

Науковий журнал

4.2002

ВІСНИК

Технологічного університету Поділля

Частина 1

Технічні науки

*Випуск з нагоди 40-річчя
Технологічного університету Поділля*

Наукові статті відібрані редакційною колегією журналу та рекомендовані до друку рішенням науково-технічної та методичної конференції "Інформаційні технології в виробництві і освіті" (м. Хмельницький, 17-19 квітня), спеціальний випуск

Хмельницький 2002

ВІСНИК

Технологічного

університету

Поділля

Засновано в липні 1997р.

Виходить 6 разів на рік

Хмельницький, 2002, №4 Ч.1 (42)

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

Головний редактор академік АІН України, д.т.н. Сілін Р.І.

Заступник головного редактора д.т.н. Каплун В.Г.

Відповідальний секретар Гуляєва В.О.

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. Мясищев О.А.

Відповідальний за випуск к.т.н. Ковальчук С.С.

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

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

О.П. БАБАК, А.Г. КУЗЬМЕНКО, А.А. ПАСЕЧНИК ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ТРИБОСОПРЯЖЕНИЙ ПУТЕМ ФОРМИРОВАНИЯ МАСЛОУДЕРЖИВАЮЩЕГО ПРОФИЛЯ	7
В.Е. АЛЕХНОВИЧ, А.А. ПРОШИН К ВЫБОРУ ПАРАМЕТРОВ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ПОДНАЛАДКИ СТАНКОВ	12
В.Г. КАМБУРГ, І.В. ЦИМБАЛІСТА, М.В. ШЕПТАЛІН, Г.М. ЛІПАТОВ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ФОРМУВАННЯ ПОЛІВ ПЕРЕСИЧЕННЯ У ПОТОЧНИХ ТЕРМОДИФУЗІЙНИХ ДИНАМІЧНИХ КАМЕРАХ МЕТОДАМИ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ	14
В.П. РОЙЗМАН, І.І. КОВТУН, С.А. ПЕТРАЩУК ІДЕНТИФІКАЦІЯ ФІЗИКО - МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ	18
V. PETRONIS, V. LAURUSKA USING PLOT STYLES IN AUTOCAD 2000	25
С.С. КОВАЛЬЧУК, О. ЛУЦЮК СПОСОБИ ВЗАЄМОДІЇ ПРИКЛАДНИХ ПРОГРАМ З ГРАФІЧНОЮ СИСТЕМОЮ AUTOCAD	28
Ю.Б. МИХАЙЛОВСЬКИЙ, М.М. АДАМЧУК РОЗРОБКА УНІВЕРСАЛЬНОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ	36
А.Г. КУЗЬМЕНКО, С.В. СИТНИК, О.В. ДИХА МЕТОДИКА І РЕЗУЛЬТАТИ ОЦІНКИ ТОЧНОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ МОДЕЛЕЙ ЗНОШУВАННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ ТЕОРІЇ СЕНСИТИВІВ ФУНКЦІЙ	39
Є.А. УРБАНИЮК ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПРИ КОНСТРУЮВАННІ МЕТАЛОРІЗАЛЬНИХ ВЕРСТАТІВ	42
Н.В. ПРОШИНА, В.Й. РОКИЦЬКА, О.П. СТОЯНОВА ВИКОРИСТАННЯ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ГІГРОСКОПІЧНОСТІ ТКАНИН	46
В.М. КОРЕНЬКОВ, В.А. ПАСІЧНИК, Р.Р. СІМУТА АНАЛІЗ З'ЄДНАНЬ, ЩО ЗАБЕЗПЕЧУЮТЬ НЕРОЗ'ЄМНІСТЬ СКЛАДАЛЬНИХ ОДИНИЦЬ ТА ВИРОБІВ, І ДЕЯКІ СПОСОБИ ВИЗНАЧЕННЯ ТАКИХ З'ЄДНАНЬ	48
О.А. ЄЩЕНКО, В.Г. МИРОНЧУК, І.С. ГУЛИЙ ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ АПАРАТУРНО-ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ ПРОДУКТОВОГО ВІДДІЛЕННЯ ЦУКРОВОГО ЗАВОДУ ТА ЇЇ ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ	52
А.І. ГОРДЕЄВ, Н.М. ГОНТАРУК, О.Б. ЛАВРЕНТЬЄВ, В.Г. МІГАЛЬ ДЕЯКІ ЗАДАЧІ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЕКТУВАННЯ ПРИСТРОЇВ	56
С.В. МІЛЬ ЗАСТОСУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В ЕРГОНОМІЧНОМУ ПРОЕКТУВАННІ	59
С.Г. КУЛЕШОВА, О.Г. ДУБІНЕВИЧ, А.Л. СЛАВІНСЬКА АВТОМАТИЗАЦІЯ РОБІТ ТВОРЧОГО ХАРАКТЕРУ	62
М.С. СВІРНЕВСЬКИЙ АЛГОРИТМИ СИНТЕЗУ КОНТУРІВ МНОГОКУТНИКІВ, ЩО ПЕРЕКРИВАЮТЬСЯ	65

В.І. ШИНКАРЕНКО ТРЬОХРІВНЕВА МОДЕЛЬ ТА CASE –ЗАСОБИ ОБ’ЄКТНО-ОРІЄНТОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ ..	67
О.П. ГОЖИЙ ЗАСТОСУВАННЯ ГЕНЕТИЧНИХ АЛГОРИТМІВ ДЛЯ ВИРШЕННЯ ЗАДАЧ ДИСКРЕТНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ В САПР	73
П.А. ГРАБОВСЬКИЙ, А.И. ГОРОБЧЕНКО ОПТИМАЛЬНЕ КЕРУВАННЯ РОБОТОЮ ШВИДКИХ ВОДОЧИСТНИХ ФІЛЬТРІВ	75
И.С. АЛІЄВ, Є.М. СОЛОДУН МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ КОМБІНОВАНОГО ВИДАВЛЮВАННЯ СТРИЖНЕВИХ ДЕТАЛЕЙ ІЗ ФЛАНЦЕМ	78
П.Є. УВАРОВ МЕТОДИ І ЗАСОБИ ДОСЛІДЖЕННЯ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОГО СИНТЕЗУ РАЦІОНАЛЬНИХ СТРУКТУР І РІШЕНЬ СОТП ІПБД	83
М.М. МАСЛІКОВ, М.О. МАСЛІКОВ, О.М. МАСЛІКОВ ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНІЧНИХ РОЗРАХУНКІВ У ПАКЕТІ MATHCAD	87
Г.С. ТКАЧУК ЗАКОНОМІРНОСТІ ТА ХАРАКТЕРИСТИКИ ДЕФОРМУВАННЯ ЛЬНЯНОЇ ПРЯЖІ ПРИ НАВАНТАЖЕННІ РОЗТЯГОМ	89
М.Ф. СЕМЕНЮК, О.Г. ТИМОЩУК РОЗРОБКА МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ ГЕРМЕТИЧНОСТІ ЦИЛІНДРО-ПОРШНЕВИХ УЩІЛЬНЕНЬ	93
Б.Д. СТОРОЖ, Р.Т. КАРПИК, Я.Б. СТОРОЖ МОДЕЛЮВАННЯ ТОЧНОСТІ ЦИЛІНДРИЧНИХ ПОВЕРХОНЬ	101
О.В. КАРДАШ СИСТЕМАТИЗАЦІЯ ВИМОГ ДО ДИЗАЙНУ ВИРОБНИЧОГО ОДЯГУ	103
В.О. КОМАР, П.Д. ЛЕЖНЮК, П.В. ГЕЛЬ АЛГОРИТМ ВИКОРИСТАННЯ КВАЗІУМОВ ОПТИМАЛЬНОСТІ В ЗАДАЧАХ КРИТЕРІАЛЬНОГО ПРОГРАМУВАННЯ	105
В.І. КРАВЦОВ, О.М. НЕДБАЙЛО, А.В. КРАВЦОВ НЕЛІНІЙНЕ ДЕФОРМУВАННЯ ВОЛОКОН НИТКИ ПРИ ЇХ ВЗАЄМОДІЇ	108
В.І. ЧУПРИНКА, А.В. ПІНЧУК СЕРІЙНЕ ГРАДИРУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ ВЗУТТЯ З УРАХУВАННЯМ СТАЛОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРИПУСКІВ	110
Ю.О. СКРИПНИК, Г.В. ЮРЧИК, В.І. ВОДОТОВКА МЕТОД ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІНВАРІАНТНОСТІ ВИМІРЮВАЛЬНОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ ВИТРАТОМІРА ЗМІННОГО ПЕРЕПАДУ ТИСКУ	113
О.Н. ПАУЛИН, Н.О. КОМЛЕВАЯ (СТАРКОВА) АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСА ІССЛЕДОВАНИЯ ПЕРЕХОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДВИГАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ГЛАЗА ЧЕЛОВЕКА	116
А.А. ПЕТРОВ, И.И. КАНТЕМИР МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННЫХ УСТАНОВОК ТУП И РАСЧЕТ ИХ ХАРАКТЕРИСТИК	119
А.А. ПЕТРОВ, Л.А. ЛISOVA МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ МАШИН И ТЕХНОЛОГИЙ	124

В.П. НЕЗДОРОВІН, В.Г. КАМБУРГ, В.І. СЕМЕНЮК, В.В. СЕМЕНЮК ОПРАЦЮВАННЯ ОПЕРАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ ПІДТРИМКИ РІШЕНЬ У ПРАВОВОМУ ПОЛІ	128
А.В. ГОРОШКО АКУСТО-ЕМІСІЙНИЙ КОНТРОЛЬ ПОСУДИН ПІДВИЩЕНОЇ НЕБЕЗПЕКИ	131
Т.Д. ТЕРЕЩЕНКО ВСТАНОВЛЕННЯ ЧИСЛА ДОСЛІДЖЕНЬ ПРИ ВИЗНАЧЕННІ ФОРМОСТІЙКОСТІ ТРИКОТАЖНОГО ПОЛОТНА	136
А. ГАНЗЮК, В. МИСЛІБОРСЬКИЙ. ДЕФОРМАЦІЙНА МОДЕЛЬ ТРІБОХІМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ЛЕГКОПЛАВКОГО КОМПОЗИТУ НА ОСНОВІ VI-PV-SN-CD ДЛЯ БОРОТЬБИ З ФРЕТІНГ- КОРОЗИЄЮ	138
М.А. НЕСТЕР ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ УДАРНОГО ІМПУЛЬСУ З ЗАПИСОМ ОСЦИЛОГРАМИ УДАРУ	141
А.А. НЕСТЕР ПОВТОРНЕ ВИКОРИСТАННЯ ВОДИ ПРИ ВІДНОВЛЕННІ РОЗЧИНІВ	143
С.М. ТАРАКАНОВСЬКИЙ EXCEL-ОБОЛОНКА ЕКСПЕРТНОЇ СИСТЕМИ - ЗАСІБ РІШЕННЯ ІНЖЕНЕРНИХ ЗАДАЧ	145
В.І. ВОДОТОВКА, Д. В. ДОЗОРОВ РОЗРОБКА МЕТОДУ КОМПЕНСАЦІЇ ЦІЛЕСПРЯМОВАНИХ ВПЛИВІВ НА СТАБІЛІЗОВАНИЙ ПАРАМЕТР	148
В.І. ВОДОТОВКА, В.Я. КИШКАН, Ф.М. РЕПА СТАБІЛІЗАТОР ПОГЛИНЕНОЇ НВЧ ПОТУЖНОСТІ	151
В.О. ЩУРИК, В.В. НІКОЛАСВ АНІМАЦІЙНО ВІЗУАЛІЗОВАНА МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ДИНАМІКИ СИСТЕМИ “ГОРИЗОНТАЛЬНИЙ ПОРОЖНИСТИЙ РОТОР ІЗ ЧАСТКОВИМ МАЛОРУХЛИВИМ ПЛАСТИЧНО-В’ЯЗКИМ НАПОВНЕННЯМ – ПРУЖНО-ДЕМПФУЮЧА ПІДВІСКА – ПРИВОД”	154
В.В. СТРЕЛЬБИЦЬКИЙ ОГЛЯД МЕТОДІВ СИНТЕЗУ ПРОСТОРОВИХ МЕХАНІЗМІВ І СИНТЕЗУ НА ОСНОВІ ГЕОМЕТРИЧНИХ ОБМЕЖЕНЬ	157
В.І. СКИЦЮК, Р.С. СІЛІН ТЕХНОЛОГІЯ ТОРКАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОБ’ЄКТІВ (ЧАСТИНА 4. ЗАГАЛЬНА КЛАСИФІКАЦІЯ СПОСОБІВ ТОРКАННЯ)	159
Г.І. РАДЕЛЬЧУК ТЕХНОЛОГІЯ ПРОЕКТУВАННЯ КОМП’ЮТЕРИЗОВАНИХ НАВЧАЛЬНИХ КУРСІВ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ ГРУПОВОГО НАВЧАННЯ	162
О.В. БОРОВИК, В.М. ШЕВЧУК ВИМУШЕНІ КОЛИВАННЯ МЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ ЗРОСТАЮЧОЇ МАСИ ПРИ СУМІСНІЙ ДІЇ СИЛ СУХОГО, В’ЯЗКОГО ТЕРТЯ ТА РЕАКТИВНИХ СИЛ У ВИПАДКУ ДІЇ ГАРМОНІЧНОЇ ЗБУДЖУЮЧОЇ СИЛИ	168
В.П. ДРОБИНОВ, В.Ф. БАРДАЧЕНКО КОНЦЕПТУАЛЬНІ ОСНОВИ ТА ТЕХНІЧНІ РІШЕННЯ ДЛЯ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ПЕРСОНАЛУ БОРТОВИХ МОДЕРНІЗОВАНИХ ЗАСОБІВ КОМПЛЕКСНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ЛІТАКІВ МІГ-29	172

Б.В. БОЛІБРУХ, А.А. МИЧКО УЗАГАЛЬНЕНИЙ АНАЛІЗ МЕТОДИЧНИХ ОСНОВ ВИВЧЕННЯ ТЕРМОФІЗИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ	176
О.В. АТАЄВА, А.Ю. БІЛЕВИЧ ВПЛИВ ПСИХОФІЗІОЛОГІЧНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ВАГІТНИХ ЖІНОК НА ВИБІР ПОКАЗНИКІВ ОДЯГУ	179
А.Л. СЛАВІНСЬКА РОЛЬ ДИЗАЙНУ ОДЯГУ В ОБРАЗНІЙ ТРАНСФОРМАЦІЇ ОСОБИСТОСТІ	181
В.В. МИЦА ШЛЯХИ РАЦІОНАЛІЗАЦІЇ СИСТЕМИ СТАНДАРТИЗАЦІЇ РОЗМІРІВ ГОТОВОГО ОДЯГУ	183
М.В. КОЛОСНІЧЕНКО МЕТОДОЛОГІЧНІ ПІДХОДИ ДО ОБҐРУНТУВАННЯ ТРИВАЛОСТІ ЗАХИСНОЇ ДІЇ ТЕРМОЗАХИСНОГО СПЕЦОДЯГУ	186
А.Н. НОЩЕНКО, В.А. ОСТАФЬЕВ ТЕРМОПРУЖНІ НАПРУЖЕННЯ ПРИ ПЕРЕРИВЧАСТІЙ РОБОТІ ТВЕРДОСПЛАВНОГО РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТА	188

пересыщением в термодиффузионной камере. // Физика аэродисперсных систем. – Киев - Одесса: Вища школа, 1983. – Вып. 237. – С. 100-104.

4. А. С. 951218 СССР. Способ определения активности атмосферных ядер конденсации. /Г. Н. Липатов, Г. Л. Шингарев; опубл. 1982, Бюл. №30

5. Шингарев Г. Л. Процессы теплопереноса аэрозольных частиц в поточных термодиффузионных камерах: Дис. канд. физ.-мат. наук. – Одесса. 1989. –С.16.

6. Липатов Г. Н., Чернова Е. А., Шингарев Г. Л. К вопросу о переходных процессах в термодиффузионной камере // Физика аэродисперсных систем. – Киев-Одесса: Вища школа, 1982. – Вып. 21. – С. 19-24.

7. Ивченко И. Н., Ярламов Ю. И. Тепловое скольжение неоднородно нагретого газа вдоль твердой плоской поверхности //Изв. АН СССР. Сер. МЖГ. – 1969- № 6- С. 59-66.

8. Камбург В.Г., Шепталін Н.В., Шингарев Г.Л. Моделирование полей пересыщения в термодиффузионных камерах. Щелевой канал: Тез. доп. // Міжнародна математична конференція, присвячена пам'яті Ганса Гана.- Червона Рута, 1994.- С.134.

9. Камбург В. Г., Шепталін М. В. Моделирование полей пересыщения у термодиффузионных камерах. Цилиндрический канал: Збірник наукових праць // Інтегральні перетворення та їх застосування до крайових задач. – К.: Ін-т математики НАН України, 1996.- С. 83-87.

10. Камбург В. Г., Шепталін М. В. Узагальнена модель для розрахунку полей пересыщения в каналах різної конфігурації: збірник наукових праць // Інтегральні перетворення та їх застосування до крайових задач.– К.: Ін-т математики НАН України, 1996.- С. 62-69.

11. Камбург В. Г. Моделирование та інтенсифікація деяких процесів і конструкцій вилучення домішок // Вісник Технологічного університету Поділля, сер. 3-Соціально-гуманітарні і природні науки. – 1997.- №2.– С. 5-8

12. Вулканович М. П., Ривкин С. П., Александров А. А. Таблицы теплофизических свойств воды и водяного пара. М.: Издательство стандартов, 1969.-408с.

13. Амелин А. Г. Теоретические основы образования тумана при конденсации пара. – М.: Химия. 1972. – 304 с.

14. Иванченко Л. В. Установка для счета аэрозольных частиц // 14 Всесоюзная конференция по актуальным вопросам физики аэродисперсных систем.- Одесса, 1986.– Т. 2. –С. 100.

15. А. С. 1068149 СССР. Термодиффузионная камера с управляющим элементом для диффузиофоретического осаждения высокодисперсных аэрозолей / Г. Н. Липатов, А. С. Скапцов; опубл. 1984, бюл. №34

Надійшла 14.3.2002 р.

УДК 621. 396.6 :539. 4

В.П. РОЙЗМАН, І.І. КОВТУН, С.А. ПЕТРАЩУК

Технологічний університет Поділля, м. Хмельницький

ІДЕНТИФІКАЦІЯ ФІЗИКО - МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ

Для визначення фізико-механічних характеристик полімерних матеріалів, які знайшли широке застосування в сучасній радіоелектроніці, запропоновано і апробовано метод пробних параметрів, заснований на ідентифікації цих характеристик у рамках моделі, що схематизує реальний об'єкт з урахуванням експлуатаційних факторів.

В практиці експлуатації та іспитів компаундованих виробів радіоелектронної техніки мають місце випадки поломок металокерамічних резисторів, конденсаторів, фоторезисторів, мікросхем, а також розшарування і розламів у компаунді гермомодульних конструкцій і тонкоплівочних конденсаторів при зміні температури (особливо при термоударах). Тому вже на етапі проектування для попередження дефектів, які викликаються механічними і температурними навантаженнями, доцільно вміти розраховувати на міцність деталі конструкції і компаунд, щоб обгрунтовано призначати конструктивні розміри деталей, вибирати безпечні місця для розташування елементів в об'ємі компаунда, підбирати компаунди з урахуванням температурних режимів експлуатації.

Для розрахунку напружень, які виникають в електронних елементах, що мають форму тіл обертання, (резисторах, конденсаторах, діодах і т.д.) і виділеному шарі компаунда при зміні температури, у загальному виді обгрунтована можливість використання теорії Ляме-Гадоліна [1, 2]. Електронний елемент і виділений навколо нього шар компаунда розглядаються як скріплені товстостінні циліндри (рис.1).

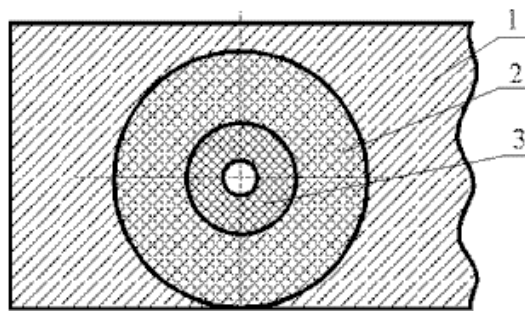


Рис.1 Утворення розрахункової схеми (1 - компаунд, 2 – виділений компаундний циліндр, 3 - електронний елемент).

Для сталого по радіусу електронного елемента і компаунда перепаду температури ΔT формули для визначення радіальних σ_r , тангенціальних σ_t і осьових σ_z напружень і контактного тиску мають вид:

в електронному елементі

$$\sigma_{r_1} = -\frac{PR_2^2}{R_2^2 + R_1^2} \left[1 - \frac{R_1^2}{r^2} \right], \quad (1)$$

$$\sigma_{t_1} = -\frac{PR_2^2}{R_2^2 - R_1^2} \left(1 + \frac{R_1^2}{r^2} \right), \quad (2)$$

$$\sigma_{z_1} = -\frac{P \cdot R_2^2}{R_2^2 - R_1^2}, \quad (3)$$

і компаундному циліндрі

$$\sigma_{r_2} = -\frac{PR_2^2}{R_3^2 - R_2^2} \left[\frac{R_3^2}{r^2} - 1 \right], \quad (4)$$

$$\sigma_{t_2} = \frac{PR_2^2}{R_3^2 - R_2^2} \left(1 + \frac{R_3^2}{r^2} \right), \quad (5)$$

$$\sigma_{z_2} = \frac{P \cdot R_2^2}{R_3^2 - R_2^2}. \quad (6)$$

де μ_1, μ_2 - коефіцієнти Пуассона матеріалів електронного елемента і компаунда відповідно; E_1, E_2 - модулі пружності першого роду матеріалів електронного елемента і компаунда; α_1, α_2 - коефіцієнти лінійного теплового розширення матеріалів електронного елемента і компаунда; R_1 - радіус внутрішньої циліндричної поверхні електронного елемента; R_2 - радіус поверхні контакту; R_3 - зовнішній радіус герметика; r, R - змінні радіуси: $R_1 \leq r \leq R_2$, $R_2 \leq R \leq R_3$; P - тиск, що виникає на межі компаунд - електронний елемент при перепаді ΔT :

$$P = \frac{[(1 + \mu_1)\alpha_1 - (1 + \mu_2)\alpha_2] \Delta T}{\frac{[(1 + \mu_1)R_1^2 + (1 - \mu_1)R_2^2]}{E_1(R_2^2 - R_1^2)} + \frac{[(1 + \mu_2)R_3^2 + (1 - \mu_2)R_2^2]}{E_2(R_3^2 - R_2^2)}}. \quad (7)$$

При використанні розрахункових формул (1-6) для одержання достовірних результатів необхідно підставляти в них дійсні значення фізико-механічних характеристик матеріалів, що сполучаються (компаунда й електронних елементів).

Досліджувані матеріали є полімерами і мають композитну природу. Крім неоднорідності власного складу на значення фізико-механічних характеристик досліджуваних матеріалів істотний вплив чинять умови утворення самого матеріалу в складі виробу, фізична природа навантаження, яке прикладається, і теплові режими впливів. Певне, тому в довідковій літературі значення модулів пружності, коефіцієнта Пуассона, коефіцієнта лінійного розширення полімерних матеріалів або взагалі не регламентовані, або мають значні відмінності по різним джерелам. У зв'язку з вище наведеним експериментальні дослідження з визначення зазначених фізико-механічних характеристик полімерних матеріалів повинні відтворюватись в умовах, максимально наближених до експлуатаційних, для яких і здійснюється розрахунок напружень.

Для визначення фізико-механічних характеристик нами був розроблений розрахунково-експериментальний метод пробних параметрів [3, 4], який ґрунтується на ідентифікації цих характеристик шляхом рішення обернених задач міцності. Ідея методу полягає в тому, що досліджуваний матеріал з'єднують з іншими пробними матеріалами, характеристики яких добре вивчені і відмінні від відповідних характеристик досліджуваного матеріалу. При цьому форми деталей, які сполучаються, повинні бути такими, щоб напружено-деформований стан у випробовуваних зразках і в реальних конструкціях описувався тими самими рівняннями. Для визначення фізико-механічних характеристик пропонується вважати значення цих параметрів, що ідентифікуються, невідомими в наявній розрахунковій моделі. Значення ж тих параметрів пробних конструкцій, які можуть бути виміряні достатньо точно експериментальними засобами в умовах реального функціонування виробів, а також характеристики пробних матеріалів і геометричні розміри конструкцій підставити в ту ж модель як вхідну інформацію. Виготовляючи певну кількість пробних зразків (у нашому випадку по три для кожного матеріалу, який ідентифікується) із різноманітними значеннями геометричних параметрів, що задаються таким чином, щоб вимірювані величини деформації були різноманітні (тобто рівняння не тотожні), можна на підставі прийнятої розрахункової моделі записати таку кількість незалежних рівнянь щодо

параметрів, що ідентифікуються, яка потрібна для їхнього визначення. Цінність параметрів, які ідентифікуються у такий спосіб, полягає в тому, що вони утворюються з урахуванням експлуатаційних чинників і приведені до тієї розрахункової моделі, яка схематизує реальний об'єкт.

1. Ідентифікація температурного коефіцієнта лінійного розширення, модуля пружності і коефіцієнта Пуассона компаунда

По розрахунковій моделі (1-7), яка описує напружено-деформований стан двошарової циліндричної конструкції при сталому перепаді температур, можна визначити значення фізико-механічних характеристик герметика. Для цього був розроблений і виготовлений спеціальний пристрій (рис. 2), що представляє собою двошарову циліндричну конструкцію (пробний матеріал - шуканий матеріал), в якій внаслідок різниці фізико-механічних характеристик матеріалів, які з'єднуються, при перепаді температур буде виникати контактний тиск на межі поділу.

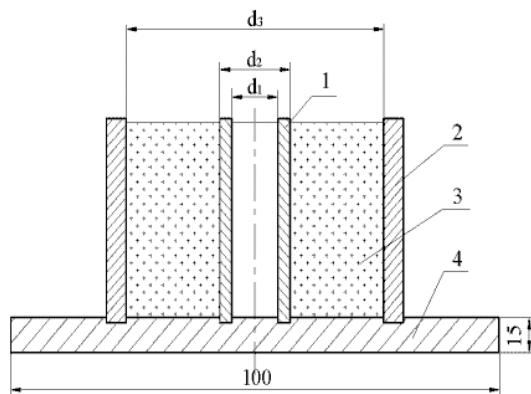


Рис. 2. Схема пристрою для визначення фізико-механічних характеристик компаунда:
1 - порожнистий мідний циліндр; 2 - порожнистий сталевий циліндр; 3 – компаунд; 4 - опорна пластина.

Пристрій (рис. 2) для визначення фізико-механічних характеристик компаунда складається з порожнистого мідного циліндра 1, який використовується як пробний матеріал порожнистого сталевого циліндра 2, розрізаного по двох діаметрально протилежних утворюючих, і циліндричної опорної пластини 4 із двома коаксіальними циліндричними проточками, призначеними для фіксації мідного і сталевих циліндрів.

Було виготовлено три таких пристрої, які відрізняються один від одного діаметрами циліндрів і відповідними розмірами фіксуючих поверхонь опорних пластин. Розміри діаметрів циліндрів різних пристроїв наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Розміри діаметрів циліндрів пристроїв для визначення фізико-механічних характеристик компаунда

№ пристрою	Діаметри, мм		
	d ₁	d ₂	d ₃
I	10	10,4	40
II	20	20,4	40
III	30	30,4	60

Перед зборкою відібраних варіантів пристроїв опорні поверхні сталевих полуциліндрів і опорної пластини покривали тонким прошарком КЛТ-30, а мідні циліндри препарували тензорезисторами КФ4П1 за схемою, приведеною на рис. 3.

Після закінчення препарування і полімеризації КЛТ-30, мідні циліндри і сталеві полуциліндри встановлювали в опорні пластини, полуциліндри стягали за допомогою хомутів, стики закривали прошарком КЛТ-30. Потім вільну порожнину між сталевими і мідними циліндрами заливали компаундом ЕЗК-25. Після закінчення процесу полімеризації компаунда знімали опорну пластину і сталеві полуциліндри, зразки поміщали в камеру холоду і фіксували показання тензорезисторів через кожні 10° С в діапазоні температур -20° С ... -60° С. Цей температурний діапазон був обраний тому, що при таких низьких температурах фізико-механічні характеристики полімерів цілком не вивчені.

Параметрами, які входять в вибрану математичну модель і вимірюються експериментально, є виникаючі від дії контактного тиску окружні деформації на внутрішній поверхні герметика і зовнішній поверхні циліндра із пробного матеріалу:

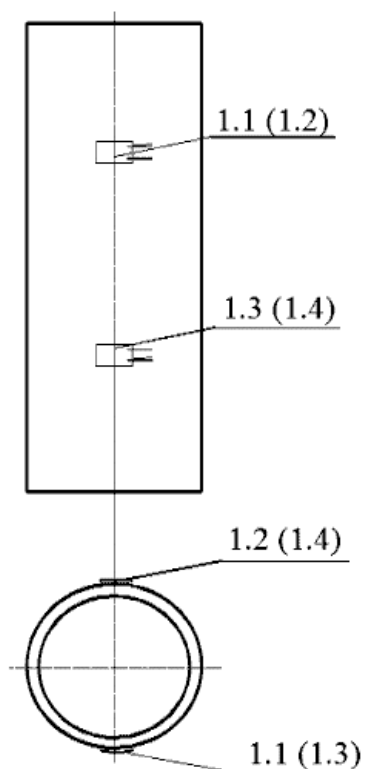
$$\varepsilon_t = \frac{\Delta R}{RS}, \quad (8)$$

де $\frac{\Delta R}{R}$ - відносна зміна опору тензорезистора; S – тензочутливість тензорезисторів.

Середньоарифметичні у п'яти вимірах значення деформації для трьох експериментальних зразків приведені в табл. 2.

Таблиця 2

Значення окружних відносних деформацій		
№ зразка	Температурний діапазон	Окружні деформації ϵ_t (відн. од. деф.)
1	-20°C...-30°C	-2,004·10 ⁻⁴
2		-2,242·10 ⁻⁴
3		-2,461·10 ⁻⁴
1	-30°C...-40°C	-1,936·10 ⁻⁴
2		-2,177·10 ⁻⁴
3		-2,396·10 ⁻⁴
1	-50°C...-60°C	-1,911·10 ⁻⁴
2		-2,159·10 ⁻⁴
3		-2,381·10 ⁻⁴



Значення деформацій пов'язані зі значеннями напружень законом Гука:

$$\epsilon_t = \frac{1}{E} \cdot (\sigma_t - \mu \cdot \sigma_z - \mu \cdot \sigma_r). \quad (9)$$

Підставивши в закон Гука (9) значення напружень із формул (1-3), одержимо формулу для визначення контактного тиску на межі поділу матеріалів при відомих радіальних розмірах конструкції і фізико-механічних характеристиках внутрішнього (мідного) циліндра:

$$P = \frac{-\epsilon_t}{\frac{R_1^2}{R_2^2 - R_1^2} \cdot \frac{1 + \mu_1}{E_1} + \frac{R_2^2}{R_2^2 - R_1^2} \cdot \frac{1 - 2 \cdot \mu_1}{E_1}}. \quad (10)$$

Контактний тиск можна вважати експериментально визначуваним параметром конструкції, значення якого можуть бути підставлені в розрахункову модель як вхідну інформацію.

Досліджуємо вираз (7) для контактної тиску і перетворюємо його до виду, зручному для визначення параметрів, що ідентифікуються:

Рис. 3 Препарування тензорезисторами мідного циліндра

$$P = \frac{(1 + \mu_1)\alpha_1\Delta T - (1 + \mu_2)\alpha_2\Delta T}{\frac{R_1^2}{(R_2^2 - R_1^2)} \cdot \frac{(1 + \mu_1)}{E_1} + \frac{R_2^2}{(R_2^2 - R_1^2)} \cdot \frac{(1 - 2\mu_1)}{E_1} + \frac{R_3^2}{(R_3^2 - R_2^2)} \cdot \frac{(1 + \mu_2)}{E_2} + \frac{R_2^2}{(R_3^2 - R_2^2)} \cdot \frac{(1 - 2\mu_2)}{E_2}}. \quad (11)$$

У формулу (11) ведемо нові позначення:

$$\begin{aligned} M &= \frac{1 - 2 \cdot \mu_2}{E_2}, & N &= \frac{1 + \mu_2}{E_2}, & J &= \alpha_2(1 + \mu_2), \\ A &= \frac{1 - 2 \cdot \mu_1}{E_1}, & C &= \frac{1 + \mu_1}{E_1}, & I &= \alpha_1(1 + \mu_1), \\ B &= \frac{R_3^2}{R_3^2 - R_2^2}, & D &= \frac{R_1^2}{R_2^2 - R_1^2}, & F &= \frac{R_2^2}{R_2^2 - R_1^2}, & G &= \frac{R_2^2}{R_3^2 - R_2^2}. \end{aligned}$$

Маємо

$$P = \frac{I \cdot \Delta T - J \cdot \Delta T}{D \cdot C + F \cdot A + B \cdot N + G \cdot M}$$

чи

$$I \cdot \Delta T - P \cdot C \cdot D - P \cdot A \cdot F = J \cdot \Delta T + P \cdot N \cdot B + P \cdot M \cdot G. \quad (12)$$

Отримано лінійне рівняння (12), у якому ліва частина виражена через параметри N, M, J досліджуваної конструкції. Щоб визначити вказані невідомі N, M, J необхідно записати систему трьох лінійних алгебраїчних рівнянь. Для трьох експериментальних зразків запишемо наступну систему рівнянь:

$$\begin{cases} I \cdot \Delta T - P_1 \cdot C \cdot D_1 - P_1 \cdot A \cdot F_1 = J \cdot \Delta T + P_1 \cdot N \cdot B_1 + P_1 \cdot M \cdot G_1 \\ I \cdot \Delta T - P_2 \cdot C \cdot D_2 - P_2 \cdot A \cdot F_2 = J \cdot \Delta T + P_2 \cdot N \cdot B_2 + P_2 \cdot M \cdot G_2 \\ I \cdot \Delta T - P_3 \cdot C \cdot D_3 - P_3 \cdot A \cdot F_3 = J \cdot \Delta T + P_3 \cdot N \cdot B_3 + P_3 \cdot M \cdot G_3 \end{cases} \quad (13)$$

Розв'язання системи рівнянь (13) має наступний вигляд:

$$\begin{cases} M = \frac{P_1 F_1 A P_2 B_2 + P_1 D_1 C P_2 B_2 - P_1 B_1 P_2 F_2 A - P_1 B_1 P_2 D_2 C + P_3 F_3 A P_1 B_1 - P_3 F_3 A P_2 B_2}{P_1 B_1 P_2 G_2 - P_1 G_1 P_2 B_2 - P_3 G_3 P_1 B_1 + P_3 G_3 P_2 B_2 + P_3 B_3 P_1 G_1 - P_3 B_3 P_2 G_2} + \\ + \frac{P_3 D_3 C P_1 B_1 - P_3 D_3 C P_2 B_2 - P_3 B_3 P_1 F_1 A - P_3 B_3 P_1 D_1 C + P_3 B_3 P_2 F_2 A + P_3 B_3 P_2 D_2 C}{P_1 B_1 P_2 G_2 - P_1 G_1 P_2 B_2 - P_3 G_3 P_1 B_1 + P_3 G_3 P_2 B_2 + P_3 B_3 P_1 G_1 - P_3 B_3 P_2 G_2} \\ N = \frac{P_2 (M \cdot G_2 + C \cdot D_2 + A \cdot F_2) - P_1 (M \cdot G_1 + C \cdot D_1 + A \cdot F_1)}{P_1 \cdot B_1 - P_2 \cdot B_2} \\ J = \frac{I \cdot \Delta T - P_1 (A \cdot F_1 + C \cdot D_1 + M \cdot G_1 + M \cdot G_1)}{\Delta T} \end{cases} \quad (14)$$

Для визначення характеристик досліджуваного матеріалу, які ідентифікуються, необхідно вирішити наступну систему рівнянь:

$$\begin{cases} M = \frac{1 - 2 \cdot \mu_2}{E_2} \\ N = \frac{1 + \mu_2}{E_2} \\ J = \alpha_2 (1 + \mu_2) \end{cases}$$

Вирази для визначення характеристик досліджуваного матеріалу, які ідентифікуються, мають вид:

$$\mu_2 = \frac{N - M}{M + 2N}, \quad \alpha_2 = \frac{J(M + 2N)}{3N}, \quad E_2 = \frac{3}{M + 2N}. \quad (15)$$

У таблиці 3 подані результати розрахунку шуканих характеристик компаунда.

Таблиця 3

Значення фізико-механічних характеристик компаунда

Температурний діапазон	Модуль Юнга E, МПа·10 ⁴	Коефіцієнт Пуассона μ	Температурний коефіцієнт лінійного розширення α, 1/град·10 ⁻⁶
-20°C...-30°C	1,24	0,29	44,9914
-30°C...-40°C	1,21	0,31	43,0277
-50°C...-60°C	1,197	0,33	42,0673
Середньоарифметичні значення	1,216	0,31	43,3621

2. Ідентифікація температурного коефіцієнта лінійного розширення, модуля пружності і коефіцієнта Пуассона кераміки резисторів

Для ідентифікації фізико-механічних характеристик кераміки резисторів були виготовлені три двошарові циліндричні конструкції, у яких пробний матеріал - герметик, а шуканий матеріал - кераміка резисторів (рис. 4). Замість порожнистого мідного циліндра будуть використовуватися керамічні трубки резисторів.

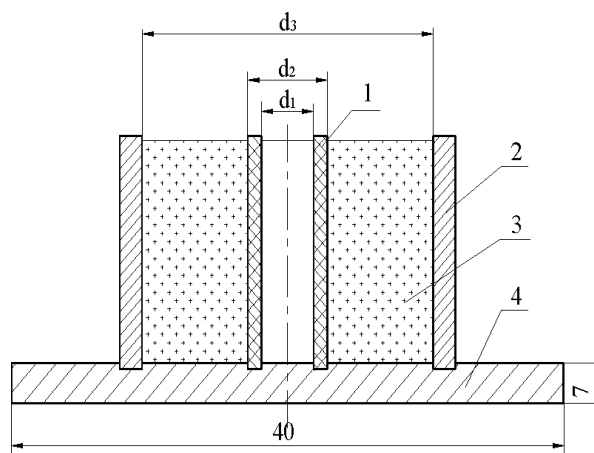


Рис. 4. Схема пристрою для визначення фізико-механічних характеристик кераміки резисторів:
1 - керамічна трубка резистора; 2 - порожнистий сталевий циліндр; 3 - компаунд; 4 - опорна пластина.

Діаметри циліндрів трьох експериментальних зразків приведені в табл. 4.

Таблиця 4

Розміри діаметрів циліндрів пристроїв для визначення фізико-механічних характеристик кераміки резисторів

№ пристрою	Діаметри, мм		
	d ₁	d ₂	d ₃
I	0,4	1,5	8
II	0,8	3	14
III	2	5,4	20

Для виключення погрешностей, викликаних можливим розкидом фізико-механічних характеристик різноманітних партій компаунда, компаунд ЕЗК-25 однієї партії заливали одночасно в пристрої для визначення фізико-механічних характеристик компаунда і кераміки резисторів.

Середньоарифметичні в п'яти вимірах значення окружних деформацій у трьох експериментальних циліндричних конструкціях герметик - кераміка резисторів приведені в табл. 5.

Таблиця 5

Значення окружних відносних деформацій

№ зразка	Температурний діапазон	Окружні деформації ε _t (відн. од. деф.)
1	-20°C...-30°C	2,296·10 ⁻⁴
2		2,271·10 ⁻⁴
3		2,19·10 ⁻⁴
1	-30°C...-40°C	2,335·10 ⁻⁴
2		2,31·10 ⁻⁴
3		2,228·10 ⁻⁴
1	-50°C...-60°C	2,358·10 ⁻⁴
2		2,333·10 ⁻⁴
3		2,249·10 ⁻⁴

Після підстановки формул (4-6) у закон Гука (9) одержимо формулу для визначення контактного тиску на межі поділу кераміки резисторів і компаунда при відомих радіальних розмірах конструкції, окружних відносних деформаціях і фізико-механічних характеристиках зовнішнього компаундного циліндра, які були визначені в п. 1.

$$P = \frac{\varepsilon_t}{\frac{R_3^2}{R_3^2 - R_2^2} \cdot \frac{1 + \mu_2}{E_2} + \frac{R_2^2}{R_3^2 - R_2^2} \cdot \frac{1 - 2 \cdot \mu_2}{E_2}} \quad (16)$$

Вирішимо систему рівнянь (13) щодо невідомих параметрів *A*, *C*, *I*:

$$\begin{cases} A = \frac{P_1 D_1 M P_2 G_2 + P_1 D_1 N P_2 B_2 - P_1 G_1 M P_2 D_2 - P_1 B_1 N P_2 D_2 + P_3 D_3 P_1 G_1 M + P_3 D_3 P_1 B_1 N}{P_1 F_1 P_2 D_2 - P_1 D_1 P_2 F_2 + P_3 F_3 P_1 D_1 - P_3 F_3 P_2 D_2 - P_3 D_3 P_1 F_1 + P_3 D_3 P_2 F_2} + \\ + \frac{-P_3 D_3 P_2 G_2 M - P_3 D_3 P_2 B_2 N - P_3 G_3 M P_1 D_1 + P_3 G_3 M P_2 D_2 - P_3 B_3 N P_1 D_1 + P_3 B_3 N P_2 D_2}{P_1 F_1 P_2 D_2 - P_1 D_1 P_2 F_2 + P_3 F_3 P_1 D_1 - P_3 F_3 P_2 D_2 - P_3 D_3 P_1 F_1 + P_3 D_3 P_2 F_2} \\ C = \frac{P_2 (M \cdot G_2 + N \cdot B_2 + A \cdot F_2) - P_1 (M \cdot G_1 + N \cdot B_1 + A \cdot F_1)}{P_1 \cdot B_1 - P_2 \cdot B_2} \\ I = \frac{J \cdot \Delta T + P_1 (A \cdot F_1 + C \cdot D_1 + M \cdot G_1 + N \cdot B_1)}{\Delta T} \end{cases} \quad (17)$$

Для визначення характеристик кераміки, які ідентифікуються, необхідно вирішити таку систему рівнянь:

$$\begin{cases} A = \frac{1 - 2 \cdot \mu_1}{E_1} \\ C = \frac{1 + \mu_1}{E_1} \\ I = \alpha_1 (1 + \mu_1) \end{cases}$$

Вирази для визначення характеристик кераміки, які ідентифікуються, мають вид:

$$\mu_2 = \frac{N - M}{M + 2N}, \quad \alpha_1 = \frac{J(M + 2N)}{3N}, \quad E_1 = \frac{3}{A + 2C} \quad (17)$$

У табл. 6 подані результати розрахунку шуканих характеристик кераміки резисторів.

Таблиця 6

Значення фізико-механічних характеристик кераміки резисторів

Температурний діапазон	Модуль Юнга E, Мпа·10 ⁴	Коефіцієнт Пуассона μ	Температурний коефіцієнт лінійного розширення α, 1/град·10 ⁻⁶
-20°С...-30°С	13,794	0,294	7,0023
-30°С...-40°С	13,658	0,282	6,376
-50°С...-60°С	12,95	0,276	5,898
Середньоарифметичні значення	13,467	0,284	6,4254

Висновки:

1. Запропоновано й апробовано метод пробних параметрів для визначення фізико-механічних характеристик полімерних матеріалів, який ґрунтується на їх ідентифікації в рамках моделі, що схематизує реальний об'єкт з урахуванням експлуатаційних факторів.

2. Ідентифіковано фізико-механічні характеристики компаунда ЕЗК-25 і кераміки резисторів С2-23-0,062 у діапазоні -20°С...-60°С.

3. У діапазоні -20°С...-60°С коефіцієнт теплового лінійного розширення, коефіцієнт Пуассона і модуль пружності матеріалів зазнають незначні зміни і практично залишаються постійними.

Література

1. Ройзман В., Григоренко С. Міцність пасивних електронних компонентів, герметизованих компаундом, при термоударах // Вісник ДУ "Львівська політехніка", "Радіоелектроніка та телекомунікації" - 2000. - №387. - С.265-270.

2. В.П. Ройзман., І.І. Ковтун, С.А. Петрашук. Розрахунок напружень в системі компаунд-електронний елемент при термоударах // Вісник Технологічного університету Поділля. Технічні науки. - 2002. - №1. - С.189-195.

3. Royzman V.P., Vajingortin L.D. On designing for quality //Proceedings of Third international conference on inverse Design concepts and optimization in engineering sciences. – Washington (USA). – 1991. – P. 155- 162.

4. Royzman V. Investigation of dynamics of gas turbine engine by identification of rigidities of rotor support // Proceeding Vol.1. Ninth World Congress on the Theory of Machines and Mechanisms. – Milan (Italy). – 1995. – P. 507-515.

Надійшла 11.2.2002 р.

Нощенко А.Н., Нощенко О.Э., Сергиенко И.В., Тукалевская М.И. // Сборник Всесоюзного семинара «Вопросы оптимизации вычислений». Институт кибернетики им. В.М. Глушкова НАН, 1987. – С. 127 – 128.

Надійшла 13.2.2002 р.

Рекомендовано до друку рішенням вченої ради ТУП, протокол №10 від 27.05.2002р.

Підп. до друку 30.05.2002р. Ум.друк.арк. 21,91 Обл.-вид.арк. 20,84
Формат А4, папір офсетний. Друк різнографією.
Наклад 100

Друк здійснено редакційно-видавничим центром Технологічного університету Поділля
з оригінал-макету, виготовленого редакцією журналу “Вісник Технологічного університету Поділля”
29016, м. Хмельницький, вул. Інститутська, 7/1
тел (0382) 72-83-63