛАХ З ЗАГАЛЬНОЮ ГЕРМЕТИЗАЦІЄЮ КОМПАУНДОМ**

*Описано методика визначення реального коефіцієнта запасу міцності, з яким працюють пасивні електронні елементи в гермомодулі, з використанням методу електротензометрії. Представлено різні захисні заходи, які направлені на зниження напружень в електронних елементах при термоударах: використання демпфувальних покриттів, мастил, захисних термоусадочних трубок.*

Тенденція до зниження ваги й одержання високої щільності монтажу в малих габаритах сучасних електронних систем привела до зниження міцності і надійності їх елементів. Проблема забезпечення механічної міцності радіоелектронних елементів, при виготовленні яких використовуються прогресивні неметалічні, але з недостатньо вивченими механічними властивостями матеріали, особливо актуальна у виробках, герметизированих компаундом. Такі вироби знайшли застосування в різноманітних об'єктах техніки: ракетах, літаках, машинах, судах, радіолокаційних станціях, локомотивах, де їм доводиться працювати при великих перепадах температур (від  $-60^{\circ}\text{C}$  до  $+70^{\circ}\text{C}$ ). Зважаючи механічного впливу з боку герметика при перепадах температур, внаслідок різниці в значеннях фізико-механічних характеристик, особливо коефіцієнтів лінійного теплового розширення, частина елементів виходить із ладу, внаслідок руйнації або відхилення параметрів від установлених норм.

Складні вироби утворюються з десятків, сотень і навіть тисяч однотипних елементів радіоелектроніки. Серед елементів радіоелектроніки найбільш широко використовуються резистори і конденсатори: у радіолокаційній апаратурі від 23, 6 до 36 %, у приймально-передатній апаратурі від 27, 4 до 61 % від загальної кількості елементів у зразку РЕА. Через конструкторські недоліки і недоліки технології виготовлення пасивних елементів, у тому числі і резисторів, в експлуатації і при іспитах на термоудари (коли вироби з температури  $+70^{\circ}\text{C}$  переносяться в камеру холоду з температурою  $-60^{\circ}\text{C}$  з годинною витримкою при кожній температурі) відбувається до 54 % відмов електронних засобів [1, 2].

Механічні впливи викликають від 30 до 50%, в авіації до 80% усіх відмов виробів електронної техніки, погіршують точність і інші параметри апаратури.

Ціна таких відмов буває дуже високою. При цьому збиток обчислюється мільйонами доларів, не говорячи вже про людські жертви. Таким чином, проблеми механічної міцності в сучасній електроніці стають в один ряд із чисто схемними.

Для оцінки міцності електронних елементів, котрі, як і компаунд, знаходяться в об'ємному напруженому стані, хотілося б використовувати гіпотези міцності. У загальному випадку умова міцності записується у виді [3]:

$$\sigma_{екк}^{№ теор} \leq [\sigma],$$

де  $\sigma_{екк}$  - еквівалентне напруження за обраною теорією міцності ;

$[\sigma]$  - допустиме напруження, що експериментально знаходять при лінійному напруженому стані.

Але на сьогоднішній день не існує ідеальної теорії міцності. Тому було вирішено знайти реальний коефіцієнт запасу міцності, з яким працюють елементи в гермомодулі, як відношення знайдених експериментально руйнуючих (граничних) напружень  $\sigma_{np}$  в елементі в об'ємному напруженому стані, подібному експлуатаційному, до напружень  $\sigma_{екк}$  в електронному елементі в експлуатаційних умовах:

$$k = \frac{\sigma_{np}}{\sigma_{екк}}.$$

Для вимірювань напружень у елементах (конденсаторах, резисторах та інш.) був використаний метод електротензометрії, дороблений стосовно до специфіки вказаних виробів:

- в зв'язку з малими габаритами виробів необхідно застосовувати безпетльові датчики з базою 0, 5–1 мм, а іноді петльові з базою не більш ніж 3 мм;

- для керамічних і епоксидних матеріалів, широко вживаних у радіоелектроніці, підібрані клеї для препарування тензодатчиками, які забезпечують максимальну тензочутливість тензодатчиків при найменшій повзучості і розкиді;

- експериментально встановлені допустимі значення струму живлення, що відповідають допустимій зміні відносного опору тензорезистора за рахунок нагрівання струмом живлення при збереженні чутливості апаратури, для тензорезисторів із різноманітними базами, наклеєних на різноманітні матеріали;

- доробка тензовимірювальної апаратури включала введення у вимірювальний ланцюг узгоджувального пристрою і розробку пульта контролю й узгодження (рис.1), що дозволило підвищити:

- а) чутливість з  $0,25 \cdot 10^{-3}$  до  $0,2 \cdot 10^{-3}$  відносних одиниць деформації;  
 б) перешкодозахищеність приблизно на 20Дб (з  $\approx 120$ Дб до  $\approx 140$ Дб);  
 в) стабільність роботи тензоапаратури на 25%.

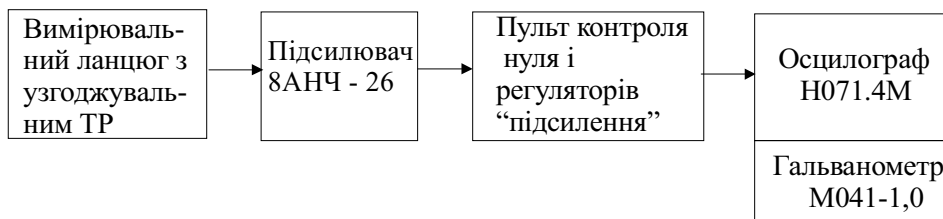


Рис.1 Блок-схема підключення тензометричної апаратури

Методика визначення реального коефіцієнта запасу міцності  $k$  приводиться на прикладі металокерамічних резисторів типу С2-29В.

Резистори одного номіналу і однієї партії були препаровані тензодатчиками КФ4П1-0, 5-100 за схемою, яка наведена на рис. 2. Потім їх встановлювали в плати гермомодулів і збирали два електричних ланцюга з 50 послідовно з'єднаних резисторів (рис.3). Для визначення експлуатаційних напружень  $\sigma_{екк}$  гермомодулі одного ланцюга заливали експлуатаційним компаундом ЕЗК-25, а для визначення граничних напружень  $\sigma_{пр}$  модулі другого ланцюга заливали "жорстким" (без пластифікатора і наповнювача) компаундом на основі ЕЗК-25, де зберігався майже подібний експлуатаційному об'ємний напружений стан у радіоелементах і конструкціях, але з більшими напруженнями.

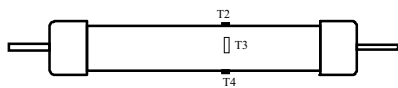
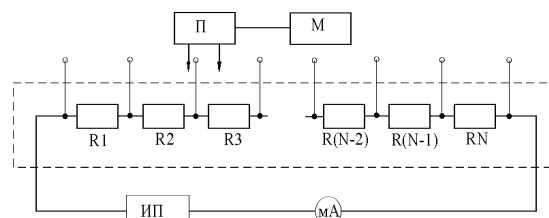
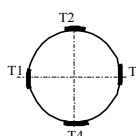


Рис.2 Схема препарування резисторів

Рис.3 Схема включення резисторів:  
 П - перемикач; М - вимірювальний міст;  
 ИП - джерело живлення; МА - міліамперметр

Гермомодулі, заполімеризовані таким чином, піддавали термоударам, тобто спочатку гермомодулі поміщали у термостат СС-200 з температурою  $+70^{\circ}\text{C}$ , а потім переносили у кліматичну камеру Файтрон 3526/51 с температурою  $-60^{\circ}\text{C}$ . Час переносу з однієї камери в іншу обмежувався секундами. Витримка виробів у камерах проводилась до досягнення теплової рівноваги (0, 5 ч). При цьому одночасно робили виміри показань тензорезисторів і електричних параметрів ланцюга.

При обриві ланцюга чи відхиленні електричного параметра (опору) за допустимі межі в "жорсткому" компаунді фіксували руйнуюче напруження  $\sigma_{пр}$ , а також одночасно експлуатаційне напруження  $\sigma_{екк}$  у модулях, залитих експлуатаційним компаундом. Далі модуль з елементом, що вийшов з ладу, виключали з електричного ланцюга і продовжували експеримент до накопичення необхідної кількості даних, яке оброблювали методами математичної статистики.

Слід зазначити, що в ряді випадків мав місце так названий "мерехтливий" дефект, коли при температурі  $-60^{\circ}\text{C}$  виявляли відмову досліджуваної схеми, але через деякий час після переносу модулів у нормальні умови або в термостат відмова зникла. При появі "мерехтливого" дефекту виміряні напруження електричних елементів приймали за руйнуючі, оскільки цей дефект рівнозначний за своїми наслідками руйнації елемента.

"Мерехтливий" дефект часто має місце в реальних ситуаціях, коли об'єкт із встановленим на ньому електронним пристроєм (наприклад, літальний апарат) експлуатується в умовах температур і тисків, що різко змінюються.

Розраховані за матеріалами експериментів, значення коефіцієнтів запасу міцності резисторів типу С2-29В у гермомодулях із надійністю  $\gamma=0,95$  лежать в інтервалі

$$1,224 < k < 1,496.$$

Знайдені значення коефіцієнтів запасу міцності для досліджуваних елементів виявилися недостатніми і не виключали випадків поломок, тому що для різних партій резисторів і компаунда розкид фізико-механічних характеристик досягає 300% і можливі такі несприятливі поєднання цих характеристик, при яких відбудеться руйнація резистора або компаунда.

Тому було необхідно розробити заходи, направлені на зниження напружень до безпечного рівня при самому несприятливому поєднанні характеристик компаунда і кераміки для захисту резисторів від дії компаунда у виробі.

Спочатку в якості таких заходів було запропоновано застосувати захисні демпфувальні покриття. Був відібраний ряд захисних покриттів: КЛТ-30, КЛТ-30 МФ, КЭТ-330, "Силтан-Д", КЛФ-20, КЛТ-30 +  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ , КБФ-5, МФС-80, ХС-65, ХСА-75, ФМА-75, ХС-ФМ, ЦИАТИМ-201, КЛТ-30 +  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ .

Для визначення ефективності застосування демпфувальних покриттів було узято по десять гермомодулів на дослідження дії кожного з покриттів і ще десять гермомодулів, резистори в яких не захищались покриттям. Резистори гермомодулів препарували малообазними тензодатчиками типу КФ4, КФ5 за схемою, яка наведена на рис.2. Плати з препаративними резисторами двічі поміщалися в термостат із температурою  $+70^\circ\text{C}$  і камеру холоду з температурою  $-60^\circ\text{C}$ , щоб у наступному виділити дію тільки компаунда на досліджувані резистори. Після цього резистори у відповідних гермомодулях покривали прошарком досліджуваного демпфувального покриття. Потім усі гермомодулі герметизували компаундом типу ЕЗК-25. Після полімеризації робили тензометрування при термоударах і реєстрували показання тензорезисторів.

Для визначення деформацій резисторів тільки від дії компаунда при крайніх значеннях допустимих температур експлуатації з отриманих показань тензорезисторів у герметизованих модулях віднімали показання тензорезисторів у модулях до герметизації при однакових значеннях температур.

За величиною деформацій, які фіксуються, робили висновок про дію демпфувальних покриттів шляхом введення кількісної оцінки - коефіцієнта демпфування, який дорівнює відношенню деформацій (напружень) елемента, герметизованого без застосування покриття, до деформацій (напружень) елемента, захищеного покриттям. Очевидно, що кращими демпфувальними властивостями володіють ті покриття, що мають більші коефіцієнти демпфування. Розрахунок, проведений з урахуванням цього коефіцієнта, дозволяє більш точно оцінити на етапі проектування міцність конструкції.

Значення коефіцієнтів демпфування, отримані при герметизації компаундом типу ЕЗК-25 резисторів, захищених різноманітними покриттями, приведені в табл. 1.

Для резисторів оптимальним виявилось покриття КЛТ-30 МФ + ЦИАТИМ-201, при якому елементи відчували найменші відносні деформації. Проте, в зв'язку з тим, що замовник висловив побоювання про можливість виникнення корозії або інших ушкоджень від зіткнення з мастилом ЦИАТИМ-201 на протязі 20 років експлуатації, було вирішено досліджувати інші засоби захисту електронних елементів від впливу компаунда при термоударах.

Наступним етапом розробки захисних заходів було дослідження ефективності застосування в якості термозахисту демпфувальних ковпачків, виготовлених із поліетилену (АД-1М-03), і поліхлорвінілових термоусадочних трубок (ДМГ.975.016ТУ). Як і у випадку дослідження демпфувальних властивостей захисних покриттів резистори в двох партіях гермомодулів (по 10 шт. у кожній) препарувалися тензодатчиками. Потім на резистори однієї партії одягались поліетиленові ковпачки, а на резистори другої - захисні термоусадочні трубочки, попередньо розрізані по твірній. Значення коефіцієнтів демпфування, які були отримані в результаті вимірів, проведених у процесі полімеризації герметика і при термоударах, рівні: при захисті ковпачками - 3, 3, при захисті трубками - 3, 4.

Таблиця 1

Значення коефіцієнта демпфування

Покриття	Матеріал ЕРЕ, керамка	Покриття	Матеріал ЕРЭ, керамика
КЛТ-30	1, 65	ХС-85	1, 45
КЛТ-30МФ	2, 3	ХСА-75	1, 38
КЛТ-30 + + $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$	1, 55	ХС-ФМ	1, 40
Силтан-Д	1, 32	КЭТ-3-30	1, 43
ЦИАТИМ-201	3, 0	ФМА-75	1, 5
КЛТ-30 + + ЦИАТИМ-201	3, 5	МФС-80	1, 41
КБФ-5	1, 53		

Таким чином, серед розглянутих засобів захисту можна виділити найбільш ефективні, тобто ті, які мають найбільший коефіцієнт демпфування: покриття КЛТ-30 МФ + ЦИАТИМ-201, захисні ковпачки і термоусадочні трубочки. У ряді випадків трубки бувають більш технологічними в порівнянні з покриттям і ковпачками, хоча вони і не завжди використовуються у виробництві, як наприклад, при захисті елементів прямокутної форми. Захист резисторів С2-29В термоусадочними трубочками ДМГ.975.016ТУ впроваджено в ВО "Новатор".

#### Література

1. Кузнецов О.А., Погалов А.И., Сергеев В.С. Прочность элементов микроэлектронной аппаратуры. – М.: Радио и связь, 1990. – 144 с.
2. Ленков С.В. Обеспечение надежности РЭА. – К.: ГАЛПУ, 1997. – 148 с.
3. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов. – М.: Наука, 1970. – 544 с.

Надійшла 17.7.2002 р.

**Рекомендовано до друку рішенням вченої ради ТУП, протокол №1 від 30.08.2002 р.**

Підп. до друку 2.09.2002р. Ум.друк.арк. 31,72 Обл.-вид.арк. 30,18  
Формат А4, папір офсетний. Друк різнографією.  
Наклад 100

---

Друк здійснено ПП Ковальський  
з оригінал-макету, виготовленого редакцією журналу “Вісник Технологічного університету Поділля”  
29000, м. Хмельницький, вул. Свободи, 53  
тел/факс (8-0382) 76-42-92