

Науковий журнал

5.2011

ВІСНИК

**Хмельницького
національного
університету**

Технічні науки

Хмельницький 2011

ВІСНИК ХМЕЛЬНИЦЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

Затверджений як фахове видання
Постановою президії ВАК України від 19.01.2006 № 2-05/1
(бюлетень ВАК України № 2 від 2006 р.)

Засновано в липні 1997 р.

Виходить 6 разів на рік

Хмельницький, 2011, № 5 (182)

Засновник і видавець: Хмельницький національний університет
(до 2005 р. – Технологічний університет Поділля, м. Хмельницький)

Головний редактор	Скиба М. Є. , заслужений працівник народної освіти України, д. т. н., професор, академік МАІ, академік УТА, ректор Хмельницького національного університету
Заступник головного редактора	Параска Г. Б. , д. т. н., професор, проректор Хмельницького національного університету
Голова редакційної колегії	Шинкарук О. М. , д. т. н., професор, завідувач кафедри радіотехніки та зв'язку Хмельницького національного університету
Відповідальний секретар	Гуляєва В. О. , завідувач відділом інтелектуальної власності Хмельницького національного університету

Ч л е н и р е д к о л е г і ї

Технічні науки

к.т.н. Баннова І.М., д.т.н. Гладкий Я.М., к.т.н. Домбровський А.Б., к.т.н. Драпак Г.М., д.т.н. Диха О.В., д.т.н. Калда Г.С., д.ф.-м.н. Качурик І.І., д.т.н. Кіницький Я.Т., д.т.н. Ковтун В.В., д.т.н. Костогриз С.Г., д.т.н. Кострицький В.В., д.т.н. Кузьменко А.Г., д.т.н. Либа В.П., д.т.н. Мазур М.П., д.т.н. Поморова О.В., к.т.н. Мандзюк І.А., д.т.н. Мясичев О.А., д.т.н. Олександренко В.П., д.т.н. Пастух І.М., д.т.н. Ройзман В.П., д.т.н. Рудницький В.Б., д.т.н. Сарібеков Г.С., д.т.н. Сілін Р.І., д.т.н. Семенюк М.Ф., д.т.н. Славинська А.Л., д.т.н. Стечишин М.С., к.т.н. Троцишин І.В., д.т.н. Шалапко Ю.І., д.т.н. Шевеля В.В.

Технічний редактор Горященко К. Л., к.т.н.
Редактор-коректор Броженко В. О.

Рекомендовано до друку рішенням вченої ради Хмельницького національного університету, протокол № 1 від 30.08.2011 р.

Адреса редакції: редакція журналу "Вісник Хмельницького національного університету"
Хмельницький національний університет
вул. Інститутська, 11,
м. Хмельницький
Україна, 29016

(038-22) 2-51-08
e-mail: vagvestnik@rambler.ru

web: <http://visniktup.narod.ru>
<http://vestnik.ho.com.ua>
http://library.tup.km.ua/visnyk_tup.htm

Зареєстровано Міністерством України у справах преси та інформації.
Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації
Серія КВ № 9722 від 29 березня 2005 року (перереєстровано)
Бюлетень ВАК №2, 2006

© Хмельницький національний університет, 2011
© Редакція журналу "Вісник Хмельницького національного університету", 2011

ЗМІСТ

МАШИНОЗНАВСТВО ТА ОБРОБКА МАТЕРІАЛІВ В МАШИНОБУДУВАННІ	
В.Г. КАПЛУН, Ю.І. ШАЛАПКО, Н.С. МАШОВЕЦЬ, НОРБЕРТ РАДЕК МОДИФІКАЦІЯ ПОВЕРХНІ ТИТАНУ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ КОМПЛЕКСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ	7
І.М. ПАСТУХ, М.В. ЛУК'ЯНЮК, В.О. КУРСКАЯ КЛАСИФІКАЦІЙНІ КРИТЕРІЇ ПРОЦЕСІВ АЗОТУВАННЯ В ТІЩОЧОМУ РОЗРЯДІ З НЕСТАЦІОНАРНИМ ЖИВЛЕННЯМ	10
О.О. АБРАМОВ, В.П. ВЕЛЬБОЙ, М.О. ДИХА ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ІНСТРУМЕНТАЛЬНИХ РОЛІКІВ ДЛЯ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ ЗМІЦНЮВАЛЬНОЇ ОБРОБКИ	13
Л.М. БЕРЕЗІН РОЗРАХУНКИ ДОВГОВІЧНОСТІ ТА НАДІЙНОСТІ СТЕРЖНЬОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ ГОЛКОВОГО ЦИЛІНДРА ПАНЧІШНО-ШКАРПЕТОЧНИХ АВТОМАТІВ	17
О.А. ВОЙТОВИЧ, А.А. ЛОБОВ АНАЛІЗ СОВРЕМЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ УЗЛОВ ТРЕНИЯ ФОРМИРОВОЧНО-КРУТИЛЬНЫХ МЕХАНИЗМОВ В ПРЯДИЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ	20
Г.П. РОСІНСЬКА, Б.Ф. ППА ВПЛИВ ЗНОШЕННЯ ОПОРИ ГОЛКОВОГО ЦИЛІНДРА КРУГЛОВОЇ ЯЗАЛЬНОЇ МАШИНИ НА ЯКІСТЬ ТРИКОТАЖНОГО ПОЛОТНА	24
Д.Ю. ЗУБЕНКО УДОСКОНАЛЕННЯ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ В ПРОЕКТАХ СЕРТИФІКАЦІЇ МІСЬКИХ РЕЙКОВИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ	27
М.Л. ШАБДИНОВ, Г.М. ИЗМАЙЛОВА, Э.Ш. ДЖЕМИЛОВ ПЕРСПЕКТИВНЫЕ АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛАЗЕРНОЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ СВАРКИ И РЕЗКИ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ	31
С.В. ЧУМАКОВА, О.С. ПОЛЩУК, А.К. КАРМАЛІТА ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ВИРУБУВАННЯ ОТВОРІВ ПІД МЕТАЛЕВУ ФУРНІТУРУ У ВИРОБАХ ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ	34
В.В. РОМАНЮК КОНТИНУУМ ОПТИМАЛЬНИХ СТРАТЕГІЙ ПРОЕКТУВАЛЬНИКА У МОДЕЛІ УСУНЕННЯ ЧОТИРЬОХЕЛЕМЕНТНИХ НЕВИЗНАЧЕНОСТЕЙ З ЧАСТКОВОЮ НЕДООЦІНКОЮ ЇХ ВЕРХНІХ МЕЖ ЯК АНТАГОНІСТИЧНИЙ ГРІ НА ШЕСТИВИМІРНОМУ ГІПЕРПАРАЛЕЛЕПЕДІ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ КОНСТРУЮВАННЯ ЧОТИРЬОХОПОРНОЇ ПЛАТФОРМИ	41
ТЕХНОЛОГІЇ ХАРЧОВОЇ ТА ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ	
А.Л. СЛАВІНСЬКА МЕХАНИЗМ ВИЗНАЧЕННЯ ОБСЯГУ ВИБІРКИ ДЛЯ АНТРОПОЛОГІЧНИХ ОБСТЕЖЕНЬ НАСЕЛЕННЯ	51
І.І. ЖУКОВСЬКА, М.П. БЕРЕЗНЕНКО ІСТОРИЧНИЙ АСПЕКТ РОЗВИТКУ ОДЯГУ ДЛЯ ВАГІТНИХ	58
В.С. ГОРОБЧИШИНА ОСНОВИ ПРОЕКТУВАННЯ ТИПОВОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ГРУПИ ВИРОБІВ ПЛЕЧОВОГО ОДЯГУ	62
А.Л. СЛАВІНСЬКА, О.М. ШТОМПІЛЬ МЕТОД ПАРАМЕТРИЧНОЇ ТИПІЗАЦІЇ КОНСТРУКЦІЙ ЖІНОЧОГО ЖАКЕТА З УРАХУВАННЯМ СТИЛЬОВОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ	66
Н.А. ТЕРЕШКЕВИЧ, Л.Г. НІКОЛАЙЧУК ОДЯГ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ: ФОРМУВАННЯ АСОРТИМЕНТУ ТА ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕЧНОСТІ	70

Г.Є. ЛОБАНОВА, В.П. ЛИБА ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ВИГОТОВЛЕННЯ ВЗУТТЯ КЛЕЙОВОГО МЕТОДУ КРІПЛЕННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ДЕТАЛЕЙ ІЗ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ	73
О.А. МИХАЙЛОВСЬКА, В.П. ЛИБА, А.Б. ДОМБРОВСЬКИЙ РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ПРОГРАМОВАНОГО РОЗРАХУНКУ І ПОБУДОВИ СІТЧАСТОЇ МОДЕЛІ СТОПИ	80
Ю.І. ФОРДЗЮН, О.А. АНДРЕЄВА ДОСЛІДЖЕННЯ ЛОКАЛІЗАЦІЇ ВІДЧУТТІВ ДИСКОМФОРТУ У СИСТЕМІ «СПОЖИВАЧ–ВЗУТТЯ»	84
А.Б. ДОМБРОВСЬКИЙ, Т.А. НАДОПТА ЕМПІРИЧНА МЕТОДИКА ПРОЕКТУВАННЯ УМОВНОЇ РОЗГОРТКИ ПРОТОТИПУ	88
І.А. МАНДЗЮК, О.В. ШАПОВАЛ, П.А. ЛИСОЧЕНКО, Н.В. СОВА РЕЦИКЛІНГ ВІДХОДІВ ПОЛІЕТИЛЕНУ	99
О.А. ПАРАСКА, С.А. КАРВАН, В.О. СТОПЧАК ВИКОРИСТАННЯ ПРИРОДНИХ МІНЕРАЛІВ В ЯКОСТІ СОРБЕНТІВ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ОРГАНІЧНИХ РОЗЧИННИКІВ	103
Н.В. ПОПОВИЧ, А.І. ПОПОВА, Р.В. РОСУЛ, Л.І. ТЕБЛЯШКІНА ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ БАГАТОРАЗОВОГО ПРАННЯ НА ФОРМОСТІЙКІСТЬ ПАКЕТІВ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ЖАКЕТУ ЖІНОЧОГО	108
Н.Р. СМЕРЕЧИНСЬКА, І.О. ЛЯШОК, Л.В. КУЛІНІЧ ТЕКСТИЛЬ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ОПТИЧНИХ ПОВЕРХОНЬ	112
Г.Я. МІНЕВИЧ ВПЛИВ ТРАДИЦІЙНОЇ ТА НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИБЛЮВАННЯ НА СПОЖИВНІ ВЛАСТИВОСТІ БАВОВНЯНИХ БЛИЗНЯНИХ ТКАНИН	117
А.М. СЛІЗКОВ ПОБУДОВА ФІЗИЧНОЇ МОДЕЛІ ВОЛОКНИСТИХ ПРОДУКТІВ	122
Л.Н. КОНДРАТЮК, ЛА. НЕСТЕРОВА, Г.С. САРИБЕКОВ ИНТЕНСИФИЦИРУЮЩЕЕ ДЕЙСТВИЕ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ НА КОВАЛЕНТНУЮ ФИКСАЦИЮ АКТИВНЫХ КРАСИТЕЛЕЙ	125
О.П. БОХОНЬКО, Н.Д. КОНДРАТЮК, О.В. ЯРОЩУК ОСОБЛИВОСТІ РОЗРОБКИ ЛЕКАЛ ПІДКЛАДКИ ДВОШОВНОГ РУКАВА З ВІДКРИТОЮ ШЛИЦЕЮ В ЖІНОЧОМУ КОСТЮМІ	129
РАДІОТЕХНІКА, ЕЛЕКТРОНІКА ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ	
Й.Й. БЛИНСЬКИЙ, І.В. МИКУЛКА, Б.П. КНИШ КЛАСИФІКАЦІЯ МЕТОДІВ ВИМІРЮВАНЬ РОЗМІРІВ МІКРОСКОПІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ	132
Б.П. ЯЦИШИН, Н.І. ДОМАНЦЕВИЧ ОПТИМІЗАЦІЯ ФІЗИКО-ТЕХНІЧНИХ КРИТЕРІЇВ ЗІ СТВОРЕННЯ МІКРОКРИСТАЛІЧНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ЧУТЛИВИХ ЕЛЕМЕНТІВ СЕНСОРНИХ ПРИБОРІВ	135
О.К. КОЛЕСНИЦЬКИЙ, І.В. БОКОЦЕЙ МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ІМПУЛЬСНОГО НЕЙРОЕЛЕМЕНТА НА БІСПІН-ПРИЛАДІ	141
В.С. ОСАДЧУК, О.В. ОСАДЧУК, О.П. СТОВБЧАТА ПЕРЕТВОРЮВАЧ МАГНІТНОГО ПОЛЯ З ЧАСТОТНИМ ВИХОДОМ	149
А.А. ОВЧАРУК, П.О. ГАВРАСІЄНКО, В.В. КИЧАК ФАЗОВИЙ АНАЛОГОВО-ЦИФРОВИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ НВЧ ДІАПАЗОНУ	154
І.В. ГУЛА, І.В. ТРОЦИШИН, О.П. ВОЙТЮК РОЗРОБКА МЕТОДУ ВИМІРЮВАННЯ ФАЗОВИХ ЗСУВІВ СИГНАЛІВ	159

Ю.Ю. КОЗИНА, А.А. КОЗИН, Л.О. КОМАРОВА, Є.В. СТЬОПІН ПРИМЕНЕНИЕ MORFOЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ ПРИ ОБРАБОТКЕ КОНТУРОВ ИЗОБРАЖЕНИЙ ШАБЛОНОВ	162
Й.Й. БЛІНСЬКИЙ, О.А. ПАВЛЮК, О.М. СУХОЦЬКИЙ МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ СТРИМЕРА, ОТРИМАНОВОГО МЕТОДОМ ГАЗОРОЗРЯДНОЇ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ РІДИННОФАЗНОГО ОБ'ЄКТА	164
О.С. САВЕНКО, Ю.П. КЛЬОЦ, В.С. ШЕВЦОВ МЕТОДИ ЛЕКСИЧНОГО АНАЛІЗУ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ НА РОЗРОБКУ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ	167
А.А. КОБОЗЄВА, В.А. МОКРИЦЬКИЙ, Р.Г. МЕЛКУМЯН ОСНОВИ МЕХАНІЧНОЇ МОДЕЛІ СИСТЕМИ ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ	172
М.О. МЕДИКОВСЬКИЙ, О.Б. ШУНЕВИЧ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ ВАГОВИХ КОЕФІЦІЄНТІВ ВАЖЛИВОСТІ	176
О.І. ЛИТВИНЕНКО, А.І. СБІТНЄВ АНАЛІТИЧНЕ ПОДАННЯ ГРАФІВ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ РОЗРАХУНКІВ НА ЕЛЕКТРОННО- ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ МАШИНАХ	182
А.Г. ЛУКАШЕНКО, Р.Е. ЮПИН, Д.А. ЛУКАШЕНКО АЛГОРИТМЫ РАСЧЕТА КОРРЕКТИРУЮЩИХ КОНСТАНТ ПРИ ТАБЛИЧНО-АЛГОРИТМИЧЕСКИХ МЕТОДАХ АППАРАТУРНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ	190
В.Т. КОНДРАТОВ МЕТОДОЛОГИЯ ИЗБЫТОЧНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ	194
С.В. ЛЕНКОВ, Я.Я. ВИНЯРСЬКИЙ, Р.Г. МЕЛЬКУМЯН ЩОДО ЗАДАЧ ОПЕРАТИВНОГО ОЦІНЮВАННЯ СТАНУ ВІЙСЬКОВОЇ БЕЗПЕКИ ДЕРЖАВИ	201
В.С. СОБЧУК, Н.В. СОБЧУК МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ОПОРНОГО РЕБРИСТОГО ІЗОЛЯТОРА	204
І.В. ТРОЦИШИН, О.П. ВОЙТЮК ЦАП І АЦП НОВОГО ПОКОЛІННЯ НА ПРИНЦИПАХ КВАНТОВОЇ ТЕОРІЇ ВИМІРЮВАЛЬНОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ: ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТА ПОРІВНЯННЯ	207
О.Н. ШИНКАРУК, Е.С. ЛЕНКОВ, К. М. СЕМИБАЛАМУТ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОБНАРУЖИТЕЛЯ НА ОСНОВЕ АЛГОРИТМА КЕЙПОНА ПРИ МНОГОКАНАЛЬНОМ ПРИЁМЕ СИГНАЛОВ БОЛЬШОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ	217
Ю.І. ШАЛАПКО, Ю.І. ПАВЛИШЕН, Я. ЦВАНЕК ДОСЛІДЖЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ МАТЕРІАЛІВ ЕНДОПРОТЕЗІВ	221

УДК 621.785.532

В.Г. КАПЛУН, Ю.І. ШАЛАПКО, Н.С. МАШОВЕЦЬ

Хмельницький національний університет, Україна

НОРБЕРТ РАДЕК

Політехніка Свентокшиська, м. Кельце, Польща

МОДИФІКАЦІЯ ПОВЕРХНІ ТИТАНУ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ КОМПЛЕКСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Наведені результати експериментальних досліджень мікротвердості, товщини, фазового складу та зносостійкості поверхневого шару титану VT1-0 після лазерної обробки за різними режимами та наступного азотування в тліючому розряді в безводневих середовищах.

The experimental results of microhardness, thickness, phase composition and wear resistance of the surface layer of titanium VT1-0 after the laser treatment at different regimes and subsequent nitriding in glow discharge in hydrogen-free medium.

Ключові слова: лазерна обробка, азотування в тліючому розряді, титан VT1-0, зносостійкість, мікротвердість, фазовий склад.

Вступ. Титан є унікальним конструкційним матеріалом за своїми властивостями – малою питомою вагою, низьким модулем пружності, високою корозійною стійкістю і доброю сумісністю з організмом людини [1]. Разом з тим, чистий титан має низьку твердість і малу зносостійкість поверхні. Тому в техніці застосовуються титанові сплави, леговані іншими елементами (хром, молібден, нікель, алюміній, марганець, ніобій, цирконій, олово, азот та інші) [2, 3] для підвищення їх фізико-механічних властивостей. Але металеві сплави, які містять вищезгадані легуючі елементи, є токсичними для організму людини. В разі їх застосування в якості імплантатів відбувається розчинення легуючих елементів в біологічно активному середовищі та їх накопичення в життєво важливих органах живого організму. Крім того, відбувається розтріскування міжзернових границь і збільшується знос поверхні тертя [4]. Це є серйозною перешкодою для застосування таких сплавів при виготовленні імплантатів. Чистий титан VT1-0 не має таких вад, але потребує модифікації поверхні для підвищення його фізико-механічних і трибологічних характеристик у випадку застосування в якості імплантанта.

Застосування низькотемпературного азотування в тліючому розряді для зміцнення поверхневого шару титану VT1-0 [5] дозволило підвищити в 3,5 рази твердість поверхневого шару і майже на 2 порядки зносостійкість в агресивному середовищі (в рідині Рінгера) при збереженні вихідних характеристик міцності. Нові перспективи для підвищення міцності поверхневого шару титану VT1-0 відкриває застосування комплексних технологій з використанням лазерної термообробки і наступного азотування в тліючому розряді.

Методика експериментів. Зразки з титану VT1-0 діаметром 10 мм відпалювалися, шліфувалися на торцевій поверхні і оброблялися на цій поверхні імпульсним променем лазера з діаметром пучка 0,7 мм, часом дії імпульсу 0,4–0,69–8 мс, частотою 50 Гц, кроком переміщення стола 0,4 мм, в середовищі азоту з витратою 25 л/хв, за трьома різними режимами:

- 1 – без оплавлення (потужність 25 Вт, напруга 490 В, час імпульсу 0,45 мс);
- 2 – мале оплавлення (потужність 60 Вт, напруга 600 В, час імпульсу 0,45 мс);
- 3 – велике оплавлення (потужність 90 Вт, напруга 600 В, час імпульсу 0,68 мс).

Після лазерної термообробки зразки азотувалися в тліючому розряді в безводневому насичуючому середовищі на спеціальному обладнанні за режимом: температура дифузійного насичення 666 °С, тиск у вакуумній камері 240 Па, насичуюче середовище 55 об.% N₂ + 45 об.% Ar, час азотування 6 годин. Після кожного виду обробки, використовуючи методи металографії, вимірювалась мікротвердість поверхні, товщина зміцненого шару, розподіл мікротвердості за глибиною і фазовий склад поверхні з використанням приладу ДРОН 3-М. Дослідження зносостійкості зразків проводилося на машині торцевого тертя в середовищі рідини Рінгера при тиску на поверхні тертя 3,5 МПа і швидкості ковзання 0,057 м/с. В якості контрольної використовувався титан VT1-0 з аналогічною обробкою поверхні, як і в дослідному зразку.

Вимірювання зносу проводилось на спеціальному пристрої через кожні 100 м шляху тертя з точністю до 0,5 мкм. При цьому вимірювалась мікротвердість поверхні тертя. Результати вимірювань визначались як середньарифметичне значення після 10-кратного повторювання вимірювань на кожному зразку. Кожний дослід на зношування зразків за даним режимом зміцнювання повторювався три рази і кінцевий результат приймався як середньарифметичне із трьох дослідів.

Результати досліджень. В табл. 1 наведені результати експериментальних досліджень властивостей поверхневого шару титану VT1-0 після різних методів обробки. З табл. 1 видно, що мікротвердість поверхневого шару після різних видів обробки має різні, але значно вищі значення в порівнянні з вихідною мікротвердістю 2 000 МПа. Зокрема, мікротвердість поверхні після лазерної обробки без оплавлення складала 9 370 МПа, після лазерної обробки з малим оплавленням – 10 360 МПа, після

лазерної обробки з великим оплавленням – 11 970 МПа. Застосування іонного азотування в тліючому розряді після попередньої лазерної обробки підвищує мікротвердість поверхні при всіх трьох видах лазерної обробки і складає, відповідно, 10 190 МПа, 11 700 МПа, 12 300 МПа (збільшення на 330–1340 МПа). Таке збільшення мікротвердості відбувається за рахунок утворення на поверхні нітридних сполук TiN і Ti₂N, твердість яких значно вища ніж мікротвердість структури після лазерної обробки. Підвищена мікротвердість основи титану VT1-0 після зношування зміцненого шару в порівнянні з вихідним значенням (2 000 МПа) обумовлена наклепом, що утворюється при терті.

Таблиця 1

Результати порівняльних випробувань титану VT1-0 на тертя та зношування при тиску 3,5 МПа, V=0,057 м/с, в середовищі рідини Рінгера

№	Режим обробки	Мікротвердість, Н ₁₀₀		Товщина зміцненого шару, h, мкм	Шлях тертя, L, м	Знос U, мкм	Інтенсивність зносу I·10 ⁻⁸
		До зношування	Після зношування				
1	Лазерна обробка без оплавлення + іонне азотування	10190	2440	170	500	228	45,6
2	Лазерна обробка без азотування	9370	2390	140	100	179	179
3	Лазерна обробка, мале оплавлення + іонне азотування	11700	2340	230	3200	267	8,3
4	Лазерна обробка з малим оплавленням	10360	2470	160	300	279	93
5	Лазерна обробка з великим оплавленням + іонне азотування	12300	2340	250	5000	341	6,8
6	Лазерна обробка з великим оплавленням	11970	2430	180	400	378	94,5
7	Іонне азотування: T=666 ⁰ C, P=240 Па, τ=6 год (опт. реж.)	6760	3240	250	1000	240	32,4
8	Не модифікований	2000	3310	-	100	400	400

На рис. 1 наведена мікроструктура поверхневого шару після лазерної обробки титану VT1-0 за різними режимами, з якого видно зміну структури і товщину модифіковано шару при різних видах обробки (табл. 1). Застосування азотування в тліючому розряді після лазерної обробки не лише збільшує твердість і змінює фазовий склад поверхні, але і збільшує товщину азотованого шару та зменшує градієнт твердості по глибині (рис. 2).

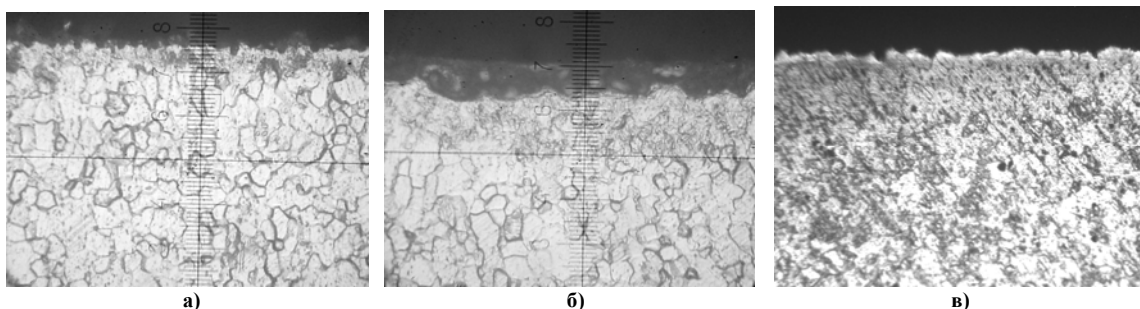


Рис. 1. Мікроструктура титану VT1-0 після модифікації поверхні лазерною обробкою без оплавлення (а), з оплавленням (б) та після лазерною обробкою без оплавлення з наступним азотуванням (в).

З табл. 1 видно, що максимальна товщина модифікованого шару одержана після лазерної обробки з великим оплавленням і наступним азотуванням в тліючому розряді і складала 250 мкм. Товщина зміцненого модифікованого шару при лазерній обробці без наступного азотування була меншою і складала 140 мкм при лазерній обробці без оплавлення, 160 мкм – при лазерній обробці з малим оплавленням, 180 мкм – при лазерній обробці з великим оплавленням. Виявлено, що товщина модифікованого шару залежить від потужності лазерного опромінення і збільшується з її збільшенням. Мікродисперсна структура поверхневого шару титану VT1-0, що утворилась при лазерній обробці з оплавленням, сприяла підвищенню дифузії азоту при азотуванні в тліючому розряді, і як наслідок, збільшенню товщини азотованого шару.

В табл. 1 і на рис. 3 наведені результати порівняльних випробувань зразків з титану VT1-0, поверхня

яких зміцнювались за різними режимами, в середовищі рідини Рінгера. З табл. 1 видно, що найбільшу зносостійкість і довговічність (шлях тертя 5 000 м) мали зразки, що зміцнювались лазерним оплавленням з наступним азотуванням в тліючому розряді за оптимальним режимом [5]. Інтенсивність зношування зміцненого шару після шляху тертя 5 000 м складала $6,8 \cdot 10^{-8}$. При зміцненні титану за режимом малого оплавлення з наступним азотуванням в тліючому розряді довговічність зміцненого шару була меншою (шлях тертя 3 200 м), а інтенсивність зношування після шляху тертя 3 200 м була більшою і складала $8,3 \cdot 10^{-8}$. Довговічність зміцненого шару після обробки без оплавлення і наступного азотування була значно меншою (шлях тертя 500 м), а інтенсивність зношування після шляху тертя 500 м складала $45,6 \cdot 10^{-8}$, що в 5–6 разів більше в порівнянні з вищезгаданими режимами зміцнення.

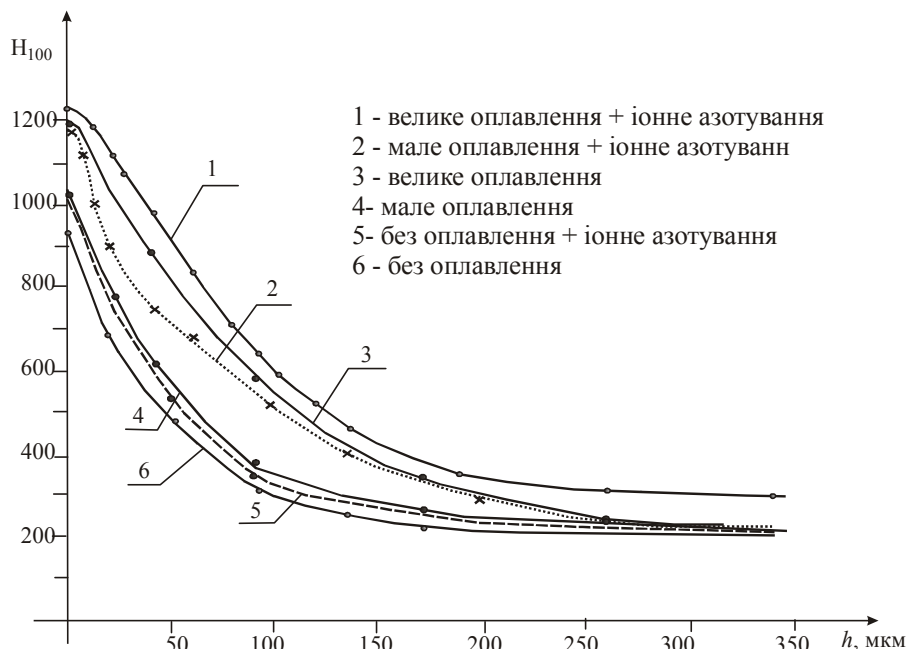


Рис. 2. Розподіл твердості за глибиною модифікованого шару титану VT1-0 за різних видів лазерної обробки та наступного іонного азотування

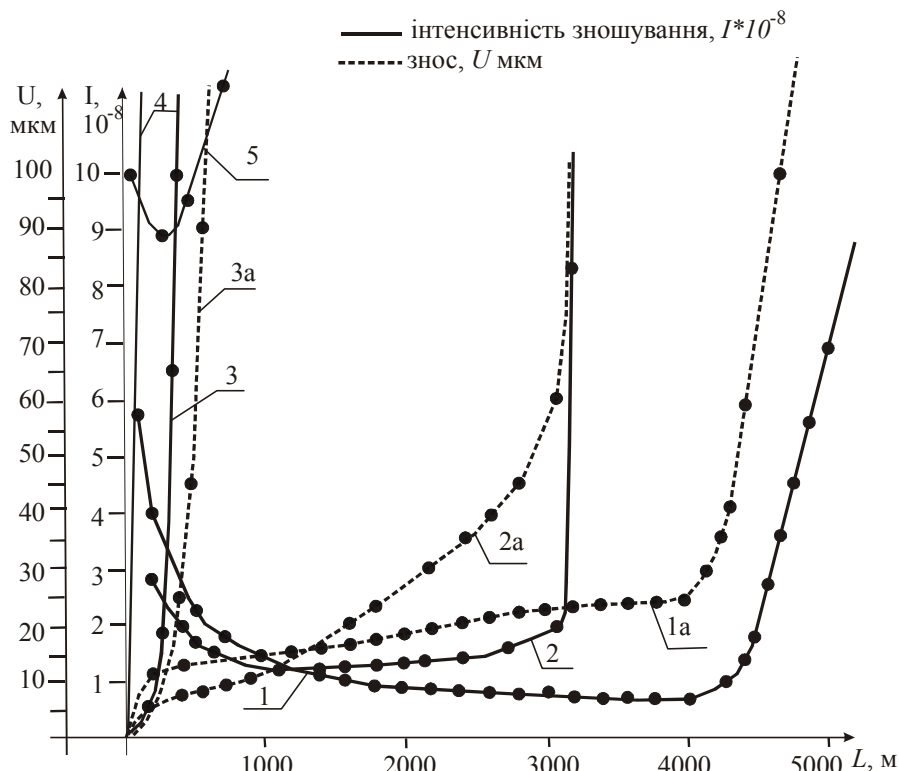


Рис. 3. Залежність зносу U та інтенсивності зношування $I \cdot 10^{-8}$ залежно від шляху тертя за різних видів лазерної обробки та азотування: 1, 1a – велике оплавлення + азотування; 2, 2a – мале оплавлення + азотування; 3, 3a – без оплавлення + азотування; 4 – без оплавлення; 5 – велике оплавлення

Дослідження показали, що інтенсивність зношування зразків, що зміцнювались лазерною обробкою без наступного азотування, на порядок вище з порівняннн із зразками, які азотувалися після лазерної обробки.

Це пояснюється наявністю на поверхні тертя азоту і нітридних сполук, що виникають після азотування, їх антифрикційними властивостями та вищою твердістю і корозійною стійкістю модифікованих шарів.

На рис. 3 наведена кінетика зношування зразків титану VT1-0, що зміцнювалися за різними режимами, залежно від шляху тертя. З рис. 3 видно, що зразки, які зміцнювались за комплексною технологією (криві 1 і 2) на початку випробувань мали період припрацювання на шляху до 500 м і подальший період нормального зношування з постійною інтенсивністю на шляху до 3 000 м для зразків, оброблялись з малим оплавленням і 4 000 м для зразків, що оброблялись з великим оплавленням. В подальшому інтенсивність зношування різко збільшувалась в зв'язку із стиранням модифікованого шару.

Зразки, що не азотувалися після лазерної обробки, на шляху тертя 200–300 м мали повністю зношений модифікований шар з наступним катастрофічним зносом.

Висновки. Таким чином, проведені дослідження показали, що застосування комплексної технології зміцнення титану VT1-0 з використанням лазерної обробки і наступним азотуванням в тліючому розряді дозволяє значно підвищити (на 2 порядки) зносостійкість поверхневого шару в агресивному середовищі рідини Рінгера в порівнянні з немодифікованим титаном.

Література

Загородний Н.В. Титановые сплавы в эндопротезировании тазобедренного сустава. / [Н.В. Загородний, А.А. Ильин, В.Н. Карпов, А.М. и др.] // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Пирогова. – 2000. – № 2. – С. 73–75.

Солонина О.П. Жаропрочные титановые сплавы / О. П. Солонина, С. Г. Глазунов. – М. : Металлургия, 1976 – 448 с.

Цвиккер У. Титан и его сплавы / У. Цвиккер ; [пер. с нем. под ред. О. П. Елютина и С. Г. Глазунова]. – М. : Металлургия, 1979. – 512 с.

Hench L.L. Bioceramics / L.L. Hench // J. Am. Ceram. Soc. – 1998. – 81, №7. pp. 1705–1727.

Каплун В.Г. Вплив низькотемпературного азотування в тліючому розряді на зносостійкість пари «титан-титан» / [Каплун В.Г., Машовець Н.С., Розенберг О.О., Шейкін С.Є.] // Вісник двигунобудування. – 2011. – № 1. – С. 67–73.

Надійшла 11.9.2011 р.

УДК 621.78/(66.088+537.52+66.046)

І.М. ПАСТУХ, М.В. ЛУК'ЯНЮК, В.О. КУРСКАЯ
Хмельницький національний університет

КЛАСИФІКАЦІЙНІ КРИТЕРІЇ ПРОЦЕСІВ АЗОТУВАННЯ В ТЛІЮЧОМУ РОЗРЯДІ З НЕСТАЦІОНАРНИМ ЖИВЛЕННЯМ

Розглянута структура та взаємозв'язок головних складових процесів азотування в тліючому розряді з непостійним живленням.

A structure and intercommunication of making processes of nitriding in glow discharge with the variable delivery is considered.

Ключові слова: азотування, тліючий розряд, нестационарне живлення, класифікація.

Модифікаційні процеси, в основі яких лежить використання вакуумно-дифузійних газорозрядних технологій, класифіковані в [1], при цьому була обґрунтована і призначена, як найбільш доцільна, наступна ієрархія рівнів вибору параметрів, за якими буде узагальнюватися інформація: фазовий склад середовища, що містить активний елемент модифікації; його стан; тип процесу модифікації; активатор процесу. Наведена система класифікаційних критеріїв відповідала поточним задачам дослідження, а саме – створенню моделі процесу та аналітичних характеристик, за допомогою яких було обґрунтовано енергетичний підхід до розгляду всіх явищ, котрі характерні саме для цього варіанту модифікації металевих поверхонь. Проте, в якості головної початкової гіпотези була прийнята умова незмінності електричних параметрів розряду протягом всієї фази обробки. Як відомо, таких параметрів два – напруга U між електродами, негативний з яких у звичайному варіанті модифікації комутований з об'єктом модифікації, позитивний – навпаки з розрядною камерою; густина струму j . З деякими умовностями можна вважати, що міжелектродна напруга в основному формує енергію часток падаючого потоку, а густина струму – його інтенсивність. З цієї причини теза про мінімум питомої потужності [2], як критерій найбільш результативного та оптимального режиму модифікації, безсумнісний, оскільки одне і теж значення потужності може бути отримане як безкінечна кількість варіантів добутоків зазначених вище параметрів, проте результати обробки, очевидно, при цьому можуть бути діаметрально протилежними. Дійсно, при значних напругах, але малому струмові (густині струму) може спостерігатись інтенсивне розпорощення поверхні, що характерне для фази катодної очистки поверхні, і, навпаки – при протилежній комбінації цих основоположних характеристик такими, що

превалюють, будуть процеси утворення нітридів та дифузії азоту в глибину поверхні. Реально, навіть в тих процесах модифікації, котрі складаються з однієї фази в часі зі стабільними параметрами режиму, напруга може кваліфікуватись як умовно постійна, оскільки будь-яке джерело живлення, що в загальному вигляді складається з регулятора напруги, трансформатора та випрямляча, на виході неминує формувати певні більші чи менші пульсації. Далі, в міру нагрівання об'єкту модифікації при виході на режимні параметри електричні характеристики автоматично змінюються аж до повної стабілізації, коли вся система приходить в рівновагу, оскільки настає її тепловий баланс. Нарешті, в міру зміни структури модифікованого поверхневого шару змінюється характер взаємодії падаючого потоку з поверхнею, що також в умовах стабілізації температури поверхні може вимагати певної корекції електричних характеристик розряду. Таким чином, електричні параметри головного інтенсификатора вакуумно-дифузійної газорозрядної модифікації реально не можуть бути стабільними. Оскільки ж вони, як зазначалось вище, в основному формують інтенсивність всіх елементарних процесів (субпроцесів), з яких складається власне модифікація, то коригована його енергетична модель повинна враховувати саме цю обставину як першооснову.

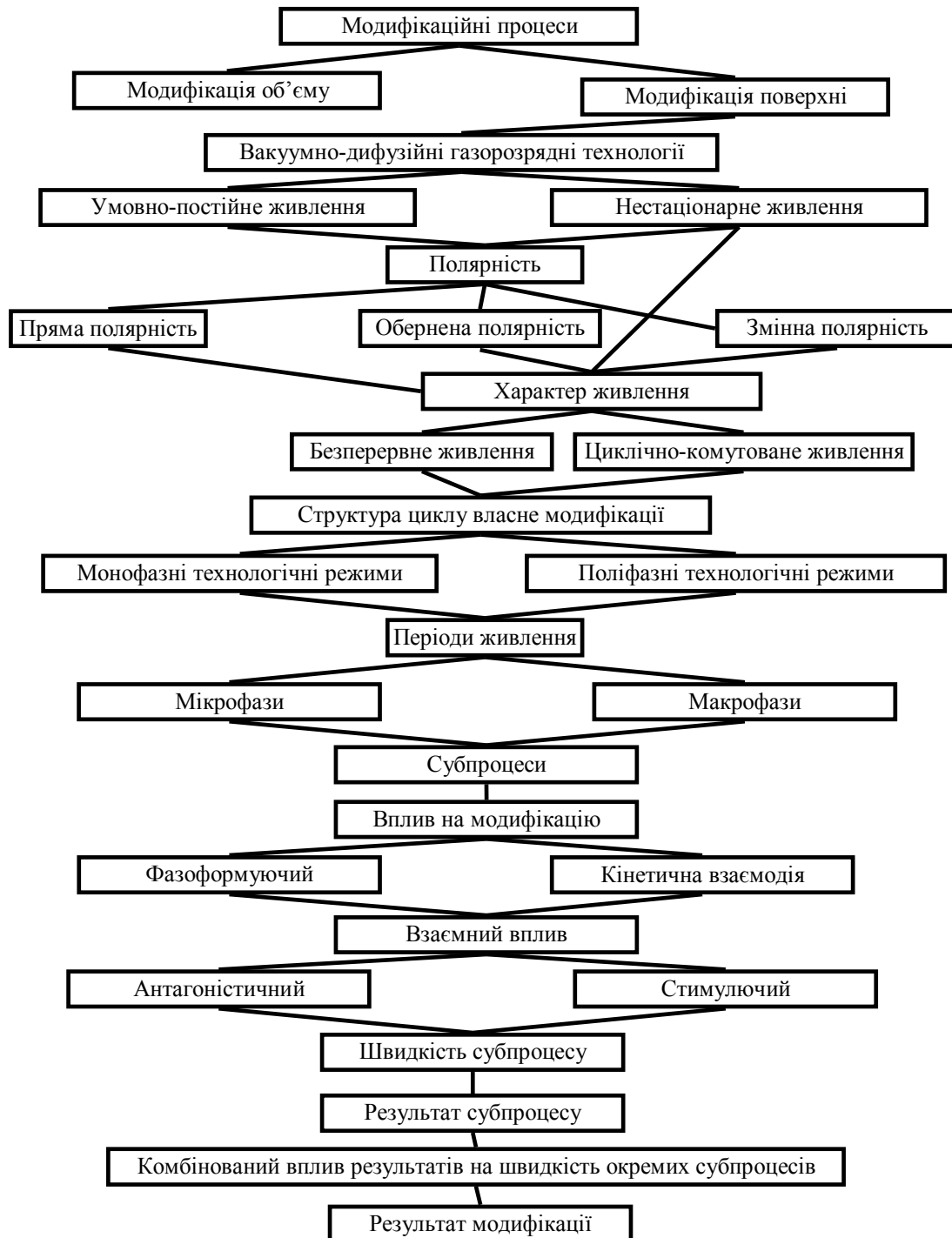


Рис. 1. Загальна структура факторів класифікації та їх вплив на результат модифікації

Із зазначених вище обставин логічно слідує висновок стосовно необхідності внесення коректив,

насамперед, в структуру класифікаційної моделі, оскільки подальші дослідження процесу модифікації в його більш уточненому варіанті вимагають, в першу чергу, детальнішої, хоча і значно складнішої системи взаємозв'язків складових. Схема уточненої класифікації наведена на рис. 1. До цієї схеми слід навести деякі додаткові пояснення. В [1] викладені результати експериментів зі зворотною полярністю та їх аналіз з точки зору положень енергетичної моделі. В принциповому плані може застосовуватися процес у розряді зі змінною напругою як комбінація варіантів з прямою та оберненою полярністю. В разі успішної реалізації цього варіанту живлення відпала б необхідність випрямлення струму. Проте, ускладнилась би аж до неможливості реалізація довільної форми вихідної напруги. В загальному вигляді нестаціонарне живлення може бути безперервним чи циклічно-комутованим, іншими словами – переривчастим.

Стосовно структури власне процесу модифікації, то в загальному вигляді він може бути монофазним, тобто складатись з однієї фази, або багатофазним (поліфазним), при цьому послідовно реалізується декілька фаз. В будь-якому випадку кожна фаза може бути за тривалістю макро- або мікрофазою. Насамперед, поняття моно- і поліфазності передбачає аналіз періодів, з яких складається власне процес модифікації, тривалість котрих може порівнюватись із загальною тривалістю модифікації.

Прикладом поліфазних процесів можуть служити режими, параметри яких ступінчато змінюються декілька раз протягом модифікації, в тому числі – процеси, коли температура періодично зростає з певною витримкою в часі, що сприяє збільшенню глибини модифікованого шару. Коли ж мова йде про макро- і мікрофазу, то слід, насамперед, зазначити, що тривалість періодів цих фаз найбільш логічно порівнювати з тривалістю переходу тліючого розряду в дуговий. Іншими словами, мікрофазою слід вважати період циклічно змінюваного сигналу (напруги між електродами, причому – необов'язково стабільної), тривалість якого не перевищує час, достатній для того, щоб тліючий розряд перейшов в дуговий. Як відомо, саме це явище створює суттєві проблеми для стабілізації тліючого розряду в розрядній камері, особливо – у випадку умовно постійного живлення.

Основні субпроцеси вакуумно-дифузійних газорозрядних технологій, як це було встановлено раніше [1], наведені на рис. 2

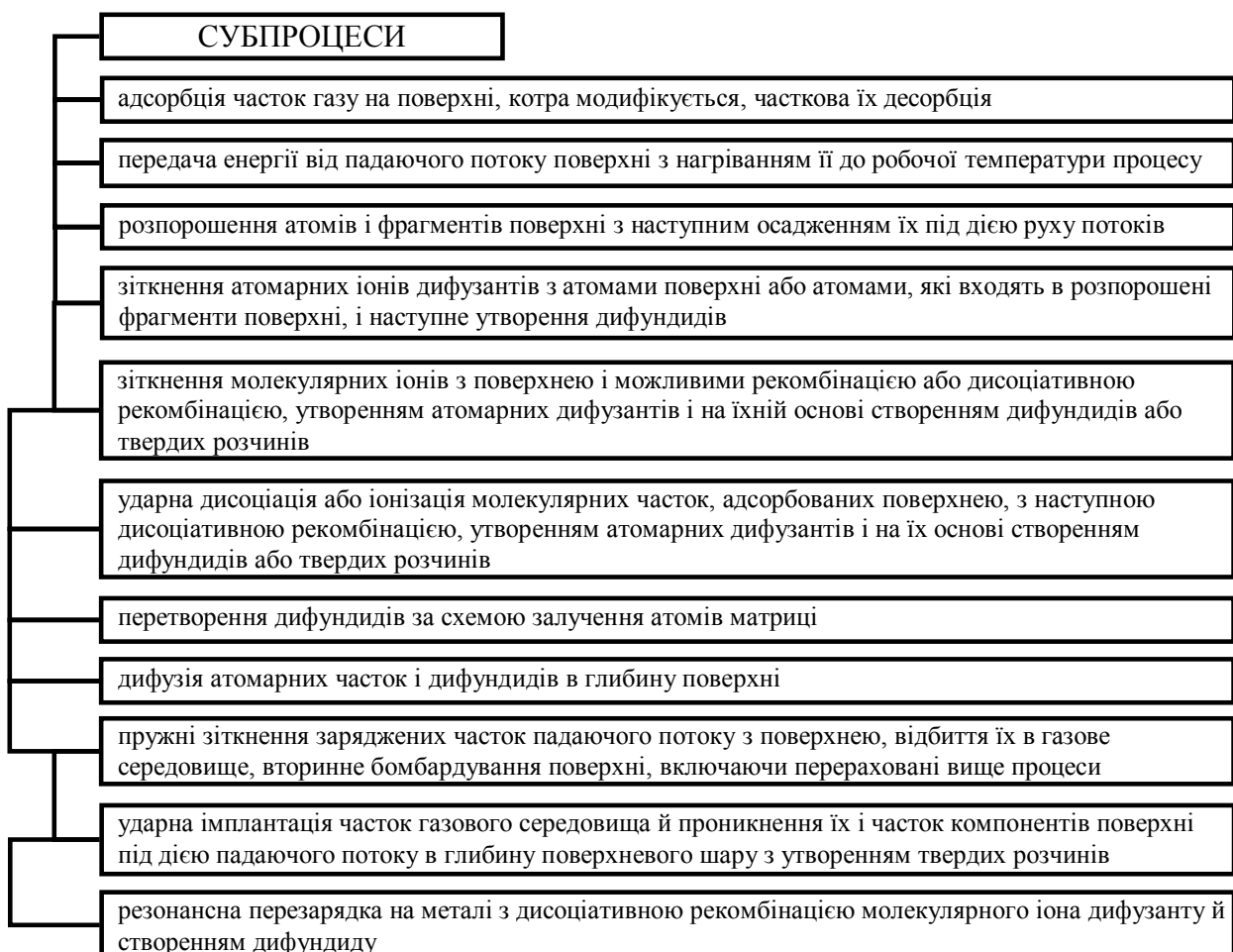


Рис. 2. Система субпроцесів вакуумно-дифузійної газорозрядної технології модифікації металевої поверхні

Слід, насамперед, в коментарях до рис. 2 нагадати, що загальний термін «дифундид» та похідні від нього використані з тієї причини, що в принциповому плані вакуумно-дифузійні газорозрядні технології можуть бути реалізовані у вигляді азотування, цементації, борування та їх комбінацій. З цієї ж причини використано термін «дифузанти» (аналогічно відповідно – азот, вуглець, бор). Результат впливу на

модифікацію тих чи інших субпроцесів може бути різним в тому сенсі, що одні з них безпосередньо чи через інші субпроцеси формують фазовий склад модифікованої поверхні, другі ж тільки впливають на кінетику взаємозв'язаних з ними субпроцесів. З цієї позиції взаємний вплив субпроцесів може бути як стимулюючий, тобто таким, що сприяє росту швидкості, так і антагоністичним з протилежною взаємодією.

Результатом подібного комбінованого взаємовпливу в певний момент процесу стає швидкість конкретного субпроцесу, котра є функцією не тільки системи інших субпроцесів, але і їх взаємодії

$$V_k = v(R_1, R_2 \dots R_m, P_1, P_2 \dots P_n),$$

де k – індекс досліджуваного субпроцесу,

R – результат певного субпроцесу, кількість яких в моделі процесу модифікації від одиниці до m ,

P – параметр технологічного режиму, число яких в моделі процесу модифікації від одиниці до n .

З іншої сторони сам результат будь-якого субпроцесу в певний момент часу залежить від закону зміни функції його швидкості. Таким чином, очевидно, що реальна модель процесу модифікації як сукупності взаємодії та взаємовпливу всіх суттєвих факторів, що характеризують модифікаційний процес, представляє суттєво складну конструкцію. Природно, що з врахуванням складу модифікаційного процесу, відображеного на рис. 2, його модель представлятиме надзвичайно складну систему як в теоретичному, так і в прикладному планах. Тому для практичного оперування цією моделлю найбільш ймовірною стане необхідність додаткового аналізу вагомості кожного із субпроцесів з вичлененням тільки найбільш впливових. Ця процедура ще й має важливе значення з тієї точки зору, що саму суть переваг модифікації з використанням тліючого розряду з нестационарним живленням становить можливість оперативного корегування ходом формування структури модифікованого шару за рахунок штучного стимулювання субпроцесів, які в даний конкретний момент сприятимуть першочерговій реалізації тих з них, що мають вирішальне значення для отримання триботехнічної системи з заданими властивостями. Створення моделі подібних процесів дозволить не тільки забезпечити автоматизацію модифікаційних технологій, але й також забезпечити можливість керованої їх реалізації.

Висновок. Наведена вище аргументація призводить до висновку, що при переході на нестационарне живлення тліючого розряду, який виступає інтенсифікатором модифікаційного процесу з використанням вакуумно-дифузійної газорозрядної технології, в його енергетичну модель повинні бути внесені певні корективи.

1. Енергетичний спектр падаючого потоку при модифікації з нестационарним живленням повинен враховувати не тільки розподіл за енергетичними рівнями, першоосновою для якого є кінетика формування падаючого потоку, але і змінний в часі характер параметрів режиму.

2. Відносний енергетичний фактор слід трансформувати в приведений відносний енергетичний фактор, в якому враховується змінний характер дії енергетичного спектру падаючого потоку.

Література

1. Пастух И.М. Теория и практика безводородного азотирования в тлеющем разряде / Пастух И.М. – Харьков, Национальный научный центр «Харьковский физико-технический институт», 2006. – 364 с.
2. Арзамасов Б.Н. Ионная химико-термическая обработка сплавов / Арзамасов Б.Н. – М. : Из-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1999. – 400 с.

Надійшла 16.9.2011 р.

УДК 621.891

О.О. АБРАМОВ, В.П. ВЕЛЬБОЙ, М.О. ДИХА
Хмельницький національний університет

ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ІНСТРУМЕНТАЛЬНИХ РОЛИКІВ ДЛЯ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ ЗМІЦНЮВАЛЬНОЇ ОБРОБКИ

Представлено комплексну технологію виготовлення деталей типу "ролик" методом порошкової металургії на основі матеріалу з твердого сплаву для використання в якості оброблювального інструменту для електромеханічної обробки тіл обертання з метою підвищення зносостійких властивостей.

It is presented the complex technology of making of details of type roller by the method of powder-like metallurgy on the basis of material from a hard alloy for the use as of processing instrument for electro- tooling of bodies of rotation with the purpose of rise of wearproof properties.

Ключові слова: електромеханічна обробка, ролик, твердий сплав, технологія виготовлення, зносостійкість.

Вступ. На основі методів фінішної обробки (шліфування, хонінгування, доведення) досягається необхідна форма деталей із заданою точністю, але не завжди забезпечуються необхідні властивості поверхневого шару. Тому одним з головних завдань досліджень в галузі машинобудування є розробка

прогресивних технологічних процесів на основі використання нових фізичних явищ, що забезпечують підвищення якості оброблених поверхонь. В теперішній час все ширше застосування знаходять високоенергетичні комбіновані методи модифікації поверхневого шару деталей, засновані на інтенсивній дії на матеріал концентрованих потоків енергії – це лазерна, електронно-променева, плазмова та електромеханічна обробка.

Електромеханічна обробка (ЕМО) характеризується одночасною термічною і силовою дією інструмента на поверхню оброблюваної деталі і може проводитись в режимі поверхневої пластичної деформації, при якій досягається зміцнення і підвищення зносостійкості оброблюваної поверхні. Одночасно із підвищенням якості обробки при ЕМО в поверхневому шарі деталі утворюються шари зміцнених гартівних структур з будовою дрібнодисперсного мартенситу, так званого "білого шару", що має вищі, ніж у звичайного мартенситу, зносостійкість та інші фізико-механічні та експлуатаційні характеристики. В даній роботі розглядається технологія виготовлення інструментальних твердосплавних роликів для здійснення зміцнювальної електромеханічної обробки.

Одним з визначальних заходів поліпшення якості оброблюваної поверхні і підвищення зносостійкості обкатуючого інструменту є правильний вибір матеріалу за умови високої протидії його схоплюванню з матеріалом оброблюваної поверхні. Не менш важливим є правильний вибір режиму термічної обробки матеріалу такого інструменту, від якого залежать його структура і механічні властивості у цілому.

Ролики, як робочі елементи-електроди пристроїв для електромеханічної обробки, вмикаються в електричний ланцюг із струмом понад 300 А. Умови роботи таких роликів призводять до їх значного теплового зносу, пов'язаного з термічним розм'ягченням і оплавленням поверхневого шару, що супроводжується інтенсивним розвитком процесу схоплювання, тому ролики повинні виготовлятися з високоякісних матеріалів.

Аналіз відомих досліджень. Для виготовлення роликів обкатування і розкатування в холодному стані рекомендовані [1] інструментальні сталі У10А, Х12М, Х6ВФ, Х12Ф1, а для такої ж обробки у гарячому стані – сталі 7Х3, 3Х2В8Ф. Твердість сталевих роликів повинна бути в межах 58...62 HRC. Іншим технологічним заходом підвищення зносостійкості роликів є наплавлення твердих матеріалів на їх робочі поверхні. За такою технологією ролики виготовляють зі сталі 45 з наплавлення на їх поверхню зносостійкого матеріалу: для гарячого обкатування електродами зі сталі 3Х13, що забезпечує твердість наплавленого шару 50...53 HRC; для холодного обкатування – електродами зі сталі 2Х13 (47...50 HRC).

Відома технологія [1] виготовлення накатного інструмента литтям з твердих сплавів типу стелітів і стелітоподібних сплавів. Як вихідні матеріали для лиття сплавів типу стелітів використовують металевий вольфрам, хром, кобальт або нікель, активоване вугілля і флюс (скло), а стелітоподібних сплавів (сормайта) – феррохром, ферромарганець, ферросиліцій, нікель, сталевий і чавунний брутхт, активоване вугілля і флюс (скло). Шихту плавлять в індукційних печах тигельного типу з кислою футеровкою при температурі 1500...1600 °С, лиття – в кокіль, нагрітий до 400 °С.

Як інструмент для електромеханічної обробки циліндричних поверхонь набули ролики, виготовлені з твердого сплаву [2, 3]. На рис. 1,а показаний пристрій для ЕМО з консольним розташуванням інструментального ролика [3]. Для конструкції [2] ролики встановлюються у пристрій, що закріплюється у різцеутримувачі універсального токарного металорізального верстату (рис.1,б).

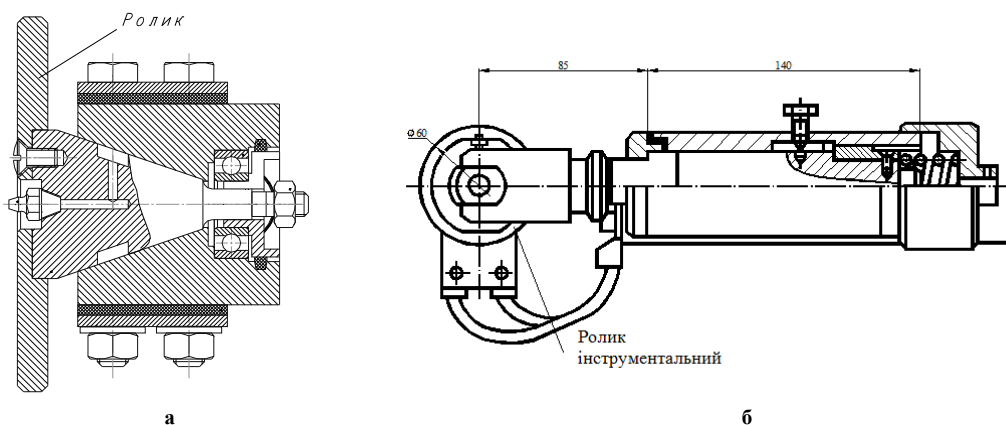


Рис. 1. Роликові пристрої для електромеханічної обробки

В роботі [4] запропонована конструкція установки, яка може бути встановлена на супорті верстату замість різцеутримувача. У цій конструкції є пружинна державка, з якою поєднана головка з двома важелями, на кінцях яких встановлені ролики.

Відомий також роликовий інструмент для електромеханічної обробки [5] поверхонь деталей, в корпусі якого розміщена державка з пружним елементом для її підтискування, і віссю, на якій закріплений деформуючий ролик.

Основна частина. У даній роботі представлена технологія виготовлення накатного ролика

(рис. 2,а) з твердого сплаву ВК15 шляхом пресування заготовки на гідравлічному пресі з наступним спіканням у вакуумній печі.

Порошок карбідів, що використовується при виготовленні твердосплавних виробів, має низьку пластичність. Тому в суміш карбідів з цементуючим компонентом (у даному випадку з кобальтом) був введений пластифікатор для покращення її текучості, забезпечення змащування зерен і тим самим зменшення тертя між ними. Пластифікатор необхідний також для зниження тертя між сумішшю і стінками прес-форми, отже, зменшення зусилля пресування і отримання достатньої міцності пресованої заготовки. У цій роботі як пластифікатор використовувався розчин синтетичного каучуку в авіаційному бензині марки Б70.

Для пресування заготовки (рис. 2,б) використовували 195 г ретельно перемішаної суміші порошку твердого сплаву ВК15 з розчином каучуку у бензині, яку засипали у порожнину прес-форми (рис. 3), утворену матрицею 3, нижнім пуансоном 4 і знаком 2. Виконавчі розміри формотворних деталей визначені з урахуванням 23 % усадки матеріалу композиції при спіканні.

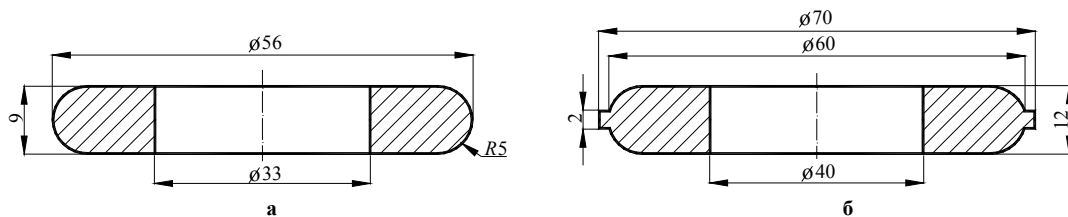


Рис. 2. Ролик (а) і заготовка ролика до спікання (б)

На робочих торцевих поверхнях пуансона 3 (рис. 3) з метою забезпечення їх працездатності передбачені пояски шириною 1 мм, що формують кільцевий виступ (рис. 2, б) на тороїдальній поверхні заготовки товщиною 2 мм.

Така конструкція прес-форми уможливорює двобічне пресування, необхідне для забезпечення однорідної густини пресованої заготовки. Сила пресування визначена з розрахунку тиску 130 МПа і складала 380 кН. Поверхню вільно засипаної у прес-форму композиції вирівнювали шляхом встрякування, що забезпечувало також попереднє ущільнення суміші і більш рівномірний розподіл її густини. Потім у матрицю встановлювали верхній пуансон 1 і у складеному стані ставили прес-форму на нижню плиту преса П-125 на підставку-кільце 5 висотою 20 мм (рис. 2,б). Потім здійснювали попереднє пресування повільним збільшенням тиску до 50 МПа, після чого виймали підставку і допресовували композицію тиском 130 МПа.

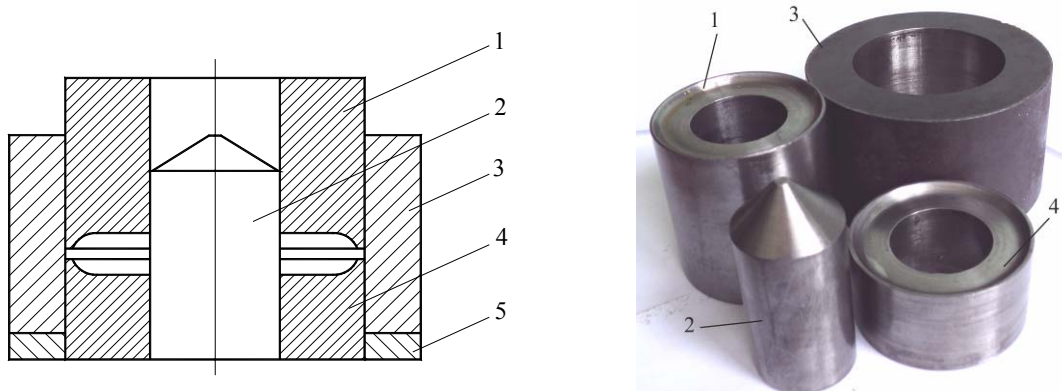


Рис. 3. Прес-форма для пресування заготовки ролика

Для релаксації внутрішніх напружень в спресованій заготовці її витримували під цим тиском протягом 1 хв. Такий режим пресування дозволив виштовхнути заготовку з прес-форми без руйнувань, транспортувати її і укласти в робочу камеру печі для спікання.

Для спікання ролика використана вакуумна електропеч моделі СГВ-2.4-2/15-ИЗ виробництва Московського електровакуумного заводу (рис. 4), яка забезпечує номінальну температуру в робочому просторі 1500 °С. Система відкачування повітря з робочої камери печі забезпечується форвакуумними і дифузійними насосами, вимірювання температури нагріву – вольфрам-вольфрамрениєвими термопарами, регулювання температури – мікропроцесором. Вимірювання залишкового тиску в електропечі ведеться вакуумметром ВИТ-ЗП, інформація до якого надходить від манометричних термопарних та іонізаційних перетворювачів.

Спікання заготовки ролика проводилося при розрідженні 4 Па (для зменшення випаровування кобальту) і наступному температурному режимі: нагрівання до температури 1360 °С, витриці при цій температурі протягом 30 хв і наступним охолодженням зі швидкістю 300 °С/год (рис. 4). Підвищення температури здійснювалось безперервно також зі швидкістю 300 °С за виключенням двох інтервалів: 420...450 °С і 760...780 °С, у яких внаслідок видалення компонентів пластифікатора і зниження тиску у камері необхідно було зупинити нагрівання на 15...20 хв до нормалізації тиску.

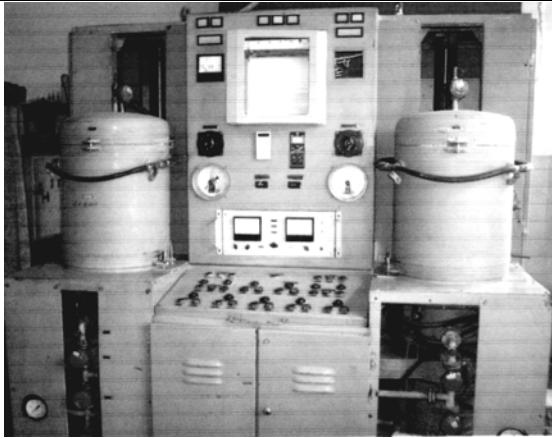


Рис. 4. Вакуумна піч для спікання виробів

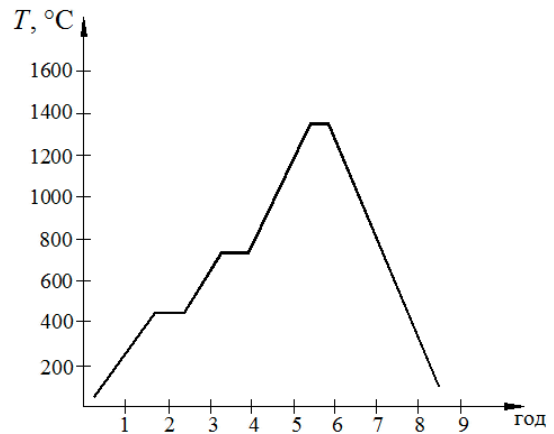


Рис. 5. Режим спікання твердосплавного ролика

Щоб уникнути зневуглицювання виробів їх спікання проводили в графітовому контейнері (рис. 6).

На рис. 7 представлений зовнішній вигляд твердосплавних роликів, отриманих методом порошкової металургії для використання в якості інструменту для електромеханічної обробки циліндричних заготовок. Твердість ролика після спікання становила 83 HRA.

Фінішну обробку і заокруглення робочої поверхні роликів здійснювали шліфуванням на круглошліфувальному верстаті типу ЗМ151 алмазним шліфувальним кругом за ГОСТ 247447-90 типу 11V9 – 70° чашкової форми. Зв'язка круга органічна типу В2-02, зернистість круга – 125/100. Режими шліфування: колова швидкість круга 25 м/с, поздовжня подача 1 м/хв, глибина обробки 0,01 мм.



Рис. 6. Розташування ролика у графітовому контейнері



Рис. 7. Вигляд твердосплавних роликів для ЕМО після спікання

Отриманий ролик був використаний для проведення електромеханічної обробки циліндричних поверхонь деталей з метою розробки ефективних конструктивних і технологічних параметрів обробки для досягнення високих показників зносостійкості.

Висновок. Розроблена технологія виготовлення інструментального ролика методом порошкової металургії на основі матеріалу з твердого сплаву та його шліфування для наступного використання в якості оброблювального інструменту за електромеханічної обробки тіл обертання з метою підвищення їх зносостійких властивостей.

Література

1. Капорович В.Г. Обкатка в производстве металлоизделий / Капорович В.Г. – М. : Машиностроение, 1973. – 167 с.
2. Аскинази Б.М. Упрочнение и восстановление деталей машин электромеханической обработкой / Б.М. Аскинази ; [3-е изд., перераб. и доп.]. – М. : Машиностроение, 1989. – 200 с.
3. Диха О.В. Пристрій для модифікації поверхні деталей типу тіло обертання електромеханічним способом / О.В. Диха, О.П. Чумаков, М.О. Диха // Проблеми трибології (Problems of tribology). – 2008. – № 4. – С. 80–83.
4. Пат. 2127183 Российская федерация, В 24 В 39/04, С 21 D 7/13//В 23 Р 6/00. Интегральная установка для электромеханической обработки.
5. А. с. 1579745 СССР, В24 В 39/04. Пристрій для електромеханічної обробки поверхонь деталей / Ю.А. Каткус, С.С. Маркаускас, Р.В. Старкявічюс, В.К. Тауткявічюс ; опубл. 23.07.1990, Бюл. № 27.
6. Порошковая металлургия. Материалы, технология, свойства, области применения : [справочник]. – К. : «Наукова думка», 1985. – 624 с.

Надійшла 15.8.2011 р.

РОЗРАХУНКИ ДОВГОВІЧНОСТІ ТА НАДІЙНОСТІ СТЕРЖНЬОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ ГОЛКОВОГО ЦИЛІНДРА ПАНЧІШНО-ШКАРПЕТОЧНИХ АВТОМАТІВ

В статті наведено узагальнення детермінованих та ймовірнісних методів розрахунку довговічності та надійності за критерієм втомної міцності стосовно стержньових елементів голкового циліндра панчішно-шкарпеточних автоматів. Перелічено основні переваги і недоліки методів, що спрощує їх вибір при виконанні розрахунків довговічності та надійності стержньових елементів на різних стадіях проектування або модернізації обладнання.

The article gives a synthesis of deterministic and probabilistic methods for calculating the longevity and reliability is resulted on the criterion of fatigue strength of the rod elements of the needle cylinder automatic half-hose machine. Lists the advantages and disadvantages of the methods. This simplifies the calculation of their choice at various stages of design or upgrade equipment.

Ключові слова: стержньові елементи, довговічність, надійність, втомна міцність.

Вступ. Надійність – одна з основних властивостей технологічного обладнання. Перелік показників надійності регламентований і обов'язковий в «Карті технічного рівня та якості продукції» та в технічній документації на обладнання. З теорії надійності відомі основні положення і окремі види специфічних розрахунків на втомленісну довговічність та надійність, які застосовують для типових деталей машин. Прийнятність існуючих положень розрахунків стосовно стержньових елементів (голок та селекторів) голкового циліндра панчішно-шкарпеточних автоматів обмежена з ряду причин: складністю визначення загального коефіцієнту зниження границі втомленості, який враховує їх конструктивні і технологічні особливості та відсутністю відомостей про параметри втомленості стержньових елементів, які відповідають умовам їх роботи. Незважаючи на відмінність форм та місць розміщення небезпечних перерізів, причини та фактори впливу втомленісного руйнування стержньових елементів мають спільні закономірності. Стаття присвячена узагальненню питань кількісної оцінки рівня довговічності або надійності стержньових елементів голкового циліндра панчішно-шкарпеточних автоматів.

Основний розділ. Основним напрямом створення надійного обладнання є використання розрахунків та випробувань на стадії його проектування. Випробування у відповідності до поставленою мети поділяють на контрольні та визначальні. Для панчішно-шкарпеточних автоматів серійного виробництва за результатами контрольних випробувань встановлюють відповідність між фактичними та нормованими значеннями показників надійності, які закладені в технічних умовах на проектування. Як приклад, приймальні випробування обмеженої кількості нових моделей панчішно-шкарпеточних автоматів. Визначувальні випробування використовують для встановлення невідомих значень показників. До останніх належать експлуатаційні спостереження панчішно-шкарпеточних автоматів в умовах реальної їх експлуатації на виробництві, тобто дослідження надійності діючого обладнання. Методика організації, проведення та обробки даних результатів експлуатаційних спостережень технологічного обладнання наведена в [1], приклади її реалізації стосовно стержньових елементів розглянуто в [2, 3].

Інформацію про стендові випробування язичкових голок та селекторів для визначення їх довговічності та ймовірності безвідмовної роботи залежно від рівня навантаження наведено в [4, 5]. Випробування стержньових елементів на довговічність на форсованих режимах не знайшли практичного застосування через складність перерахунку на реальні режими навантаження та небезпеку можливого переходу на інші критерії відмови. Основними недоліками стендових випробувань в'язальних механізмів за критерієм довговічності їх стержньових елементів є їх тривалість, значні витрати на виготовлення дослідного зразка, стенду або установки та отримання значень показників надійності одного об'єкту, що досліджується.

Розрахунки на довговічність та надійність стержньових елементів необхідно виконувати за критерієм їх втомної міцності, так як домінуючим видом відмов стержньових елементів (для голок та селекторів – понад 60% від загальної кількості відмов панчішно-шкарпеточних автоматів) є їх втомленісний злом від дії повторно-змінних навантажень клинами в'язальної системи, що підтверджено фрактографічними дослідженнями. Окрім того, інтенсивність цих відмов зростатиме при інтенсифікації швидкісних режимів автоматів відповідно до підвищення рівня навантажень.

В [6] представлені загальні вимоги та нормативні положення до методів розрахунку показників надійності в детермінованій та ймовірнісній постановках типових деталей загального машинобудування. До детермінованих, зручних на початковому етапі проектування однотипних конструктивних елементів (наприклад, голок та селекторів) відносять метод розрахунків за коефіцієнтом запасу міцності за довговічністю. Проте, цей коефіцієнт не характеризує рівень надійності в явному вигляді, так як не відображає умови навантаження, геометрію і технологію виготовлення деталі та інших факторів, які впливають на втомленісну довговічність. Окрім того, необхідність корегування значення коефіцієнту запасу міцності при зміні факторів впливу унеможлиблює застосування його в якості нормативної характеристики. Тобто, його використання стосовно стержньових елементів не виправдане на практиці.

Стержньові елементи належать до деталей критеріальних за міцністю: їх проектування з великим запасом міцності унеможливлено через обмеження розмірів в небезпечному перерізі в залежності від класу автомата. Тому при модернізації діючих або проектуванні нових конструкцій в'язальних механізмів автоматів стержньові елементи необхідно розраховувати за регламентованою (попередньо заданою) довговічністю за критерієм втомної міцності.

На основі базової методики [7] запропоновано виконувати розрахунок стержньових елементів на обмежену довговічність в циклах навантажень за рівнянням кривої їх втомленості. Вихідними даними розрахунку слугують попередньо обчислені при симетричному циклі навантаження границя втомленості $\sigma_{-1\delta}$ деталі (стержньового елементу) та гранична амплітуда напружень $\sigma_{-1\delta N}$ в стержньовому елементі, яка відповідає заданому числу циклів навантаження N .

Границі втомленості деталей натурних розмірів $\sigma_{-1\delta}$ звичайно менші за границі втомленості їх матеріалів σ_{-1} . Стендові дослідження $\sigma_{-1\delta}$ характеризуються тривалими повторами для отримання необхідних статистичних оцінок та наявністю спеціального випробувального обладнання, що подовжує тривалість та підвищує вартість проектування. Для розрахункового визначення $\sigma_{-1\delta}$ вводять коефіцієнт K , який враховує вплив на опір втомленості деталі концентрації напружень, масштабного фактору, чистоти поверхні, анізотропії металу і термообробки. Проте складність форм стержньових елементів та несталість в процесі їх виготовлення та експлуатації факторів впливу можуть призвести до значних похибок при визначенні коефіцієнту K та відповідно $\sigma_{-1\delta}$. Тому даний підхід в розрахунках стержньових елементів доцільно використовувати на попередній стадії проектування нових конструкцій в'язальних механізмів автоматів.

Цей недолік частково усувається при використанні в розрахунках статистичних даних про ресурс стержньових елементів. Розрахунок втомної довговічності стержньових елементів за рівнянням Велера на прикладі селекторів представлено в [8]. Для селекторів використовували залежність виду:

$$N_{p2} = N_{p1} (\sigma_{e1} / \sigma_{e2})^m, \quad (1)$$

де $i=1, 2$ – індекси, що відповідають автоматам-аналогам та заново проєктованим;

N_{pi} – число циклів навантаження селектора до втомленісного руйнування;

σ_{ei} – відповідні еквівалентні напруження в небезпечному перерізі селектору.

Еквівалентні напруження σ_{ei} обчислювали за формулою:

$$\sigma_e = \sqrt[m]{\sum_{k=1}^l \sigma_k^m N_k / \sum_{k=1}^l N_k}, \quad (2)$$

де σ_k – напруження на k -му рівні навантаження при заміні реального навантаження з вираженою закономірністю чергування l різних рівнів;

$N_\Sigma = \sum_{k=1}^l N_k$ – число циклів навантаження при виготовленні одного типового виробу при числі

циклів N_k на k -му рівні навантаження.

Число ударів п'ятки селектора (циклів навантаження) з усіма клинами замкової системи на робочих швидкісних режимах виготовлення різних ділянок виробу визначали на основі аналізу руху селектора відносно клинів замкової системи з урахуванням частот обертання n_i голкового циліндра при виготовленні різних ділянок виробу та числа ударів N_i п'ятки селектора з клинами замкової системи за один оберт циліндра.

За ресурс T_{pi} приймали сумарний час в годинах безвідмовної роботи стержньових елементів до їх втомленісного руйнування.

Запропонований спосіб дозволяє аналізувати і обґрунтовно призначати конструктивні удосконалення геометричних параметрів замкової системи в'язального механізму (передусім кутів нахилу робочих поверхонь клинів) за заданою частотою обертання n_2 та ресурсу T_2 при можливих комбінаціях проектних вимог: підвищення ресурсу селекторів за сталої частоти обертання $n = const$ голкового циліндру; інтенсифікація швидкісного режиму при збереженні рівня ресурсу селекторів $T_p = const$; одночасне підвищення довговічності селекторів та швидкості.

Основною вимогою використання наведеного проектного розрахунку в'язальних систем є спадковість їх конструкцій. Розрахунки за втомленісною довговічністю селекторів та голок можливі також для оцінки заходів комплексної модернізації при зміні кількості клинів у в'язальних системах, інерційних та пружних параметрів стержньових елементів та клинів.

Перелічені розрахунки довговічності за критерієм опору втомленості є детермінованими, так як дають тільки загальні висновки про безвідмовність функціонування об'єкту за розрахунковий ресурс без її

кількісної оцінки, тобто відносяться до розрахунків надійності тільки умовно. В сучасній постановці найбільш точними є ймовірнісні методи розрахунку ресурсу на стадії проектування, в яких враховується статистична природа втомленісного руйнування через реальні випадкові варіації характеристик міцності деталей і руйнуючих навантажень.

Обчислене за формулою (2) значення еквівалентного напруження σ_e в небезпечному перерізі стержньового елемента відповідає 50-відсотковій ймовірності його руйнування при числі циклів навантаження N_p . Для визначення σ_e з наперед заданою ймовірністю руйнування необхідно вводити в розрахунок коефіцієнт запасу міцності виду:

$$K_{\sigma} = 10^{U_p \sigma_{lg} N}, \quad (3)$$

де $\sigma_{lg} N$ – середньоквадратичне відхилення логарифму середньої довговічності, яке можливо обчислювати за даними експлуатаційних спостережень;

U_p – квантіль нормального розподілу.

В [9] на основі загальних положень методу Серенсена-Когаева [7], які застосовують для типових деталей машин, наведено приклад розрахунку функції розподілу втомної довговічності селекторів панчішно-шкарпеточних автоматів – залежності ймовірності появи втомної тріщини P від ресурсу T_{pi} в годинах або в циклах навантаження N_{pi} селекторів до їх втомленісного руйнування. Розв'язування цього комплексного завдання включає ряд задач. Випробування селекторів на втомленість виконували для побудови робочої ділянки кривої втомленості селекторів за характеристиками навантаженості ($\sigma_i; N_{pi}$) та опису її логарифмічно нормальним розподілом виду:

$$\lg \bar{N}_{pi} = 0,381\sigma_{-10N_i} + 14,345 + 0,216U, \quad (4)$$

де U – нормована випадкова величина, яка розподілена за нормальним законом;

$m_U=0, S_U=1$ – математичне сподівання і середньоквадратичне відхилення розподілу відповідно.

В [10] наведено положення альтернативної побудови кривої втомленості деталей складних форм за даними експлуатаційних спостережень стержньових елементів у виробничих умовах. Використовувалися характеристики навантаженості селекторів різних позицій, які мають відмінні умови навантаження. Функцію розподілу амплітуд напружень визначали з урахуванням коефіцієнта коригування лінійної гіпотези додавання втомленісних пошкоджень. Вибір коефіцієнтів варіації навантаження v_a та границі втомленості деталі v_{-10} , а також параметра m виконували у відповідності до вимог [7]. Графіки функції розподілу втомної довговічності селекторів за критерієм їх втомної міцності будували за різних значень v_a в координатах логарифму довговічності в числах циклів навантаження до руйнування $\lg N_{pi}$ та квантилі u_{pi} в рівномірному масштабі або у відповідних їм ймовірностях руйнування P_i в масштабі нормального закону розподілу. Розрахована ймовірність погодження результатів натурних стендових та експлуатаційних випробувань довговічності селекторів підтверджує можливість використання розрахунків на базі експлуатаційних спостережень, що дозволяє спростити побудову функції розподілу втомної довговічності та підвищити точність розрахунків без використання довготривалих і витратних експериментів натурних деталей.

Застосування побудованої функції розподілу втомної довговічності селекторів дозволяє визначати їх медіанну довговічність \bar{N} , гама-відсотковий ресурс N^Q тощо при заданих умовах навантаження селекторів на стадіях проектування або доведення дослідного зразка автоматів. Таким чином, на стадії проектування при порівнянні різних конструктивно-технологічних рішень можливо вибрати кращий за забезпеченням заданої надійності при зберіганні розмірів небезпечного перерізу селектора. З метою підвищення точності розрахунків стержньових елементів доцільно вносити корективи на базі розширення об'єму даних про їх втомленісну довговічність за результатами стендових випробувань або експлуатаційних спостережень. Велика кількість стержньових елементів сприяє отриманню статистичної вибірки достатнього об'єму. Через використання великої кількості додаткової вихідної інформації та попередніх обчислень ймовірнісні розрахунки на втомленісну міцність доцільні як уточнювальні на останніх стадіях проектування.

Висновки. Наведено огляд методів розрахунку типових деталей загального машинобудування на довговічність та надійність за критерієм їх втомної міцності, перелічено їх переваги та недоліки з урахуванням специфіки та припущень стосовно стержньових елементів в'язального механізму панчішно-шкарпеточних автоматів. Аналіз цих методів сприяє вибору та математичній підтримці прийняття конструкторських рішень, суттєвому скороченню термінів та підвищенню якості проектування на різних стадіях. Перспективними дослідженнями в даному напрямку є розробка методики розрахунку та створення комп'ютерної бази даних, яка в подальшому дозволить на етапі проектування вирішувати питання вибору раціональних параметрів в'язального механізму включно з стержньовими елементами при заданих рівнях надійності та проектних швидкостях. Наведені положення справедливі при проектуванні інших в'язальних механізмів з стержньовими елементами, які рухомі відносно голкотримача.

1. Надійність техніки. Методи оцінки показників надійності за експериментальними даними : ДСТУ 3004-95. – К. : Держспоживстандарт України, 1995. – 129с. – (Національний стандарт України).
2. Березин Л.Н. Исследование надежности элементов вязального механизма одноцилиндровых чулочных автоматов по данным эксплуатационных наблюдений / Л.Н. Березин, В.П. Волощенко // Изв. вузов. Технология лег. пром-сти. – 1985. – № 5. – С. 125–130.
3. Баранов А.А. Анализ отказов селекторов одноцилиндровых чулочно-носочных автоматов / А.А. Баранов, Е.С. Масленников. – М., 1988. – 11 с.
4. Масленников Е.С. Экспериментальное исследование ударного разрушения игл круглочулочных автоматов / Е.С. Масленников // Машиностроение для лег. пром-сти. – М. : ЦНИИТЭИлегпишемаш. – 1973. – №7. – С. 7–12.
5. Баранов А.А. Исследование и разработка механизма отбора одноцилиндровых рисунчатых чулочно-носочных автоматов с целью повышения их производительности : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук. : спец. 05.02.13 "Машины и агрегаты" / А.А. Баранов. – Москва, 1991. – 27с.
6. Надійність техніки. Методи розрахунку показників надійності. Загальні вимоги : ДСТУ 2862-94. – К. : Держспоживстандарт України, 1994. – 90 с. – (Національний стандарт України).
7. Когаев В.П. Прочность и износостойкость деталей машин / В.П. Когаев., Ю.Н. Дроздов. – М. : Высш. шк., 1991. – 319 с.
8. Березин Л.Н. Усовершенствование вязального механизма чулочно-носочных автоматов по усталостной долговечности селекторов Л.Н. Березин, О.А. Мишенин, М.І. Голубев // В мире оборудования. – Легпромбизнес, СПб. – 2009. – № 2 (85). – С.18–19.
9. Березин Л.М. Ймовірнісний розрахунок довговічності селекторів по критерію втомної міцності / Л.М. Березин // Вісник КНУТД. – 2006. – № 3 (29). – С. 35–41
10. Березин Л.М., Барилко С.В. До розрахунку довговічності селекторів панчішно-шкарпеточних автоматов по критерію втомної міцності / Л.М. Березин, С.В. Барилко // Вісник КНУТД. – 2007. – № 5 (37). – С. 32–35.

Надійшла 15.9.2011 р.

УДК 677.051.125.2

О.А. ВОЙТОВИЧ, А.А. ЛОБОВ
Херсонский национальный технический университет

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ УЗЛОВ ТРЕНИЯ ФОРМИРОВОЧНО-КРУТИЛЬНЫХ МЕХАНИЗМОВ В ПРЯДИЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

У статті досліджені негативні експлуатаційні характеристики підшипників качення, проведений аналіз способів поліпшення поверхонь тертя, встановлені причини виникнення биття і вібрацій у вузлах тертя веретен кільцевих прядильних машин.

In the articles investigational negative operating descriptions of bearings of woobling, the analysis of methods of improvement of surfaces is conducted frictions, set reasons of origin of beating and vibrations in the knots of friction of spindles of circular spinnings machines.

Ключові слова: підшипник, поверхня тертя, вібрація.

Введение. Как известно, формировочно-крутильные механизмы снабжаются подшипниками качения, которые являются самым распространенным и наиболее уязвимым элементом любого роторного механизма. Подшипники осуществляют пространственную фиксацию вращающихся роторов и воспринимают основную часть статических и динамических усилий, возникающих в механизме. Поэтому техническое состояние подшипников является важнейшей составляющей, определяющей работоспособность машины в целом.

Постановка проблемы. При высоких частотах вращения работа веретен кольцепрядильных машин становится затруднительной вследствие неудовлетворительных эксплуатационных характеристик именно подшипников качения.

К числу таких эксплуатационных свойств относят долговечность, износостойкость, коррозионную стойкость, надежность, контактную жесткость, вибростойкость и много других свойств [1–4].

Эксплуатационные характеристики подшипников качения определяются действием технологических факторов для изготовления отдельных деталей, точности формообразования рабочих поверхностей и сборки подшипников.

Основная часть. В веретенах кольцевых прядильных и крутильных машин устанавливают радиальные роликоподшипники (рис. 1).

В реальных конструкциях подшипников рабочие поверхности дорожек качения и тел вращения

имеют погрешности формы, волнистость, отклонения по параметрам шероховатости. Эти погрешности являются основной причиной возникновения радиального и осевого биения вращающегося кольца. Определенное влияние на величину биения подшипников качения имеют также погрешности изготовления тел качения и их разноразмерность в комплекте [5].

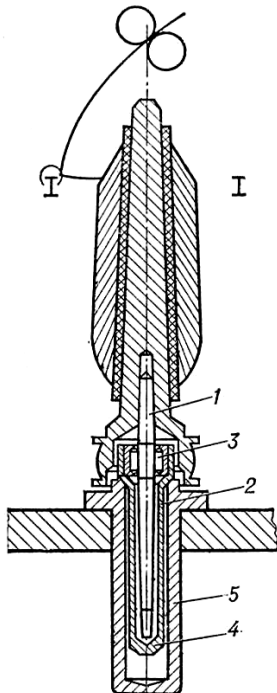


Рис. 1. Веретено с металлической насадкой:

- 1 – сборка шпинделя;
2 – гнездо;
3 – роликоподшипники;
4 – паз втулки; 5 – втулка

Однако, вследствие большого количества тел качения в комплекте роликовых подшипников, а также того, что допуск на изготовление тел качения на порядок меньше допуска на изготовление поверхностей качения колец, разница диаметров тел качения значительно компенсируется упругими деформациями в местах контакта. В связи с этим, считается [5, 6], что по существующим технологическим требованиям к изготовлению тел качения и сортировке комплектов, влиянием погрешностей изготовления тел качения на величину биения подшипника можно пренебречь.

В работе [7] предлагается улучшенная конструкция роликового подшипника, позволяющая повысить жесткость и устранить проскальзывание тел качения.

Подобраны оптимальные соотношения размеров цилиндрической и конической частей роликов, позволяющие увеличить жесткость конструкции и повысить несущую способность узла трения. Однако при высоких частотах вращения работы этих механизмов возникает интенсивный шум и вибрации.

Значительное влияние на шум и вибрацию подшипника оказывает «волнистость» на дорожках качения в кольцах. Незначительные волны (высотой до 0,5 мкм) могут вызвать интенсивный воздушный шум. Причем частота вибрации лежит в диапазоне 500–5000 Гц, то есть в области наибольшей чувствительности человеческого уха [8].

Установлено, что основное влияние на вибрацию оказывают активные элементы подшипника – кольца и тела вращения. Причем, если вращается внутреннее кольцо, то точность его геометрических форм и тел качения имеют решающее значение. В общем случае колебания колец подшипников делят на три группы [9, 10].

Первая группа – колебания с большой длиной волн (до 10 колебаний за 1 оборот кольца). Причиной их возникновения являются радиальные биения колец подшипников, которые могут достигать 15 мкм. В случае эксцентриситета в соединении кольца с валом частота их колебаний отвечает частоте вращения вала.

Вторая группа – колебания со средней длиной волн (10–60 колебаний за 1 оборот кольца). Причина таких колебаний – волнистость дорожек качения. Амплитуда колебаний – 1–3 мкм [5].

Третья группа – колебания с малой длиной волн (более 60 колебаний за 1 оборот кольца). Причина этих колебаний – микронеровности с амплитудой до 0,1 мкм [11].

Таким образом, одним из источников вибраций, связанных с негативным влиянием на эксплуатационные характеристики подшипника является волнистость дорожек качения колец роликоподшипников [6]. Так, с уменьшением волнистости дорожки качения от 2,0 до 0,05 мкм уровень вибрации снижается до 14 дБ [11]. В большей степени на уровень вибрации влияет волнистость внутренних колец. Так, с уменьшением волнистости последних от 2,2 до 0,05 мкм уровень вибрации снижается до 20 дБ [11]. То же касается и волнистости тел качения. Так уменьшение волнистости роликов от 0,2 до 0,05 мкм понижает уровень вибрации на 8–10 дБ.

Анализ литературных источников [5, 10, 11] показал, что уровень вибрации и шума роликоподшипников снижается с улучшением (до определенной степени) шероховатости. Так, изменение шероховатости поверхности дорожки качения с R_a 0,32 до 0,16 мкм позволяет снизить уровень вибрации на 3,5–4 дБ.

Износостойкость и долговечность подшипников качения в основном зависят от физико-механических характеристик, структуры, химического и фазового состава поверхностных слоев. Для увеличения фактической площади контакта и уменьшения контактных напряжений на дорожке качения в начальный период работы желоба подшипников шлифуют, обеспечивая высокий класс шероховатости [12–15]. Однако, как показывают исследования [16, 17], микровыступы (даже на самых гладких поверхностях) при контакте с другими поверхностями деформируются уже при небольших нагрузках.

Расчеты [18] контакта цилиндров с разной шероховатостью показали, что контактные напряжения зависят от шероховатости, а их значения превышают величины, полученные на основе теории Герца. Уменьшения контактных напряжений в зоне контакта можно достичь рациональным конструированием поверхности желоба кольца, применяя оптимальный радиус поперечного сечения канавки кольца подшипника и создавая поверхность желоба сопряжением двух криволинейных поверхностей [13]; оптимизацией профиля рабочей поверхности тела качения (ролика), что обеспечивает при определенной нагрузке равномерное распределение рабочего напряжения на поверхности контакта [19].

Одним из путей улучшения эксплуатационных характеристик подшипников качения является создание на поверхности дорожки качения регулярного микрорельефа в виде винтовой канавки [20].

Регулярный микрорельеф формируется на операциях шлифования и суперфиниширования желоба. Метод создания регулярного микрорельефа разработан в Саратовском государственном техническом университете. Он позволяет получить микрорельеф с разными геометрическими параметрами, которые влияют на фактическую площадь контакта дорожек и тел качения [20].

При наличии разности внутренних колец подшипников возникают неуравновешенная центробежная сила и динамический момент. Колебания формовочно-крутильных механизмов в этом случае будут аналогичны колебаниям при наличии в роторе статической и динамической неуравновешенностей [21, 22].

Радиальный зазор в подшипнике вызывает неравномерное распределение нагрузки на ролики и, следовательно, неодинаковое смещение ротора при различном положении роликов относительно нагрузки. Возникающие при этом колебания центра тяжести ротора приводят к вибрации веретена. Овальность роликов также является причиной вибрации и шума [23–28].

Кроме того, шум подшипников качения в значительной степени зависит от качества монтажа их в блоке, качества подготовки посадочных мест. Наличие на посадочных поверхностях овальности, конусности, эксцентриситетности, повышенной шероховатости приводят к дополнительному шуму и вибрации. Интенсивность вибраций возрастает при установке подшипников на вал и в корпус с натягами, приводящими к деформации колец [29].

При анализе несоответствий параметров геометрии рабочих поверхностей подшипников на ОАО Луцкий подшипниковый завод, находящийся в составе корпорации SKF (Гегебор, Швеция), установлены [30] следующие среднегодовые объемы несоответствий в % к общему объему изготовленных деталей определенного наименования:

- несоответствие угла дорожки качения внешних колец конических роликоподшипников - 22,5 %
- несоответствие угла дорожки качения внутренних колец - 7,5 %
- несоответствие формы ролика - 20,4 %
- минимальный момент (легкость) вращения - 11,1 %
- движущаяся перпендикулярность дорожки качения внешних колец - 7,5 %
- несоответствие внешнего диаметра - 4,4 %
- визуальные дефекты внутренних колец - 2,5 %
- ширина внешнего кольца - 2,2 %
- визуальные дефекты подшипника - 2,2 %
- диаметр отверстия внутреннего кольца - 2,2 %

Анализ несоответствий значений микрогеометрических параметров показал такие относительные величины объемов дефектов рабочих поверхностей деталей роликоподшипников:

- отклонения от прямолинейного борта (волнистость) - 46,7 %
- угол борта - 28,2 %
- волнистость дорожки качения внутреннего кольца - 26,4 %
- волнистость дорожки качения внешнего кольца - 24,5 %
- шероховатость упорного борта - 16,3 %
- отклонения от прямолинейности дорожки качения внутреннего кольца - 6,4 %
- плоскость борта внутреннего кольца - 4,4 %
- волнистость борта внутреннего кольца - 4,4 %
- шероховатость дорожки качения внешнего кольца - 4,4 %

Анализ научно-технической литературы по параметрам подшипников качения позволил сделать вывод, что они имеют несоответствие формы дорожек и тел качения, а, следовательно, вызывают дисбаланс ротора, биения и повышенные вибрации, недолговечны, выдерживают малую радиальную нагрузку, имеют ограниченный температурный диапазон, требуют частой промывки и замены смазки, работают при малой частоте вращения.

Проведенный анализ литературных источников по вопросам эксплуатационных характеристик веретен с роликоподшипниками [28, 31–33], показал, что:

- повышенная вибрация веретен возникает при недостаточном уровне масла в гнезде веретен, при выходе из строя роликоподшипника во втулке, при применении масла, не соответствующего рекомендуемому;
- сборка шпинделя подсакивает вследствие недостаточного уровня масла в гнезде веретена;
- веретено не центрируется при повреждении опорной поверхности гнезда;
- блок не вращается на холостом ходу вследствие загустевшей смазки или ее отсутствия.

Следовательно, можно предположить, что устранение данных недостатков уменьшит вибрацию и продлит срок службы веретен.

Выводы. Анализ литературных источников показал, что одной из основных причин, ограничивающих производительность машин является вибрация веретен. Известные методы повышения производительности прядильных машин не могут одновременно увеличить частоту вращения веретена и уменьшить вибрацию, снизить обрывность нити и, соответственно, повысить производительность прядильных машин. Дальнейшие исследования в этой области с целью получения новых конструктивных и технологических решений при изготовлении узлов трения веретен со способностью самоцентрирования и исключения вибраций имеют важное научное и прикладное значение.

1. Курков В.В. Новая кольцепрядильная система В.В. Курков, В.Г. Лабок // Текстильная промышленность. – 2004. – № 2. – С. 32–35.
2. Ларин И.Ю. Разработка и исследование конструкции сороотводящего устройства машины ППМ-120-А1М для получения смесовой хлопкольняной пряжи / И.Ю. Ларин, Я.М. Шитик, Я.М. Красик // Технология текстильной промышленности. – 2005. – №3. – С. 12–14.
3. Комратов Д.В. О надежности работы вала прядильных камер / Д.В. Комратов // Технология текстильной промышленности. – 2002. – № 1. – С. 25–27.
4. Суслов А.Г. Экспериментально-статистический метод обеспечения качества поверхности деталей машин : [монография] / А.Г. Суслов, О.А. Горленко – М. : Машиностроение – 2003. – 303 с.
5. Рыжов Э.В. Технологические методы повышения износостойкости деталей машин / Рыжов Э.В. – К. : Наукова думка, 1984. – 272 с.
6. Сулима А.М. Поверхностный слой и эксплуатационные свойства деталей / Сулима А.М., Шулов В.А., Ягодин Ю.Д. – М. : Машиностроение, 1988, – 240 с.
7. Суслов А.Г. Технологическое обеспечение параметров состояния поверхностного слоя деталей / Суслов А.Г. – М. : Машиностроение, 1987. – 208 с.
8. Данильченко Ю.М. Прецизійні шпіндельні вузли на опорах кочення (теорія і практика) / Ю.М. Данильченко, Ю.М. Кузнецов. – Тернопіль – Київ, Економічна думка, 2003. – 344 с.
9. Черменский О.Н. Подшипники качения : справочник-каталог / О.Н. Черменский, Н.Н. Федотов. – М. : Машиностроение, 2003. – 576 с.
10. Алешин Р.Р. Радиальный роликовый подшипник качения / Р.Р. Алешин, А.Г. Свиридов // Эффект безызносности и триботехнологии. – 2004. – № 1. – С. 70–71.
11. Лоповок Т.С. Волнистость поверхности и ее измерение / Лоповок Т.С. – М. : Изд-во стандартов, 1973. – 184 с.
12. Вибрации в технике: Справочник Т.3. Колебания машин, конструкций и их элементов / [под ред. Ф.М. Диментберга и К.С. Колесникова]. – 1980. – 544 с.
13. Журавлев В.Ф. Механика шарикоподшипников гироскопов / В.Ф. Журавлев, В.Б. Бальмот. – М. : Машиностроение, 1986. – 248 с.
14. Рагульскис К.М. Вибрации подшипников / К.М. Рагульскис, А.Ю. Юркаускас ; [под ред. К.М. Рагульскиса]. – Л. : Машиностроение, ленинградское отделение, 1985. – 119 с.
15. Марчук В.І. Аналіз точності шліфування кілець карданних підшипників в адаптивній технологічній системі / В.І. Марчук // Наукові нотатки: Міжвузівський збірник (за напрямом “Інженерна механіка”). – Луцьк : ЛДТУ, 2002. – Вип. 11. – С. 212–217.
16. Марчук В.І. Технологічне керування віброакустичними характеристиками доріжок кочення кілець роликопідшипників на операціях безцентрового шліфування / В.І. Марчук, В.Ю. Денисюк, Ю.С. Лапченко // Физические и компьютерные технологии // Труды 11-й Международной науч.-техн. конф., 23 июня 2005г. – Харьков : ХНПК “ФЭД”, 2005. – С. 72–75.
17. Михелькевич В.Н. Автоматическое управление шлифованием / Михелькевич В.Н. – М. : Машиностроение, 1975. – 304 с.
18. Никитин Б.В. Расчет динамических характеристик металлорежущих станков / Никитин Б.В. – М. : Машгиз, 1962. – 112 с.
19. Горбунов Б.И. Уравновешивающие устройства шлифовальных станков / Б.И. Горбунов, В.Г. Гусев. – М. : Машиностроение, 1976. – 167 с.
20. Системи якості. Комплекси управління системні технологічні. Основні положення : ДСТУ 2926-94. – К., 1994.
21. Управление процессом шлифования / [А.В. Якимов, А.Н. Паршаков, В.И. Свиричев, В.П. Ларшин]. – К. : Техніка, 1983. – 184 с.
22. Спришевский А.И. Подшипники качения / Спришевский А.И. – М. : Машиностроение, 1968. – 632 с.
23. Бернштейн М.Л. Термомеханическая обработка металлов и сплавов : в 2 т / Бернштейн М.Л. – М. : Металлургия, 1968. – Т. 1. – 596 с.
24. Комиссар А.Г. Опоры качения в тяжелых режимах эксплуатации : справочник / Комиссар А.Г. – М. : Машиностроение, 1987. – 384 с.
25. Спришевский А.И. Подшипники качения / Спришевский А.И. – М. : Машиностроение, 1968. – 632 с.
26. Добромислов Н.Н. Кинетическая полуэмпирическая модель изнашивания подшипников качения и методология определения ее параметров / Н.Н. Добромислов // Трение и износ, 1989. – № 1. – С. 39–45.
27. Добромислов Н.Н. Расчет показателей безотказности и долговечности крупногабаритных подшипников качения по критериям контактной усталости и износа / Н.Н. Добромислов, Ю.С. Борисов, Д.В. Лукьянов // Проблемы машиностроения и надежности машин, 1990. – № 2. – С. 67–72.
28. Strbeek. Ball bearings for varions loads. Transactions // ASME, 1963. – V.29. – P. 420–463.
29. Thum H. Verschleiss und Lebensdauer von Wabzlagern // Schmierungstechnik, 1986. 17. – № 9. –

P.270-272.

30. Тодоров Т. Исследоване влиянието на лагерната хлабина верху израсходваната мощност за триене в търкалищи лагери. //Науч. тр./ Высш. инст. хранит. и вкус. пром. Пловдив, 1989. 36. – №1. – P.275-285.

31. Каплун П.В. Вплив покриттів на зносостійкість та довговічність підшипників кочення : дис. ... канд. техн. наук : 05.02.01 / П.В. Каплун. – Київ, 2004. – 186 с.

32. Лапченко Ю.С. Технологічне забезпечення експлуатаційних характеристик кілець роликотпідшипників : дис. ... канд. техн. наук : 05.02.08 / Ю.С. Лапченко. – Луцьк, 2007. – 209 с.

33. Лоповок Т.С. Волнистость поверхности и ее измерение / Лоповок Т.С. – М. : Изд-во стандартов, 1973, – 184 с.

Надійшла 7.9.2011 р.

УДК 677.055

Г.П. РОСІНСЬКА, Б.Ф. ПІПА

Київський національний університет технологій та дизайну

ВПЛИВ ЗНОШЕННЯ ОПОРИ ГОЛКОВОГО ЦИЛІНДРА КРУГЛОВ'ЯЗАЛЬНОЇ МАШИНИ НА ЯКІСТЬ ТРИКОТАЖНОГО ПОЛОТНА

Представлені результати досліджень з оцінки впливу зношення опори голкового циліндра круглов'язальної машини на якість трикотажного полотна. Наведені розрахунки, що підтверджують суттєвий вплив зношення опори голкового циліндра на рівномірність петельної структури трикотажного полотна круглов'язальної машини.

The presented results of researches by estimation of influence of wear of support of needle cylinder of circular knitter on quality of knitting linen. Calculations are resulted which confirm substantial influence of wear of support of needle cylinder on evenness of snare structure of knitting linen of circular knitters.

Ключові слова: голковий циліндр, трикотажне полотно.

В процесі роботи круглов'язальної машини в результаті радіального тиску, що діє в зубчастому зачепленні пари шестерня – зубчасте колесо голкового циліндра, в опорі голкового циліндра виникає зношення поверхні тертя. Зношення опори призводить до радіального переміщення (зсуву) голкового циліндра (рис. 1), що впливає на рівномірність петельної структури полотна, а отже і на його якість.

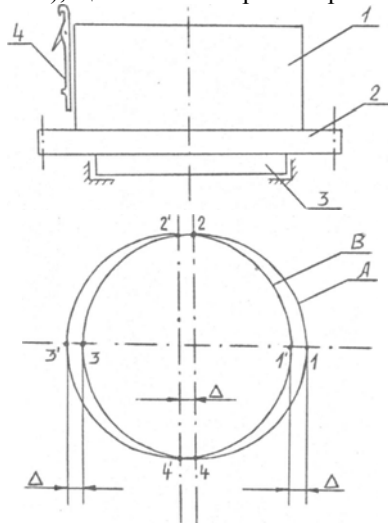


Рис. 1. Опора голкового циліндра круглов'язальної машини типу КО: а – схема опори (1 – голковий циліндр; 2 – зубчасте колесо; 3 – опорна частина циліндра; 4 – голки); б – траєкторія руху голок (вигляд зверху): А – в початковий період роботи; В – при зношенні опори

Розглянемо вплив зношення опорної поверхні циліндра на зміну довжини нитки в петлі трикотажного полотна, що визначає рівномірність його петельної структури.

Зсув голкового циліндра, який виникає внаслідок зношення опори, призводить до того, що параметр a (рис. 2), що обумовлює взаємне розташування голки і платини в процесі відтяжки петлі в зоні 1-1 (рис. 1), зменшується на величину зсуву циліндра Δ , а в зоні 3-3 – збільшується (замки платин, що фіксують положення платин не змінюють свого положення в процесі зношення опори голкового циліндра, оскільки жорстко закріплені на кільці, який не зв'язаний з циліндром).

При зсуві голкового циліндра змінюється довжина ділянки петлі 1-2 (рис. 2). При цьому, оскільки нитковий проміжок для машини типу КО не суттєво відрізняється від середньої товщини нитки (кут нахилу елемента петлі 1-2 близький до нуля), можна прийняти, що в зоні зсуву голкового циліндра 1-1 (рис. 1) довжина петлі зменшується на величину, рівну 2Δ , а на ділянці 3-3 – збільшується на 2Δ .

На підтвердження цього визначимо нитковий проміжок для круглов'язальної машини КО.

Згідно з рис. 2:

$$c = 0,5(T - P - d_u), \quad (1)$$

де c – нитковий проміжок; T – голковий крок; P – товщина платини; d_u – діаметр стрижня голки, що взаємодіє з петлею.

Для круглов'язальної машини КО 22 класу, яка заправлена бавовняною пряжею завтовшки 16,5x2 Текс, маємо: $T = 1,15$; $P = 0,25$; $d_u = 0,4$ мм.

Тоді $c = 0,5(1,15 - 0,25 - 0,4) = 0,25$ мм.

Визначимо середню товщину пряжі при вказаній заправці машини. Як відомо [1]:

$$d = 0,5(d_p + d_y), \quad (2)$$

де d – середня товщина пряжі; d_p – розрахунковий діаметр

пряжі, $d_p = 0,0357 \sqrt{\frac{T}{\delta}} = 0,0357 \sqrt{\frac{16,5 \cdot 2}{0,8}} = 0,23$ мм; T_n –

товщина бавовняної пряжі, заправленої на машині; δ – об'ємна маса пряжі; для бавовняної пряжі $\delta = 0,75 \dots 0,85$ сН/см³ [1], приймаємо $\delta = 0,8$ сН/см³; d_y – умовний діаметр пряжі,

$d_y = 0,0357 \sqrt{\frac{T}{\gamma}} = 0,0357 \sqrt{\frac{16,5 \cdot 2}{1,52}} = 0,17$ мм; γ – щільність

матеріалу пряжі, для бавовняної пряжі $\gamma = 1,52$ сН/см³ [1].

Підставляючи значення d_p і d_y в рівняння (2) знаходимо: $d = 0,5(0,23 + 0,17) = 0,2$ мм.

Оскільки $c - d = 0,25 - 0,2 = 0,05$ мм, прийняте вище припущення справедливе.

Як показали розрахунки авторів, зношення опори голкового циліндра круглов'язальної машини КО після закінчення 1-го року Δ_1 , 5-и років Δ_5 і 10-и років Δ_{10} її експлуатації становить: $\Delta_1 = 0,125$ мм; $\Delta_5 = 0,625$ мм; $\Delta_{10} = 1,25$ мм.

Отже, після закінчення одного року експлуатації машини КО довжина петлі в зоні в'язання 1-1' (рис. 1) зменшиться на $\Delta l_1 = 2\Delta_1 = 2 \cdot 0,125 = 0,25$ мм, а в зоні 3-3' – збільшиться аналогічно на $\Delta l_3 = 0,25$ мм в порівнянні з номінальною довжиною петлі (довжина петлі в зонах в'язання 2-2' і 4-4').

Визначимо зміну довжини петлі і щільності трикотажного полотна, отриманого на машині КО після одного року її експлуатації. Зміну довжини петлі можна виразити в процентному співвідношенні:

$$\Delta l = \frac{l_{3-3'} - l_{1-1'}}{l} \cdot 100\%, \quad (3)$$

де $l_{1-1'}$, $l_{3-3'}$ – довжина петлі l , отримана на ділянках відповідно 1-1', 3-3' та 2-2' 4-4'.

Оскільки $l_{1-1'} = l - 2\Delta$, $l_{3-3'} = l + 2\Delta$,

$$\Delta l = \frac{l + 2\Delta - (l - 2\Delta)}{l} 100\% = \frac{4\Delta}{l} 100\%. \quad (4)$$

Враховуючи [1], можна записати:

$$l = 1,57A + 2B + \pi d, \quad (5)$$

де A – петельний крок; $A = 4d = 4 \cdot 0,2 = 0,8$ мм; B – висота петельного ряду; $B = 0,865 \cdot A = 0,865 \cdot 0,8 = 0,692$ мм.

Тоді $l = 1,57 \cdot 0,8 + 2 \cdot 0,69 + 3,14 \cdot 0,2 = 3,268$ мм.

Підставляючи отримані величини в рівняння (4), знаходимо:

$$\Delta l = \frac{4 \cdot 0,125}{3,268} 100\% = 15,3\%.$$

Довжина петлі з щільністю трикотажного полотна пов'язана залежністю [1, 2]:

$$l = \frac{157}{\Pi_{\Gamma}} + \frac{200}{\Pi_B} + \pi d, \quad (6)$$

де Π_{Γ} , Π_B – щільність полотна відповідно по горизонталі і вертикалі.

Оскільки зсув циліндра, обумовлений зносом його опори, впливає лише на зміну щільності по вертикалі, можна записати

$$l_i = \frac{200}{\Pi_{Bi}} + k, \quad (7)$$

де l_i , Π_{Bi} – відповідно довжина петлі та щільність полотна по вертикалі в i -й зоні його в'язання; k – постійна величина,

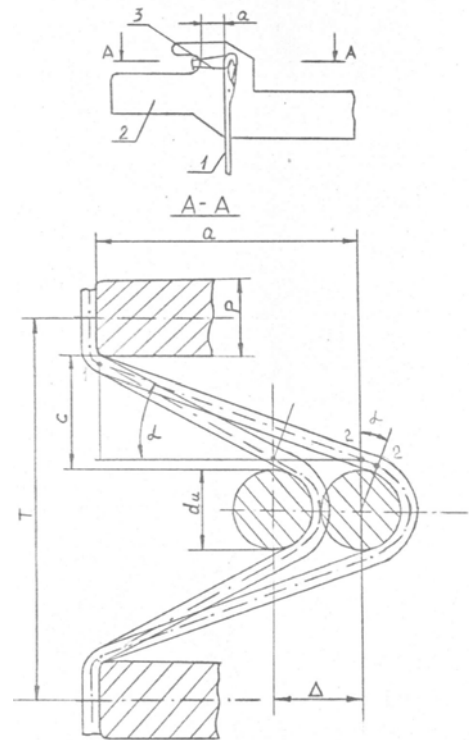


Рис. 2. Схема розташування робочих органів круглов'язальної машини типу КО при відтяжці петлі полотна: 1 – голка; 2 – платина; 3 – петля

$$k = \frac{157}{\Pi_{\Gamma}} + \pi d . \quad (8)$$

Зміну щільності трикотажного полотна, $\Delta \dot{I}_{\dot{A}}$, обумовлену зсувом голкового циліндра, можна визначити з наступного виразу (при цьому враховуємо, що в зоні в'язання 1-1' щільність полотна збільшується, а в зоні 3-3' – зменшується):

$$\Delta \Pi_B = \frac{\Pi_{B1-1'} - \Pi_{B3-3'}}{\Pi_B} \cdot 100\% . \quad (9)$$

Враховуючи (7), отримаємо:

$$\Delta \Pi_B = \frac{(l_{3-3'} - l_{1-1'})(l - k)}{(l_{1-1'} - k)(l_{3-3'} - k)} \cdot 100\% = \frac{4\Delta(l - k)}{(l_{1-1'} - k)(l_{3-3'} - k)} \cdot 100\% . \quad (10)$$

Оскільки $l_{1-1'} = l - 2\Delta$, $l_{3-3'} = l + 2\Delta$, можемо записати:

$$\Delta \dot{I}_{\dot{A}} = \frac{4\Delta(l - k)}{(l - 2\Delta - k)(l + 2\Delta - k)} \cdot 100\% \quad (11)$$

або

$$\Delta \Pi_B = \frac{4\Delta k_1}{k_1^2 - 4\Delta^2} \cdot 100\% , \quad (12)$$

де $k_1 = l - k$.

Для нашого випадку (після року експлуатації машини КО):

$$\Delta = 0,125; \quad l = 3,268 \text{ мм};$$

$$l_{1-1'} = l - 2\Delta = 3,268 - 2 \cdot 0,125 = 3,018 \text{ мм};$$

$$l_{3-3'} = l + 2\Delta = 3,268 + 2 \cdot 0,125 = 3,518 \text{ мм}.$$

$$\text{З (8), враховуючи, що } \Pi_{\Gamma} = \frac{100}{A} = \frac{100}{0,8} = 125, \text{ знаходимо } k = \frac{157}{125} + 3,14 \cdot 0,2 = 1,884 \text{ мм}.$$

Підставляючи вихідні дані та отримані результати в (10), маємо:

$$\Delta \Pi_B = \frac{4 \cdot 0,125(3,268 - 1,884)}{(3,018 - 1,884)(3,518 - 1,884)} \cdot 100\% = 37,3\% .$$

Враховуючи допустиму зміну довжини петлі або щільності трикотажного полотна можна, знаючи інтенсивність зношення опори голкового циліндра, визначити граничний термін експлуатації машини до її ремонту.

Аналізуючи вираз (12), приходимо до висновку, що $\Delta \dot{I}_{\dot{A}} \rightarrow \infty$ за умови $4\Delta^2 \rightarrow k_1^2$.

Отже, для забезпечення нормальної роботи круглов'язальної машини необхідно виконати умову $\Delta < 0,5 k_1$.

Тоді для круглов'язальної машини типу КО допустиме зношення опори голкового циліндра повинно відповідати умові $\Delta < 0,5 k_1 = 0,5(l - k) = 0,5(3,268 - 1,884) = 0,692 \text{ мм}$.

Література

1. Шалов И.И., Далидович А.С., Кудрявин Л.А. Технология трикотажного производства / Шалов И.И., Далидович А.С., Кудрявин Л.А. – М. : Легкая промышленность, 1984. – 296 с.
2. Гарбарук В.Н. Проектирование трикотажных машин / Гарбарук В.Н. – Л. :Машиностроение, 1980. – 472 с.

Надійшла 18.9.2011 р.

УДОСКОНАЛЕННЯ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ В ПРОЕКТАХ СЕРТИФІКАЦІЇ МІСЬКИХ РЕЙКОВИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

Показано дослідження процесу підвищення результативності роботи органу з сертифікації дорожньо-транспортних засобів. Розроблено методику процесного підходу в системі управління якістю послуг і на цій основі поліпшення вихідних показників роботи транспортних засобів.

The research of the certification improvement performance of road vehicles authorities has been shown. The method of process approach in the management of service quality and on this basis the improvement of output performance of vehicles has been developed.

Ключові слова: управління якістю, трамвай, сертифікація транспортних засобів.

Вступ. В умовах прискорення темпів автомобілізації гостро постає проблема забезпечення дорожньої та екологічної безпеки, вирішення якої спрямоване на охорону життя та здоров'я людей, довкілля та створення умов для розвитку екологічно чистого рейкового електротранспортного засобу. З переходом до ринкових відносин в Україні змінився порядок поставлення на виробництво продукції заводів автомобільної галузі. Держава не контролює, як було раніше, процес розроблення та випробування нових дорожніх транспортних засобів (ДТЗ). У такій ситуації єдиним бар'єром, який може запобігти появі на ринку ДТЗ незадовільної якості, які мають конструктивні параметри, що не відповідають вимогам безпеки та охорони довкілля, є система сертифікації ДТЗ. Оскільки у дорожньо-транспортних пригодах гине велика кількість людей, система сертифікації ДТЗ та їхня якість є важливим елементом забезпечення національної безпеки держави [1, 2].

Останні досягнення. Україна має стратегічний напрям, який передбачає гармонізацію законодавчої та нормативної бази з міжнародною та європейською. Прийняття прогресивних стандартів та норм – це не вирішення проблем безпеки транспортної галузі та її конкурентоспроможності. Світовий досвід ринку транспортних послуг (сертифікація) свідчить про те, що сильними сторонами конкурентоспроможних організацій є: якість і технічні характеристики послуг; технологічні переваги організації послуг; надійність виконання послуг; вартість послуг. Сьогодні якість є одним із головних чинників у конкуренції, що має економічне, екологічне та соціальне обґрунтування. Тому проблема підвищення результативності систем послуг з сертифікації ДТЗ за рахунок удосконалення системи управління якістю в цій сфері діяльності й обумовлює вибір і актуальність теми статті [1–3].

Метою статті є дослідження процесу підвищення результативності роботи органу з сертифікації ДТЗ (ОС ДТЗ) за рахунок розроблення та впровадження методик процесного підходу в системі управління якістю послуг і на цій основі поліпшення вихідних показників роботи ОС ДТЗ.

Матеріал дослідження. Для досягнення поставленої мети треба вирішити такі завдання:

- провести аналіз сучасного стану систем якості в галузі послуг з сертифікації;
- розробити методологічні принципи системи управління якістю в проекті сертифікації ДТЗ;
- визначити методи і моделі підходів з позиції процесів при сертифікації;
- провести експериментальну перевірку застосування моделей процесів при впровадженні системи управління якістю послуг з сертифікації ДТЗ [4].

Пропонується розробити методологію побудови кожного етапу управління якістю в проектах сертифікації ДТЗ – планування, контролю та поліпшення якості. Встановлено взаємозв'язок планової стратегії поліпшення якості з діяльністю ОС ДТЗ.

Методичні особливості організації робіт з сертифікації ДТЗ з позицій процесного підходу є однією з наукових передумов щодо забезпечення управління якістю в цієї сфері діяльності. Система управління якістю розглядає процес як будь-яку організовану діяльність, сплановану генерувати попередньо встановлений для визначеного користувача вихід, забезпечивши при цьому необхідний вихід процесу. Визначено чотири групи процесів за сферою застосування: організаційно-управлінські; життєвого циклу послуги – основні; забезпечення ресурсами; вимірювання, аналізу та поліпшення.

Важливим методичним аспектом забезпечення якості в проектах сертифікації ДТЗ є визначення та вимоги до документації. Встановлено, що структура документації СУЯ ОС ДТЗ повинна мати сім рівнів.

Перевірка системи якості – це незалежний, систематичний аналіз, який дозволяє визначити, що діяльність у галузі якості та результати відповідають запланованим заходам, дійсно виконуються, придатні для досягнення цілей ОС ДТЗ. За складної процесно-функціональної структури, якою є орган з сертифікації, декілька відділів можуть одночасно бути задіяні у виконанні одного процесу [5].

Відповідно вплив кожного відділу на якість виконання процесів може бути різним. Розроблено методику виявлення і вивчення зв'язків для об'єктивної оцінки функціонування СУЯ та вироблення обґрунтованих управлінських рішень. Створено матрицю об'єктів аудиту, як комбінації функцій і пов'язаних з ними процесів, включаючи підпроцеси всіх рівнів. Об'єкти аудиту утворюють множину $A = \{a_1, a_2, \dots, a_k\}$, $K \leq M \text{ Ч } N$, M – кількість ключових процесів; N – кількість елементів організаційної структури верхнього

рівня.

Для встановлення відповідності кожного об'єкта аудиту з множини А з даним набором Х різних (зокрема кількісних показників) використовують узагальнений показник у вигляді геометричного середнього значення :

$$Y_k = \left(\prod_{i=1}^L x_{i,k} \right)^{\frac{1}{L}}, \quad k = \overline{1, K}, \quad L = L(k). \quad (1)$$

За умови, якщо отримано всі значення Y_k узагальнених показників об'єктів a_k , можна розрахувати узагальнений показник Y відповідності СУЯ в цілому:

$$Y = \left(\prod_{k=1}^K Y_k \right)^{\frac{1}{K}}, \quad (2)$$

Одним з етапів контролю якості є планування аудиту, одною з головних цілей якого є зменшення помилки аудиту.

Для оцінки джерел розсіювання деякої випадкової змінної Y_k , що характеризує узагальнену оцінку відповідності об'єкта аудиту верхнього рівня, може бути використаний метод дисперсійного аналізу. При проведенні перевірок необхідно так вибрати об'єкти аудиту, щоб результати оцінки не залежали від неоднорідностей, викликаних професійними й особистими якостями аудиторів. Це досягнуто застосуванням методів планування блокових експериментів.

Розробляється рандомізований повноблочний план, при якому кожний аудитор перевіряє всі об'єкти аудиту.

Таблиця 1

План перевірок

Аудитори	Об'єкти аудиту					
	1	2	...	i	...	K
1	Y_{11}	Y_{21}	...	Y_{i1}	...	Y_{K1}
2	Y_{12}	Y_{22}	...	Y_{i2}	...	Y_{K2}
...
j	Y_{1j}	Y_{2j}	...	Y_{ij}	...	Y_{Kj}
...
О	Y_{1O}	Y_{2O}	...	Y_{iO}	...	Y_{KO}

Модель розглянутого плану експерименту має вигляд:

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}, \quad i = \overline{1, k}; \quad j = \overline{1, O}, \quad (3)$$

при $\sum_i \alpha_i = \sum_j \beta_j = 0$

де Y_{ij} – результат вимірювання;

μ – математичне очікування загального середнього;

α_i – ефект i -го об'єкта аудиту верхнього рівня;

β_j – ефект j -го блоку;

ε_{ij} – випадкова помилка.

Передбачається, що m – фіксована постійна й що помилки – незалежні, нормально розподілені випадкові величини з нульовим середнім і однаковою дисперсією.

При моделюванні діяльності ОС ДТЗ враховано, що будь-яка теоретична модель – це гіпотеза, і якщо вона та ситуація, яку вона описує, є достатньо простою, то практично доцільно застосовувати інформаційні моделі. Побудову інформаційної моделі удосконалення ОС ДТЗ спрямовано на реалізацію процесного підходу щодо управління процедурами сертифікації виробничих процесів та розроблення процесів системи управління якістю.

У галузі надання послуг якість повинна заохочувати замовників очікувати найвищих стандартів, а персонал – навчатися відповідних навичок та мати мотивацію з надання послуг лише щодо найвищих вимог [2].

Розроблено опитувальну анкету, яка пропонує за бальною системою оцінити результативність роботи ОС ДТЗ щодо визначених в анкеті чинників. Встановлено два критерії – важливість того чи іншого чинника і задоволеність зацікавлених сторін (ЗС) виконанням того чи іншого чинника. Після оброблення анкет обчислюють середнє значення оцінок стосовно кожного чинника і відносну частоту подій щодо

задоволеності ЗС виконанням чинника. Далі визначають інтервал довіри з використанням номограми Ларсона. Для зручності побудови і наочності числові значення відносної частоти події і меж інтервалів довіри слід наводити у відсотках [3].

Для визначення та подальшого аналізування найважливіших і таких, що викликають найбільше незадоволення ЗС факторів, а також для встановлення цілей щодо підвищення рівня задоволеності ЗС виконанням найважливіших для неї чинників.

За результатами аналізу зроблено поділ діаграми на три частини у відсотковому співвідношенні до загальної кількості чинників.

Встановлення цілей щодо підвищення рівня задоволеності потреб та очікувань персоналу здійснюють шляхом побудови в Декартовій системі координат діаграми встановлення цілей.

За результатами дослідження визначено методу розроблення процесно-орієнтованих процедур замість функціонально-орієнтованих. Важливим етапом розроблення є встановлення критеріїв ефективного управління процесом та методів і засобів вимірювань цих критеріїв.

Основна вимога – вони повинні доводити спроможність процесу досягнення запланованих результатів. При цьому мається на увазі визначення: очікуваних та небажаних характеристик процесу; умов, за яких починається і закінчується функціонування процесу; вимірюваних показників, необхідних для моніторингу (постійного спостереження за процесом), вимірювання та аналізування; функцій управління процесом, що визначаються за необхідності; періодичності моніторингу та вимірювання показників процесу. Для забезпечення функцій управління процесом та його результативності визначено класи характеристик та показники функціонування процесу, які оцінюють за встановленими критеріями. Показники процесу є реальними, вимірюваними, відтворюваними, здатними реагувати на зміни в процесі, стійкими до впливу зовнішніх чинників, зрозумілими, економічно обґрунтованими та взаємопов'язаними з цілями у сфері якості. Критерії процесу, які використовують як еталон, визначає власник процесу. Їх прикладами можуть бути вимоги до процесу, такі як результативність, ефективність, тривалість, продуктивність, відповідність вхідних і вихідних потоків процесу.

Для процесів системи управління якістю рекомендовано встановити такі стадії розроблення: ідентифікація процесу системи управління якістю; визначення послідовності та взаємодії з іншими процесами СУЯ; первинний аналіз відповідності процесу вимогам стандарту; визначення критеріїв і методів, необхідних для забезпечення результативності функціонування процесу та управління ним; визначення ресурсів й інформації, необхідних для забезпечення належного функціонування та моніторингу процесу; встановлення і впровадження заходів щодо моніторингу, вимірювання та аналізування процесу; встановлення і впровадження заходів, необхідних для управління процесом (досягнення запланованих результатів) та постійного поліпшення процесу; розподіл відповідальності і повноважень у межах процесу; документування процесу; перевірка результативності розробленого процесу.

Залежно від вимог досягнення мети ОС ДТЗ розроблено ідентифікацію процесів управління якістю та визначено рекомендований перелік ключових процесів, неналежна організація яких або недотримання вимог до виконання яких може становити фактичну або потенційну небезпеку для забезпечення якості наданої послуги.

З метою підвищення ефективності праці в ОС ДТЗ визначено види діяльності щодо забезпечення моніторингу та вимірювань, а також засоби моніторингу, необхідні для доведення відповідності продукції встановленим вимогам. Моніторинг, в наших дослідженнях – це діяльність, яка включає спостереження за функціонуванням процесу з проведенням вимірювання й оцінювання одного або декількох показників цього процесу, що здійснюється з установленою періодичністю для визначення того, чи досягнуто відповідність установленим вимогам згідно з критеріями функціонування процесу.

Моніторинг задоволення споживачів організацією, що надає послугу, є одним з основних і дозволяє визначити невідповідність процесів на ранніх стадіях, а також проводити розробку коригувальних дій з метою постійного покращення. Цільові показники задоволеності замовників оцінюють за 12-бальною шкалою [5].

Моніторинг процесів щодо тривалості надання послуги має на меті встановити, чи є процес стабільний та статистично керований, тобто чи зумовлено варіабельність тільки випадковими чинниками. Визначено прийнятний рівень варіабельності процесу, і тоді будь яке відхилення від нього є результатом дії особливих чинників, які виявлено, послаблена їх дія. Для моніторингу за результатами досліджень був обраний метод "контрольних карт Шухарта". За допомогою контрольних карт було визначено вагомий відхилення середнього значення тривалості надання послуги (μ) і статистичного відхилення (σ) від заданих (базових) значень. Межі контрольної карти для середнього значення X часу надання послуги визначалися:

$$ВКМ - \text{верхня контрольна межа; } ВКМ = \mu + A_E \times \sigma.$$

$$ВПМ - \text{верхня попереджувальна межа; } ВПМ = \mu + A_w \times \sigma.$$

$$СЛ - \text{середня лінія; } M = \mu.$$

$$НПМ - \text{нижня попереджувальна межа; } НПМ = \mu - A_w \times \sigma.$$

$$НКМ - \text{нижня контрольна межа; } НКМ = \mu - A_E \times \sigma.$$

де A_E, A_w – розрахунковий коефіцієнт при об'ємі вибірки $Vn = 7$, що дорівнює 0,974, 0,741.

Аналіз контрольних карт дозволив виявити причини варіабельності показників якості процесу й вжити заходів щодо зменшення цього відхилення.

Вимірним показником, за яким здійснюють моніторинг процесів надання послуг, є інтегральний показник помилок (P), допущених виконавцями (експертами відділів).

$P=T/S$, де T – наведена кількість помилок, допущених виконавцями відділу протягом місяця; S – наведена кількість перевірених комплектів документів із сертифікації, виконаних виконавцями відділу протягом місяця;

$$T = \sum_{i=1}^m T_i, \text{ де } T_i - \text{ наведена кількість помилок, допущених } i\text{-м виконавцем протягом місяця; } m -$$

кількість виконавців відділу.

$$T_i = \sum_{j=1}^n (N_{ij} * k_j), \text{ де } N_{ij} - \text{ кількість помилок } j\text{-го виду, допущених } i\text{-м виконавцем протягом місяця;}$$

k_j – коефіцієнт вагомості помилки j -го виду; n – загальна кількість видів помилок (прийнято 17 видів).

Приведена кількість перевірених комплектів документів із сертифікації, опрацьованих виконавцями (експертами відділів) протягом місяця: $S = \sum_{i=1}^m S_i$, де S_i – приведена кількість комплектів документів із сертифікації, опрацьованих виконавцями відділу протягом місяця.

Приведена кількість перевірених комплектів документів із сертифікації (S_i), опрацьованих i -м експертом: $S_i = \sum_{a=1}^b (N_{ia} * f_a)$, де N_{ia} – кількість перевірених комплектів документів із сертифікації a -го типу, опрацьованих i -м виконавцем протягом місяця; f_a – коефіцієнт приведення a -го типу комплектів документів із сертифікації; b – кількість типів комплектів документів із сертифікації.

З метою оцінки роботи кожного із виконавців відділу визначають також інтегральний показник помилок, допущених i -им виконавцем, який розраховують за формулою:

$P_i=T_i/S_i$, де T_i – приведена кількість помилок, допущених i -м виконавцем протягом місяця; S_i – приведена кількість перевірених комплектів документів із сертифікації, опрацьованих i -м виконавцем протягом місяця.

Дослідження управлінських процесів у системі управління якістю ОС ДТЗ, впровадження комплексу стандартних програмно-інструментальних засобів, нестандартних методик, основних технологічних систем управління, що орієнтовані на безперервне удосконалення організації, сприяло підвищенню стабільності функціонування ОС ДТЗ та покращенню його економічного стану.

Розроблені методи забезпечення якості на етапах проектування та розроблення процесів послуг із сертифікації, статистичне регулювання якості з використанням контрольних карт, форм і методів роботи із замовниками обумовили позитивну динаміку виконання обсягів робіт відділами ОС ДТЗ та динаміку їхньої продуктивності праці за 2001–2004 роки.

Висновки:

1. З аналізу досліджень щодо вирішення проблеми забезпечення якості встановлено, що застосування класичного елементного підходу до систем якості в проєкті сертифікації ДТЗ не виключає ризик невизначеності результативності та ефективності в управлінні якістю, тому необхідний новий підхід.

2. Визначено принципи відмінності сертифікації ДТЗ від інших видів послуг, які полягають у міжнародному характері цього виду діяльності, в тому, що ДТЗ – найбільш небезпечний засіб виробництва у світі, в міжнародній кооперації та інтеграції, що й обумовило необхідність дослідження та створення специфічних методів і моделей управління проєктами сертифікації ДТЗ.

Література

1. Левковець П.Р. До питань менеджменту систем якості послуг з сертифікації дорожніх транспортних засобів / П.Р. Левковець, О.В. Рудзінська // Збірник наукових праць. Вісник НТУ-ТАУ. – К. – 2001. – № 5. – С. 263–267.
2. Левковець П.Р. Процесний підхід і покращення процедур послуг з сертифікації ДТЗ / П.Р. Левковець, О.В. Рудзінська // Збірник наукових праць НТУ. – К., 2002. – № 7. – С. 163–169.
3. Рудзінська О.В. Методологічні підходи до системи управління якістю при сертифікації дорожніх транспортних засобів / О.В. Рудзінська // Вісник Північного наукового центру Транспортної академії України. – К., 2005. – Вип. 8. – С. 218–220.
4. Андреева Н.А. Сертификация транспортных средств : [учеб. пособие] / Андреева Н.А. – Кемерово : ГУ КузГТУ, 2003. – 136 с.
5. Карсаков А.П. Сертификация машин дорожного комплекса, продукции и услуг на автомобильном транспорте : [учеб. пособие] / Карсаков А.П. – Пермь : Перм. гос. техн. ун-т, 2002. – 141 с.

Надійшла 5.9.2011 р.

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛАЗЕРНОЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ СВАРКИ И РЕЗКИ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ

У статті описується сутність лазерної термічної технології. Розкриваються питання її використання для зварювання і різання великогабаритних заготовок з титанових сплавів. Обґрунтовуються переваги даної технології перед автоматичною аргонодуговою і плазмено-дуговою зварками. Також надаються перспективні аспекти лазерного зварювання по лазерному різі.

In the article essence describes the nature of laser thermal technology. The questions of its use open up for welding and scission of large purveyances from titanic alloys. Justified by the benefits of this technology to automated TIG and plasma arc welding. Also there are perspective aspects of the laser welding on a laser cutting.

Ключові слова лазерна термічна технологія, титанові сплави.

Применение титановых сплавов в современном машиностроении весьма широко. Ввиду таких качеств как, высокая удельная прочность, коррозионная стойкость и легкость, титан и его сплавы используются в судостроении, самолетостроении и космической промышленности. Однако их обработка, как механическая так и термическая, влечет за собой ряд проблем. Например, механическая обработка титана аналогична обработке нержавеющей стали и значительно затруднена по сравнению с обычной сталью. Связано это с большой склонностью титана к налипанию и задиранию, обусловленной высоким коэффициентом трения, а также низкой теплопроводностью, что влечет за собой быстрый износ режущего инструмента. Указанные проблемы успешно решаются, и для их преодоления уже имеется ряд методов, при этом исследования в этом направлении продолжают и приносят весьма успешные результаты.

Не менее затруднительно использование титана как конструкционного материала, когда приходится титановые детали соединять друг с другом и с деталями из иных материалов. Для этого используются различные методы, в частности пайка и механическое закрепление. Основным же методом является сварка. В настоящее время широкое применение нашли автоматическая аргонодуговая сварка (ААрДС) и плазменно-дуговая сварка (ПДС), позволяющие получать удовлетворительное качество сварных соединений, но не решающие всех проблем, связанных со сваркой титана и его сплавов.

Основная проблема заключается в том, что титан обладает высокой химической активностью, ввиду чего расплавленный металл шва взаимодействует с кислородом, азотом и водородом воздуха. Взаимодействие с газами приводит к увеличению прочности и резкому снижению пластичности и ударной вязкости сварных соединений. Однако это не является единственным недостатком титана при его сварке. При высоких температурах (300 – 500⁰С) титан имеет склонность к росту зерна и изменению микроструктуры, что также приводит к увеличению хрупкости сварного шва [4].

Из-за высокой химической активности титановые сплавы удается сваривать дуговой сваркой в инертных газах неплавящимся и плавящимся электродом, дуговой сваркой под флюсом, электронным лучом, электрошлаковой и контактной сваркой. Расплавленный титан жидкотекуч, шов хорошо формируется при всех способах сварки. Основная трудность сварки титана – это необходимость надежной защиты металла, нагреваемого выше температуры 300⁰С, от воздуха.

В последнее время широкое применение получила лазерная термическая технология, преимуществом которой является тот факт, что она характеризуется большой плотностью мощности в пятне нагрева, большими скоростями нагрева и охлаждения и, как следствие, незначительным ростом зерна в зоне термического влияния (ЗТВ).

Процессы лазерной технологии относительно просты в осуществлении, легко управляемы, а высокая пространственно-временная локализованность излучения и отсутствие механического воздействия пучка лазера на объект обработки позволяют реализовать различные уникальные операции: сварку, резку, скрайбирование, поверхностное упрочнение и другие операции, осуществляемые на легко деформируемых изделиях и деталях, в том числе и вблизи теплочувствительных элементов [4].

Применительно к титановым сплавам данную технологию можно использовать в качестве лазерной сварки (ЛС) и лазерной резки (ЛР). Процесс сварки, плюс ко всему, является еще и высокопроизводительным (20 – 45 мм/с).

Все указанные преимущества делают лазерную технологию довольно перспективной для сварки титана и его сплавов.

Именно поэтому **целью данной статьи** является обоснование перспективности применения лазерной термической технологии для сварки и резки титановых сплавов.

Одним из важнейших свойств лазерного излучения является его монохроматичность, определяющая диапазон частот или длин волн, который занимает излучение, т.е. ширину его спектра.

Лазеры считают источником монохроматического излучения, так как значительная часть потока излучения приходится на очень узкий участок спектра излучения, не превосходящий сотых долей микрометра. Спектральная плотность мощности излучения лазеров на несколько порядков больше, чем у

других известных источников электромагнитной энергии [1].

Большая плотность мощности, достигаемая в остророфокусированном лазерном луче (значительно выше, чем в сварочной дуге, и на порядок выше, чем в электронном пучке), позволяет получать особые эффекты при обработке материалов. Например, можно достичь скоростей нагрева несколько десятков и даже сотен тысяч градусов в секунду.

Металл в этих условиях может интенсивно испаряться. Такие режимы используют для прошивки отверстий или при резке.

Интенсивный сосредоточенный нагрев обычно приводит и к чрезвычайно большой скорости охлаждения материала после прекращения воздействия луча. Можно создать условия охлаждения, при которых обрабатываемый металл после расплавления охлаждается так быстро, что процессы кристаллизации с образованием упорядоченной структуры происходить не успевают; при затвердевании образуется аморфный слой, обладающий специфическими свойствами.

В то же время расфокусированный лазерный луч может быть и очень «мягким», что позволяет его использовать в качестве универсального источника нагрева для сварки, резки, наплавки, пайки, термообработки и др.

В настоящее время лазерная термическая технология нашла широкое применение в промышленности вообще и в машиностроении в частности. Разработаны технологические процессы лазерной сварки, резки, наплавки, термообработки и др. [2].

Основными параметрами режимов лазерной обработки являются мощность излучения, диаметр пятна фокусировки и скорость перемещения обрабатываемого материала относительно луча. Сущность процесса лазерной сварки заключается в расплавлении лучом свариваемых кромок заготовок, собранных с минимальными зазорами (0...0,2 мм), и последующей кристаллизации. Достоинствами лазерной сварки являются следующие характеристики: возможность вести процесс на больших скоростях – до 500 м/ч; узкий «ниточный» шов; чрезвычайно малая зона термического влияния; практически отсутствие деформаций изделия после сварки [2].

На рис.1 представлена схема лазерной сварки производимой быстроточным газоразрядным CO₂ – лазером ЛСУ-5. Максимальная мощность излучения установки – 5кВт. Для фокусировки излучения используется объектив Кассегрена с углом сходимости пучка излучения 6°. Мощность выходного излучения – 3кВт; заглубление фокальной плоскости луча – 1мм; скорость сварки – 30мм/с.

Для сравнительной оценки сварных соединений, полученных ААрДС, ПДС и ЛС по фрезерованным кромкам, проводят механические испытания. При оценке пластических свойств сварных соединений образцы испытывают на статическое действие нагрузки (испытание на растяжение), при этом расположение шва – продольное. Также проводят ударные испытания с «V» - образным надрезом.

Проведенные испытания показывают, что на поверхности пластин, сваренных всеми сравниваемыми способами, следов окисления нет. Визуальным способом и рентгенографическим контролем в швах и зонах термического влияния образцов трещин и скоплений пор не обнаруживается.

Значения механических свойств сварных соединений представлены в табл. 1.

Из таблицы видно, что разрушение образцов полученных ПДС и ЛС с поперечным швом происходит по основному металлу.

Сварные соединения, полученные ЛС, как с поперечным, так и с продольным швом имеют значения предела прочности и относительного удлинения практически те же, что и основной металл.

Исследования геометрических размеров швов, полученных ААрДС, ПДС и ЛС показали, что ширина шва сварных соединений составляет, соответственно – 10,8; 5,8; 2,0 мм. Ширина ЗТВ – 2,4; 1,8; 1,2 мм.

Металлографические исследования выявили резкий рост зерна в соединениях полученных ААрДС и ПДС (средний диаметр зерен, соответственно 0,8 и 0,5 мм). Металл же шва и ЗТВ лазерных соединений имеет тонкоигольчатую структуру с зерном до 0,3 мм. В центре шва зерно более крупное, чем на периферии. Мелкодисперсная структура определяет высокие механические свойства соединений [5].

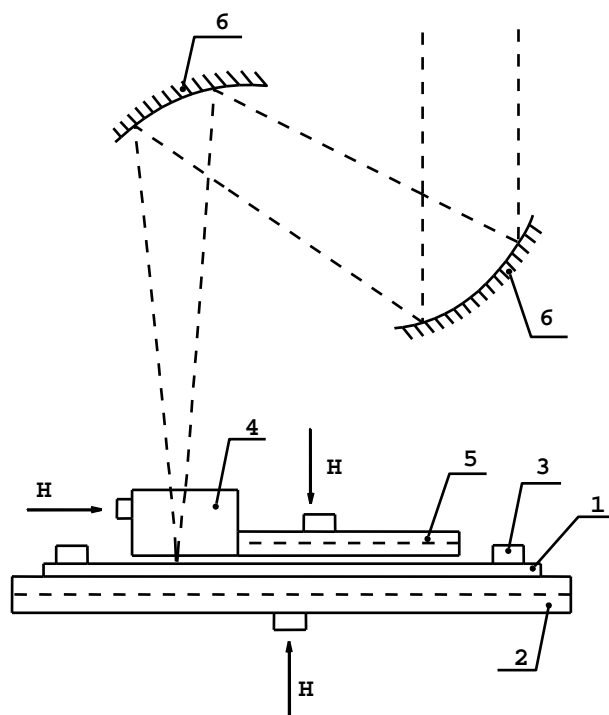


Рис.1. Схема лазерной сварки: 1 – образец; 2 – опора; 3 – прижим; 4 – сопло; 5 – козырек; 6 – зеркала фокусирующего объектива Кассегрена

Механические свойства сварных соединений, полученных ААрДС, ПДС, ЛС по фрезерованным кромкам (титановый сплав ОТ4, толщина 2 мм).

Испытания Вид сварки	Растяжение				Испытания на удар		
	Образец с поперечным швом		Образец с продольным швом		«V» – надрез по:		
	$\sigma_{В, МПа}$	$\delta, \%$	$\sigma_{В, МПа}$	$\delta, \%$	центру шва	линии сплавления	ЗТВ
Основной металл	790 ± 5	$19,2 \pm 0,5$	–	–	980 ± 40	–	–
ААрДС	$786 \pm 4^*$	$11,2 \pm 0,8$	780 ± 13	$16,7 \pm 1,1$	640 ± 40	590 ± 50	540 ± 40
ПДС	$790 \pm 13^{**}$	$19,1 \pm 0,4$	792 ± 10	$17,8 \pm 1,5$	620 ± 50	600 ± 20	550 ± 30
ЛС	$789 \pm 3^{**}$	$19,2 \pm 0,7$	796 ± 7	$19,1 \pm 0,9$	630 ± 30	600 ± 30	610 ± 40

Примечание: * – разрушение по ЗТВ; ** – разрушение по основному металлу.

Сварные соединения изделий из титановых сплавов, выполненные лазерной сваркой, обладают более высокими прочностными и пластическими характеристиками. При этом внедрение лазерной сварки обеспечивает снижение машинного времени сварки по сравнению с аргонодуговым процессом не менее чем в 10 раз [5].

Уникальные свойства лазерного излучения открывают большие возможности для более широкого применения лазерной термической технологии в промышленности. Именно поэтому она также успешно используется на операциях термической резки конструкционных материалов, в частности тех же самых титановых сплавов.

Сущность процесса лазерной резки состоит в локальном выплавлении материала под действием острогофокусированного луча и одновременно удаления расплава из зоны реза инертными нейтральными или активными газами, подаваемыми под давлением. Ширина реза может составлять 0,1...0,2 мм, при этом шероховатость поверхности незначительна. Процесс легко поддается автоматизации и может производиться с использованием систем с числовым программным управлением [3].

Например, при процессе газолазерной резки производимой на CO_2 – лазере мощностью до 5 кВт. Для фокусировки излучения используется соляная линза из KCl с фокусным расстоянием 180 мм. В целях исключения газонасыщения кромок используется инертный газ (например, аргон). Схема подачи газа соосная, давление газа 0,5 МПа. Скорость резки 60...75 м/час. Диаметр режущего сопла 2 мм, расстояние от сопла до изделия выдерживается близким к 2 мм. Луч фокусируется на поверхность изделия.

После газолазерной резки пластины, как правило, не имеют следов пластической деформации. Кромки реза блестящие и без следов окисления (с незначительным гратом на нижней кромке). Технология отработывалась в МГТУ им. Н.Э. Баумана на титановом сплаве ОТ4.

Оценка качества поверхности реза осуществлялась по следующим параметрам: шероховатость, отклонение поверхности реза от перпендикулярности и величина зоны термического влияния.

Шероховатость кромки определялась с помощью контактного профилометра «Калибр-201» и соответствовала $Rz 27,5...31,6$. Наибольшее отклонение поверхности реза от перпендикулярности при толщине разрезаемого материала 2 мм составила 0,05 мм. Ширина зоны термического влияния резов не превышала 0,30...0,35 мм. Структура этой зоны представляет собой игольчатый мартенсит. У кромок реза зерно более крупное, по мере приближения к основному металлу становится мельче. Микротвердость зоны термического воздействия, измеренная при нагрузке 0,5 Н соответствовала 2710...3230 МПа и практически не отличалась от микротвердости основного металла (2540...3210 МПа). Отставания нижней кромки реза не наблюдалось, риски на ней были практически вертикальными [4].

Из полученных экспериментальных данных видно, что лазерная резка имеет сразу несколько преимуществ по сравнению с другими видами резки металлов, а именно: высокую скорость, обеспечение параллельности кромок, узкую ширину реза, минимальную зону термического влияния. При этом лазерная резка выполняется с большей точностью, меньшим процентом отходов и допуском реза.

Одной из особенностей лазерной резки является отсутствие механического воздействия на материал, что дает возможность резки легкодеформируемых металлов. Конечно же, не маловажен вопрос высокой производительности процесса. Замена механической резки газолазерной позволяет в 8...10 раз уменьшить машинное время резки и в 3...5 раз снизить общую трудоемкость изготовления сварного изделия.

Получение заготовок из титановых сплавов под сварку связано со значительными материальными и трудовыми затратами. Заготовки, как правило, получают штамповкой с обязательной последующей механической обработкой кромок. Как уже было отмечено выше, высокая вязкость титановых сплавов приводит к появлению наростов на рабочей поверхности штампов, они выкрашиваются и изнашиваются гораздо быстрее, чем при штамповке углеродистых сталей. Низкие теплопроводность и удельная теплоемкость титана при механической обработке приводят к локальному перегреву зоны резания и быстрому выводу из строя дорогостоящего твердосплавного инструмента. Процесс резания производят с малыми подачами. Скорость обработки (например, фрезерования) составляет всего 0,3...2 мм/с, что делает процесс крайне малопродуктивным, особенно при получении заготовок сложной конфигурации.

Технологія же лазерної термічної різки дозволить суттєво знизити затрати на отримання заготовок, забезпечивши при цьому високе якість кромок.

Отримані газолазерною різкою пластини, повністю можуть бути зварені автоматичною аргонодуговою, плазменно-дуговою та лазерною зварками без проміжної механічної обробки. При товщині металу до 2-х мм, якість різки дозволить зібрати заготовки під зварку з зазором не більше 0,2 мм [5]. Така збірка дозволить отримувати більш якісні зварні з'єднання з використанням даних видів зварок.

Таким чином, лазерна термічна технологія може успішно застосовуватися в машинобудуванні на операціях зварки та різки титанових сплавів. При цьому рішення комплексних питань, т.е. лазерної зварки титана та його сплавів по кромкам, отриманим лазерною різкою (без проміжної механічної обробки) є найбільш перспективним напрямком використання даної технології.

Література

1. Лазерная и электронно-лучевая обработка материалов: Справочник / Рыкалин Н.Н., Углов А.А., Зуев И.В., Кокора А.Н. – М.: Машиностроение, 1985. – 496 с.
2. Лазерная техника и технология: В 7 кн. – Кн. 5. Лазерная сварка металлов: Учебное пособие для вузов / Григорьянц А.Г., Шиганов И.Н. / Под ред. Григорьянца А.Г. – М.: Высшая школа, 1988. – 207 с.
3. Лазерная техника и технология: В 7 кн. – Кн. 7. Лазерная резка металлов. Учебное пособие для вузов / Григорьянц А.Г., Соколов А.А. / Под ред. Григорьянца А.Г.:– М.: Высшая школа, 1988. – 127 с.
4. Измаилова Г.М. Лазерная термическая технология. Газолазерная резка титановых сплавов // Ученые записки Крымского государственного индустриально-педагогического университета. – 2002. – выпуск 3. – С. 15–19.
5. Измаилова Г.М., Шабдинов М.Л. Лазерная термическая технология: сварка титанового сплава // Ученые записки Крымского государственного инженерно-педагогического университета. – 2004. – выпуск 5. – С. 15–18.

Надійшла 6.9.2011 р.

УДК 687.03:685.34:67/68

С.В. ЧУМАКОВА, О.С. ПОЛЩУК, А.К. КАРМАЛІТА
Хмельницький національний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ВИРУБУВАННЯ ОТВОРІВ ПІД МЕТАЛЕВУ ФУРНІТУРУ У ВИРОБАХ ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

З метою дослідження процесу вирубування отворів під металеву фурнітуру у виробі легкої промисловості, було розроблено експериментальний стенд. Він включає в себе: робочі інструменти (технологічне оснащення) для виконання технологічної операції вирубування отворів у матеріалі під металеву фурнітуру; силовий блок та комп'ютерну вимірювальну систему. В результаті проведених експериментальних досліджень та теоретичних розрахунків визначено технологічні зусилля вирубування отворів під металеву фурнітуру у різних матеріалах. Проведено визначення роботи, необхідної для вирубування отворів в матеріалах експериментальним та теоретичним шляхом.

An experimental stand was developed to investigate the process of punching out the openings for metal accessories in light industry goods. It includes working instruments (technological equipment) for performing the technological operation of punching out the openings in the material for metal accessories; a power block and a computer measuring system. Technological force of punching out the openings for metal accessories in different materials was determined according to the result of the experimental research and theoretical calculations. The work determination necessary for punching out the openings in the materials by experimental and theoretical way was done.

Ключові слова: вирубування отворів; металева фурнітура; пробійник; зусилля вирубування; робота вирубування

Вступ

В останнє десятиліття рівень асортименту і якості одягу, взуття, шкіряно-галантерейних виробів, що випускаються в Україні, значно підвищився. Цьому сприяє обов'язкова їх відповідність багатьом стандартам.

Металева фурнітура в багатьох виробі легкої промисловості часто визначає їх довговічність, а іноді і безпеку та термін експлуатації, який може скоротитися до декількох днів при наявності та застосуванні неякісної встановленої фурнітури.

Практично в Україні фурнітурної галузі не існує. Більшість фурнітурних підприємств або ліквідовані, або доведені до невеликих майстерень. Тому на ринку України існує дефіцит металевої фурнітури власного виробництва та робочих інструментів для її встановлення, зокрема пробійників, пуансонів та матриць.

Дефіцит фурнітури на ринку України заповнюють оптові приватні посередницькі фірми, що

поставляють фурнітуру у великих об'ємах із Китаю, Туреччини, Тайваню, Південної Кореї в основному неякісну, але за низькими цінами. Така ж доля спіткала і робочі інструменти для її встановлення. Тому неякісна фурнітура та неякісні інструменти для її встановлення ведуть до появи дефектів у готових виробах.

Якість фурнітури та якість її встановлення більшість спеціалістів визначають частіш за все по зовнішньому вигляді і по наявності дефектів на виробі. Для проведення досліджень самої фурнітури, якості її встановлення у вироби відповідно стандартів необхідна наявність спеціальних стендів і приладів, яких немає у сертифікаційних центрах. Тому будь-які дослідження в цьому напрямку є актуальною задачею.

Постановка завдання

Одним із факторів, що визначає ресурс з'єднання за допомогою фурнітури, є точність виконання отворів. Точність виконання отворів, на нашу думку, залежить від оптимальних параметрів леза пробійника, властивостей матеріалів та обладнання, за допомогою якого дані отвори будуть зроблені.

Кожне підприємство, яке займається пошиттям одягу, випуском взуття і шкіряно-галантерейних виробів стикається із проблемою виготовлення отворів під металеву фурнітуру. В теперішній час отримання отворів під металеву фурнітуру здійснюється контактними (механічними та фізичними) методами: свердлінням спеціальними свердлами; пропалюванням жалом паяльника; вирубуванням пробійником.

Отримання отвору за допомогою операції свердління потребує спеціального інструменту. Торцева поверхня отвору отримується рваною. Пропалювання жалом паяльника потребує додаткових затрат електричної енергії, відбувається також отримання неякісного отвору. Найбільш висока продуктивність праці здійснюється вирубуванням пробійником.

Для вирубування отворів під металеву фурнітуру використовуються різні засоби, починаючи від ручних (удар молотка) і закінчуючи механічними пристроями. Це нерідко приводить до травматизму на виробництві і зниження якості продукції, що випускається. На сьогоднішній день на ринку представлене різне обладнання для виконання даної операції [1].

В роботі [2] відмічається перспективність використання в пресовому обладнанні для встановлення металевої фурнітури лінійних електричних двигунів. Тому необхідно провести експериментальні дослідження вирубування отворів під металеву фурнітуру в різних виробах легкої промисловості з метою знаходження технологічних зусиль та роботи вирубування, необхідних при проектуванні даного обладнання.

Результати дослідження

З метою знаходження технологічних зусиль, що виникають при вирубуванні отворів в матеріалі, було розроблено експериментальний стенд. Конструктивна схема експериментального стенду представлена на рис.1.

Експериментальний стенд включає в себе: робочі інструменти (технологічне оснащення) для виконання технологічної операції вирубування отворів в матеріалі під металеву фурнітуру; силовий блок та комп'ютерну вимірювальну систему (КВС).

В якості робочих інструментів та технологічного оснащення виступають пробійники для вирубування отворів різного діаметру і вирубна плита.

Силовий блок представляє собою пристрій у вигляді важеля 2 (рис.1) з набором вантажів 1 певної ваги, які дають змогу створювати необхідне зусилля вирубування $F_{вир.}$ в залежності від типу і товщини матеріалу Δ .

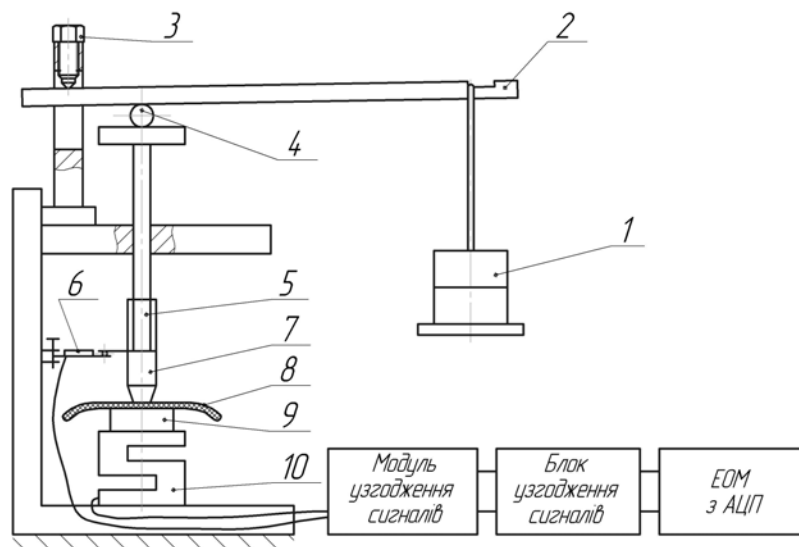


Рис.1. Конструктивна схема експериментального стенду: 1 – набір вантажів; 2 – важіль; 3 – регулюючий гвинт; 4 – кулька; 5 – перехідник; 6 – тензобалка; 7 – пробійник; 8 – матеріал; 9 – вирубна плита; 10 – датчик сили

КВС була створена з метою автоматизації вимірювань технологічних зусиль та переміщень технологічного оснащення при виконанні даної технологічної операції.

В склад КВС входять: вимірювальний блок; апаратні засоби, а також відповідне програмне забезпечення. Для створення даної системи було використано апаратно-програмні засоби компанії National Instruments [3].

В блок вимірювання входять аналогові датчики, зокрема: силувимірювальний датчик 10 Tedea 619-2T фірми Vishay для вимірювання технологічного зусилля; тензобалка 6 з наклеєними по напівмостовій схемі активними тензорезисторами (вимірювання переміщення робочого органу) (рис.1).

На рис.2 приведено загальний вигляд розробленого експериментального стенду.

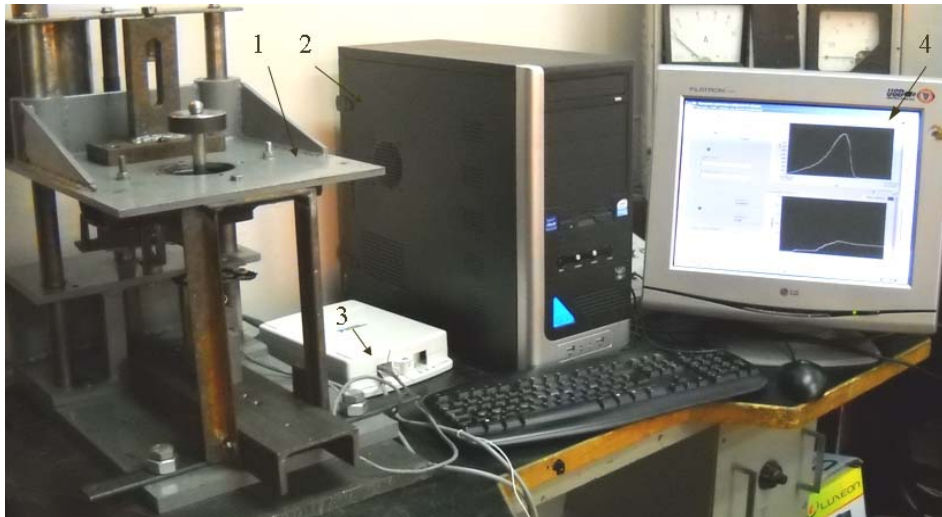


Рис.2. Експериментальний стенд для дослідження технологічної операції вирубання отворів під металеву фурнітуру у матеріалах: 1 – експериментальна установка; 2 – ЕОМ з вмонтованим АЦП; 3 – блок узгодження сигналів; 4 – інтерфейс програмного забезпечення LabVIEW

В якості апаратних засобів використано обладнання фірми National Instruments, зокрема: аналоговий модуль SCC-SG03; блок узгодження сигналів SCC-68; багатофункціональний пристрій збору даних PCI-6251.

В якості програмного забезпечення даної вимірювальної системи використано середовище графічного програмування LabVIEW 8.5. Використовуючи програму LabVIEW 8.5, було розроблено блок-діаграму віртуального приладу для дослідження операції вирубання отворів під металеву фурнітуру у виробів легкої промисловості.

Комп'ютерна вимірювальна система працює наступним чином. Аналогові сигнали з первинних вимірювальних перетворювачів, у якості яких використовуються два описаних вище аналогових датчики: для вимірювання технологічного зусилля та величини переміщення пробійника, у вигляді електричних сигналів зміни напруги надходять на модуль узгодження сигналів SCC-G03, далі – на блок узгодження сигналів SCC-68, який на основі відповідного опрацювання вхідних даних переводить їх у форму, найбільш зручну для вхідних характеристик аналого-цифрового перетворювача (АЦП), вмонтованого у електронно-обчислювальну машину (ЕОМ). Результати експерименту записуються у файл та зберігаються у пам'яті ЕОМ.



Рис.3. Пробійники для вирубання отвору в матеріалі

Для дослідження операції вирубання отворів у матеріалі під металеву фурнітуру в якості інструменту та технологічного оснащення було використано пробійники та вирубну плиту. Зокрема, було використано круглі пробійники з ріжучим лезом замкнутого контуру діаметром 2, 3, 4, 5, 6, 8 мм. Вони були виготовлені із сталі У7А, з оптимальним кутом загострення 25° та без притуплення [4]. Дані пробійники представлені на рис.3. Вирубна плита була виготовлена із матеріалу полівінілхлорид, з якого виготовляються вирубні плити, що використовуються при вирубванні деталей взуття на електрогідравлічних пресах.

Суть проведеного експерименту заключалася в наступному. Матеріал товщиною Δ , в якому вирубється отвір, встановлюється на вирубну плиту. В перехідник 5 рухомого штока (рис.1) вкручується пробійник 7 певного діаметру. За допомогою силового блоку, шляхом підбору вантажів 1, створюється необхідне зусилля для вирубання отвору $F_{вир}$ в даному матеріалі. Вантажі підбираються таким чином, щоб відбулося повне занурення пробійника в матеріал та на глибину $\Delta_1 = 0,5 - 0,8 \text{ мм}$ у вирубну плиту, що гарантує повне вирубання отвору по всьому контуру [5]. При прикладанні визначеного зусилля пробійник вирубє отвір у матеріалі.

В процесі виконання даної операції за допомогою КВС знімаються діаграми залежності технологічного зусилля вирубання отвору $F_{вир}$ і глибини занурення Δ_2 ($\Delta_2 = \Delta + \Delta_1$) пробійника в

матеріал та вирубну плиту від часу виконання даної технологічної операції.

На сьогоднішній день при виготовленні швейних, взуттєвих та шкіряно-галантерейних виробів легкої промисловості використовують велику кількість матеріалів природного та штучного походження. Будова матеріалу, вид його структури та фізико-механічні властивості здійснюють значний вплив на процес вирубання отворів. Тому при аналізі цього процесу необхідно враховувати властивості матеріалів.

За відомостями, наведеними в роботі [6], при розгляді процесів розкрою та різання всі матеріали доцільно класифікувати на такі групи: ізотропно-однорідні (до них відносять синтетичні шкіри на нетканій основі, гуми, деякі картони та ін.); анізотропно-однорідні (штучні шкіри на тканий основі, тканина, трикотаж та ін.); анізотропно-неоднорідні (шкіри різного призначення). Процес вирубання отворів належить до способів механічного різання матеріалів легкої промисловості [7].

Для проведення експериментальних досліджень було вибрано декілька з найбільш поширених матеріалів, у які встановлюють металеву фурнітуру при виготовленні швейних, взуттєвих та шкіряно-галантерейних виробів – сукно, джинсову та бавовняні тканини, кирзу, натуральну та штучну шкіри. Вибрані матеріали можна систематизувати з відповідністю до наведеної вище класифікації. Таким чином, шкіру верху взуття ДСТУ 27294 ялівку середню, штучну шкіру та взуттєву кирзу ГОСТ 16119-70 можна віднести до анізотропно-неоднорідних матеріалів; а сукно, бавовняну та джинсову тканини – до анізотропно-однорідних.

В результаті проведеного експерименту за допомогою КВС у файл ЕОМ було записано результати експериментальних досліджень, зокрема зміни технологічних зусиль вирубання отворів $F_{вир}$ і глибини занурення Δ_2 пробійника в матеріал та вирубну плиту від часу для вибраних матеріалів.

Для обробки результатів експерименту та побудови діаграм зміни технологічного зусилля вирубання отворів $F_{вир}$ від глибини занурення Δ_2 пробійника в матеріал та вирубну плиту було використано програму Microsoft Office Excel. На рис.4 приведено приклад діаграми залежності технологічного зусилля вирубання отворів $F_{вир}$ для різних матеріалів від глибини занурення Δ_2 пробійника з діаметром ріжучого леза 8 мм.

Також було проведено експериментальне дослідження по вирубанню отворів у названих вище матеріалах пробійниками з діаметрами ріжучого леза 2, 3, 4, 5, 6 мм. На основі отриманих експериментальних даних по вирубанню отворів у даних матеріалах пробійниками з різним діаметром ріжучого леза було отримано діаграми залежності технологічного зусилля вирубання отвору $F_{вир}$ від глибини занурення пробійника Δ_2 . На рис.5 і 6 приведено діаграми, отримані при вирубанні отворів в шкірі для верху взуття ДСТУ 27294 ялівка середня та сукні, дубльованому бортовою тканиною.

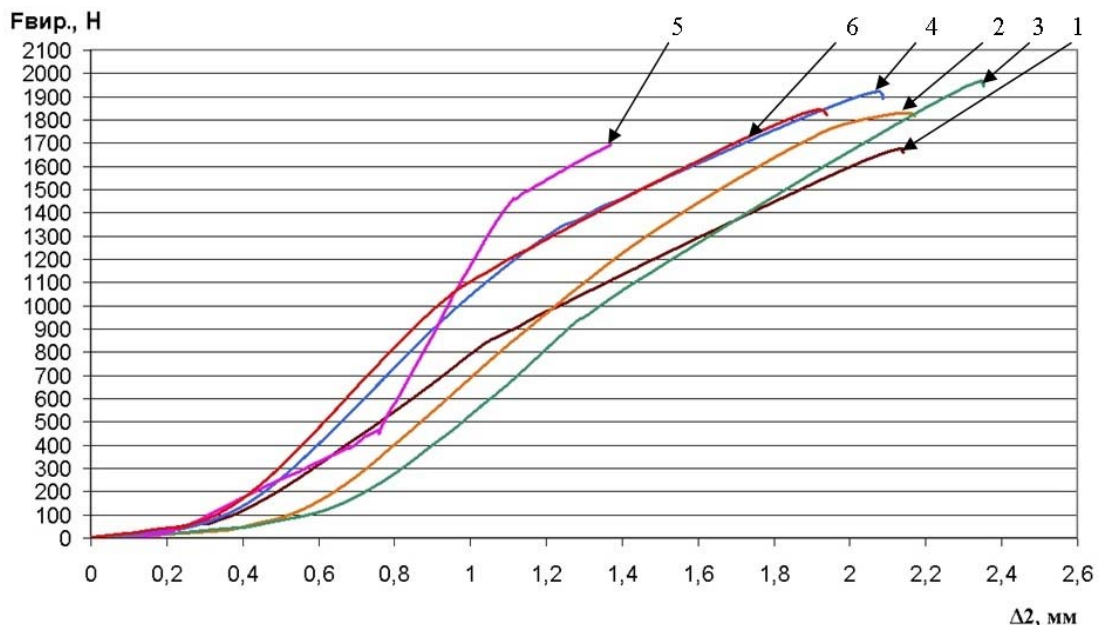


Рис.4 Діаграми залежності технологічного зусилля вирубання отвору $F_{вир}$ для різних матеріалів від глибини занурення Δ_2 пробійника з діаметром ріжучого леза 8 мм в матеріал та вирубну плиту: 1 – шкіра для верху взуття ДСТУ 27294 ялівка середня; 2 – штучна шкіра; 3 – сукно, дубльоване бортовою тканиною; 4 – джинсова тканина; 5 – бавовняна тканина; 6 – взуттєва кирза ГОСТ 16119-70

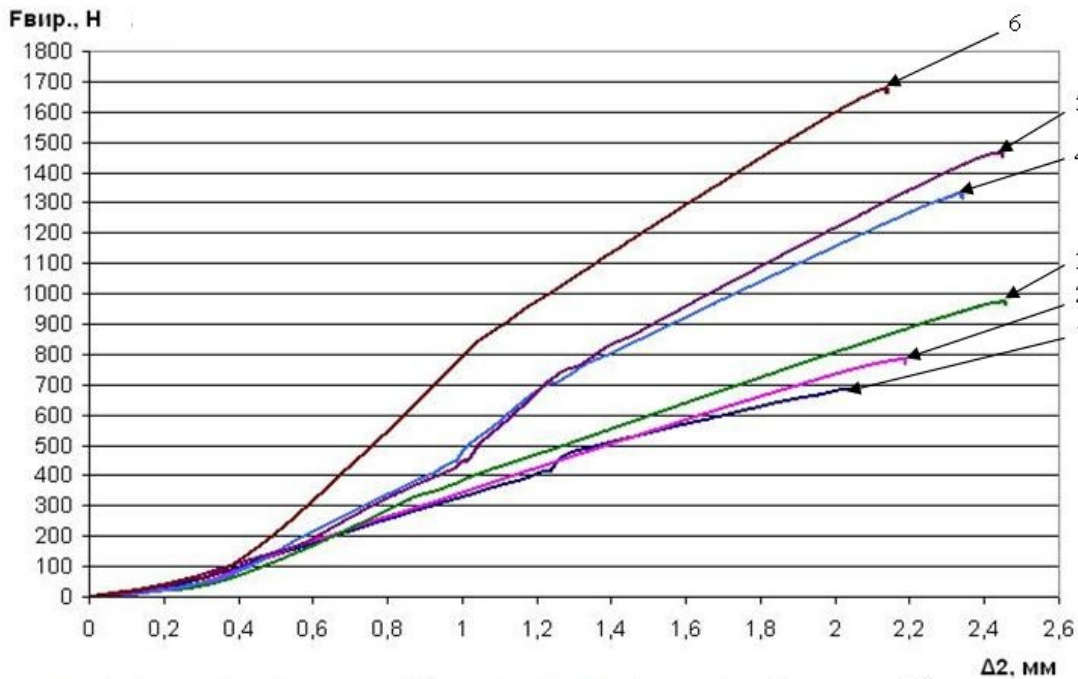


Рис.5 Діаграми залежності технологічного зусилля вирубання отвору $F_{вир.}$ в шкірі верху взуття ДСТУ 27294 ялівка середня від глибини занурення Δ_2 пробійника з різним діаметром ріжучого леза в матеріал та вирубну плиту: 1 – діаметр ріжучого леза пробійника 2 мм; 2 - діаметр ріжучого леза пробійника 3 мм; 3 - діаметр ріжучого леза пробійника 4 мм; 4 - діаметр ріжучого леза пробійника 5 мм; 5 - діаметр ріжучого леза пробійника 6 мм; 6 - діаметр ріжучого леза пробійника 8 мм

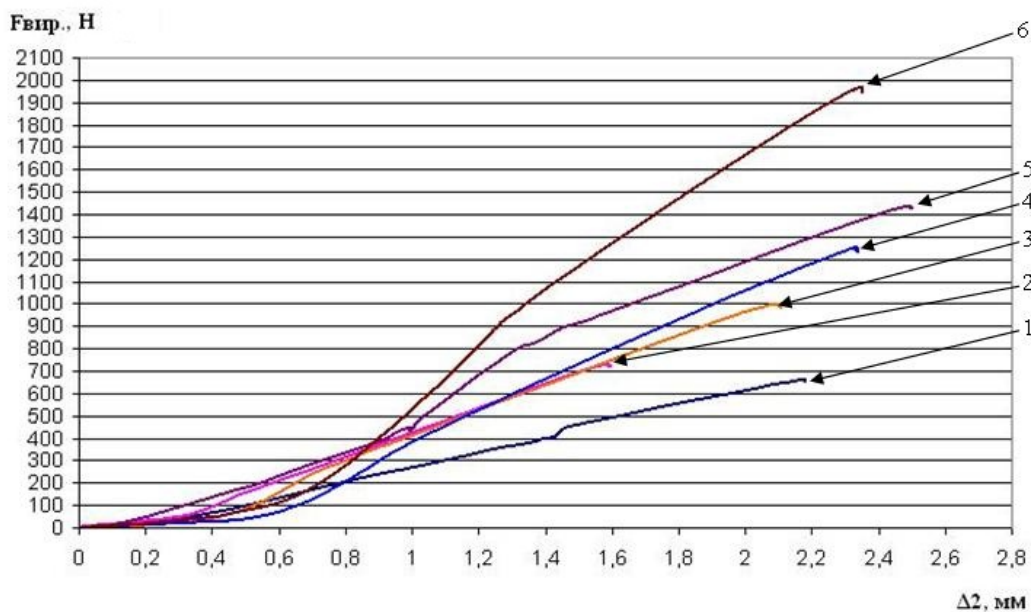


Рис.6 Діаграми залежності технологічного зусилля вирубання отвору $F_{вир.}$ в sukні, дубльованому бортовою тканиною, від глибини занурення Δ_2 пробійника з різним діаметром ріжучого леза в матеріал та вирубну плиту: 1 – діаметр ріжучого леза пробійника 2 мм; 2 - діаметр ріжучого леза пробійника 3 мм; 3 - діаметр ріжучого леза пробійника 4 мм; 4 - діаметр ріжучого леза пробійника 5 мм; 5 - діаметр ріжучого леза пробійника 6 мм; 6 - діаметр ріжучого леза пробійника 8 мм

Аналіз отриманих діаграм дав змогу зробити висновок про характер зміни технологічного зусилля при зануренні пробійника в матеріал. При вирубванні отворів технологічне зусилля $F_{вир.}$ наростає практично пропорційно та досягає свого максимального значення в кінці виконання даної технологічної операції. Тому для визначення максимального технологічного зусилля вирубання отвору можна використати спрощену емпіричну формулу Капустіна І.І. [7]:

$$F_{вир.} = qLk_{\Delta}k_{\beta}k_{\nu}, \quad (1)$$

де q - погонне зусилля вирубання, Н/мм; L - периметр леза пробійника, м; k_{Δ} - коефіцієнт, який враховує притуплення леза різачка; k_{β} - коефіцієнт, який враховує кут загострення леза різачка; k_{ν} -

коефіцієнт, який враховує швидкість процесу вирубання.

На основі отриманих експериментальних даних по вирубанню отвору в вибраних матеріалах пробійниками з різним діаметром ріжучого леза та теоретичних розрахунків за формулою (1), було побудовано діаграми залежностей максимальних експериментальних та теоретичних технологічних зусиль вирубання отвору від діаметра ріжучого леза пробійника. Для прикладу на рис.7 приведено отримані діаграми по вирубанню отвору в матеріалі сукно.

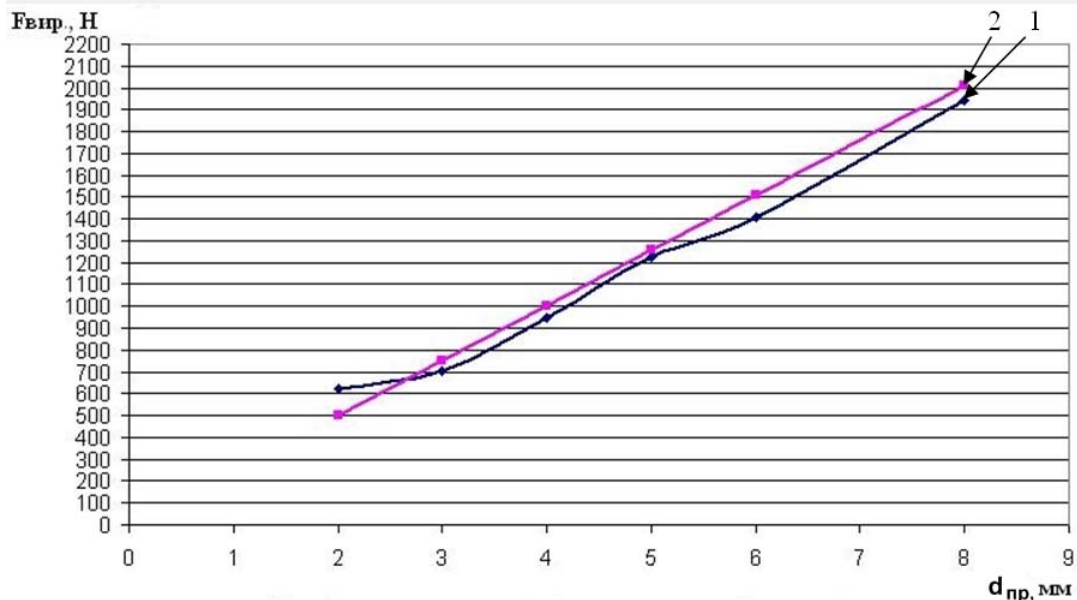


Рис.7 Діаграми залежності максимального технологічного зусилля вирубання отвору $F_{вир}$ в сукні, дубльованому бортовою тканиною, від діаметра ріжучого леза $d_{пр}$ пробійника: 1-експериментальна крива; 2-теоретична крива

Проаналізувавши отримані експериментальні та теоретичні значення максимального технологічного зусилля вирубання отвору в різних матеріалах, було визначено максимальну похибку між ними. При вирубанні отворів пробійниками з діаметром ріжучого леза 2 мм у всіх досліджуваних типах матеріалів, окрім взуттєвої кирзи, похибка складає більше 20 %. При вирубанні отворів у тих самих матеріалах пробійниками з діаметром ріжучого леза 3, 4, 5, 6 та 8 мм максимальна похибка становить 12,95%, що лежить в межах допустимого. Таку особливість отриманих результатів експериментальних досліджень, на нашу думку, можна пояснити тим, що при вирубанні отворів малого діаметру – 2 мм матеріал стискається та деформується сильніше, ніж при вирубанні отворів більших діаметрів. Внаслідок цього висічка діаметром 2 мм, в порівнянні з висічками більших діаметрів, має деформацію по висоті та заокруглення на верхній частині. Це підтверджують і результати досліджень, отримані авторами статті [9]. Таким чином, при вирубанні отворів діаметром 2 мм матеріал піддається впливу факторів, які значно збільшують опір занурення пробійника в матеріал та вирубну плиту і дія яких не врахована формулою 1.

Взуттєва кирза, завдяки особливостям своєї структурної побудови, не зазнає такого сильного стискання та деформації, як інші типи матеріалів при вирубанні отворів діаметром 2 мм, тому й похибка між експериментальними та розрахунковими значеннями в цьому випадку склала приблизно 6%.

Таким чином, формулу (1) можна використовувати для розрахунку максимальних технологічних зусиль вирубання отворів під металеву фурнітуру пробійниками з діаметром ріжучого леза 2 мм – для взуттєвої кирзи та матеріалів подібних за властивостями до неї, а також для матеріалів шкіри верху взуття ДСТУ 27294 ялівка середня, штучної шкіри, сукна, джинсової та бавовняної тканин, взуттєвої кирзи ГОСТ 16119-70 та інших матеріалів, подібних за властивостями до них, пробійниками з діаметром ріжучого леза більше 3 мм.

Роботу вирубання отвору під металеву фурнітуру можна розрахувати за формулою [8]:

$$A_{вир} = \int F_{вир.мит} \cdot dz, \quad (2)$$

де $F_{вир.мит}$ - миттєве значення технологічного зусилля вирубання отвору, Н; dz – елементарна глибина занурення пробійника у матеріал та вирубну плиту.

Для того, щоб знати миттєве значення технологічного зусилля вирубання отвору, необхідно мати рівняння кривої, що описує закон зміни зусилля вирубання отвору при зануренні пробійника в матеріал.

Аналіз отриманих діаграм, як вже відмічалось, показав, що технологічне зусилля вирубання отвору в різних матеріалах змінюється практично пропорційно та досягає максимального значення

$F_{вир.макс.}$ при повному вирубванні деталі. Тому в подальшому для розрахунку роботи $A_{вир.}$ робимо припущення, що при зануренні пробійника в матеріал технологічне зусилля зростає пропорційно та досягає максимального значення $F_{вир.макс.}$ при повному вирубванні деталі.

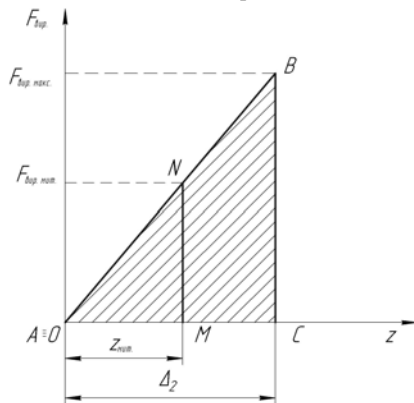


Рис.8. Схема для визначення роботи вирубвання $A_{вир.}$

Враховуючи те, що закон зміни технологічного зусилля вирубвання отвору в матеріалі можна описати рівнянням прямої AB, то корисна робота, необхідна для виконання даної технологічної операції, дорівнює площі трикутника ABC (рис.8). Миттєве значення роботи дорівнює площі трикутника ANM.

Провівши відповідні математичні підстановки та перетворення, було отримано вираз для визначення роботи вирубвання отвору:

$$A_{вир.} = \int_0^{\Delta_2} \frac{F_{вир.макс.} \cdot z_{мит.}}{\Delta_2} dz = \int_0^{\Delta_2} \frac{qLk_{\Delta}k_{\beta}k_{\nu}z_{мит.}}{\Delta_2} dz \quad (3)$$

Проінтегрувавши вираз (3), отримаємо:

$$A_{вир.} = \frac{1}{2} qLk_{\Delta}k_{\beta}k_{\nu}\Delta_2 = \frac{1}{2} F_{вир.макс.}\Delta_2 \quad (4)$$

З метою перевірки того, чи буде достатньо роботи вирубвання отвору, розрахованої за формулою (4) для виконання даної технологічної операції, було проведено визначення роботи вирубвання отвору, отриманої експериментальним шляхом. Визначення даної роботи проводилося по величинах площ діаграм „максимальне технологічне зусилля вирубвання отворів у матеріалі – глибина занурення пробійника в матеріал та вирубну плиту” за допомогою програми Microsoft Office Excel.

На основі отриманих значень теоретичної та експериментальної роботи вирубвання отвору в матеріалах, що досліджувалися пробійниками з різними діаметрами ріжучого леза, було побудовано діаграми залежностей корисних робіт $A_{вир.}$ вирубвання отвору від діаметра ріжучого леза пробійника. На рис.9 для прикладу представлено діаграму залежностей експериментальних та теоретичних корисних робіт вирубвання $A_{вир.}$ отвору у взуттєвій кирзі ГОСТ 16119-70 від діаметра ріжучого леза $d_{пр}$ пробійника.

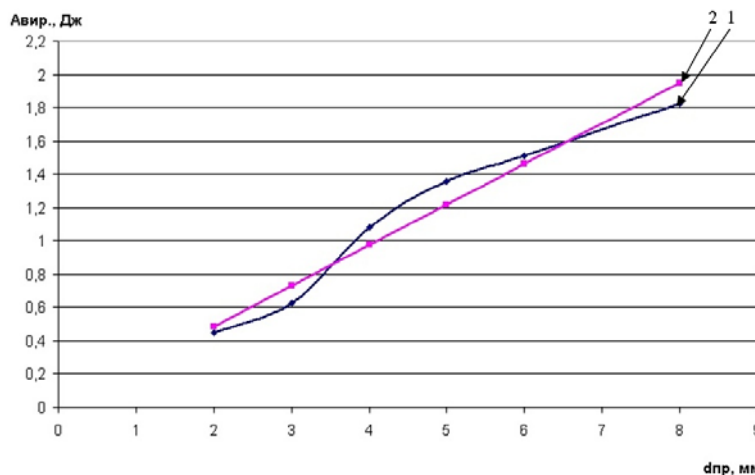


Рис.9 Діаграма залежності експериментальних та теоретичних корисних робіт вирубвання отвору у взуттєвій кирзі ГОСТ 16119-70 від діаметра ріжучого леза $d_{пр}$ пробійника: 1 –експериментальна крива; 2 –теоретична крива

Проаналізувавши отримані результати, можна зробити висновок про те, що розбіжність між теоретичним значенням роботи вирубвання отвору і експериментальним лежить в межах допустимої похибки. Отже, формулу (4) можна рекомендувати для визначення корисної роботи вирубвання отворів у матеріалах.

Висновок

На основі вище викладеного матеріалу можна зробити висновок, що проведені дослідження операції вирубвання отворів під металеву фурнітуру у матеріалах дало змогу встановити закономірності протікання даної операції, визначити технологічні зусилля та роботу вирубвання отвору в матеріалі, необхідну в подальшому для проектування пристрою для встановлення металевої фурнітури у виробі легкої промисловості.

1. Чумакова С.В. Аналітичний огляд способів та обладнання для встановлення металевої фурнітури у виробі легкої промисловості / Світлана Чумакова, Олег Поліщук // Вісник КНУТД. – 2010. – №5, т.2. – С. 142-148.
2. Поліщук О.С. Перспективи застосування імпульсного лінійного електромагнітного приводу в пресовому обладнанні для вставки металевої фурнітури при виготовленні виробів легкої промисловості / О.С. Поліщук, Д.В. Прибега, С.В. Чумакова // Вісник ХНУ. – 2009. - №5. – С.11-14.
3. Поліщук О.С. Використання інформаційних технологій "National Instruments" для лабораторних і наукових досліджень машин легкої промисловості та електропобутової техніки / О.С. Поліщук, С.Л. Горященко, Д.В. Прибега // Вісник ХНУ. – 2008. – №2. – С. 175-180.
4. Стронгин Б.М. Конструирование технологической оснастки : [учебник для средних специальных учебных заведений легкой промышленности] / Стронгин Б.М. – Москва: Легкая и пищевая промышленность, 1983. – 104 с.
5. Прибега Д.В. Удосконалення технології розкрюювання та перфорування деталей верху взуття: дис. ... кандидата технічних наук: 05.19.06 / Прибега Дмитро Володимирович. – Хмельницький, 2006. – 178 с.
6. Абрамов В.Ф., Костылева В.В., Литвин Е.В., Соколов В.Н., Соколов И.В. и др. Технологические процессы производства изделий легкой промышленности. Часть 1. / Под общей ред. проф., д.т.н. Фукина В.А./: – М.: Московский государственный университет дизайна и технологии, 2003. – 572 с.
7. Базюк Г.П. Резание и режущий инструмент в швейном производстве / Базюк Г.П. – Москва: Легкая индустрия, 1980. – 192 с.
8. Поліщук О.С. Підвищення ефективності застосування пресового обладнання в легкій промисловості: дис. ... кандидата технічних наук: 05.05.10/ Поліщук Олег Степанович. – Київ, 2001. – 145 с.
9. Кармаліта А.К. Дослідження процесу перфорування деталей взуття / А.К. Кармаліта, Є.Р.Пильник, Д.В.Прибега // Вісник ХНУ. – 2010. - №3. – С.95-98.

Надійшла 26.9.2011 р.

УДК 519.832.4

В.В. РОМАНЮК

Хмельницький національний університет

КОНТИНУУМ ОПТИМАЛЬНИХ СТРАТЕГІЙ ПРОЕКТУВАЛЬНИКА У МОДЕЛІ УСУНЕННЯ ЧОТИРЬОХЕЛЕМЕНТНИХ НЕВИЗНАЧЕНОСТЕЙ З ЧАСТКОВОЮ НЕДООЦІНКОЮ ЇХ ВЕРХНІХ МЕЖ ЯК АНТАГОНІСТИЧНІЙ ГРИ НА ШЕСТИВИМІРНОМУ ГІПЕРПАРАЛЕЛЕПЕДІ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ КОНСТРУЮВАННЯ ЧОТИРЬОХОПОРНОЇ ПЛАТФОРМИ

Розглядається проблема усунення невизначеностей при частковій недооцінці їх верхніх меж. Доводяться твердження про континууми оптимальних стратегій проектувальника в антагоністичній грі на шестивимірному гіперпаралелепеді для оптимізації конструювання чотирьохопорної платформи.

There is investigated a problem of removing uncertainties by partial underestimation of their upper boundaries. There are proved claims on continuums of the projector optimal strategies in the antagonistic game on six-dimensional hyperparallelepiped for optimizing the four-propped platform construction.

Ключові слова: опорна платформа, площа поперечного перетину, часткова невизначеність, опукла антагоністична гра, шестивимірний гіперпаралелепед, оптимальна стратегія проектувальника, часткова недооцінка.

Вступ та узагальнений опис проблематики

Вертикальні опорні або горизонтальні з'єднувальні платформи є одним з найважливіших вузлів монтажних конструкцій. Найбільш часто використовують чотири опори, адже виготовляти опору суцільною і збитково, і не вигідно з точки зору збільшення масогабаритів, що особливо небажано для багатопверхових вертикальних опорних конструкцій. Розрахунок площі поперечного перетину (ППП) опор ведеться, очевидно, з урахуванням передбачуваного навантаження на платформу. Але бувають такі експлуатаційні умови, що навантаження на кожну з чотирьох опор є різним, а його оцінки можливо дати тільки як інтервали або відрізки. Тоді величини тиску та ППП нормуються так, що сумарне навантаження на платформу і сумарні ППП дорівнюють одиницям: тиск на i -ту опору

$$x_i \in [a_i; b_i] \subset (0; 1) \subset [0; 1] \quad (1)$$

та її ППП

$$y_i \in [a_i; b_i] \subset (0; 1) \subset [0; 1] \quad (2)$$

при $\mu_{\mathbb{R}}([a_i; b_i]) > 0 \quad \forall i = \overline{1, 4}$ та

$$\sum_{i=1}^4 x_i = 1, \quad \sum_{i=1}^4 y_i = 1. \quad (3)$$

Якщо $r_i(x_i, y_i)$ є рівнем або показником потенційного перевантаження на i -ту опору при експлуатації платформи, то моделлю усунення $\{[a_i; b_i]\}_{i=1}^4$ -невизначеностей є використання проектувальником оптимальної стратегії (ОС) другого гравця в антагоністичній грі (АГ) з ядром

$$\max\left(\{r_i(x_i, y_i)\}_{i=1}^4\right) = T(\mathbf{X}, \mathbf{Y}) = T(x_1, x_2, x_3; y_1, y_2, y_3) \quad (4)$$

на декартовому добутку

$$\mathbf{X} \times \mathbf{Y} = \prod_{p=1}^2 [a_p; b_p] \times [a_3; b_3] = \prod_{p=1}^2 \left(\prod_{d=1}^3 [a_d; b_d] \right) \subset \prod_{l=1}^6 (0; 1) \subset \prod_{l=1}^6 [0; 1] \subset \mathbb{R}^6 \quad (5)$$

паралелепіеда

$$\mathbf{X} = [a_1; b_1] \times [a_2; b_2] \times [a_3; b_3] = \prod_{d=1}^3 [a_d; b_d] \subset \prod_{d=1}^3 (0; 1) \subset \prod_{d=1}^3 [0; 1] \subset \mathbb{R}^3 \quad (6)$$

чистих стратегій

$$\mathbf{X} = [x_1 \quad x_2 \quad x_3] \in [a_1; b_1] \times [a_2; b_2] \times [a_3; b_3] = \mathbf{X} \quad (7)$$

першого гравця і паралелепіеда

$$\mathbf{Y} = [a_1; b_1] \times [a_2; b_2] \times [a_3; b_3] = \prod_{d=1}^3 [a_d; b_d] \subset \prod_{d=1}^3 (0; 1) \subset \prod_{d=1}^3 [0; 1] \subset \mathbb{R}^3 \quad (8)$$

чистих стратегій

$$\mathbf{Y} = [y_1 \quad y_2 \quad y_3] \in [a_1; b_1] \times [a_2; b_2] \times [a_3; b_3] = \mathbf{Y} \quad (9)$$

другого гравця, де змінні x_4 й y_4 завдяки (3) виключаються. Визначення ОС проектувальника, якщо така існуватиме в АГ з ядром (4) на гіперпаралелепіеді (5), і становить описувану проблему, хоча питання практичної реалізації змішаної ОС у такій ситуації потребуватиме глибшого дослідження.

Огляд першоджерел та виділення невирішеного питання

В [1] зазначається про модель відносного (нормованого) перевантаження i -ї опори як $r_i(x_i, y_i) = x_i y_i^{-2}$, звідки ядро (4) розглядуваної АГ на гіперпаралелепіеді (5) набуває виду

$$T(\mathbf{X}, \mathbf{Y}) = T(x_1, x_2, x_3; y_1, y_2, y_3) = \max\left(\{r_i(x_i, y_i)\}_{i=1}^4\right) = \max\left\{x_1 y_1^{-2}, x_2 y_2^{-2}, x_3 y_3^{-2}, \frac{1 - x_1 - x_2 - x_3}{(1 - y_1 - y_2 - y_3)^2}\right\}. \quad (10)$$

Зазначається, що оскільки функції $\{r_i(x_i, y_i)\}_{i=1}^4$ є строго опуклими функціями змінних $\{y_i\}_{i=1}^4$, то АГ з ядром (10) на гіперпаралелепіеді (5) є опуклою, й у ній проектувальник має чисту ОС

$$\mathbf{Y}_* = [y_1^* \quad y_2^* \quad y_3^*] \in [a_1; b_1] \times [a_2; b_2] \times [a_3; b_3] = \mathbf{Y}, \quad (11)$$

завдяки якій можливо розподілити ППП опор раціональним чином як компоненти ОС (11), причому

$y_4^* = 1 - \sum_{d=1}^3 y_d^*$. Такий результат мінімізації максимальних перевантажень є відображенням відомого

принципу рівномірності [1, с. 258]. Тоді, коли АГ з ядром (10) на гіперпаралелепіеді (5) виявляється умовно строго (або псевдострого) опуклою (тобто її ядро як функція від чистих стратегій другого гравця має єдину точку мінімуму), проектувальник має єдину чисту ОС (11), і питання розподілення ППП опор стає вирішеним. Утім, за деяких умов ядро (10) на гіперпаралелепіеді (5) може не бути навіть й умовно строго опуклою функцією чистих стратегій (9), чому зазвичай передують некоректне [2, 3] сегментне оцінювання $\{[a_i; b_i]\}_{i=1}^4$ -невизначеностей. А питання визначення ОС (11) у таких випадках є досі невисвітленим.

Мета статті та завдання для її досягнення

Однією з умов, що викликають зміну звичного мінімаксного порядку розв'язування АГ з ядром (10) на гіперпаралелепіеді (5), є недооцінка одного або двох з правих кінців $\{[a_d; b_d]\}_{d=1}^3$ -невизначеностей (часткова недооцінка), котрі попередньо задаються. Тому мета статті полягає у знаходженні ОС (11) саме для такої ситуації. Для досягнення поставленої мети слід показати, коли розглядувана АГ перестає бути умовно строго опуклою і, відштовхуючись від цього, визначити оптимальну поведінку проектувальника у випадку вказаної часткової недооцінки верхніх меж невідомостей.

Умови, за яких в АГ з ядром (10) на гіперпаралелепіеді (5) проектувальник має континуум ОС

Теорема 1. Якщо в АГ з ядром (10) на гіперпаралелепіеді (5) $\exists k \in \{1, 3\}$ таке, що

$$\frac{\sqrt{b_k}}{\sum_{d=1}^3 \sqrt{b_d} + \sqrt{1 - \sum_{d=1}^3 a_d}} > b_k, \quad (12)$$

причому серед значень $\{b_d\}_{d=1}^3$ є хоча б два неоднакових, то за умов

$$\frac{\sqrt{b_r}}{\sum_{d=1}^3 \sqrt{b_d} + \sqrt{1 - \sum_{d=1}^3 a_d}} \geq a_r, \quad \forall r \in \{\overline{1, 3}\} \setminus \{k\} \quad (13)$$

у цій грі проектувальник має континуум ОС (11).

Доведення. Умовою опуклості АГ з ядром (10) на гіперпаралелепієді (5) є

$$\frac{\partial^2}{\partial y_d^2} T(\mathbf{X}, \mathbf{Y}) \geq 0 \quad \forall \mathbf{X} \in \mathbf{X} \text{ та } \forall \mathbf{Y} \in \mathbf{Y} \text{ при } d = \overline{1, 3}. \quad (14)$$

Зауважимо, що функція (10) не є диференційовною у точках паралелепієда (8), спільних для гіперболічних поверхонь (ГБП) під знаком максимуму у (10). Але множина таких точок складається з не більше, ніж з шести ліній, а отже, вона є нуль-вимірною на \mathbb{R}^3 . Тому майже скрізь на (8) перші частинні похідні

$$\frac{\partial}{\partial y_d} T(\mathbf{X}, \mathbf{Y}) \in \left\{ -2x_d y_d^{-3}, 0, \frac{2(1-x_1-x_2-x_3)}{(1-y_1-y_2-y_3)^3} \right\} \quad \forall \mathbf{X} \in \mathbf{X} \text{ та } \forall \mathbf{Y} \in \mathbf{Y} \text{ при } d = \overline{1, 3} \quad (15)$$

за припущення існування аргументу y_d у функції $T(\mathbf{X}, \mathbf{Y})$. І тоді другі частинні похідні

$$\frac{\partial^2}{\partial y_d^2} T(\mathbf{X}, \mathbf{Y}) \in \left\{ 6x_d y_d^{-4}, 0, \frac{6(1-x_1-x_2-x_3)}{(1-y_1-y_2-y_3)^4} \right\} \quad \forall \mathbf{X} \in \mathbf{X} \text{ та } \forall \mathbf{Y} \in \mathbf{Y} \text{ при } d = \overline{1, 3} \quad (16)$$

майже скрізь на (8). На нуль-вимірній множині, де функція (10) не є диференційовною, її перші частинні похідні (15) як функції від аргументів $\{y_d\}_{d=1}^3$ стрибкоподібно збільшують свої значення так, що ліві похідні завжди менші за праві. Тому там значення других похідних є нескінченно великими, що не суперечить умові опуклості (14). Якщо АГ з ядром (10) на гіперпаралелепієді (5) є опуклою, то

$$\begin{aligned} \min_{\mathbf{Y} \in \mathbf{Y}} \max_{\mathbf{X} \in \mathbf{X}} T(\mathbf{X}, \mathbf{Y}) &= \min_{\mathbf{Y} \in \mathbf{Y}} \max_{\mathbf{X} \in \mathbf{X}} \left\{ \max \left\{ x_1 y_1^{-2}, x_2 y_2^{-2}, x_3 y_3^{-2}, \frac{1-x_1-x_2-x_3}{(1-y_1-y_2-y_3)^2} \right\} \right\} = \\ &= \min_{\mathbf{Y} \in \mathbf{Y}} \left(\max \left\{ \max_{x_1 \in [a_1; b_1]} \{x_1 y_1^{-2}\}, \max_{x_2 \in [a_2; b_2]} \{x_2 y_2^{-2}\}, \max_{x_3 \in [a_3; b_3]} \{x_3 y_3^{-2}\}, \max_{\mathbf{X} \in \mathbf{X}} \left\{ \frac{1-x_1-x_2-x_3}{(1-y_1-y_2-y_3)^2} \right\} \right\} \right) = \\ &= \min_{\mathbf{Y} \in \mathbf{Y}} \left(\max \left\{ b_1 y_1^{-2}, b_2 y_2^{-2}, b_3 y_3^{-2}, \frac{1-a_1-a_2-a_3}{(1-y_1-y_2-y_3)^2} \right\} \right), \end{aligned} \quad (17)$$

де припускається, що оптимальне значення гри

$$v_{\text{opt}} = b_1 (y_1^*)^{-2} = b_2 (y_2^*)^{-2} = b_3 (y_3^*)^{-2} = \frac{1-a_1-a_2-a_3}{(1-y_1^*-y_2^*-y_3^*)^2}, \quad (18)$$

звідки

$$\begin{aligned} 1-y_1^*-y_2^*-y_3^* &= \sqrt{(1-a_1-a_2-a_3)v_{\text{opt}}^{-1}}, \quad y_d^* = \sqrt{b_d v_{\text{opt}}^{-1}} \quad \forall d = \overline{1, 3}, \\ 1 &= \sum_{d=1}^3 \sqrt{b_d v_{\text{opt}}^{-1}} + \sqrt{(1-a_1-a_2-a_3)v_{\text{opt}}^{-1}} = \sqrt{v_{\text{opt}}^{-1}} \left(\sum_{d=1}^3 \sqrt{b_d} + \sqrt{1 - \sum_{d=1}^3 a_d} \right), \\ v_{\text{opt}} &= \left(\sum_{d=1}^3 \sqrt{b_d} + \sqrt{1 - \sum_{d=1}^3 a_d} \right)^2, \end{aligned} \quad (19)$$

$$y_k^* = \frac{\sqrt{b_k}}{\sqrt{b_1} + \sqrt{b_2} + \sqrt{b_3} + \sqrt{1-a_1-a_2-a_3}} = \frac{\sqrt{b_k}}{\sum_{d=1}^3 \sqrt{b_d} + \sqrt{1 - \sum_{d=1}^3 a_d}}, \quad k = \overline{1, 3}. \quad (20)$$

Звісно, тільки за умов

$$\frac{\sqrt{b_k}}{\sum_{d=1}^3 \sqrt{b_d} + \sqrt{1 - \sum_{d=1}^3 a_d}} \in [a_k; b_k] \quad \forall k = \overline{1, 3} \quad (21)$$

значення (20) є компонентами єдиної ОС (11), а припущення (18) справджується. Та якщо $\exists k \in \{\overline{1, 3}\}$ таке, що виконано (12), рівність (18) виконуватиметься за межами паралелепіпеда (8). Тоді, за умови коректних оцінок лівих кінців $\{[a_d; b_d]\}_{d=1}^3$ -невизначеностей як (13), які б компоненти y_k^* ми не брали у межах паралелепіпеда (8), буде

$$b_k (y_k^*)^{-2} \geq b_r (y_r^*)^{-2} \quad \forall r \in \{\overline{1, 3}\} \setminus \{k\}, \quad b_k (y_k^*)^{-2} \geq \frac{1 - a_1 - a_2 - a_3}{(1 - y_1^* - y_2^* - y_3^*)^2} \quad (22)$$

для всіх $\mathbf{Y} \in \mathbf{Y}$, за яких $v_{\text{opt}} = \max_{k \in \{\overline{1, 3}\}} \{b_k (y_k^*)^{-2}\}$, адже знаменник у дробі $b_k (y_k^*)^{-2}$ знижуватиметься, а взяття компонент $\{y_r^*\}_{r \in \{\overline{1, 3}\} \setminus \{k\}}$ такими, що $b_r (y_r^*)^{-2}$ або $\frac{1 - a_1 - a_2 - a_3}{(1 - y_1^* - y_2^* - y_3^*)^2}$ перевищить $b_k (y_k^*)^{-2}$, суперечитиме принципу оптимальної поведінки другого гравця (ПОПДГ), де треба мінімізувати значення гри. Згідно з ПОПДГ для

$$k_{\text{max}} \in \arg \max_{k \in \{\overline{1, 3}\}} \{b_k (y_k^*)^{-2}\} \quad (23)$$

необхідно брати $y_{k_{\text{max}}}^* = b_{k_{\text{max}}}$. І тут зрозуміло, що при

$$y_r^* = \frac{\sqrt{b_r}}{\sum_{d=1}^3 \sqrt{b_d} + \sqrt{1 - \sum_{d=1}^3 a_d}} \quad \forall r \in \{\overline{1, 3}\} \setminus \{k\} \quad (24)$$

буде

$$v_{\text{opt}} = b_{k_{\text{max}}} (y_{k_{\text{max}}}^*)^{-2} = \frac{1}{b_{k_{\text{max}}}} > b_{k_{\text{nonmax}}} (y_{k_{\text{nonmax}}}^*)^{-2} > b_r (y_r^*)^{-2} > \frac{1 - a_1 - a_2 - a_3}{\left(1 - \sum_{n \in \arg \max_{k \in \{\overline{1, 3}\}} \{b_k (y_k^*)^{-2}\}} b_n - \sum_{m \in \arg \max_{k \in \{\overline{1, 3}\}} \{b_k (y_k^*)^{-2}\}} b_m - \sum_{t \in \{\overline{1, 3}\} \setminus \{k\}} y_t^*\right)^2} \quad (25)$$

$\forall r \in \{\overline{1, 3}\} \setminus \{k\}$ та $\forall k_{\text{nonmax}} \notin \arg \max_{k \in \{\overline{1, 3}\}} \{b_k (y_k^*)^{-2}\}$.

Якщо існує тільки одне $k \in \{\overline{1, 3}\}$ таке, що виконується (12), то (25) набуде наступної форми:

$$v_{\text{opt}} = b_k (y_k^*)^{-2} = \frac{1}{b_k} > b_r (y_r^*)^{-2} > \frac{1 - a_1 - a_2 - a_3}{\left(1 - b_k - \sum_{t \in \{\overline{1, 3}\} \setminus \{k\}} y_t^*\right)^2} \quad \forall r \in \{\overline{1, 3}\} \setminus \{k\}. \quad (26)$$

Звідси в (11) будуть компоненти $y_k^* = b_k$ й, окрім (24), також такі $\{y_r^*\}_{r \in \{\overline{1, 3}\} \setminus \{k\}}$, котрі задовольнятимуть нерівностям

$$v_{\text{opt}} = \frac{1}{b_k} \geq b_r (y_r^*)^{-2} \quad \forall r \in \{\overline{1, 3}\} \setminus \{k\} \quad (27)$$

та

$$v_{\text{opt}} = \frac{1}{b_k} \geq \frac{1 - a_1 - a_2 - a_3}{\left(1 - b_k - \sum_{t \in \{\overline{1, 3}\} \setminus \{k\}} y_t^*\right)^2}. \quad (28)$$

Тому у цьому випадку, очевидно, проектувальник має континуум ОС (11). Якщо існує два $k \in \{\overline{1, 3}\}$ таких, що виконується (12), то (25) переписеться у формі

$$v_{\text{opt}} = b_{k_{\text{max}}} (y_{k_{\text{max}}}^*)^{-2} = \frac{1}{b_{k_{\text{max}}}} > b_{k_{\text{nonmax}}} (y_{k_{\text{nonmax}}}^*)^{-2} > b_r (y_r^*)^{-2} > \frac{1 - a_1 - a_2 - a_3}{\left(1 - \sum_{n \in \arg \max_{k \in \{1,3\}} \{b_k (y_k^*)^{-2}\}} b_n - \sum_{m \notin \arg \max_{k \in \{1,3\}} \{b_k (y_k^*)^{-2}\}} b_m - y_r^* \right)^2}$$

$$\forall r \in \{1, 3\} \setminus \{k\} \quad \text{та} \quad \forall k_{\text{nonmax}} \notin \arg \max_{k \in \{1,3\}} \{b_k (y_k^*)^{-2}\}, \quad (29)$$

звідки випливає, що в (11) будуть компоненти $y_{k_{\text{max}}}^* = b_{k_{\text{max}}}$ та, окрім (24) й $y_{k_{\text{nonmax}}}^* = b_{k_{\text{nonmax}}}$, також такі y_r^* й $y_{k_{\text{nonmax}}}^*$, котрі задовольнятимуть нерівностям

$$v_{\text{opt}} = \frac{1}{b_{k_{\text{max}}}} \geq b_{k_{\text{nonmax}}} (y_{k_{\text{nonmax}}}^*)^{-2} \quad \forall k_{\text{nonmax}} \notin \arg \max_{k \in \{1,3\}} \{b_k (y_k^*)^{-2}\}, \quad (30)$$

$$v_{\text{opt}} = \frac{1}{b_{k_{\text{max}}}} \geq b_r (y_r^*)^{-2} \quad \forall r \in \{1, 3\} \setminus \{k\} \quad (31)$$

та

$$v_{\text{opt}} = \frac{1}{b_{k_{\text{max}}}} \geq \frac{1 - a_1 - a_2 - a_3}{\left(1 - \sum_{n \in \arg \max_{k \in \{1,3\}} \{b_k (y_k^*)^{-2}\}} b_n - \sum_{m \notin \arg \max_{k \in \{1,3\}} \{b_k (y_k^*)^{-2}\}} y_m^* - y_r^* \right)^2}. \quad (32)$$

Тому і тут очевидно, що проектувальник має континуум ОС (11). Якщо ж (12) виконується $\forall k = \overline{1, 3}$, то (25) предстане у формі

$$v_{\text{opt}} = b_{k_{\text{max}}} (y_{k_{\text{max}}}^*)^{-2} = \frac{1}{b_{k_{\text{max}}}} > b_{k_{\text{nonmax}}} (y_{k_{\text{nonmax}}}^*)^{-2} > \frac{1 - a_1 - a_2 - a_3}{\left(1 - \sum_{n \in \arg \max_{k \in \{1,3\}} \{b_k (y_k^*)^{-2}\}} b_n - \sum_{m \notin \arg \max_{k \in \{1,3\}} \{b_k (y_k^*)^{-2}\}} b_m \right)^2}$$

$$\forall k_{\text{nonmax}} \notin \arg \max_{k \in \{1,3\}} \{b_k (y_k^*)^{-2}\}, \quad (33)$$

де множина $\arg \max_{k \in \{1,3\}} \{b_k (y_k^*)^{-2}\}$ згідно з умовами твердження теореми є непорожньою, звідки випливає, що в (11) будуть компоненти $y_{k_{\text{max}}}^* = b_{k_{\text{max}}}$ та, окрім $y_{k_{\text{nonmax}}}^* = b_{k_{\text{nonmax}}}$, також такі $y_{k_{\text{nonmax}}}^*$, котрі задовольнятимуть нерівностям

$$v_{\text{opt}} = \frac{1}{b_{k_{\text{max}}}} \geq b_{k_{\text{nonmax}}} (y_{k_{\text{nonmax}}}^*)^{-2} \quad \forall k_{\text{nonmax}} \notin \arg \max_{k \in \{1,3\}} \{b_k (y_k^*)^{-2}\} \quad (34)$$

та

$$v_{\text{opt}} = \frac{1}{b_{k_{\text{max}}}} \geq \frac{1 - a_1 - a_2 - a_3}{\left(1 - \sum_{n \in \arg \max_{k \in \{1,3\}} \{b_k (y_k^*)^{-2}\}} b_n - \sum_{m \notin \arg \max_{k \in \{1,3\}} \{b_k (y_k^*)^{-2}\}} y_m^* \right)^2} \quad \forall k_{\text{nonmax}} \notin \arg \max_{k \in \{1,3\}} \{b_k (y_k^*)^{-2}\}. \quad (35)$$

Очевидно, що й у такому випадку проектувальник має континуум ОС (11). Теорему доведено.

Надалі випадок, коли (12) виконано $\forall k = \overline{1, 3}$ одночасно, не розглядатимемо, оскільки він відповідає повній недооцінці $\{[a_d; b_d]\}_{d=1}^3$ -невизначеностей. Для випадків же з частковою недооцінкою, коли існує одне або два $k \in \{1, 3\}$ таких, що виконано (12), знайдемо усі ОС (11).

**Континуум ОС (11) в АГ з ядром (10) на гіперпаралелепієді (5)
за умови існування єдиного $k \in \{1, 3\}$ у (12)**

Теорема 2. Якщо в АГ з ядром (10) на гіперпаралелепієді (5) існує єдине $k \in \{1, 3\}$ таке, що виконано (12), причому ліві кінці $\{[a_d; b_d]\}_{d=1}^3$ -невизначеностей оцінені коректно як (13), то проектувальник

має континуум ОС (11) з компонентами $y_k^* = b_k$ та

$$y_r^* \in \left[\frac{1}{2} \left(\sqrt{b_k b_r} + a_r + \left(\sqrt{b_k b_r} - a_r \right) \text{sign} \left(\sqrt{b_k b_r} - a_r \right) \right); b_r \right] \quad (36)$$

за умови

$$1 - b_k - \sqrt{b_k \left(1 - \sum_{d=1}^3 a_d \right)} \geq \sum_{r \in \{1, 3\} \setminus \{k\}} b_r \quad (37)$$

й

$$y_r^* \in \left[\frac{1}{2} \left(\sqrt{b_k b_r} + a_r + \left(\sqrt{b_k b_r} - a_r \right) \text{sign} \left(\sqrt{b_k b_r} - a_r \right) \right); y_r^{(\max)} \right] \quad (38)$$

за умови

$$1 - b_k - \sqrt{b_k \left(1 - \sum_{d=1}^3 a_d \right)} < \sum_{r \in \{1, 3\} \setminus \{k\}} b_r \quad (39)$$

при

$$\sum_{r \in \{1, 3\} \setminus \{k\}} y_r^{(\max)} = 1 - b_k - \sqrt{b_k \left(1 - \sum_{d=1}^3 a_d \right)}, \quad y_r^{(\max)} \in \left[\frac{1}{2} \left(\sqrt{b_k b_r} + a_r + \left(\sqrt{b_k b_r} - a_r \right) \text{sign} \left(\sqrt{b_k b_r} - a_r \right) \right); b_r \right], \quad (40)$$

де $r \in \{1, 3\} \setminus \{k\}$.

Доведення. Маємо співвідношення (26) для (24), де, згідно з Теоремою 1, $y_k^* = b_k$. З нерівності (27) відразу маємо

$$y_r^* \geq \sqrt{b_r b_k} \quad \forall r \in \{1, 3\} \setminus \{k\}. \quad (41)$$

Тепер розв'яжемо нерівність (28) відносно суми $\sum_{r \in \{1, 3\} \setminus \{k\}} y_r^*$. Маємо:

$$(1 - b_k)^2 - 2(1 - b_k) \sum_{r \in \{1, 3\} \setminus \{k\}} y_r^* + \left(\sum_{r \in \{1, 3\} \setminus \{k\}} y_r^* \right)^2 \geq b_k (1 - a_1 - a_2 - a_3), \quad (42)$$

$$\left(\sum_{r \in \{1, 3\} \setminus \{k\}} y_r^* \right)^2 - 2(1 - b_k) \sum_{r \in \{1, 3\} \setminus \{k\}} y_r^* + (1 - b_k)^2 - b_k (1 - a_1 - a_2 - a_3) \geq 0, \quad (43)$$

де дискримінантом відповідного квадратного рівняння

$$\left(\sum_{r \in \{1, 3\} \setminus \{k\}} y_r^* \right)^2 - 2(1 - b_k) \sum_{r \in \{1, 3\} \setminus \{k\}} y_r^* + (1 - b_k)^2 - b_k (1 - a_1 - a_2 - a_3) = 0 \quad (44)$$

є

$$D = 4(1 - b_k)^2 - 4 \left[(1 - b_k)^2 - b_k (1 - a_1 - a_2 - a_3) \right] = 4b_k (1 - a_1 - a_2 - a_3). \quad (45)$$

Звідси коренями рівняння (44) відносно невідомої суми $\sum_{r \in \{1, 3\} \setminus \{k\}} y_r^*$ є

$$\frac{2(1 - b_k) - \sqrt{D}}{2} = \frac{2(1 - b_k) - 2\sqrt{b_k (1 - a_1 - a_2 - a_3)}}{2} = 1 - b_k - \sqrt{b_k (1 - a_1 - a_2 - a_3)} \quad (46)$$

або

$$\frac{2(1 - b_k) + \sqrt{D}}{2} = \frac{2(1 - b_k) + 2\sqrt{b_k (1 - a_1 - a_2 - a_3)}}{2} = 1 - b_k + \sqrt{b_k (1 - a_1 - a_2 - a_3)}. \quad (47)$$

Значить, нерівність (28) або, що те саме, (42) чи (43) виконана при (37) або при

$$\sum_{r \in \{1, 3\} \setminus \{k\}} y_r^* \geq 1 - b_k + \sqrt{b_k (1 - a_1 - a_2 - a_3)}. \quad (48)$$

Але, беручи корінь (47), отримуватимемо

$$1 - b_k - \sum_{r \in \{1, 3\} \setminus \{k\}} y_r^* = 1 - b_k - \left(1 - b_k + \sqrt{b_k (1 - a_1 - a_2 - a_3)} \right) = -\sqrt{b_k (1 - a_1 - a_2 - a_3)} < 0, \quad (49)$$

тому корінь (47) не може бути сумою $\sum_{t \in \{1,3\} \setminus \{k\}} y_t^*$ і надалі не братиметься до уваги, а нерівність (48)

ніколи не виконується. Отже, за умови (37) можна брати довільні компоненти $\{y_r^*\}_{r \in \{1,3\} \setminus \{k\}}$ такі, щоб виконувалось (41), тобто буде (36). Якщо ж виконається (39), то максимальна сума компонент $\{y_r^*\}_{r \in \{1,3\} \setminus \{k\}}$ має дорівнювати лівій частині в (37), задовольняючи при цьому умові (41). А це дає (38) і (40), де $r \in \{1,3\} \setminus \{k\}$. Теорему доведено.

Слід зауважити, що доведена шойно теорема за своєю структурою може бути використана для визначення континууму ОС (11) за умови існування двох $k \in \{1,3\}$ таких, що виконуватиметься (12).

Континуум ОС (11) в АГ з ядром (10) на гіперпаралелепіпеді (5) за умов існування двох $k \in \{1,3\}$ у (12)

Теорема 3. Якщо в АГ з ядром (10) на гіперпаралелепіпеді (5) існують два $k \in \{1,3\}$ такі, що виконано (12), причому ліві кінці $\{[a_d; b_d]\}_{d=1}^3$ -невизначеностей оцінені коректно як (13), то проектувальник має континуум ОС (11) з компонентами $y_{k_{\text{nonmax}}}^* = b_{k_{\text{nonmax}}}$ для (23),

$$y_{k_{\text{nonmax}}}^* \in \left[\frac{1}{2} \left(\sqrt{b_{k_{\text{nonmax}}} b_{k_{\text{nonmax}}}} + a_{k_{\text{nonmax}}} + \left(\sqrt{b_{k_{\text{nonmax}}} b_{k_{\text{nonmax}}}} - a_{k_{\text{nonmax}}} \right) \text{sign} \left(\sqrt{b_{k_{\text{nonmax}}} b_{k_{\text{nonmax}}}} - a_{k_{\text{nonmax}}} \right) \right); b_{k_{\text{nonmax}}} \right] \quad (50)$$

для

$$k_{\text{nonmax}} \notin \arg \max_{k \in \{1,3\}} \{b_k (y_k^*)^{-2}\} \quad (51)$$

та

$$y_r^* \in \left[\frac{1}{2} \left(\sqrt{b_{k_{\text{nonmax}}} b_r} + a_r + \left(\sqrt{b_{k_{\text{nonmax}}} b_r} - a_r \right) \text{sign} \left(\sqrt{b_{k_{\text{nonmax}}} b_r} - a_r \right) \right); b_r \right] \quad (52)$$

за умови

$$1 - b_{k_{\text{nonmax}}} - \sqrt{b_{k_{\text{nonmax}}} \left(1 - \sum_{d=1}^3 a_d \right)} \geq b_{k_{\text{nonmax}}} + b_r \quad (53)$$

й

$$y_t^* \in \left[\frac{1}{2} \left(\sqrt{b_{k_{\text{nonmax}}} b_t} + a_t + \left(\sqrt{b_{k_{\text{nonmax}}} b_t} - a_t \right) \text{sign} \left(\sqrt{b_{k_{\text{nonmax}}} b_t} - a_t \right) \right); y_t^{(\text{max})} \right] \quad (54)$$

за умови

$$1 - b_{k_{\text{nonmax}}} - \sqrt{b_{k_{\text{nonmax}}} \left(1 - \sum_{d=1}^3 a_d \right)} < b_{k_{\text{nonmax}}} + b_r \quad (55)$$

при

$$y_r^{(\text{max})} + y_{k_{\text{nonmax}}}^{(\text{max})} = 1 - b_{k_{\text{nonmax}}} - \sqrt{b_{k_{\text{nonmax}}} \left(1 - \sum_{d=1}^3 a_d \right)},$$

$$y_t^{(\text{max})} \in \left[\frac{1}{2} \left(\sqrt{b_{k_{\text{nonmax}}} b_t} + a_t + \left(\sqrt{b_{k_{\text{nonmax}}} b_t} - a_t \right) \text{sign} \left(\sqrt{b_{k_{\text{nonmax}}} b_t} - a_t \right) \right); b_t \right], \quad (56)$$

де $t \in \{1,3\} \setminus \{k_{\text{nonmax}}\}$.

Доведення. Маємо співвідношення (29) для (24), де, згідно з Теоремою 1, $y_{k_{\text{nonmax}}}^* = b_{k_{\text{nonmax}}}$. З нерівностей (30) і (31) відразу маємо

$$y_{k_{\text{nonmax}}}^* \geq \sqrt{b_{k_{\text{nonmax}}} b_{k_{\text{nonmax}}}} \quad (57)$$

для (51) й

$$y_r^* \geq \sqrt{b_r b_{k_{\text{nonmax}}}} \quad \forall r \in \{1,3\} \setminus \{k\} \quad (58)$$

відповідно. Нерівність (32) перепишемо у виді

$$v_{\text{opt}} = \frac{1}{b_{k_{\text{nonmax}}}} \geq \frac{1 - a_1 - a_2 - a_3}{(1 - b_{k_{\text{nonmax}}} - y_{k_{\text{nonmax}}}^* - y_r^*)^2} \quad (59)$$

і розв'яжемо її відносно суми $y_{k_{\text{nonmax}}}^* + y_r^*$. Маємо аналогічну нерівності (43) нерівність

$$(y_{k_{\text{номмакс}}}^* + y_r^*)^2 - 2(1 - b_{k_{\text{макс}}})(y_{k_{\text{номмакс}}}^* + y_r^*) + (1 - b_{k_{\text{макс}}})^2 - b_{k_{\text{макс}}}(1 - a_1 - a_2 - a_3) \geq 0, \quad (60)$$

де дискримінантом відповідного квадратного рівняння

$$(y_{k_{\text{номмакс}}}^* + y_r^*)^2 - 2(1 - b_{k_{\text{макс}}})(y_{k_{\text{номмакс}}}^* + y_r^*) + (1 - b_{k_{\text{макс}}})^2 - b_{k_{\text{макс}}}(1 - a_1 - a_2 - a_3) = 0 \quad (61)$$

є

$$D = 4(1 - b_{k_{\text{макс}}})^2 - 4\left[(1 - b_{k_{\text{макс}}})^2 - b_{k_{\text{макс}}}(1 - a_1 - a_2 - a_3)\right] = 4b_{k_{\text{макс}}}(1 - a_1 - a_2 - a_3), \quad (62)$$

звідки коренями рівняння (61) відносно невідомої суми $y_{k_{\text{номмакс}}}^* + y_r^* \in$

$$\frac{2(1 - b_{k_{\text{макс}}}) - \sqrt{D}}{2} = \frac{2(1 - b_{k_{\text{макс}}}) - 2\sqrt{b_{k_{\text{макс}}}(1 - a_1 - a_2 - a_3)}}{2} = 1 - b_{k_{\text{макс}}} - \sqrt{b_{k_{\text{макс}}}(1 - a_1 - a_2 - a_3)} \quad (63)$$

або

$$\frac{2(1 - b_{k_{\text{макс}}}) + \sqrt{D}}{2} = \frac{2(1 - b_{k_{\text{макс}}}) + 2\sqrt{b_{k_{\text{макс}}}(1 - a_1 - a_2 - a_3)}}{2} = 1 - b_{k_{\text{макс}}} + \sqrt{b_{k_{\text{макс}}}(1 - a_1 - a_2 - a_3)}. \quad (64)$$

Значить, нерівність (59) або, що те саме, нерівність (60) виконана при (53) або при

$$y_{k_{\text{номмакс}}}^* + y_r^* \geq 1 - b_{k_{\text{макс}}} + \sqrt{b_{k_{\text{макс}}}(1 - a_1 - a_2 - a_3)}. \quad (65)$$

Але, беручи корінь (64), отримуватимемо

$$1 - b_{k_{\text{макс}}} - (y_{k_{\text{номмакс}}}^* + y_r^*) = 1 - b_{k_{\text{макс}}} - \left(1 - b_{k_{\text{макс}}} + \sqrt{b_{k_{\text{макс}}}(1 - a_1 - a_2 - a_3)}\right) = -\sqrt{b_{k_{\text{макс}}}(1 - a_1 - a_2 - a_3)} < 0, \quad (66)$$

тому корінь (64) не може бути сумою $y_{k_{\text{номмакс}}}^* + y_r^*$ і надалі не братиметься до уваги, а нерівність (65) ніколи не виконується. Отже, за умови (53) можна брати довільні компоненти $\{y_t^*\}_{t \in \{1, 3\} \setminus \{k_{\text{макс}}\}}$ такі, щоб виконувалось (57) і (58), тобто буде (50) для (51) і (52). Якщо ж виконається (55), то максимальна сума компонент $y_{k_{\text{номмакс}}}^*$ й y_r^* має дорівнювати лівій частині в (53), задовольняючи при цьому умовам (57) і (58). А це дає (54) і (56), де $t \in \{1, 3\} \setminus \{k_{\text{макс}}\}$. Теорему доведено.

Теорема 4. Якщо в АГ з ядром (10) на гіперпаралелепіпеді (5) існують два $k \in \{1, 3\}$ такі, що виконано (12), причому множина аргументів в (51) серед цих двох $k \in \{1, 3\}$ є порожньою, а ліві кінці $\{[a_d; b_d]\}_{d=1}^3$ -невизначеностей оцінені коректно як (13), то проектувальник має континуум ОС (11) з компонентами $y_k^* = b_k$ та компонентою (36) за умови

$$1 - \sum_{n \in \arg \max_{k \in \{1, 3\}} \{b_k (y_k^*)^{-2}\}} b_n - \sqrt{b_k \left(1 - \sum_{d=1}^3 a_d\right)} \geq b_r \quad (67)$$

й

$$y_r^* \in \left[\frac{1}{2} \left(\sqrt{b_k b_r} + a_r + \left(\sqrt{b_k b_r} - a_r \right) \text{sign} \left(\sqrt{b_k b_r} - a_r \right) \right); 1 - \sum_{n \in \arg \max_{k \in \{1, 3\}} \{b_k (y_k^*)^{-2}\}} b_n - \sqrt{b_k \left(1 - \sum_{d=1}^3 a_d\right)} \right] \quad (68)$$

за умови

$$1 - \sum_{n \in \arg \max_{k \in \{1, 3\}} \{b_k (y_k^*)^{-2}\}} b_n - \sqrt{b_k \left(1 - \sum_{d=1}^3 a_d\right)} < b_r, \quad (69)$$

де $r \in \{1, 3\} \setminus \{k\}$.

Доведення. У даному випадку, де множина аргументів в (23) буде двоелементною, нерівність (29) для (24) набуде вигляду

$$v_{\text{опт}} = b_k (y_k^*)^{-2} = \frac{1}{b_k} > b_r (y_r^*)^{-2} > \frac{1 - a_1 - a_2 - a_3}{\left(1 - \sum_{n \in \arg \max_{k \in \{1, 3\}} \{b_k (y_k^*)^{-2}\}} b_n - y_r^*\right)^2} \quad \forall r \in \{1, 3\} \setminus \{k\}, \quad (70)$$

де, згідно з Теоремою 1, $y_k^* = b_k$. З нерівності (27) відразу маємо (41). Нерівність (32) перепишемо у виді

$$v_{\text{opt}} = \frac{1}{b_k} \geq \frac{1 - a_1 - a_2 - a_3}{\left(1 - \sum_{n \in \arg \max_{k \in \{1,3\}} \{b_k (y_k^*)^{-2}\}} b_n - y_r^*\right)^2}. \quad (71)$$

і розв'яжемо її відносно компоненти y_r^* . Маємо нерівність

$$(y_r^*)^2 - 2 \left(1 - \sum_{n \in \arg \max_{k \in \{1,3\}} \{b_k (y_k^*)^{-2}\}} b_n\right) y_r^* + \left(1 - \sum_{n \in \arg \max_{k \in \{1,3\}} \{b_k (y_k^*)^{-2}\}} b_n\right)^2 - b_k (1 - a_1 - a_2 - a_3) \geq 0, \quad (72)$$

де дискримінантом відповідного квадратного рівняння

$$(y_r^*)^2 - 2 \left(1 - \sum_{n \in \arg \max_{k \in \{1,3\}} \{b_k (y_k^*)^{-2}\}} b_n\right) y_r^* + \left(1 - \sum_{n \in \arg \max_{k \in \{1,3\}} \{b_k (y_k^*)^{-2}\}} b_n\right)^2 - b_k (1 - a_1 - a_2 - a_3) = 0 \quad (73)$$

є

$$D = 4 \left(1 - \sum_{n \in \arg \max_{k \in \{1,3\}} \{b_k (y_k^*)^{-2}\}} b_n\right)^2 - 4 \left[\left(1 - \sum_{n \in \arg \max_{k \in \{1,3\}} \{b_k (y_k^*)^{-2}\}} b_n\right)^2 - b_k (1 - a_1 - a_2 - a_3) \right] = 4b_k (1 - a_1 - a_2 - a_3), \quad (74)$$

звідки коренями рівняння (73) відносно невідомої компоненти y_r^* є

$$\frac{2 \left(1 - \sum_{n \in \arg \max_{k \in \{1,3\}} \{b_k (y_k^*)^{-2}\}} b_n\right) - \sqrt{D}}{2} = \frac{2 \left(1 - \sum_{n \in \arg \max_{k \in \{1,3\}} \{b_k (y_k^*)^{-2}\}} b_n\right) - 2\sqrt{b_k (1 - a_1 - a_2 - a_3)}}{2} =$$

$$= 1 - \sum_{n \in \arg \max_{k \in \{1,3\}} \{b_k (y_k^*)^{-2}\}} b_n - \sqrt{b_k (1 - a_1 - a_2 - a_3)} \quad (75)$$

або

$$\frac{2 \left(1 - \sum_{n \in \arg \max_{k \in \{1,3\}} \{b_k (y_k^*)^{-2}\}} b_n\right) + \sqrt{D}}{2} = \frac{2 \left(1 - \sum_{n \in \arg \max_{k \in \{1,3\}} \{b_k (y_k^*)^{-2}\}} b_n\right) + 2\sqrt{b_k (1 - a_1 - a_2 - a_3)}}{2} =$$

$$= 1 - \sum_{n \in \arg \max_{k \in \{1,3\}} \{b_k (y_k^*)^{-2}\}} b_n + \sqrt{b_k (1 - a_1 - a_2 - a_3)}. \quad (76)$$

Значить, нерівність (71) або, що те саме, нерівність (72) виконана при (67) або при

$$y_r^* \geq 1 - \sum_{n \in \arg \max_{k \in \{1,3\}} \{b_k (y_k^*)^{-2}\}} b_n + \sqrt{b_k (1 - a_1 - a_2 - a_3)}. \quad (77)$$

Але, беручи корінь (76), отримуватимемо

$$1 - \sum_{n \in \arg \max_{k \in \{1,3\}} \{b_k (y_k^*)^{-2}\}} b_n - y_r^* = 1 - \sum_{n \in \arg \max_{k \in \{1,3\}} \{b_k (y_k^*)^{-2}\}} b_n - \left(1 - \sum_{n \in \arg \max_{k \in \{1,3\}} \{b_k (y_k^*)^{-2}\}} b_n + \sqrt{b_k (1 - a_1 - a_2 - a_3)}\right) =$$

$$= -\sqrt{b_k (1 - a_1 - a_2 - a_3)} < 0, \quad (78)$$

тому корінь (76) не може бути компонентою y_r^* і надалі не братиметься до уваги, а нерівність (77) ніколи не виконується. Отже, за умови (67) можна брати довільну компоненту y_r^* таку, щоб виконувалось (41), тобто буде (36). Якщо ж виконається (69), то це дасть (68), де $r \in \{1, 3\} \setminus \{k\}$. Теорему доведено.

Висновок і перспективи подальшого дослідження

Звичайно, доведені твердження чотирьох теорем можна об'єднувати в одну загальну теорему з твердженнями й умовами про континуум ОС проектувальника. Можна дати й означення тим ОС (11), компоненти яких задовольняють умовам доведених теорем, для подальшого оперування ними: якщо в АГ з ядром (10) на гіперпаралелепієді (5) $\exists k \in \{1, 3\}$ таке, що виконано (12), причому серед значень $\{b_d\}_{d=1}^3$ є хоча б два неоднакових, а ліві кінці $\{[a_d; b_d]\}_{d=1}^3$ -невизначеностей оцінені коректно як (13), то кожен ОС (11) називатимемо нерегулярною праворуч, де кожен її k -ту компоненту назвемо простою нерегулярною компонентою (ПНК) за умови $v_{\text{opt}} = \frac{1}{b_k}$, а кожен r -ту компоненту при $r \in \{1, 3\} \setminus \{k\}$ назвемо вільною або зміщеною нерегулярною компонентою (ВНК або ЗНК). Перспективи подальшого дослідження вбачаються у розгляді питань щодо випадків, коли не всі ліві кінці $\{[a_d; b_d]\}_{d=1}^3$ -невизначеностей оцінені коректно, де, можна припустити, не завжди буде континуум ОС (11). Крім того, питання єдиноможливого вибору проектувальником оптимальної поведінки [4] серед континууму його ОС (11) також залишається відкритим.

Література

1. Романюк В. В. Теорія антагоністичних ігор : [навчальний посібник] / Романюк В. В. – Львів : “Новий Світ – 2000”, 2010. – 294 с.
2. Романюк В. В. Про особливі компоненти оптимальної стратегії проектувальника у моделі дії нормованого одиничного навантаження на триколонну будівельну конструкцію / В. В. Романюк // Проблеми трибології. – 2011. – № 1. – С. 44 – 46.
3. Романюк В. В. Нерегулярна ліворуч оптимальна стратегія проектувальника першого степеня у моделі усунення чотирьохелементних невизначеностей як антагоністичній грі на шестивимірному гіперпаралелепієді для оптимізації конструювання чотирьохопорної платформи / В. В. Романюк // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2011. – № 4. – С. 74 – 82.
4. Романюк В. В. Питання виокремлення підмножини раціональних чистих стратегій гравців у деяких антагоністичних іграх / В. В. Романюк // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2009. – № 3 (17). – С. 47 – 52.

Надійшла 22.9.2011 р.

УДК 687.016.5: 572.7.087

А.Л. СЛАВІНСЬКА

Хмельницький національний університет

МЕХАНІЗМ ВИЗНАЧЕННЯ ОБСЯГУ ВИБІРКИ ДЛЯ АНТРОПОЛОГІЧНИХ ОБСТЕЖЕНЬ НАСЕЛЕННЯ

В статті викладене аналітичне обґрунтування варіабельності компонент факторних комплексів в кластерах параметричних рядів чисельності вибірки з урахуванням варіантності завдань антропологічних досліджень.

The paper set out an analytical study of variability component factor complexes in clusters parametric series sample size taking into account the variation problems of anthropological research.

Ключові слова: антропологічне обстеження, кластер вибірки, факторний комплекс, мінливість, параметричний ряд.

Постановка проблеми. Аналіз сучасних наукових досліджень прикладного характеру показав, що проектування співрозмірного одягу є складним питанням, оскільки це пов'язано із вирішенням завдання щодо обґрунтування обсягу вибірки з урахуванням асортименту виробів, які мають різноманітне композиційне та конструктивне рішення, що впливає на ступінь облягання. Крім того, існує проблема формування програми антропологічного обстеження, яка потребує компромісного узгодження з технологією проектування і виготовлення виробів з позицій чинної типології населення.

Беручи до уваги стійку тенденцію щодо оновлення антропометричної інформації завдяки появі на світовому ринку нових виробників швейної продукції, питання створення сучасної розмірної класифікації споживачів одягу є актуальним і потребує нових підходів до антропометричних обстежень.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. У роботі [1] методологічно обґрунтовано принципи визначення довірчих меж та оцінювання вибірки при вирішенні практичних завдань для конструювання одягу.

Методологічні основи вивчення структури внутрішньопопуляційної мінливості в теоретичних і прикладних цілях для завдань антропологічної стандартизації викладені в роботах [2– 4].

У роботі [5] представлені загальні відомості щодо застосування закономірностей розподілу і мінливості розмірних ознак тіла людини.

У дослідженнях [6] обґрунтовано застосування спеціальних програм для антропометричних обстежень з позицій можливості використання результатів попередніх комплексних антропологічних досліджень популяції населення у вигляді дискретної моделі типів фігур. Однак, інформаційні моделі антропометричної і морфологічної баз мають обмеження в застосуванні через вікову конкретизацію осіб у вибірці.

Тому доцільно створити таку модель морфологічної структури популяції, що забезпечує збереження варіабельності типових фігур на основі вибіркового обстеження.

Постановка мети і завдань досліджень. Мета дослідження полягає в систематизації факторних комплексів структурної організації обсягу вибірки та забезпеченні мінімізації групової індивідуальності діапазону чисельності вибірки.

Завдання дослідження:

- розробка структурної моделі організації факторних комплексів для антропологічних досліджень;
- формування параметричних рядів обсягу вибірки антропометричних обстежень за спеціальною програмою;
- розробка алгоритму застосування кластерних інтервалів обсягу вибірки.

Виклад основного матеріалу. Для розробки структурної моделі факторних комплексів, які визначають ступінь стійкості основних типологічних параметрів у населення в цілому і в окремих його групах, необхідно враховувати наступні властивості популяції.

Популяція в цілому більш стійка відносно основних показників мінливості та середнього рівня, ніж окремі її компоненти.

Епохальні зміни, які проявляються у розмірах тіла в період його росту, охоплюють популяцію поступово і проявляються по мірі того, як одне покоління людей змінюють наступні.

Окремими компонентами популяції, на які впливають часові та місцеві чинники, є вікові, професійні та інші групи, які представлені у вигляді факторних комплексів.

Факторний комплекс, окрім домінуючого, враховує одиничні пристосування до певних територій і часу, фон умов життя, набір генотипів, фактори середовища, розмір груповань населення.

За ступенем значущості факторні комплекси розподіляються наступним чином:

1 – вік; 2 – етнотериторіальна належність; 3 – професія; 4 – спеціальна належність [1, 4].

Характеристика факторних комплексів розглядається з позицій стабільності і лабільності одиничних

чинників.

Вікова належність характеризується внутрішньогруповою і міжгруповою мінливістю.

Популяція з вузьким віковим інтервалом чи професійною групою досить мінлива у часі. Це означає, що для таких груп необхідна переоцінка в більш короткий проміжок часу, ніж для всього населення в цілому [1, 4, 6]. Цим пояснюється вибір для досліджень у вікових групах часового інтервалу 3–4 роки [1, 4, 6]. Часовий чинник визначає вектор дослідження для отримання достовірних даних. Поперечне дослідження – це однократне антропометрування пропорційно-сформованих груп населення. Зокрема, вікові відмінності дорослого населення забезпечує репрезентативна вибірка з числом спостережень для молодшої вікової групи 26–230 осіб, середнє значення – 120 [3]. Для отримання достовірних даних при поперечному обстеженні дитячого населення чисельність вибірки в кожній однорічній групі дітей повинна бути достатньо великою – не менше 100–150 осіб на вік.

Для дітей обсяг вибірки N визначається за формулою [4]:

$$N = \sum n_i - 3k, \quad (1)$$

де n_i – чисельність в i -й віковій групі;
 k – число вікових груп.

Для шкали, що включає в себе вік від 3 до 18 років, до межової чисельності необхідно додати ще 45 спостережень (оскільки у цьому випадку $3k=3 \cdot 15=45$) для дітей ясельного віку від 1 до 2 років 11 місяців 29 днів – $3k=3 \cdot 8=24$.

Багатократне антропометрування застосовують для одних і тих же дітей протягом декількох років – це поздовжнє дослідження.

Суттєву інформацію про розміри і форму тіла дитини може дати вивчення середніх річних приростів різних розмірів тіла у одних і тих же дітей в різні роки обстеження.

Поперечно-поздовжнє дослідження дозволяє обстежити одних і тих же дітей в широкому віковому діапазоні (3–17 років). Три-чотири роки обстеження забезпечують достовірність даних як про процеси росту протягом всього періоду, так і про процеси змін будови тіла в низці поколінь.

Нестабільність середніх арифметичних окремих розмірів тіла, що відбивається у проявах міжгрупової мінливості ознак в низці поколінь, природно, супроводжується зростанням внутрішньогрупової дисперсії цих ознак, оскільки мінливість факторів середовища проявляється не лише в міжгруповому, але й у внутрішньогруповому масштабі.

Від'ємні кореляції з віком у найбільш підвладних акселерації ознаках, а саме у довжині тіла, висоті голови, довжині стегна і довжині голілки, обумовлені саме зростанням внутрішньогрупових відмінностей за факторами середовища у молодших поколіннях.

Етнотериторіальна належність характеризує мінливість розмірів і форми тіла в двох аспектах: географічному і етнічному (набір генотипів). Для більшості ознак характерна етнотериторіальна варіабельність. Фактором, який визначає закономірності мінливості, є фон умов життя.

Міжгрупова географічна мінливість розмірів і форми тіла обумовлена варіаціями комплексів факторів зовнішнього середовища. Окрім можливої адаптивної значущості таких варіацій, антропологи вивчають їх відносну цінність для індивідуумів. Гіпотеза адаптивної значущості будови тіла за пропорціями відкидається прадавнім механізмом, який при неадекватному харчуванні, перш за все, забезпечує розвиток найважливіших органів [4].

Етнічна мінливість пояснюється варіаціями наборів генотипів (спадкоємних факторів). Однак, генетична мінливість отримує найкращий прояв за сприятливих умов життя.

Отже, характер відмінностей між етнічними групами пристосований до певних територій і часу. За спеціальними програмами, як правило, використовують звужений віковий діапазон. Для дослідження впливу етнотериторіального складу на варіабельність розмірних ознак репрезентативною може бути вибірка 30–140 осіб [3].

Професійна належність характерна для окремих підпорядкованих ознак і, як правило, має побічний вплив на варіабельність розмірів і форми тіла, де більш впливовим є вік. Вплив професії доцільно розглядати при вивченні постави.

Спеціальна належність, перш за все, визначає варіабельність основних ознак в межах соціальних шарів та територіальної належності. Для досліджень доцільно використовувати, як і для вище розглянутих груп, пропорційне (за даними офіційних документів) представництво.

Отже, організація вибірки залежить від структури досліджуваної сукупності, мети і завдань дослідження.

Мета будь-якої антропологічної програми – забезпечення репрезентативності вибірки у відтворенні сукупності населення. Варіанти завдань залежать від компонент структури досліджуваної сукупності. Нами вони визначені за однорідністю групування у векторі спеціальної програми:

Варіант 1 – визначення центральної фігури і довірчих меж типів фігур у віковій групі населення.

Варіант 2 – визначення підпорядкованих розмірних ознак відносно відомого конструктивного розміру.

Варіант 3 – сегментація популяції за ознакою вузького вікового інтервалу та професійною належністю.

Варіант 4 – сегментація варіабельності морфологічних типів в межах соціальних груп та

територіальної належності.

Більшість спеціальних програм передбачають сегментацію досліджуваної сукупності за звуженою віковою етнотериторіальною, професійною та спеціальною належностями, оскільки спрямовані на відтворення у вибірці одномоментного стану популяції та дозволяють простежити тенденції міжгрупової та внутрішньогрупової мінливості. Група міжгрупової мінливості має межу верхнього діапазону, група внутрішньогрупової мінливості формується відносно мінімуму (межа нижнього діапазону).

Таким чином, чотири варіанти завдань обумовлюють наявність чотирьох кластерів вибірки за діапазоном чисельності, які формуються на основі факторних комплексів (рис. 1).

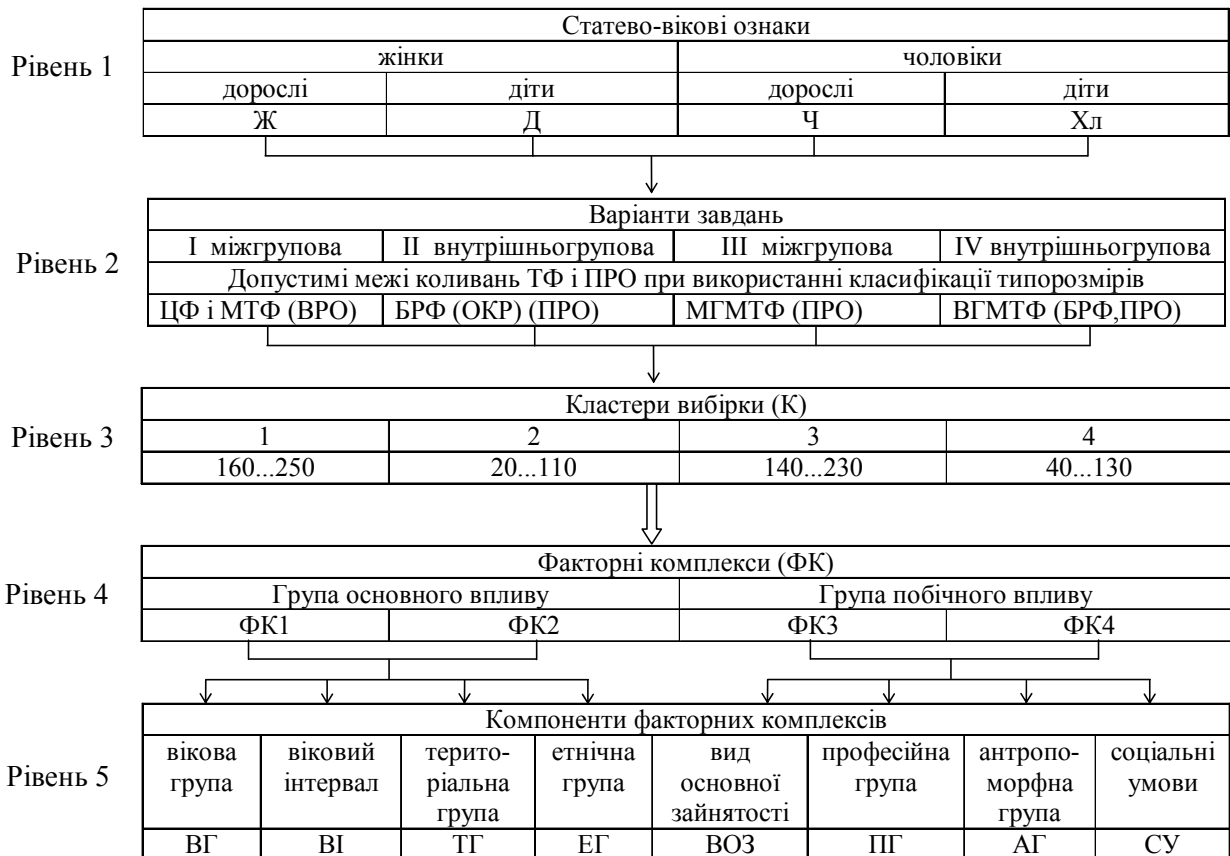


Рис. 1. Структурна модель об'єктів організаційних рівнів формування вибірки для антропометричних обстежень населення

Формування параметричних рядів обсягу вибірки для антропометричних обстежень за спеціальною програмою виконане шляхом операції замкнення топологічних просторів множин вибірки [6].

Операцією замкнення називають відображення, яке кожній множині A ставить у відповідність її замкнення \bar{A} :

$$A = \bar{A}, \tau, A \subset X, x \in X, \quad (2)$$

де \bar{A} – множини вибірки з максимальними нормованими відхиленнями M і σ ;

\bar{A} – множини вибірки числового ряду обстежень за спеціальною програмою;

τ – топологія множин;

X – множини вибірки в кластерах;

$x \in X$ – числове значення вибірки в кластері.

Числове значення $x \in A$ називається критеріальним значенням для множини A , за умови, що окіл $V \in (x)$ такий, що $V \subset A$. Множина всіх значень A має внутрішність $2 \cdot 5$ і позначається $\text{int } A$ або $\text{int}_x A$. Це буде найбільший спільний дільник (НСД) в числових рядах A, \bar{A} (табл. 1, табл. 2).

Значення $x \in X$ називається межовим, якщо для будь-якого околу $V \in \tau(x)$ маємо $V \cap A \neq \emptyset$ і $V \cap (x)A \neq \emptyset$. Оскільки вибірка в кластері є доповненням вибірки числового ряду обстежень за спеціальною програмою, множина всіх межових значень вибірки в кластері утворить параметричний ряд чисельності вибірки ідентифікованих з числовим рядом вибірки для спеціальних програм, наведеним в табл. 2.

В побудові числових рядів A, \bar{A} задіяна метрика добутку натуральних чисел [7]: $(1, 2, \dots, 25) \cdot 2^2 \cdot 5^2$ – ряд A ; $(2, 3, \dots, 25) \cdot 2 \cdot 5$ – ряд \bar{A} .

Числовий ряд вибірки А з максимальними нормованими відхиленнями М і σ при 95 % довірчому інтервалі [3]

Чисельність вибірки	150	200	300	400	500	600	700	800	1000	1250	1500	2000	2500
$\frac{\bar{x} - M}{\sigma}$	0,160	0,139	0,113	0,098	0,088	0,080	0,074	0,069	0,062	0,055	0,051	0,044	0,039
$\frac{s - \sigma}{\sigma}$	0,113	0,098	0,080	0,069	0,062	0,057	0,052	0,049	0,044	0,039	0,036	0,031	0,028

Таблиця 2

Числові ряди вибірки \bar{A} в обстеженнях за спеціальною програмою [1]

Ряд	Чисельність ряду, х																					
\bar{A}_1	20		50			80			110			140			170		200		230			
\bar{A}_2		40			70		100			130		160			190		220					250
$\bar{A}_1 + \bar{A}_2$				60					120					180								240

Трансформація числового ряду вибірки \bar{A} і параметричний ряд вибірки \bar{X} виконана на основі дотримання наступних умов [1]:

- дільник натурального числа $2 \cdot 5 = 10$ є різницею прогресії d_3 правої діагоналі ряду \bar{A} ;
- дільник натурального числа $2 \cdot 5 \cdot 3 = 30$ є різницею прогресії d_1 строчки ряду \bar{A} ;
- дільник натурального числа $2^2 \cdot 5 = 20$ є різницею прогресії d_2 лівої діагоналі ряду \bar{A} ;
- для рівномірного сходження в параметричний ряд вибірки \bar{X} необхідно додати числа, які забезпечують найменшу арифметичну прогресію – $d_3 = 10$.

В побудові параметричного ряду чисельності вибірки для антропометричних обстежень за спеціальною програмою використано три рівні розміщень чисел ряду:

перший рівень – члени основного ряду, які мають найменше спільне кратне число $2 \cdot 5 = 10$, а саме: 20, 40, 50, 80, 100, 160, 200, 250;

другий рівень – найближчі числа довірчого інтервалу (35-217,49) [1], які побудовані на основі дільника натурального числа $2 \cdot 5 \cdot 3 = 30$ (арифметична прогресія строчки), а саме: 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240;

третій рівень – числа, що забезпечують арифметичну прогресію чисел ряду першого рівня з урахуванням коефіцієнта зростання $2 \cdot 5 \cdot k$, а саме: 70, 110, 130, 140, 170, 190, 220, 230.

Отже загальний параметричний ряд X отримано поєднанням $3 \cdot 8 = 24$ значень вибірки з урахуванням розрахованих довірчих меж.

Міжгрупова індивідуальність обсягів вибірки в діапазоні кластерів наступна:

кластер 1 – 160... 250, для завдання варіанту 1;

кластер 2 – 20... 110, для завдання варіанту 2;

кластер 3 – 140... 230, для завдання варіанту 3;

кластер 1 – 40... 130, для завдання варіанту 4.

Розмір числового ряду в кожному кластері складає 10 чисел. Оскільки в завданнях типів 1, 3 задіяні всі факторні комплекси, вони мають внутрішньовидову спорідненість. Завдання типів 2, 4 спрямовані на виявлення підпорядкованих ознак, які характеризують певні морфологічні типи будови тіла. Отже, вони мають міжгрупову мінливість, яка обумовлена внутрішньогруповими варіаціями комплексів факторів зовнішнього середовища, спадковими факторами, варіаціями віку. Обидві групи мають між кластерами арифметичну прогресію строчки, аналогічно табл. 2, та підпорядковані множини $K_3 \subset K_1$, $K_2 \subset K_4$.

Вибір чисельності вибірки у кожному кластері контролюють за допомогою наступних обмежень за рекомендаціями [3]:

- критичний рівень похибки (для $t=1,96$) складає $\frac{M_1 - M_2}{\sigma_1} = 0,1$; $\frac{\sigma_1 - \sigma_2}{\sigma_1} = 0$;

- шкала середньої арифметичної величини коефіцієнта асиметрії \bar{v}_1 характеризує варіабельність розмірних ознак:

	чоловіки	жінки
Висоти точок над підлогою	$-0,02 < \bar{v}_1 < 0,11$	$-0,02 < \bar{v}_1 < 0,05$
Довжини дуг на поверхні тіла	$-0,05 < \bar{v}_1 < 0,38$	$-0,03 < \bar{v}_1 < 0,40$
Обхвати	$-0,06 < \bar{v}_1 < 0,60$	$-0,06 < \bar{v}_1 < 0,75$

Для перевірки репрезентативності чисельності вибірки в будь-якому чисельному ряді доцільно використати співвідношення золотого перетину 0,38: 0,62, оскільки це співвідношення дозволяє визначити економічну доцільність вибірки [8]. Комплексний показник репрезентативності вибірки $\varepsilon(\Delta x, \Delta y)$ визначають за формулою:

$$\varepsilon(\Delta x, \Delta y) = 0,5 \left[\left(\frac{(1 - \Delta x_{\text{мед}})}{(1 - |\Delta x_n|)} + \frac{(1 - \Delta y_{\text{мед.сер}})}{(1 - \Delta y_n)} \right) \right], \quad (3)$$

де $\Delta x_{\text{мед}}$ – відносний показник медіального значення вибірки;
 Δx_n – відносний показник модуля відхилення n значення від медіального вибірки; $n=1, 2, \dots, 10$;
 $\Delta y_{\text{мед}}$ – відносний показник середнього медіального значення вибірки за золотим перетином;
 Δy_n – відносний показник n -значення вибірки за золотим перетином.
 Критеріальний рівень репрезентативності вибірки визначають виходячи із співвідношення золотого перетину, що дозволяє розрізнити чисельність вибірки за трьома категоріями:

- 1) $0 \leq \varepsilon(\Delta x, \Delta y) \leq 0,38$ – вибірка нерепрезентативна;
- 2) $0,38 \leq \varepsilon(\Delta x, \Delta y) \leq 0,62$ – вибірка суперечлива;
- 3) $0,62 \leq \varepsilon(\Delta x, \Delta y) \leq 1,0$ – вибірка репрезентативна.

Розрахунки наведені на прикладі параметричного ряду вибірки I кластеру.

$$x_n=170; \quad x_b=250; \quad x_{\text{мед}}=205. \quad (4)$$

$$y_1^{(k)} = x_1^{(k)} + F_1^{\Delta(k)}, \quad (4)$$

$$y_2^{(k)} = x_1^{(k)} + F_2^{\Delta(k)}. \quad (5)$$

Тут $F_1=0,38$; $F_2=0,62$, тоді:

$$y_{1n} = 170 + 0,38 \cdot 10 = 173,8; \quad \Delta 1_n = 0,0138.$$

$$y_{2n} = 170 + 0,62 \cdot 10 = 176,2; \quad \Delta 2_n = 0,014.$$

$$y_{1b} = 250 + 0,38 \cdot 10 = 253,8; \quad \Delta 1_b = 0,0094.$$

$$y_{2b} = 250 + 0,62 \cdot 10 = 256,2; \quad \Delta 2_b = 0,0094.$$

$$y_{1\text{мед}} = 205 + 0,38 \cdot 10 = 208,8; \quad \Delta 1_{\text{мед}} = 0,0945$$

$$y_{2\text{мед}} = 205 + 0,62 \cdot 10 = 211,2; \quad \Delta 2_{\text{мед}} = 0,0937.$$

Оскільки $\Delta y_n = 0,0138 - 0,014 = -0,0002$, $\Delta y_b = 0,094 - 0,094 = 0$, $\Delta y_{\text{мед}} = 0,0945 - 0,0937 = -0,0008$, і всі вони менші 0,005, то це свідчить про варіабельність ряду.

$$\text{Тоді, } \varepsilon(\Delta x_{n1}, \Delta y_{n1}) = 0,5 \left[\left(\frac{(1 - 0,205)}{(1 - 0,035)} + \frac{(1 - 0,210)}{(1 - 0,175)} \right) \right] = 0,90;$$

$$\varepsilon(\Delta x_{b1}, \Delta y_{b1}) = 0,5 \left[\left(\frac{(1 - 0,250)}{(1 - 0,045)} + \frac{(1 - 0,210)}{(1 - 0,255)} \right) \right] = 0,945.$$

Оскільки різниця $y_{0,38}$ і $y_{0,62}$ – стала величина, яка дорівнює 2,4 для всіх членів параметричного ряду, коефіцієнт $\varepsilon(\Delta x, \Delta y)$ свідчить, що всі числа вибірки репрезентативні для досліджень.

Алгоритм застосування кластерних інтервалів обсягу вибірки передбачає три етапи мінімізації компонент факторних комплексів: перший етап – встановлення порядку застосування компонент факторних комплексів; другий етап – розробка маршруту подачі інформації; третій етап – практичне визначення опорної (критеріальної) чисельності вибірки з урахуванням рангового номера одиничного фактора.

Організація структури вибірки передбачає багатоцільове спрямування досліджень, яке має багатоаспектне застосування в кластерах, що впливає на вибір номенклатури показників. Фрагмент застосування компонент факторних комплексів основного впливу наведений в табл. 3.

Концепція подачі інформації в процесі організації вибірки розроблена у формі контекстної діаграми [9]. В наших дослідженнях вона має глибину в чотири рівні – „Варіант завдання”, „Факторний комплекс”, „Вибір групових компонент факторних комплексів”, „Вибір одиничних факторів”.

Число діаграм декомпозиції відповідає числу факторних комплексів, задіяних в кластерах вибірки. Так, у кластері K1 їх буде чотири.

Діаграми декомпозиції виконують функцію визначення компонент факторних комплексів на груповому і одиничному рівнях.

На третьому етапі необхідно визначити опорне значення чисельності вибірки, яке є критеріальним для розрахунку допустимих меж змінювання числа.

На рис. 2 наведена діаграма декомпозиції факторного комплексу ФК1 для кластеру K1.

Для визначення опорного значення чисельності вибірки розроблені номограми. На цих номограмах, побудованих за принципом вирівняних точок, нанесені шкали – на середніх шкалах наведені числа параметричного ряду вибірки (№ 1, № 3), на крайніх шкалах показані рангові місця групових компонент

факторних комплексів F_1, F_2, F_3, F_4 (рис. 3).

Таблиця 3

Порядок застосування компонент факторних комплексів в кластерах вибірки для спеціальних антропологічних програм дорослого населення

Компоненти факторного комплексу	кластер			
	група 1		група 2	
	К1	К3	К4	К2
Вікова належність F_1 Вікові групи:				
за стандартом F_{11}	+			+
в антропологічних дослідженнях F_{12}	+	+	+	
окрема F_{13}	+	+	+	+
об'єднані F_{14}	+	+		
Віковий інтервал:				
межовий F_{15}	+	+	+	
звужений F_{16}		+	+	+
Етнотериторіальна належність F_2				
географічний фактор F_{21}	+		+	
адміністративний фактор F_{22}	+	+		+
національні групи F_{23}	+	+	+	+
набір генотипів (спадкова детермінація) F_{24}		+	+	
комплекс факторів зовнішнього середовища F_{25}	+	+	+	+
фон умов життя F_{26}				+

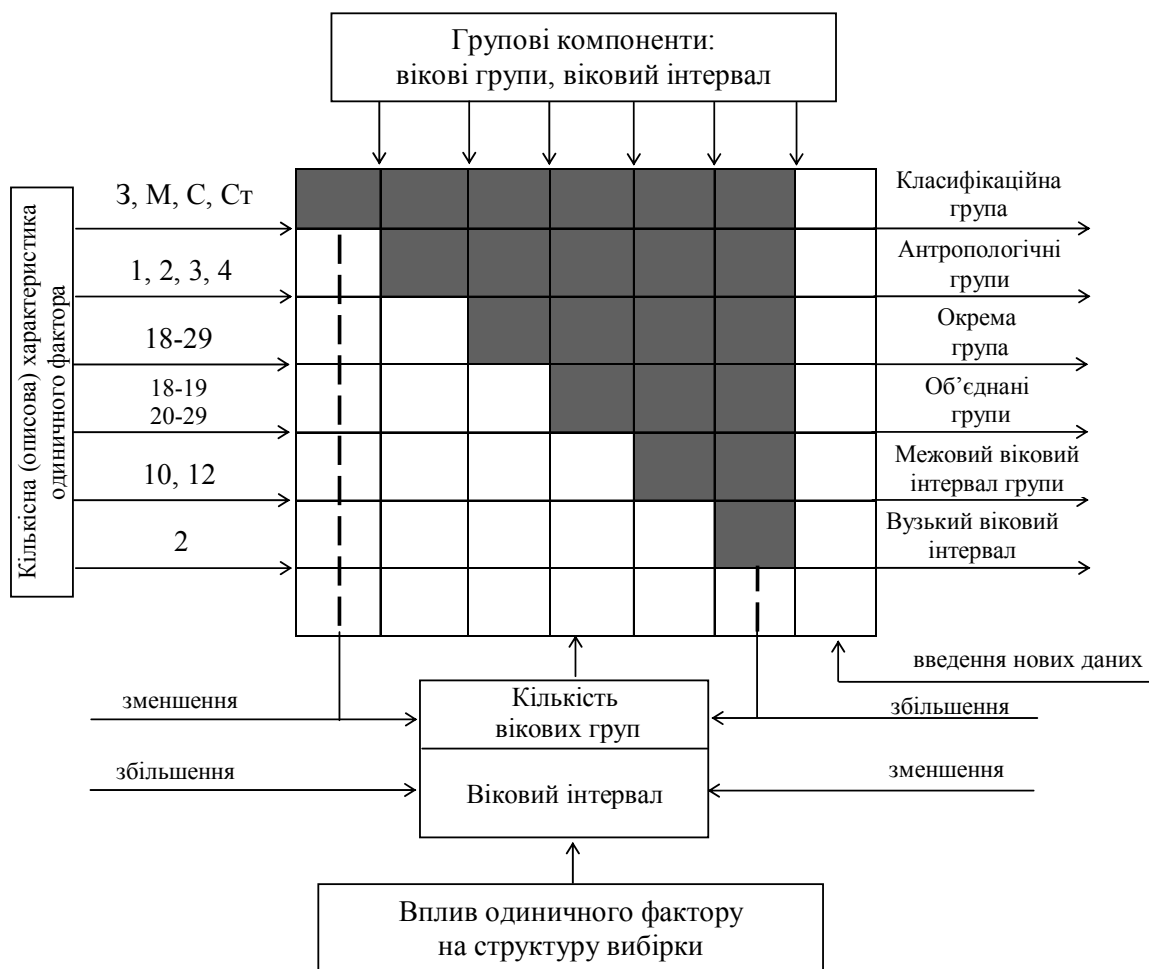


Рис. 2. Діаграма декомпозиції процесу формування факторного комплексу $FK1$ організації структури вибірки кластеру К1

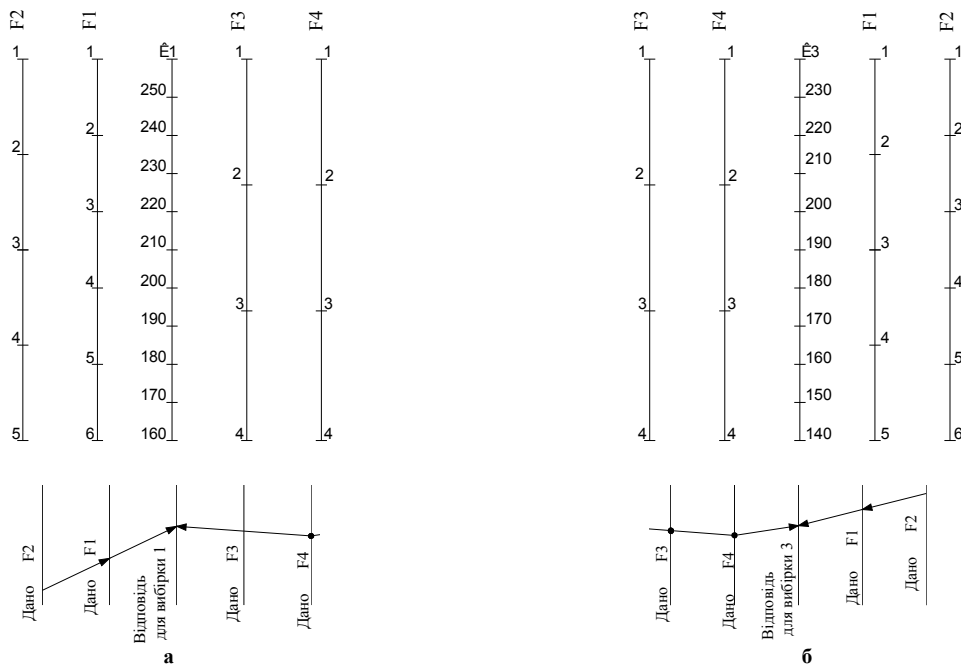


Рис. 3. Номограма визначення опорної чисельності вибірки для кластерів першої групи параметричного ряду: а – кластер 1; б – кластер 3

Розроблені номограми можуть бути використані для оцінки достовірності впливу компонент факторів залежно від вхідних даних з асортименту і технології проектування.

Висновок. Розглянутий механізм формування обсягу вибірки відтворює багатоаспектне застосування факторних комплексів для організації структури вибірки з позицій репрезентативності.

Література

1. Славінська А.Л. Модель забезпечення репрезентативності вибірки для антропологічних досліджень за спеціальною програмою / А.Л. Славінська // Вісник Хмельницького національного університету. – 2011. – № 4. – С. 161–168.
2. Славінська А.Л. Обґрунтування обсягу вибірки для проведення антропометричних обстежень дорослого населення за спеціальною програмою / А.Л. Славінська // Вісник Хмельницького національного університету. – 2008. – № 3. – С. 181–186.
3. Проблемы размерной антропологической стандартизации для конструирования одежды / [Куршакова Ю.С., Дунаевская Т.Н., Зенкевич П.И. и др.]. – М.: Легкая индустрия, 1978. – 256 с.
4. Размерная типология населения стран членов СЭВ – М.: Легкая индустрия, 1974. – 400 с.
5. Конструирование одежды с элементами САПР: учебник для вузов / [Е.Б.Коблякова, Г.С. Ивлева, Р.Е. Романов и др.]; под ред. Е.Б. Кобляковой. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Легпромбытиздат, 1988. – 464 с.
6. Славінська А.Л. Основи модульного проектування одягу: [монографія] / Славінська А.Л. – Хмельницький: ХНУ, 2007. – 167 с.
7. Барбаумов В.Е. Справ очник по математике для экономистов / [В.Е. Барбаумов, В.И. Єрмаков, Н.Н. Кривенцова и др.]; под ред. В.И. Єрмакова. – М.: Высшая школа, 1987. – 336 с.
8. Славінська А.Л. Методи типового проектування одягу: [навчальний посібник] / Славінська А.Л. – Хмельницький: ХНУ, 2008. – 159 с.
9. Кузнецов С.Д. Основы современных баз данных [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.citforum.ru>.

Надійшла 16.9.2011 р.

ІСТОРИЧНИЙ АСПЕКТ РОЗВИТКУ ОДЯГУ ДЛЯ ВАГІТНИХ

*Представлено характеристику та конструктивні особливості одягу для вагітних в різні епохи та часи.
Submitted testimonial and design features maternity clothing in different epochs and times.*

Ключові слова: сучасний одяг для вагітних, ступінь та спосіб регуляції об'єму, складки, драпіровки, розширені силуети, шнурувань у корсетах та зав'язок у сукнях.

Аналіз сучасного стану виробництва та споживчого ринку одягу для вагітних жінок показав, що за багатьма властивостями він не задовольняє запити споживачів. Цей сегмент ринку не відрізняється своєю різноманітністю тому, його подальше вивчення та вдосконалення є перспективним і заслуговує на увагу. Для вирішення цієї проблеми доцільно звернутися до джерел появи одягу для вагітних та проаналізувати його історичний розвиток.

Об'єкт дослідження – одяг для вагітних в різні епохи та часи.

Постановка завдання. Враховуючи доцільність розширення різноманітності одягу для вагітних, статтю присвячено аналізу та систематизації одягу для вагітних в різні часи.

Виклад основного матеріалу. Протягом історії людства головним обов'язком жінки вважалось народження нового життя. Багатодітні сім'ї були нормою і не дивлячись на те що і проста жінка і дама з вищих кіл значну частину життя проводили перебуваючи у стані вагітності, особливий одяг призначений саме для вагітних жінок, з'явився порівняно недавно.

В Стародавньому Римі носили вільний одяг. *Пеплоси* та *хітони* гречанок, *столи* та *пали* римлянок огортали тіло м'якими складками, тому в особливому одязі не було потреби. Драпіровки та драпіровані запахи на сукнях та сорочках – це популярний прийом серед модельєрів, які працюють над одягом для майбутніх мам, що нагадує саме про період Античності [1].

В Середньовіччя з'являється таке конструктивне вирішення, як регулювання за об'ємом. Прилягання реалізується за допомогою шнурівок, які достатньо розпустити в області живота (рис.1) [2].

В XV столітті в моду входять сукні з завищеною талією. В таких сукнях не лише зручно вагітним жінкам, а також будь-яка жінка може відчувати себе вагітною. Вагітних жінок шанували, як наслідок – вагітність була «у моді». Складки, що спадали від лінії під грудьми донизу могли створити таку ілюзію, яку можна було посилити підкладним животом, що збереглося в Італійських музеях [3].

В XVI ст. з'являється корсет. В повсякденному костюмі достатньо було розпустити шнурівку, як на портреті Цецилії (рис. 2). Для урочистих випадків поверх корсажу та спідниці одягали верхню сукню, найчастіше темного кольору, порівняно вільного крою, та застібались від шиї до талії, а нижче сукня розходила, відкриваючи спідницю. Під них не потрібно було одягати жорсткий корсет.

На рис. 3 зображена королева Маргарита, дружина короля Іспанії Філіпа III, у якої передня з'ємна частина корсажа (т.з. "stomacher") викроєна та пришнурована до сукні таким чином, щоб зручно лягти поверх живота. До певного моменту «стомакери» могли приховати вагітність. Такий вид одягу був у моді серед заможних голландок першої третини XVII століття.

В період між 1580–1630 роками входять в моду портрети, що зображають жінок на пізніх термінах вагітності. Дам зображували з покриваючою живіт рукою. Але костюми такі, як на звичайних портретах, лише корсажі менш жорсткі.

На рис. 4 зображено портрет Анни (леді Поуп) з дітьми. Чорна верхня сукня розчахнута цілком, а талія на розкішному, вишитому білим по білому, корсажі зміщена для зручності догори. Збільшений живіт прикритий складками, що нагадують фартух. Його найчастіше виготовляли з мережива, це була виключно декоративна деталь туалету. З одного боку, це було урочисто, а з іншого – фартух міг приховати поли сукні чи жакета, які вже не сходились.

Крім цього, в Англії початку XVII ст. в моді були жакети зі світлої тканини цілком розшиті квітковими візерунками. Їх використовували в якості неофіційного одягу. Один з таких жакетів, що зберігається в музеї Вікторії та Альберта в Лондоні, призначений для вагітної жінки – на відміну від подібного йому приталеного жакета (рис. 5).

На портреті Маркуса Гірірреса, написаному близько 1595 року – жінка на останніх термінах вагітності в розкішній сукні цілком розшитій перлинами (рис. 6). Це не перероблена звичайна сукня, а зшита спеціально. Перлина – це символ Святої Маргарити Антіохійської, покровительки дітонародження, яка грала роль оберегу для майбутньої матері. Але, на жаль, це лише поодинокі приклади одягу того часу призначеного спеціально для вагітних.

В XVII столітті вагітність виходить з моди і з цього часу одяг повинен допомагати приховати її. Щільно прилягаючі сукні носять англійські міщанки, а знатні дами – більш вільні сукні, в яких під час вагітності почувають себе досить комфортно. Жінкам, що не належать до аристократії, не прийнято з'являтися на людях у вільних сукнях, тому, перебуваючи у стані вагітності, вони носили вільне вбрання та залишались вдома. Вважалось, що в цей період жінка стає непривабливою.



Рис. 1. Середньовічна сукня з розпушеною в області живота шнурівкою



Рис. 2. Повсякденний корсет з послабленими зав'язками (XVI ст.)



Рис. 3. Розпашна сукня з «стомакером» (XVII ст.)



Рис. 4. Збільшений живіт прикритий складками, що нагадують передник (XVII ст.)



Рис. 5. Розширений жакет призначений для вагітної жінки та подібний йому приталений жакет (XVII ст.)



На портретах Вермеєра зображені жінки у вільному домашньому одязі. І хоча в цей час вже було не прийнято зображувати вагітних жінок, історики припускають, що ці дами були вагітними (рис. 7).

У XVIII столітті з настанням епохи рококо входять в моду глибокі декольте, туго зашнуровані талії, пишні спідниці на спеціальних каркасах «паньє». Вагітні жінки в цей час носять плаття-«контуші». Існує версія, що такі вільні домашні сукні, що нагадують домашні халати, ввела в моду у 1670-і роки мадам де Монтеспан, красуня-фаворитка короля Франції Людовіка XIV. В такій сукні, що маскує фігуру, було зручно приховувати позашлюбні вагітності від оточуючих.



Рис. 6. Сукня, розшита перлинами, призначена спеціально для вагітних (XVII ст.)



Рис. 7. Вільний домашній одяг вагітних жінок (XVII ст.)

Пізніше «контуш», або «адриєн», перестав бути виключно домашньою сукнею. Більш того, він не виходив з моди протягом кількох десятиліть, лише дещо змінювався. Складки були спереду та позаду. Пізніше складки збирали лише на спині. Дам в подібних сукнях часто писав відомий художник Антуан Ватто. Пізніше з його ім'ям ця складка і увійшла в історію як «складка Ватто» (рис. 8).



Рис. 8. Контуш зі складками Ватто на спині (XVIII ст.)

Контуші не були призначені спеціально для вагітних, їх носили усі, хоча вагітним було в них особливо зручно. Крім того вагітні одягали пом'якшений, частково укріплений кісточками, корсет, який підтримував фігуру не особливо стягуючи її, та передник.

В кінці століття мода кардинально змінюється – зі стилем ампір приходять сукні з тонких тканин з сильно завищеною талією, повертається А-подібний силует з готичного періоду. Подібну сукню під час вагітності почала носити в 1780-і роки герцогиня Девонширська [1].

В кінці 1792 року в Англії з'являється особлива мода – підкладний металічний живіт, що імітує вагітність. Підкреслене материнство знову повернулось до моди.

XIX століття – це час пишних спідниць та затягнутих в корсет талій. Згадувати про вагітність вважалося непристойним і жінка повинна була залишатись вдома, коли вагітність ставала помітною. Корсет давав можливість подовжити період перебування на публіці. Навіть до 6-го місяця жінки шнурували корсет настільки туго, щоб оточуючі не здогадувались про їх положення [2].

На останніх місяцях носили спеціальний корсет з додатковою шнурівкою не лише на спині, але і на боках та на животі, що дозволяло розпускати його в міру необхідності, звільняючи живіт, але при цьому підтримуючи верхню частину тіла. Такі корсети були порівняно зручні і деколи їх не знімали навіть під час пологів (рис. 9). Поступово корсет замінить жорсткий пояс, з допомогою якого будуть намагатись скоректувати фігуру затягуючи талію та стегна. Пізніше він трансформується в допологовий бандаж, який допомагає зберегти вагітність [4].



Рис. 9. Корсет зі шнуруванням на спині, боках та животі. З першою світовою війною корсет перестає бути невід'ємною частиною жіночого костюма

В сучасному гардеробі для вагітних шнурівка не виправдано втрачає популярність на користь більш практичних, але менш варіативних та естетичних застібок та еластичних вставок.

Також варто звернути увагу, що брюки помилково вважаються винаходом сучасності. В дійсності брюки були постійним елементом одягу у країнах Азії та Близького Сходу. Шаровари з заниженою талією, розмір якої трансформувалася, збереглися в національному костюмі Індії та Аравійських країнах.

Також розробляючи сучасний одяг для вагітних варто не забувати про широкі сарафани, які споконвіку носили на Русі, та такі надбання східних слов'ян, як понева – запашна спідниця, яка носилася на стегнах, поверх неї випускалася довга сорочка, а зверху одягався запон, який не обмежував рухи вагітної жінки.

Першу комерційну сукню виготовила Lane Bryant в кінці XIX ст. [5]. Перша колекція для майбутніх мам була створена Сонею Рікель в 60-х роках XX ст. [6].

Висновки. На основі проаналізованого матеріалу систематизовано та зібрано в єдину таблицю функції, які виконував одяг для вагітних в різні епохи, види одягу, ступінь та спосіб регуляції об'єму, варіанти конструктивного вирішення. Виявлено, що до кінця XIX ст. спеціального одягу для вагітних не

існувало. У всі часи найбільш розповсюдженим був нерегульований об'єм, який приховувався у складки, драпіровки, розширені силуети. Регулювання об'єму здійснювалось за допомогою шнурів у корсетах та зав'язок у середньовічних сукнях.

Представлені в таблиці дані свідчать про наявність варіативного підходу щодо створення одягу для вагітних жінок. При цьому, як показали дослідження [7], при створенні функціональних, ергономічних виробів, в т.ч. корсетних, для вагітних жінок, необхідно враховувати антропометричні зміни будови тіла жінки на різних етапах вагітності; конструктивно-технологічні можливості; психофізіологічні обмеження, та особливо медичні показники та протипоказання. В контексті цих вимог, важливими є також властивості пакетів, які впливають на формування об'єму виробів та технологічні можливості: забезпечення процесів формоутворення та формозакріплення деталей одягу. Вирішення цих питань потребує також проведення антропологічних досліджень жінок в період вагітності та створення на цій основі інформаційного масиву бази даних, знань та правил, які визначають специфіку проектування та виготовлення одягу для вагітних.

Таблиця 1

Характеристика одягу для вагітних в різні історичні епохи

Історична епоха	Характеристика одягу для вагітних				
	Інформаційно-естетичні функції	Вид одягу	Ступінь регуляції об'єму	Спосіб регуляції об'єму	Варіанти конструктивного вирішення
Античність	-	Пеплоси, хітони, столи, пали	Нерегульований	-	Драпіровки
Середньовіччя	-	Сукня (А-подібний силует)	Регульований	Зав'язки	Розсування конструкції в місцях з'єднання елементів
Відродження	Підкреслити вагітність	Сукня з завищеною талією	Нерегульований	-	Складки
	Створити ілюзію вагітності	Підкладний живіт	-	-	-
Реформація	Підкреслити вагітність	Корсет, корсаж	Регульований	Шнування	Розсування конструкції в місцях з'єднання елементів
		Сукня	Нерегульований	-	Зміна ширини напівзаходу (довільне розходження бортів)
Класицизм	Приховати вагітність	Стомакер – передня з'ємна частина корсажу	Регульований	Шнування	Розсування конструкції в місцях з'єднання елементів
		Передник	Нерегульований	-	Складки
		Жакет, сукня (А-подібний силует)	Нерегульований	-	-
Рококо	Приховати вагітність	Плаття–контуш або «адриєн»	Нерегульований	-	Складки спереду і бантова «складка Ватто» ззаду
Ампір	Підкреслити вагітність	Сукня з завищеною талією	Нерегульований	-	Складки
	Створити ілюзію вагітності	Підкладний металічний живіт	-	-	-
Романтизм	Приховати вагітність	Корсет	Регульований	Шнування на спині, боках, животі	Розсування конструкції в місцях з'єднання елементів

Література

1. Интересное положение [Електронний ресурс] / Скуратовская М. – Режим доступу : www.sweetmama.ru
2. Сидоренко В.И. История стилей в искусстве и costume / Сидоренко В.И. – Ростов н/Д : Феникс, 2004. – 480 с.
3. История одежды для беременных [Електронний ресурс] – Режим доступу : <http://nashevse.tv/index.php?item=266>
4. Leigh Summers /Bound to Please: A History of the Victorian Corset Oxford and New York: Berg, 2001. 302pp
5. Michael Feldberg Blessings of freedom: chapters in American Jewish history.- The American Jewish Historical Society. – 2002 – pp 243

6. Малухина И. Мода на беременность. Беременность от кутюр / Малухина И. – М., 2002. – № 3. – 30 с.

7. Корнилова Н.Л. Теоретические основы и методическое обеспечение процессов проектирования и изготовления функционально-эргономичных корсетных изделий : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук. 05.19.04 / Корнилова Н.Л. – Иваново, 2011. – 39 с.

Надійшла 27.9.2011 р.

УДК 687.016

В.С. ГОРОБЧИШИНА
Хмельницький національний університет

ОСНОВИ ПРОЕКТУВАННЯ ТИПОВОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ГРУПИ ВИРОБІВ ПЛЕЧОВОГО ОДЯГУ

Розглянуто сутність і зміст процесу проектування типового технологічного процесу, які полягають в обмеженні номенклатури конструктивних, технологічних, технічних елементів та технологічних процесів виготовлення одягу на основі використання комплексної уніфікації. Розроблена структура взаємопов'язаних процесів і процедур на всіх стадіях маршруту проектування типового технологічного процесу виготовлення групи виробів плечового одягу. Систематизовані і структуровані інформаційні потоки та маршрути процесу проектування. Обмежені за номенклатурою елементи типізації технологічного процесу. Сформульовані умови, обмеження і завдання проектування технологічних процесів.

Essence and maintenance of process is considered planning of typical technological process, which consist in limitation of nomenclature of structural, technological, technical elements and technological processes of making of clothes on the basis of the use of complex standardization. The structure of взаємопов'язаних процесів і процедур is developed at all stages of route of planning of typical technological process of making of group of wares of humeral clothes. Informative streams and routes of planning process are systematized and structured. Elements of typification of technological process limited after a nomenclature. Laid down a condition, limitations and tasks of planning of technological processes.

Ключові слова: технологічний процес.

Постановка проблеми у загальному вигляді. Типізація є поширенням великої кількості функцій на мале число об'єктів, оскільки забезпечує збереження тільки типових об'єктів з цієї сукупності. Типізація технологічного процесу являється одним із шляхів підвищення рівня технологічної підготовки виробництва за рахунок скорочення трудомісткості виконуваних робіт та підвищення якості оброблення швейних виробів через ефективну організацію їх виготовлення. За [1] використання типового технологічного процесу дозволяє скоротити трудомісткість технологічної підготовки виробництва у 2–3 рази, а розроблення технологічної документації – у 8–10 разів.

Однак, проектування типового технологічного процесу вимагає проведення додаткових робіт: розроблення типового технологічного процесу для типового представника групи виробів за загальними конструктивно-технологічними ознаками; створення класифікаторів предметів праці, пошуку раціональних методів типізації.

Для цього за [2] встановлюють типові об'єкти для певної сукупності, які приймають за основу (базу) при створенні інших об'єктів, близьких за функціональним призначенням. Об'єкт обирають за оптимальними властивостями, найбільш характерний для цієї сукупності. В такому разі виріб-об'єкт або технологічний процес зазнає лише часткових змін чи доопрацювання. Оскільки оброблення кожної деталі чи складаної одиниці, за відсутності типізації, представляє собою нову задачу, то на основі попереднього вивчення і аналізу особливостей їх оброблення виконують узагальнення кращих технологій, причому цим узагальненням надається характер технологічних закономірностей.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Основоположник типізації А.Л. Соколовський обґрунтував необхідність і розробив принципові основи типізації оброблення деталей в машинобудуванні [3]. Створена ним методика типізації [3] базується на класифікації процесів, в основі якої лежить класифікація деталей. Класифікація деталей носить технологічний характер, оскільки ознаками спільності служать технологічні завдання і технологічні процеси виготовлення деталей. Основним недоліком методики є те, що класифікації утримують досить велику кількість типових деталей, а отже – типових процесів їх оброблення.

Аналіз вживаних методів типізації [4] дозволив виявити наступні етапи: класифікація оброблюваних деталей; аналіз методів оброблення деталей кожної класифікаційної групи; дослідження типового технологічного процесу оброблення деталей кожної класифікаційної групи, включаючи вибір типового устаткування і оснащення. При цьому кожен конкретний метод характеризується напрямом типізації і системою класифікації.

Основною і суттєвою відмінністю у проектних процедурах проектування технологічного процесу в галузі машинобудування (у порівнянні з проектуванням у швейній галузі) є наявність процедури типізації технологічних процесів, розроблення базових і групових процесів, що передують розробленню робочого технологічного процесу та вказує на високій рівень ефективності проектування. Розробляють типовий

технологічний процес для виготовлення типового представника групи виробів із загальними конструктивно-технологічними ознаками у конкретних виробничих умовах та за економічною доцільністю, залежною від кількості виробів, що увійшли до груп, і частот їх вживаності. Розроблення здійснюють в двох взаємозв'язаних напрямках на основі застосування переважно стандартних засобів технологічного оснащення: типізації комплексних технологічних процесів виготовлення однотипних виробів та типізації і стандартизації окремих операцій оброблення різних виробів.

Постановка завдання. Проблема вдосконалення проектування технологічного процесу виготовлення плечового одягу полягає в тому, щоб, зберігши цілі і завдання виробництва, перейти від одноасортиментного процесу виготовлення виробу до групового, що є обов'язковою умовою підвищення його ефективності. Скорочення різноманіття технологічних процесів до спільного процесу для виготовлення групи виробів плечового одягу, здійснення на основі використання принципів конструктивної і технологічної спадковості виробів і обладнання гнучкої конструкції.

Виклад основного матеріалу дослідження. Типізація технологічного процесу (ТП) здійснюватиметься за трьома напрямками: уніфікації виробів, складаних одиниць, деталей; типізація процесів оброблення однотипних деталей, складаних одиниць та виробів; типізація окремих технологічно неподільних операцій (ТНО) технологічного процесу групи виробів верхнього плечового одягу (ВПО). Завдання, які необхідно вирішити при цьому полягають у розробленні класифікаторів, методик проектування, систематизації й групування інформації елементів технологічного процесу за встановленими обмеженнями. Як прототипи в проробленні моделей і формуванні процесу виготовлення групи плечового одягу на різних стадіях конструкторсько-технологічної підготовки виробництва слід використати типові базові конструкції і типові документації виготовлення виробів.

Проектування типового технологічного процесу виготовлення групи виробів плечового одягу включає комплекс взаємопов'язаних процесів і процедур на всіх стадіях маршруту проектування (рис. 1).



Рис. 1. Структура взаємозв'язку процесів і процедур проектування типового ТП виготовлення групи виробів ВПО

Під час аналізу процесів і процедур проектування типового технологічного процесу враховують їхні взаємозв'язки, включаючи наукові дослідження та розробки нових процесів і технологічних методів; одиничні технологічні процеси виготовлення відповідного асортименту швейних виробів; методичні основи групування однорідних швейних виробів та типізації елементів технологічного процесу.

Кожна процедура проектування пов'язана з наявністю чи відсутністю можливостей і обмежень для її реалізації. Можливості можуть бути пов'язані з існуванням апробованої або подібної інформації, застосованої в інших галузях вирішення прикладних завдань. Певні обмеження, залежно від ступеню їх вияву, висувають завдання для подальших пошуків нової інформації та проведення досліджень відповідного змісту.

Для реалізації методів типового проектування технологічного процесу виготовлення плечового одягу сформовані наступні умови, яким необхідно слідувати на рівні вирішення конструкторсько-технологічних завдань:

- уніфікувати елементи технологічного процесу виготовлення плечового одягу;
- встановити єдність повторюваності змінювання властивостей предметів праці;
- обрати однакові методи оброблення і способи виготовлення групи виробів плечового одягу класичного стилю.

Умови конструктивної уніфікації деталей плечового одягу наступні: єдиний вид покрою одягу; стабільна повторюваність основних деталей конструкції; подібність зовнішнього вигляду основних деталей конструкції; подібність конструктивних елементів (зрізів і поверхонь); змінюваність конфігурації і розмірів деталей конструкції у визначеному діапазоні.

Умови типізації технологічного процесу виготовлення плечового одягу наступні: тотожність методів перетворення деталей в готовий виріб; спільність оброблення однотипних вузлів; подібність робочих процесів зі з'єднання і формування предметів праці; повторюваність видів швів при виконанні типових ТНО; повторюваність технологічних операцій; єдність техніки виконання заходів технологічних операцій. При формуванні принципів типізації технологічних процесів виготовлення плечового одягу закладені вище наведені умови конструктивної уніфікації деталей.

Типізація технологічного процесу виготовлення плечового одягу на основі комплексного вирішення технологічних питань дозволяє встановити спільність оброблення елементів предметів праці, використання однакових ТНО, сформувати спільну послідовність виготовлення групи виробів.

Типовий технологічний процес створюється для групи виробів, що мають спільне конструктивно-технологічне рішення [5]. В межах типового технологічного процесу допускаються незначні відхилення в способах оброблення, збирання, можливі виключення або доповнення деяких нехарактерних переходів і ТНО.

Проектні процедури процесу проектування технологічного процесу виконують за маршрутами, що базуються на нормативах проектування одиничних й типових процесів, синтезі відомих методів типізації технологічного процесу, модифікації сучасних технологій оброблення одягу, оптимальних за характеристиками.

Систематизовані інформаційні потоки і маршрути проектування технологічного процесу виготовлення одягу наведено на рис. 2 і 3 [6].



Рис. 2. Структуризація інформаційних потоків для проектування ТП виготовлення плечового одягу



Рис. 3. Структуризація маршрутів для проектування ТП виготовлення плечового одягу

Інформаційне забезпечення процесу проектування типового технологічного процесу виготовлення однотипного плечового одягу включає бази даних у вигляді бібліотек, каталогів, показників, параметрів, залежностей.

За нашими дослідженнями елементами типізації технологічного процесу є плечовий одяг однієї категорії, предмети праці, їх конструктивні елементи, технічні засоби, технологічно неподільні операції і трудові заходи виконання операцій (рис. 4). Типізації підлягають плечовий одяг однієї категорії (піджак, пальто, півпальто, жакет); предмети праці технологічного процесу – деталі виробу, прості і складні складані одиниці, комплекс і комплект виробу, готовий виріб; конструктивні елементи предметів праці – зрізи і поверхні деталей плечового одягу; технічні засоби – сучасне швейне обладнання гнучкої конструкції і переналагоджувані пристосування малої механізації; технологічно неподільні операції шести видів робіт; початкові, основні і заключні трудові заходи виконання операції.

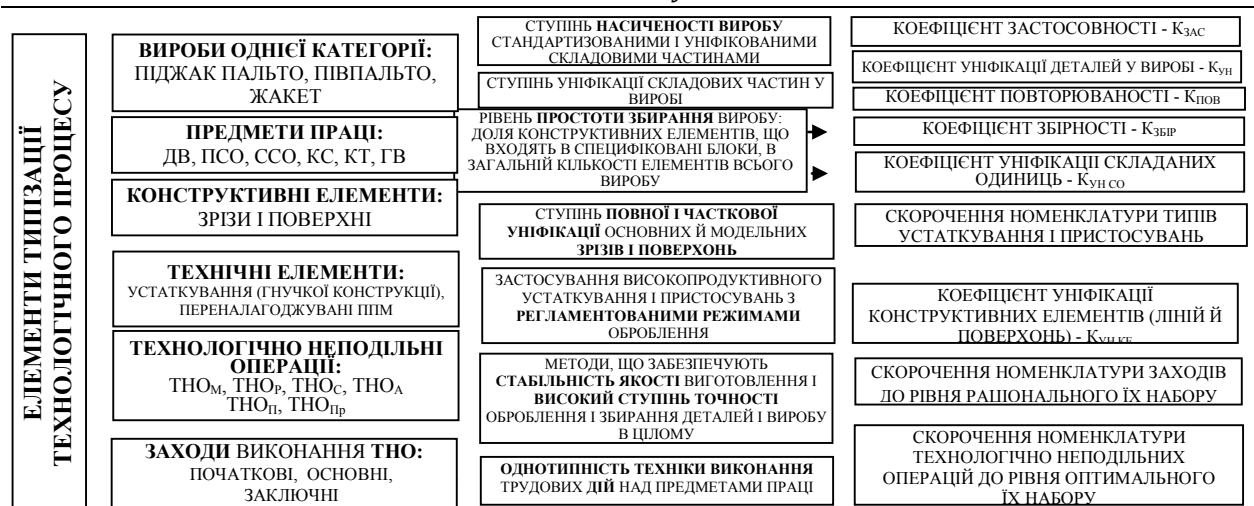


Рис. 4. Схема елементів ТП виготовлення групи виробів плечового одягу, які підлягають типізації та їх оцінка

Для проектування типового технологічного процесу виготовлення ВПО необхідно врахувати наступні **умови і обмеження**:

- підпорядкувати формування стилю плечового одягу як одного з обмежувальних елементів типового технологічного процесу функціональної типізації цієї групи виробів;
- націлити компоновку композиційно-конструктивних рішень ВПО на формування типового технологічного процесу їх виготовлення; використати конструктивні прототипи виробів плечового одягу за умови дотримання принципів виділення типових форм;
- крій виробів плечового одягу повинен мати обмежене число типових варіантів конструктивного рішення і бути однаковим за схемою поздовжнього членування поверхні стану виробу, без поперечних членувань, з двшовним рукавом;
- використати одиничні процеси за умови дотримання принципів виділення типових ТНО; типові ТНО одиничних технологічних процесів виготовлення ВПО повинні використовуватись для всіх виробів групи;
- уніфікувати елементи технологічного процесу виготовлення плечового одягу;
- встановити єдність повторюваності і змінюваності властивостей предметів праці;
- обрати однакові методи оброблення і способи виготовлення групи виробів плечового одягу класичного стилю;
- розробити єдиний технологічний маршрут виготовлення плечового одягу.

Перераховані умови дозволять інтенсифікувати процес розроблення технологічних процесів виготовлення плечового одягу на засадах методів типового проектування.

Відповідно до загальної схеми робіт при типовому проектуванні технологічного процесу виготовлення верхнього плечового одягу необхідно дотримуватись наступних **завдань**:

- виконати типізацію одягу однієї конструктивної групи (плечового); однієї конструктивної категорії (типу піджака); мати однакові конструктивні частини (пілочку, спинку, бочок, рукав, підкладку виробу); вирішуватись в єдиному стилі (класичному);
- базувати виділення типових ТНО на відборі і селекції сучасних та найхарактерніших видів робіт для групи виробів названої конструкції;
- компоновати технологічні операції в типовий процес виготовлення плечового одягу за умови однозначного їх використання для всіх виробів групи;
- забезпечити прискорення процесу проектування виготовлення групи виробів плечового одягу за рахунок скорочення повторів етапів і проектних процедур.

Порядок проектування одиничного технологічного процесу на основі типового значно спрощує процес та зводиться лише до уточнення складу технологічно неподільних операцій і технологічного оснащення.

Висновки:

Виділені стадії маршруту проектування типового технологічного процесу виготовлення групи виробів плечового одягу як комплексу взаємопов'язаних процесів і процедур з наявними чи відсутніми можливостями і обмеженнями для їх реалізації; це допомагає виконати науковий пошук інформації і певні дослідження.

Для коригування наукових досліджень систематизовані і структуровані інформаційні потоки та маршрути процесу проектування у вигляді нормативів, відомих методів типізації, сучасних технологій, характеристик, показників, параметрів і т. ін.

З Елементи типізації технологічного процесу як об'єкти подальших досліджень обмежені за номенклатурою. Це одяг однієї категорії, предмети праці, їх зрізи і поверхні, швейне устаткування; технологічні операції і заходи їх виконання.

Сформульовані умови, обмеження і завдання проектування технологічних процесів на засадах методів типового проектування для інтенсифікації процесу наукових розробок.

1. http://student.km.ru/ref_show_frame.asp?id=85637abc88374ac1b768fd83c98b28bb
2. http://de.ifmo.ru/bk_netra/page.php?tutindex=1&index=47&layer=2
3. Соколовский А.П. Научные основы технологии машиностроения / Соколовский А.П. – М. : Машгиз, 1955. – 515 с.
4. Плехнова Н.И. Типизация технологических процессов в тяжелом машиностроении / Плехнова Н.И. – М. : Машиностроение, 1975. – 128 с
5. Кирбеников Б.А. Техническое нормирование труда на предприятиях бытового обслуживания / Кирбеников Б.А. – М., 1977.-167с.
6. Славінська А.Л. Методи типового проектування одягу : [навчальний посібник] / Славінська А.Л. – Хмельницький : ХНУ, 2008. – 159 с.

Надійшла 22.9.2011 р.

УДК 687.016.5

А.Л. СЛАВІНСЬКА
Хмельницький національний університет
О.М. ШТОМПІЛЬ
Київський національний університет технологій та дизайну

МЕТОД ПАРАМЕТРИЧНОЇ ТИПІЗАЦІЇ КОНСТРУКЦІЙ ЖІНОЧОГО ЖАКЕТА З УРАХУВАННЯМ СТИЛЬОВОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ

В статті викладені результати досліджень лекал сучасних жіночих жакетів за ознаками мінливості прибавки по лінії грудей (Пг), виявлені залежності мінливості Пг від стильової характеристики силуету жіночих жакетів.

The article presented the results of studies of contemporary patterns of women's jackets on the basis of variability hike through the chest (Pg), found variability depending on the style characteristics Pg silhouette of women's jackets.

Ключові слова: конструкція, силует, прибавка по лінії грудей, стильова характеристика, типізація, відхилення прибавки по лінії грудей.

Постановка проблеми. Ринкові відносини у господарюванні вимагають поліпшення дизайну швейних виробів. А це вимагає методологічної перебудови сфери розробки та обороту проектно-конструкторської документації.

Групові конструкторські документи базуються на конструктивній однорідності моделей, дизайн яких забезпечений засобами композиційної поліваріантності конструктивного прототипу, яка додатково урізноманітнюється стильовими ознаками [1].

Тому систематизація стильових ознак з урахуванням тенденцій моди в сучасних жіночих жакетах є актуальною, оскільки дозволить формалізувати процедури силуетного модифікування вихідної базової конструкції.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Членування поверхні одягу на деталі залежить від стильових ознак, які досягаються такими засобами композиції, як співрозмірність частин, пропорції, масштабність, пластичність, ритмічні зв'язки [2].

Класичний стиль сформувався на базі англійського костюма, перетворений в сучасних формах він є досить популярним як в чоловічому, так і жіночому одязі, слугує для створення офіційного та офіційно-святкового іміджу. Основні членування форми одягу класичного стилю відбуваються в місцях натурального членування фігури, зберігаючи природні пропорції тіла [3].

Жіночий одяг, у порівнянні з чоловічим, має більш складну просторову форму. Типовою базовою конструкцією жіночого жакета є п'яти, шестишовна конструкція напівприлеглого силуету з вшивним рукавом.

В практиці конструювання використовують засоби формування деталей одягу із декількох частин зі зрізами різної кривизни. Класичний жакет містить 5 вертикальних членувань [4, 5], діловий жакет має сплюснену форму об'єму грудей [5], блейзер наближений до конструкції чоловічого піджака.

Типові параметри конструктивних членувань викладені в [6], які в поєднанні забезпечують моделювання основних деталей відповідної силуетної форми жіночого жакета з урахуванням стильових ознак.

Найбільший вплив на якість формування ергономічної системи «людини–одяг» для плечових виробів має прибавка на свободу по лінії грудей, глибина та ширина пройми [7].

Ширина і глибина пройми тісно пов'язані з прибавкою на свободу по лінії грудей P_g , крім того P_g є визначальною для силуету [8].

Базові силуету жіночого жакета мають наступні значення прибавок: $P_{Cu 1}=5$ см; $P_{Cu 2}=6,5$ см; $P_{Cu 3}=8$ см [9]. Прибавка, яка врахована в манекені, $P_{Cu 0}=2$ см; [10].

Дискретне значення відхилень силуетних прибавок: $P_{Cu 1} - P_{Cu 2} = 1, 5$ см, $P_{Cu 3} - P_{Cu 2} =$

1,5 см дозволяє зробити припущення про стабільний зв'язок величин прибавки в суміжних базових силуетах.

Однак вказані постійні величини нарощування Pg не зберігаються в типах жакетів різних стильових характеристик.

Мета і завдання дослідження. Мета – дослідження першого рівня силуетних перетворень конструкції на лінії грудей на основі нормалізації величин прибавок в лекалах жіночого жакета.

Завдання дослідження:

- дослідження дисперсії відхилень Pg в конструкціях жіночого жакета;
- розробка нормалізованих рядів Pg для трьох типів жіночого жакета.

Виклад основного матеріалу досліджень. Спосіб нормалізації прибавок за типами конструкцій жакетів містить три етапи досліджень:

Проведення статистичних досліджень величин прибавок для асортиментних типів традиційного жакету.

Виявлення залежності величин силуетних прибавок від типу жакету та розміру.

Лінеаризація величин прибавок на свободу по лінії грудей.

Силуетне модифікування деталей конструкції здійснюється за прототипом градації [9]. Для цього виконують ланцюжок перетворень: **ВБК – СМК – ТМК**. За вихідну базову конструкцію (**ВБК**) обрана конструкція, побудована за системою «Мюллер і син», на основі якої розроблені силуетні модельні конструкції (**СМК**), лекала яких надані німецьким замовником. Типізовані модельні конструкції (**ТМК**) отримані лінійним модифікуванням силуетних прибавок в діапазоні мінімізована – максимальна конструкція.

Питання про ергономічну відповідність силуетних конструкцій, перш за все, зводиться до вибору прибавки на свободу по лінії грудей. Для досліджень використано шаблони деталей 24 конструкцій для двох силуетів та трьох типів жакету.

Результати досліджень прибавки на свободу по лінії грудей наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Статистичний аналіз прибавки по лінії грудей Pg в стильових типах конструкцій жіночого жакета

Тип жакета	положення	Величина прибавки Pg в силуетних конструкціях, см								Середня арифметична величина X , см	Середнє квадратичне відхилення S , см
		Прилеглий силует				Напівприлеглий силует					
Класичний	x_1	5,2	5,4	6,0	6,3	6,1	6,6	7,1	7,5	6,275	0,7852
	Δx_1	-1,075	-0,875	-0,275	0,025	-0,175	0,325	0,825	1,225	0	
	$ \Delta x_1 $	1,075	0,875	0,275	0,025	0,175	0,325	0,825	1,225	0,6003	
	Δy_1	0,2898	0,0898	-0,5102	-0,7602	-0,6102	-0,4602	0,0425	0,4398	-0,1849	
діловий	x_2	5,6	5,8	6,5	6,6	7,1	7,7	8,0	8,3	6,95	1,0129
	Δx_2	-1,35	-1,15	-0,45	-0,35	0,15	0,75	1,05	1,35	0	
	$ \Delta x_2 $	1,35	1,15	0,45	0,35	0,15	0,75	1,05	1,35	0,825	
	Δy_2	0,3371	0,1371	-0,579	-0,6629	-0,8629	-0,2629	0,0371	0,3371	-0,06491	
Блейзер	x_3	6,0	6,2	6,6	6,9	7,5	8,0	8,5	8,8	7,3125	1,0517
	Δx_3	-1,3125	-1,1125	-0,7125	-0,4125	0,1875	0,6875	1,1875	1,4875	0	
	$ \Delta x_3 $	1,3125	1,1125	0,7125	0,4125	0,1875	0,6875	1,1875	1,4875	0,8875	
	Δy_3	0,2608	0,0608	-0,3445	-0,6392	-0,8642	-0,3642	0,1358	0,4358	-0,1849	

В програмному процесорі Excel за допомогою пакету «Аналіз даних» розраховано статистичні значення для кожної структурної величини відхилень прибавки за даними табл.1.

Для представлення дослідних даних функціональною залежністю обрано метод найменших квадратів. Дослідні дані можна описати лінійною залежністю $y = ax + b$ [11].

Для лінійної емпіричної залежності складено нормальну систему двох рівнянь з двома невідомими a і b :

$$\begin{cases} a \sum_{i=1}^n x_i^2 + \epsilon \sum_{i=1}^n x_i = \sum_{i=1}^n x_i y_i \\ a \sum_{i=1}^n x_i + \epsilon n = \sum_{i=1}^n y_i \end{cases} \quad (1)$$

Значення a і ϵ визначено методом найменших квадратів, використовуючи таблицю підрахунків (табл. 2)

Таблиця 2

Дослідні дані для розрахунку коефіцієнтів регресії a і ϵ

X_1					X_2					X_3				
i	x_i	y_i	x_i^2	$x_i y_i$	i	x_i	y_i	x_i^2	$x_i y_i$	i	x_i	y_i	x_i^2	$x_i y_i$
1	1,075	0,2898	1,1556	0,3115	1	1,35	0,3371	1,8225	0,4550	1	1,3125	0,2668	1,7226	0,3501
2	0,875	0,0898	0,7656	0,0785	2	1,15	0,1371	1,3225	0,1576	2	1,1125	0,0608	1,23765	0,0676
3	0,275	-0,5102	0,0756	-0,1403	3	0,45	-0,549	0,2025	-0,2470	3	0,7125	-0,3445	-0,5076	-0,2454
4	0,025	-0,7602	0,0066	-0,0190	4	0,35	-0,6629	0,1225	-0,2320	4	0,4125	-0,6392	0,1701	-0,2636
5	0,175	-0,6102	0,0306	-0,1067	5	0,15	-0,8629	0,0225	-0,1294	5	0,1875	-0,8642	0,0351	-0,1620
6	0,325	-0,4602	0,1056	-0,1495	6	0,75	-0,2629	0,5625	-0,1971	6	0,6875	-0,3642	0,4726	-0,2503
7	0,825	0,9425	0,6806	0,7775	7	1,05	0,0371	1,1025	0,0389	7	1,1875	0,1358	1,4101	0,1612
8	1,225	0,4398	1,5096	0,5387	8	1,35	0,3371	1,8225	0,4550	8	1,4875	0,4358	2,2165	0,6482
Σ	4,8	-0,5789	4,3298	1,29073	Σ	6,6	-1,4893	6,98	0,3011	Σ	7,1	-1,3129	6,75705	0,3058

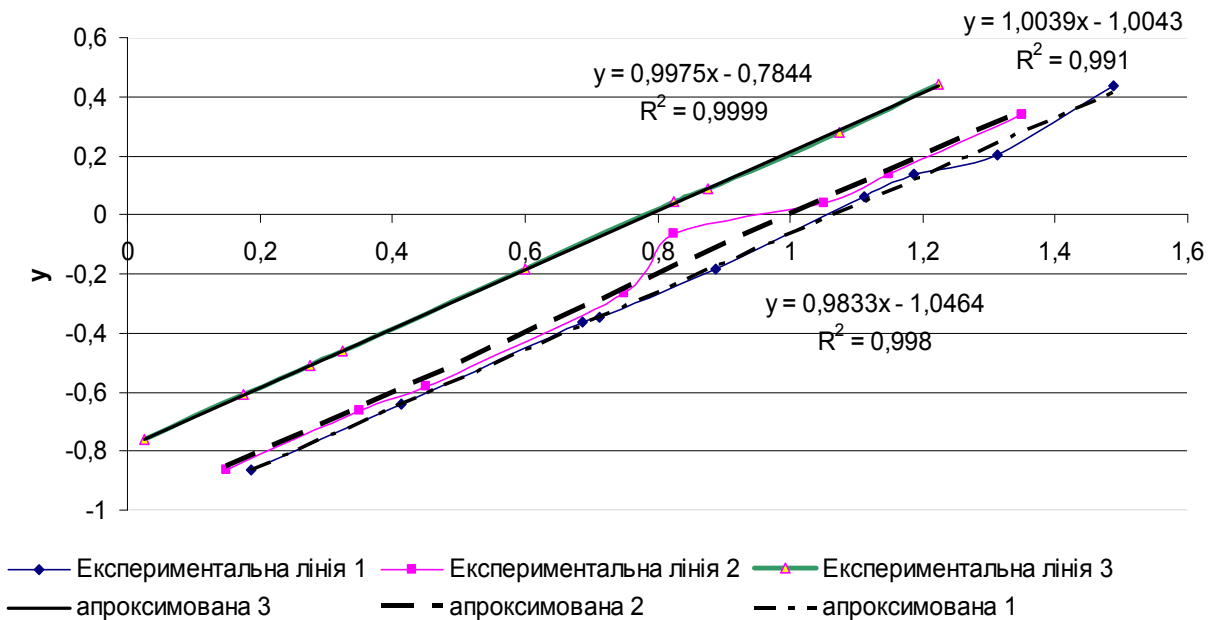
Після розрахунків емпірична формула приймає вигляд:

для класичного жакета: $Y_1 = 1,13 X - 0,75$;

для ділового жакета: $Y_2 = 0,996 X - 1,008$;

для блейзера: $Y_3 = 1,36 X - 1,084$.

Перевірка придатності лінійної формули виконана шляхом лінійної інтерполяції вихідних даних ΔX_i і ΔY_i . Для розглянутих трьох типів жакетів визначена різниця інтерпольованого $\Delta \hat{y}_i$ і середньоарифметичного $\Delta \bar{y}_i$: $\Delta \hat{y}_i - \Delta \bar{y}_i = 0$.

Рис. 1. Лінія тренду відхилень ΔY_i прибавки Π_g в жіночому класичному жакеті

Обрана лінія тренду (рис.1) відображає достатній рівень адекватності експериментальних даних, апроксимованих за допомогою методу найменших квадратів. Виведені рівняння регресії оцінені величиною ймовірної апроксимації R^2 . Коефіцієнт кореляції розрахункових і експериментальних відхилень Π_g знаходиться в межах **0,991 – 0,9999**.

Для виявлення залежності величини силуетної прибавки від типу жакета і розміру фігури виконано морфологічний аналіз сумарних статистичних параметрів Π_g , наведених в табл.1, 2.

Мінімізована прибавка $\Pi_{g_{min}}$ визначена як сума абсолютних відхилень $\Delta \Pi_g$ для кожного типу конструкції жакету. Типізована прибавка $\Pi_{g_{min}}$ обрана за найближчим значенням до величини \bar{X}_{Π_g} .

В результаті визначені середні значення для досліджуваних конструкцій:

$$\bar{X}_{\Pi_2}^{cep} = 6,84 \text{ см}; \quad \Pi_2^{cep}_{min} = 5,6 \text{ см}; \quad \Pi_2^{cep}_{max} = 6,97 \text{ см}.$$

В межах досліджуваних силуетах величини середньої прибавки наступні:

$$\bar{X}_{\Pi_2_{cu_1}} = 6,08 \text{ см}; \quad \bar{X}_{\Pi_2_{cu_2}} = 7,6 \text{ см};$$

Для лінеаризації базису середніх значень Π_2 використані нормовані величини відхилень $\bar{\Delta X}_{\Pi_2}$ відносно середньої величини Π_2 для сформованого ряду Π_2^2 , для якого $\bar{X}_{\Pi_2^2} = 6,62 \text{ см}$.

Ранговий ряд відхилень упорядковано від мінімуму до максимуму і має вигляд: $\Delta \Pi_0 = 0,22$; $\Delta \Pi_1 = 0,35$; $\Delta \Pi_2 = 0,54$; $\Delta \Pi_3 = 0,98$; $\Delta \Pi_4 = 1,02$. Сума відхилень $\sum \Delta \Pi_0 = 3,11 \text{ см}$.

Оскільки $\bar{\Delta X}$ в силуетних конструкціях дорівнює **3,31** см, вона є контрольною для дотримання умови лінеаризації. Тобто, **3,31 > 3,11**.

Розрахунковий вектор базису прибавки визначено за формулою групування відхилень Π_2 :

$$B = \frac{1}{3} (e_0 + e_{max}) + 4(e_1 + e_3 + e_{n-1}) + 2(e_2 + e_4 + e_n), \quad (2)$$

де e_0, e_n – величини експериментальних відхилень.

Після розрахунків $B_{розрах.} = 6,75 \text{ см}$.

Умова лінеаризації дотримана, оскільки

$$\bar{X}_{\Pi_2}^{cep} > B_{розрах.} : 6,84 > 6,75.$$

Це дозволило використати лінійне рівняння (1) для розрахунку дискретної величини прибавки по лінії грудей.

Початок варіантного ряду Π_{Cu_1} прилеглого силуету визначено за формулою:

$$y = ax + b + c, \quad (3)$$

де x – прибавка по лінії грудей; a, b, c – коефіцієнти регресії.

Тоді для Si_1 : $\Pi_{Cu_1} = 0,5 \Pi_{min} + \Pi_{Cu_0} + \Pi T = 0,5 \cdot 4,8 + 2,0 + 0,5 = 4,9 \approx 5,0 \text{ см}$

Початок варіантного ряду Π_2 напівприлеглого силуету визначено за формулою:

$$\Pi_{Cu_2} = \Pi_{Cu_1} + 1,0 = 5,0 + 1,0 = 6,0 \text{ см}, \quad (4)$$

Структура нормалізованих величин прибавки по лінії грудей наведена в таблиці 3.

Таблиця 3

**Параметричний ряд нормалізованих прибавок по лінії грудей
в конструкціях традиційного жіночого жакета**

Тип жакету	Розмірний ряд		Кількість членів у ряді		Різниця прогресії, а	
	Si1	Si2	Si1	Si1	між величинами	між розмірами
класичний	5,0; 5,5; 6,0	6,0; 6,5; 7,0	3	3	0,5	1,0
діловий	5,5; 6,0; 6,5	6,5; 7,0; 7,5	3	3	0,5	1,0
блейзер	6,0; 6,5; 7,0	7,0; 7,5; 8,0	3	3	0,5	1,0

Аналіз діагоналей матриці прибавок в табл.3 показав трансформацію типів жакетів в Si_1 відносно величини 6,0 см, в Si_2 – відносно 7,0 см. Діагоналі 5,0; 6,0; 7,0 (Si_1) та 6,0; 7,0; 8,0 (Si_2) забезпечують міжрозмірне нарощування Π_2 .

Наявність однакових величин Π_2 підтверджує, що вони є з'єднувальними місточками для силуетної трансформації і дозволяє використати випереджувальну уніфікацію основних деталей жіночого жакета як сімейства моделей: класичний, діловий, блейзер.

Висновки. Запропонована система прибавок характеризує дискретні нормовані величини в силуетних модифікаціях типів конструкцій жіночих жакетів. Дискретні значення відхилень силуетних прибавок дозволяють виконати порівняння площинних креслень конструкцій.

Література

- Славінська А.Л. Побудова лекал одягу різного асортименту : [навчальний посібник] / Славінська А.Л. – 3-є вид., випр. і допов. – Хмельницький : ХНУ, 2007. – 173 с.
- Пармон Ф.М. Композиция костюма : [учебник для вузов] / Пармон Ф.М. – М. : Легпромбытиздат, 1985. – 264 с.
- Медведева Т.В. Художественное конструирование одежды : [учебное пособие] / Медведева Т.В. –

М. : ИНФРА, 2005. – 480 с.

4. Сорины, сестры. Истоки имиджа или одежда женщины в азбуке общения. – М. : «Издательство Гном – Д», 2000. – 192 с.

5. Матузова Е.М. Разработка конструкций женских швейных изделий по моделям / Матузова Е.М., Соколова И.Р., Гончарук И.С. – 2-е изд., испр. и доп. – М. : Легкая и пищевая пром-сть, 1983. – 224 с.

6. Мюллер М. Техника кроя / Мюллер М. – М. : ЗАО КОМ – Лига Пресс, 2001. – 170 с.

7. Коблякова Е.Б. Конструирование одежды с элементами САПР : [учебник] / Коблякова Е.Б. ; под ред. Е.Б. Кобляковой. – 4-е изд. – М. : Легпромбытиздат, 1988. – 464 с.

8. Единая методика конструирования одежды СЭВ (ЕМКО СЭВ). Теоретические основы. – М. : ЦНИИТЭИ Легпром, 1988. – Т. 1. – 169 с.

9. Славінська А.Л. Методи типового проектування одягу : [навчальний посібник] / Славінська А.Л. – Хмельницький : ХНУ, 2008 – 159 с.

10. Славінська А.Л. Основи модульного проектування одягу : [монографія] / Славінська А.Л. – Хмельницький : ХНУ, 2007 – 167 с.

11. Справочник по математике для экономистов / [Барбаумов В.Е., Ермаков В.И., Кривенцева Н.Н. и др.] ; под ред. В.И. Ермакова. – М. : Высш. Школа, 1987. – 336 с.

Надійшла 12.9.2011 р.

УДК 620:22:677

Н.А. ТЕРЕШКЕВИЧ, Л.Г. НИКОЛАЙЧУК

Львівська комерційна академія

ОДЯГ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ: ФОРМУВАННЯ АСОРТИМЕНТУ ТА ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕЧНОСТІ

Дана стаття присвячена вивченню чинників, які суттєво впливають на формування асортименту та екологічної безпеки одягових виробів спеціального призначення.

This article is devoted to studying the factors that significantly affect the product range and environmental safety of special products.

Ключові слова: асортимент, екологічна безпека, текстильні матеріали.

Постановка проблеми. Актуальність даної статті обумовлена, насамперед, відсутністю досліджень, присвячених розкриттю товарознавчих аспектів формування екологічної безпеки текстильних матеріалів та одягу спеціального призначення. Крім того, відсутність критеріїв оцінки екологічної безпеки текстильних матеріалів для спецодягу викликає можливість розроблення нових та вдосконалення існуючих методів оцінки екологічної безпеки текстильних матеріалів та виробів спеціального призначення. Тому в даній статті розглянуто деякі товарознавчі аспекти формування та оцінки екологічної безпеки текстильних матеріалів та виробів спеціального призначення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз літературних джерел [1, 2] показав, що в останні роки в Україні, як і в багатьох інших країнах Європи та світу, гостро стоїть проблема виробництва, споживання та експлуатації екологічно безпечних текстильних матеріалів та виробів спеціального призначення. Для її вирішення наша текстильна промисловість планувала здійснити низку заходів, а саме:

- зняти з виробництва барвники, виробництво та застосування яких негативно впливає на навколишнє середовище і екологічно небезпечне;

- здійснювати пошук альтернативних видів барвників (рослинних, бактеріальних та інших);

- проводити впровадження екологічно чистих та дешевих технологій, обробок, препаратів та ін.;

- проводити апробацію нових фізико-хімічних методів і т.і.

Актуальність цих питань впливає з таких важливих причин:

- зростання в сучасному світі інтересу до екологічного текстилю і так само спеціального призначення;

- необхідність узагальнення результатів досліджень про формування та оцінку екологічної безпеки текстильних матеріалів та виробів побутового, технічного та спеціального призначення;

- необхідність вдосконалення системи екологічної експертизи товарів та виробів досліджуваного призначення;

- недостатня ув'язка існуючих критеріїв оцінки якості текстильних матеріалів та виробів спеціального призначення з критеріями оцінки їх екологічної безпеки;

- необхідність розробки та подальшого вдосконалення методів і методик оцінки екологічної безпеки товарів та виробів досліджуваного призначення.

Рівень екологічної безпеки будь-якого виду одягового текстильного матеріалу переважно визначають за показниками його повітря- і паропрохідності, гігроскопічності, водоопірності, водопоглинання, вологовіддачі, капілярності, теплопровідності, електризованості, схильності до забруднення, біостійкості та ін. На жаль, в жодній із категорій діючих в Україні нормативних документів

(державних та галузевих стандартів й інших) до цього часу не міститься методик, критеріїв, показників визначення рівня екологічної безпеки конкретних видів текстильних матеріалів та виробів різного цільового призначення, способів виробництва та волокнистого складу.

Формулювання цілі статті. Метою роботи є вивчення та обґрунтування чинників, які визначають рівень екологічної безпечності текстильних матеріалів та одягу спеціального призначення.

Виклад основного матеріалу. Сьогодні світовий ринок пропонує велику кількість текстильних матеріалів для одягу спеціального призначення – тканин, трикотажних полотен, нетканих матеріалів, ламінованих та інших виробів. Названі текстильні матеріали повинні володіти комплексом необхідних споживних властивостей, в тому числі бути екологічно безпечними для людини та оточуючого середовища. Зрозуміло, що застосування екологічно чистих сировинних матеріалів, екологічно безпечних технологій виготовлення одягу – все це сприяє одержанню високоякісного екологічно чистого одягу. Процес формування екологічної безпечності текстильних матеріалів для одягу спеціального призначення залежить від багатьох чинників. Це, насамперед, екологічно чиста текстильна сировина, дотримання екологічних вимог до окремих етапів текстильного виробництва та дотримання екологічних правил зберігання, транспортування, експлуатації та утилізації текстильних матеріалів та виробів з них.

Від обґрунтованого вибору сировинних матеріалів, особливостей рецептурно-технологічних режимів, видів обробки залежить рівень екологічної безпеки текстильних матеріалів та виробів з них.

Найбільш важливими складовими комплексу одягу є текстильні матеріали, які застосовуються для верху спецодягу, оскільки вони безпосередньо контактують зі шкідливими виробничими чинниками та забезпечують захист людини. Тому особливої уваги потребує розгляд питань стосовно визначення норм гранично допустимих концентрацій найбільш шкідливих для організму людини та навколишнього середовища речовин у текстильних матеріалах для спецодягу, а саме: залишкова концентрація формальдегіду, важких металів, токсичних й канцерогенних марок синтетичних барвників, а також летких речовин, які містяться в обробних препаратах, поверхнево активних речовинах, допоміжних текстильних речовинах й інших. Все це визначає жорсткі вимоги до готового спецодягу та вибору текстильних матеріалів [1, 2].

Комплект спецодягу повинен бути підібраний так, щоб його частини максимально закривали тіло людини, особливо ті ділянки, з яких виділяється більша частина забруднень (верхня частина тулуба, голова, кисті рук). Покрій одягу повинен передбачати максимальне прилягання його до тіла. Таким чином, досягається максимальна закритість підодягового простору. Це в більшій мірі стосується спеціального одягу для чистих промислових підприємств. Сфера використання чистих приміщень охоплює такі галузі: мікроелектронну, оптичну, лазерну промисловість; приладобудування; автомобільну промисловість; виробництво лікарських засобів та виробів медичного призначення. Так, до текстильних матеріалів для одягу, що використовується в чистих промислових підприємствах (ЧПП), висуваються такі основні вимоги: висока абразивна стійкість, задовільні антистатичні властивості, а також легкість видалення забруднень при очищенні. Інші вимоги є дещо специфічними. Задовольнити більшість властивостей дозволяє застосування матеріалів із синтетичних (філаментних) ниток, тому частіше використовують поліефірні тканини. Для біологічно чистих приміщень застосовують частково тканини з суміші поліефірних і бавовняних волокон. Поліефірні матеріали є стійкими до дії кислот, тканини із суміші поліефірних і бавовняних волокон мають антистатичні властивості, є гігієнічними. Стосовно одягу ЧПП в більшості розвинутих країн існують гнучкі рекомендовані нормативи, які найбільш повно сформульовані американським інститутом вивчення навколишнього середовища (IES) (табл.1).

Таблиця 1

Рекомендовані нормативи для одягу чистих промислових приміщень

Клас чистоти за ICO (Fed. Std. 209 D) і GMP EC	Рекомендаційний склад комплексу одягу	Частота зміни
ICO 4 (10)	Комбінезон, спеціальні бахіли-черевики, маска, бар'єрні рукавиці, білизна, шкарпетки	При кожному вході
ICO 5 (100), A і B	Комбінезон, спеціальні бахіли-черевики, шолом для волосся, маска, в'язані рукавиці, бар'єрні рукавиці, білизна, шкарпетки	При кожному вході
ICO 6 (1 000)	Комбінезон або костюм, бахіли, шолом, маска, в'язані рукавиці, бар'єрні рукавиці, білизна, шкарпетки	Щоденно
ICO 7 (10 000), C	Костюм (халат або блузон, штани), шапка, бахіли	Щоденно
ICO 8 (100 000), D	Костюм (халат або блузон, штани), шапка, бахіли	Кожного другого дня

Як свідчить зарубіжний досвід, останнім часом для захисту персоналу промислових підприємств та атомних електростанцій від можливого контактного і аерозольного радіоактивного забруднення став широко застосовуватися спецодяг короткотермінового використання. Наслідки аварії на Чорнобильській атомній електростанції підтвердили необхідність створення спецодягу такого типу і в Україні. В умовах високого рівня забруднення навколишнього середовища штатний спецодяг з високою собівартістю використовували як разовий (за відсутності можливостей дезактивації, одяг знищували після разового

використання), що призводило до значних матеріальних затрат. Так, в США для виготовлення спецодягу такого типу найбільш широко використовується нетканий матеріал типу «Тайвек», який складається із термоскріплених у процесі прядіння поліолефінових волокон. Такий матеріал затримує основну масу пилових частинок розміром до 0,5 мкм. Використання спецодягу короткотермінового використання в Україні дозволило б суттєво зменшити матеріальні затрати, оскільки матеріали, що застосовуються для виготовлення такого спецодягу, повинні бути дешевшими порівняно з матеріалами, які застосовуються сьогодні для виготовлення штатного спецодягу. Крім того, спецодег короткотермінового використання повинен бути простим у виготовленні і не вимагати дезактивації, що дозволить уникнути значних затрат на очищення стічних вод. Сьогодні на ринку тканин для спецодягу представлено широкий асортимент вогнезахисних тканин Carrington, виготовлених за унікальною технологією «Proban», яка передбачає обробку спеціальним розчином для надання тканині заданих властивостей. Після такої обробки підвищується зносостійкість бавовняних тканин і забезпечується збереження їх вогнезахисних властивостей після довготривалого використання. Спецодег, виготовлений з таких тканин, забезпечує захист працівника від підвищених температур, відкритого полум'я, теплового випромінювання та інших несприятливих чинників. Тканини Carrington сертифіковані згідно з міжнародним стандартом Eko-Tex Standard 100. Крім названих, на ринку представлено асортимент антистатичних тканин Tomstat і Antistat, які містять волокно Negastat, а також тканина Antistat Cotton – волокно Resistat. Крім того, для вогнезахисних тканин ефективним є оброблення Rugovateх, яке забезпечує високі показники властивостей безпеки. Популярними сьогодні є вогнезахисні бавовняні тканини з поверхневою густиною від 237 г/м² до 472 г/м², різні за переплетенням та фактурою поверхні. Спецодег, виготовлений з таких тканин, захищає від дії електричної дуги, відкритого полум'я, бризгів розплавленого металу і призначений для працівників нафтогазової промисловості, енергетиків, металургів та ін. [3, 4].

З метою поліпшення захисних властивостей комплекту спецодягу рекомендовано використовувати вогнезахисний трикотаж для натільної білизни. Для одержання такого трикотажного полотна використовують спеціальне волокно Protex і бавовняну пряжу. При цьому, вогнестійке волокно забезпечує вогнезахисні властивості, а бавовняна пряжа – гігієнічні властивості білизняного трикотажу [5].

Для працівників металургійних та електроенергетичних компаній фірмою «Клорпан» розроблено колекцію тканин, які відповідають світовим стандартам щодо вимог безпечності, в тому числі екологічної. Для забезпечення комплексу заданих властивостей тканини оброблені кислотомаслобрудодозахисним складом Hydrofoil. Для надання тканинам антистатичних властивостей вводиться волокно Negastat [6].

Тканини для працівників нафтогазових компаній представлено даними табл.2.

Таблиця 2

Асортимент тканин Клорпан для працівників нафтогазових компаній

№ з/п	Артикул	Волокнистий склад, %	Поверхнева густина, г/м ²	Види захисту
1	Indestructible Hydrofoil+Nega-state	Бавовна – 35 Поліефірне волокно – 65	245	Антистатика, кислотомаслобрудодозахист
2	Indestructible Hydrofoil	Бавовна – 35 Поліефірне волокно – 65	245	Кислотолугомаслобрудодозахист
3	Superbandmaster Negastate	Бавовна – 35 Поліефірне волокно – 65	210	Антистатика
4	Megastat Hydrofoil+Negas-tate	Бавовна – 75 Поліефірне волокно – 25	215	Антистатика, кислотолугомаслобрудодозахист

Висновок. Встановлено Для утеплення спецодягу широко застосовується матеріал під назвою «файбертек». Він характеризується високими показниками споживних властивостей. Крім того, при виробництві даного утеплювача не застосовуються шкідливі для здоров'я клеї, полімерні емульсії або легковплавкі волокна для термоскріплення. Основу матеріалу становлять поліефірні волокна, які відрізняються високою стійкістю до деструктивних явищ, що призводять до розкладання полімерного ланцюга і утворення токсичних мономерів і алергенів. Таким чином, утеплювач «файбертек» є екологічно чистим матеріалом [7]., що екологічна та інші види безпечності одягових виробів спеціального призначення представляють складну проблему, складовими якої є низка різнорівневих елементів з багаточисленими зв'язками, яка повинна вирішуватися в рамках державного регулювання з врахуванням всіх складових екологічної безпеки і розглядатися як невідомна частина національної безпеки держави. Екологічна безпека текстильних матеріалів та готового спецодягу визначається здатністю держави на національному рівні

створити такі умови, включаючи нормативно-правову базу, які б забезпечували необхідний рівень безпеки продукції. Це в повній мірі стосується і одягових виробів спеціального призначення.

Література

1. Галик І.С. Екологічна безпека та біостійкість текстильних матеріалів : [монографія] / Галик І.С., Концевич О.Б., Семак Б.Д. – Львів : Вид-во Львівської комерційної академії, 2006. – 232 с.
2. Дудла І.О. Сем Товарознавчі аспекти формування екологічної безпеки товарів / І.О. Дудла, І.С., Галик, Б.Д. Семак // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. – Чернігів : ЧДТУ, 2004. – № 21. – С. 223–231.
3. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.rhodia-proban.com>
4. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.dwa-d-print.ru/carrington.php>
5. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.profodezhda.ru>
6. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.textiles.pl.ua>
7. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.fiberteck.ru/index>

Надійшла 20.9.2011 р.

УДК 685.34.02

Г.Є. ЛОБАНОВА, В.П. ЛИБА
Хмельницький національний університет

ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ВИГОТОВЛЕННЯ ВЗУТТЯ КЛЕЙОВОГО МЕТОДУ КРІПЛЕННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ДЕТАЛЕЙ ІЗ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

У статті розглядається шляхи підвищення якості повсякденного взуття за рахунок використання деталей із сучасних полімерних композиційних матеріалів, виготовлених на основі вторинної сировини, та оптимізації технологічних режимів виконання операції склеювання.

The article considers the ways to improve the quality of casual shoes by using parts of modern polymeric composite materials made on the basis of secondary raw materials, and optimization of technological modes of bonding operations.

Ключові слова: клейове з'єднання, міцність, композиційний матеріал, заготовка, підошва.

Постановка проблеми. В даний час важко знайти область техніки, де б не застосовувалися клейові з'єднання. Успіхи хімії високомолекулярних сполук, особливо в останні десятиліття, дозволили створити велику кількість нових матеріалів, значно розширили асортимент клеїв.

У широких масштабах клейові з'єднання застосовуються у виробках із шкіри. В даний час у країнах з розвинутою технічно взуттєвою промисловістю питома вага взуття клейових методів кріплення низу становить 75% і більше. Клейові з'єднання широко використовуються при складанні заготовок взуття, затягуванні верху та прикріпленні підошов.

Головними факторами, що обумовлюють такі тенденції, є переваги клейових методів кріплення перед іншими методами: можливість застосування паралельного принципу з'єднання деталей, підвищення продуктивності праці, автоматизації технологічних процесів, зміни зовнішнього вигляду та фізичних властивостей виробів (жорсткості, маси) і т. п.

У зв'язку з цим удосконалення технології виготовлення та оцінки якості повсякденного взуття клейового методу кріплення з деталями із композиційних матеріалів, отриманих з використанням промислових відходів, є актуальним завданням. Застосування композиційних матеріалів при виготовленні виробів легкої промисловості дасть можливість знизити їх собівартість, покращити експлуатаційні та гігієнічні властивості, збільшити гарантійний термін експлуатації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Найбільш повне задоволення потреб населення у взутті досягається шляхом виявлення цільового споживача та вивчення специфіки його вимог до виробу. Однак на даний час проблема задоволення населення якісним взуттям досі ще не вирішена. В цих умовах вимоги щодо покращення показників технологічних і споживчих властивостей продукції набувають реального змісту [1, 2].

В сучасному взуттєвому виробництві клейові з'єднання широко використовуються при складанні заготовок взуття, затягуванні та прикріпленні підошов. При цьому з'єднання можуть бути як допоміжними, так і основними, які характеризуються високими показниками надійності та довговічності.

Вимоги, що пред'являються до клейових з'єднань, напряму пов'язані з їх призначенням – для основного, допоміжного чи попереднього скріплення деталей, а також необхідністю витримувати значні навантаження в умовах дії вологи, підвищених і понижених температур, агресивних середовищ. Основною вимогою до клейових з'єднань є висока міцність при дії зсувних, розтягуючих та згинальних зусиль до склеєних деталей взуття.

Головними факторами, що визначають високу міцність клейових з'єднань, є конструктивні

(геометричні розміри, характер утворення елементів конструкцій), технологічні (стан і характер поверхонь, час і вид сушки, час і температура активації клейових плівок, час і тиск пресування, час вистою тощо) та експлуатаційні (характер статичних і динамічних деформацій, агресивні впливи зовнішнього середовища). Технологічні фактори піддаються найбільш доступному керуванню шляхом зміни технологічних режимів підготовки поверхонь, нанесення клейових плівок, суміщення і пресування (створення) клейових швів.

Для виготовлення деталей взуття все ширше використовуються полімерні композиційні матеріали, до складу яких входять перероблені промислові відходи, і які за експлуатаційними та гігієнічними властивостями не поступаються натуральній шкірі, картону. Фактори, що впливають на міцність клейових скріплень деталей взуття із вказаних матеріалів на сьогоднішній день досліджені недостатньо.

Здійснений критичний огляд літературних джерел за темою досліджень дозволяє конкретизувати мету роботи, яка полягає в удосконаленні технології виготовлення повсякденного взуття з деталями із композиційних матеріалів з використанням клейових з'єднань.

Формулювання цілі статті. Метою даної роботи є удосконалення існуючої технології виготовлення повсякденного взуття з деталями із сучасних композиційних матеріалів. Для цього необхідно дослідити вплив технологічних режимів склеювання на міцність клейових швів та оптимізувати технологічні режими склеювання деталей верху і низу взуття із забезпеченням високих показників механічної міцності.

Виклад основного матеріалу. Критичним оглядом літератури встановлено, що надзвичайно важливими показниками, що характеризують якість кріплення низу взуття є: міцність клейового шва при зсуві згідно з ГОСТ 14759-89 (прикріплення затягувальної кромки до основної устілки); міцність клейового з'єднання при розшаруванні згідно з ГОСТ 28966.1-91; міцність клейового з'єднання при відриві згідно з ГОСТ 14760-89 (прикріплення підошви до верху взуття).

Для проведення експерименту з дослідження зсувних навантажень обрані такі фізичні об'єкти:

- матеріал основної устілки – полімерний композиційний матеріал ТКУ-О, виготовлений із промислових відходів [4];
- матеріал верху, що затягується на основну устілку, – шкіра підкладкова за ГОСТ 940-87;
- клей нарізаний 8–12 % (склад б за табл. III.89 [5]).

В експерименті досліджували вплив таких режимів склеювання затягувальної кромки та основної устілки: ширина затягувальної кромки (від 12 до 15 мм); температура пластин затяжної машини ЗНК-1-О (від 90 до 130 °С); тривалість витримки затягувальної кромки під тиском (від 10 до 20 с); тривалість сушки клейової плівки після намащування (від 15 до 25 хв).

У проведених нами дослідженнях руйнування склеєних зразків проходило за клеєм. Зважаючи на важливість такого конструктивного фактора як ширина клейової плівки [3] (у нашому випадку це ширина затягувальної кромки) здійснені дослідження міцності клейового з'єднання при зсуві за таких технологічних режимів: температура пресуючих пластин 90, 100 та 110 °С; тривалість витримки затягувальної кромки під тиском 15 с; тривалість сушки клейової плівки після намащування 20 хв. Отримані дані наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Значення міцності клейового кріплення на зсув (МПа) підкладки до устілки із ТКУ-О залежно від ширини затягувальної кромки (мм) і температури пресуючих пластин (°С)

X ₂		X ₁		
		Ширина затягувальної кромки, мм		
		10,0	12,5	15,0
Температура пластин, °С	90	0,97	1,38	1,48
	100	1,19	1,74	1,89
	110	1,11	1,63	1,75

Графік залежності міцності при зсуві від ширини затягувальної плівки при температурах пресуючих пластин 90, 100 і 110 °С представлений на рисунку 1.

Як бачимо, усі графіки мають постійно наростаючий характер, що свідчить про значну роль ширини затягувальної кромки у формуванні загальної міцності шва. У той же час відмітимо, що мінімально допустимого значення (1,2 МПа) криві за різної $t_{\text{пласт}}$ досягають при різній ширині кромки. Максимальне рекомендоване значення міцності (1,6 МПа) досягається при $t_{\text{пласт}} = 100$ °С та ширині затягувальної кромки 12 мм.

Зважаючи на можливий вплив температури пресуючих пластин на міцність клейового шва здійснили дослідження міцності при зсуві від цього технологічного режиму за таких значень інших режимів: ширина затягувальної кромки 15 мм; тривалість витримки затягувальної кромки під тиском 15 с; тривалість сушки клейової плівки після намащування 20 хв. Графік однофакторної регресійної залежності міцності клейового шва при зсуві від температури пресуючих пластин наведений на рисунку 2.

Отримана залежність носить екстремальний характер, де максимального значення міцність на зсув досягає при ~ 115 °С – 1,78 МПа. Однак, не можна не помітити, що мінімальне рекомендоване значення міцності (1,2 МПа) досягається уже при 90 °С. Отже, температура 90 °С є більш доцільною, тому що достатня міцність забезпечується при менших енергетичних витрат.

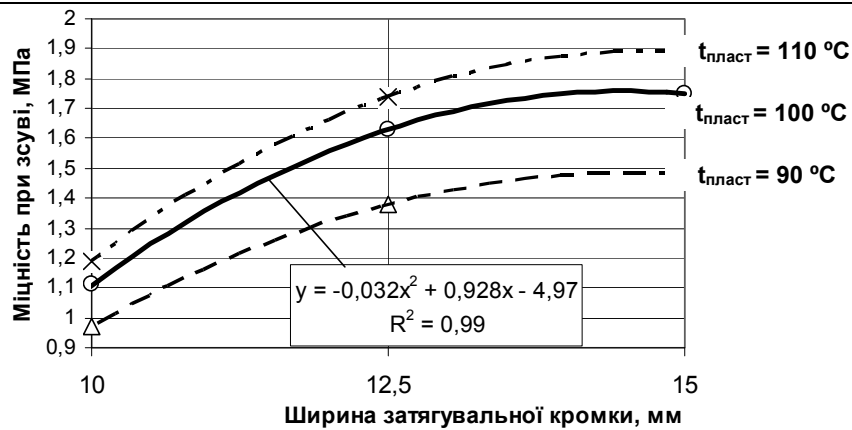


Рис. 1. Залежність міцності клейового шва при зсуві від ширини з'являючої кромки

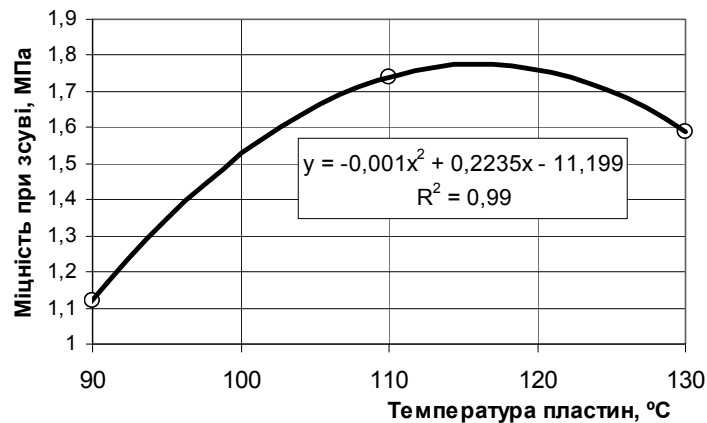


Рис. 2. Залежність міцності при зсуві від температури пластин

Як уже відмічалось, важливим фактором, що впливає на міцність клейових з'єднань, є тривалість пресування з'являючої кромки заготовки (а значить, і клейової плівки) пресуючими пластинами машини ЗНК-1-О. Рекомендовані значення цього параметра – $15 \div 20$ с при $t_{\text{пласт}} = 100 \div 130\text{ }^{\circ}\text{C}$ або 60 с при $t_{\text{пласт}} = 90 \div 100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Як бачимо, єдиної думки щодо раціонального значення тривалості пресування в технічній літературі немає.

Наші дослідження однофакторної залежності міцності клейового шва при зсуві від тривалості пресування пластинами здійснювали при таких режимах: температура пластин $t_{\text{пласт}} = 90\text{ }^{\circ}\text{C}$; тривалість сушки клейової плівки після намащування – 20 хв. Графік отриманої в результаті здійснених досліджень залежності наведений на рисунку 3.

Рис. 3. Залежність міцності при зсуві від тривалості пресування клейової плівки ($t_{\text{пласт}} = 90\text{ }^{\circ}\text{C}$)

Графік однозначно свідчить про неперервний ріст міцності при збільшенні часу на пресування. Мінімальне значення міцності ($1,2$ МПа) досягається при $10 \div 11$ с. Максимальне рекомендоване значення ($1,6$ МПа) спостерігається при $15 \div 16$ с. Таким чином, раціональним значенням тривалості пресування слід вважати те значення, що сприяє більшій міцності клейового з'єднання, тобто значення $T_{\text{прес}} \approx 15$ с.

Як відмічалось, у критичному огляді літератури, тривалість сушки клейової плівки визначає відсоток залишку розчинника у висушеній плівці, що суттєво впливає як на миттєву міцність шва, так і на

довговічність усього кріплення [3]. Тому в нашому дослідженні здійснене випробування клейового з'єднання на зсув при різних значеннях тривалості сушки. При цьому інші технологічні режими були такими: ширина зтягувальної кромки 15 мм; тривалість витримки зтягувальної кромки під тиском пластин 15 с; температура пресуючих пластин зтягнутої машини ЗНК-1-О $t_{\text{пласт}} = 90$ °С. Графік отриманої при цьому залежності наведений на рисунку 4.

Згідно з графіком мінімальне рекомендоване значення міцності на зсув (1,2 МПа) досягається уже при 16 хв сушки клейової плівки, а максимальне значення (1,6 МПа) – при 20÷22 хв. На наш погляд, для забезпечення більшої довговічності клейового шва доцільно при підготовці клейової плівки застосовувати режим сушки, ближчий до 20 хв.

Таким чином, здійснені дослідження однофакторних залежностей міцності клейового з'єднання зтягувальної кромки заготовки з основною устілкою із композиційного матеріалу ТКУ-О дозволили встановити раціональні значення ширини зтягувальної кромки (~12 мм), температури пресуючих пластин зтягнутої машини (~100 °С), тривалості пресування зтягувальної кромки пластинами (~15 с), тривалості сушки клейової плівки після замащення (~20 хв.). Як відомо, кожний із досліджених факторів може підлягати взаємному впливові, тому доцільно здійснити багатофакторне дослідження і оптимізацію технологічних режимів.

Для проведення експерименту з дослідження міцності при розшаруванні були обрані такі фізичні об'єкти:

- матеріал основної устілки – полімерний композиційний матеріал ТКУ-О, виготовлений із промислових відходів [4];
- матеріал, який імітує матеріал верху, що зтягується на основну устілку, – двохшарова кирза гладкопофарбована за ГОСТ 19196-90.
- клей наірітовий 8–12 % (склад б за табл. III.89 [5]).

В експерименті досліджували впливи таких режимів склеювання зтягувальної кромки та основної устілки: температура пластин зтягнутої машини ЗНК-1-О (від 90 до 130 °С); тривалість сушки клейової плівки після намащування (від 15 до 25 хв); тривалість пролежування зразків після склеювання – 24 год.

Графік однофакторної регресійної залежності міцності клейового шва при розшаруванні від температури пресуючих пластин наведений на рисунку 5.

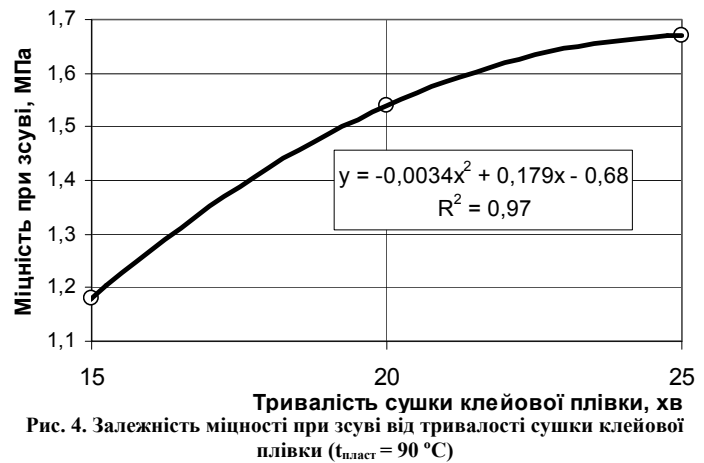


Рис. 4. Залежність міцності при зсуві від тривалості сушки клейової плівки ($t_{\text{пласт}} = 90$ °С)

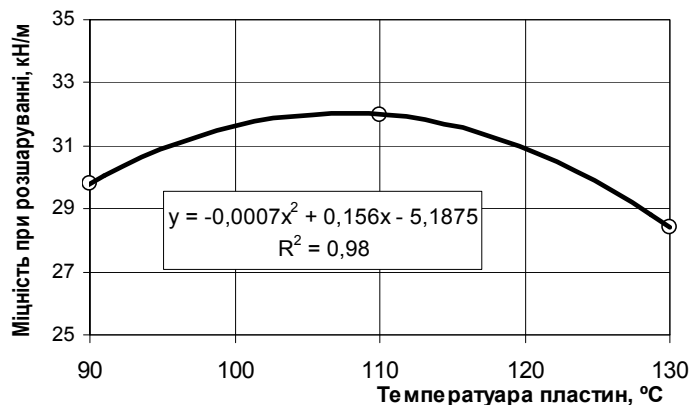


Рис. 5. Залежність міцності при розшаруванні від температури пластин ($T_{\text{суш}} = 20$ хв; $T_{\text{пролеж}} = 24$ год.)

Як видно з графіка, залежність міцності при розшаруванні від температури пластин, як і у випадку міцності при зсуві, має екстремальний характер з максимальним значенням ~105 °С. Проте, не можна не помітити, що рекомендована міцність (26÷30 кН/м) досягається уже при 90 °С. Це означає, що при виборі режимів температури нагріву пластин можна орієнтуватись на це мінімальне значення. Отже, проведене нами випробування на розшарування клейового шва підтверджує припущення, зроблене за результатами випробувань міцності при зсуві про доцільність значення температури пластин 90 °С.

Результати проведених досліджень впливу тривалості сушки клейової плівки на міцність при розшаруванні представлені на графіку (рис. 6).

Згідно з графіком міцність на розшарування лінійно збільшується при збільшенні часу сушки клейової плівки. Однак при 15 хв. досягається мінімальне рекомендоване значення (26 кН/м). Тому, на наш погляд, з міркувань економічності процесу, на відміну від значення 20 хв., отриманого в дослідженні міцності на зсув, допустимо прийняти значення тривалості сушки клейової плівки 15 хв.

Важливим показником, що характеризує якість клейового з'єднання також прийнято вважати його міцність при відриві [3]. Для визначення цього показника використовується один стандартний метод за ГОСТ 14760-89 [8]. Сутність методу полягає у визначенні величини руйнівного зусилля при розтягуванні стандартного циліндричного зразка клейового з'єднання встик, зусиллями, спрямованими перпендикулярно площині склеювання.

Оскільки при цьому методі неможливо встановити температуру нагріву пластин, ширину клейової плівки, то в нашому випробуванні міцності при відриві встановлювали вплив часу сушки клейової плівки. Графік отриманої залежності наведений на рисунку 7.

Графік на рисунку 7 наглядно ілюструє, що міцність при відриві лінійно збільшується при збільшенні тривалості сушки клейової плівки на зразках. Проте, неважно помітити, що рекомендована міцність при відриві для наірітового клею (150 МПа) досягається при значеннях, менших 15 хв. Тому, враховуючи дослідження на зсув, розшарування і відрив клейових швів, можна рекомендувати тривалість сушки клейової плівки 15 хв як раціональне значення для склеювання деталей верху з основною устілкою, виготовленою із полімерного композиційного матеріалу ТКУ-О.

Для встановлення найбільш доцільних технологічних режимів склеювання були застосовані методи математичного планування та оптимізації. На першому етапі знаходили найліпші комбінації якісних ознак, для чого використовували плани дисперсійного аналізу, а саме, греко-латинські плани. Дисперсійний аналіз латинського квадрату проводили згідно з методикою наведеною в роботі [9].

Відомо [3], що ширина затягувальної кромки та температура пластин затяжної машини ЗНК-1-О – це одні з найбільш впливових факторів, що визначають міцність клейового з'єднання. Запропоновано з метою виявлення максимальної величини міцності клейового кріплення затягувальної кромки верху до устілки із ТКУ-О варіювати тривалість витримки затягувальної кромки під тиском затяжних пластин машини ЗНК-О, а також тривалість сушки клейової плівки після намащування клеєм-розчином (наірітовим клеєм).

Отже для здійснення оптимізації як критерії були обрані основні показники адгезійних властивостей клеїв-розчинів, до яких відносяться міцність клейового з'єднання при зсуві, міцність клейового з'єднання при розшаруванні та міцність клейового з'єднання при відриві [1, 3].

На цьому етапі дослідження особливо важливим є знаходження доцільних комбінацій якісних ознак для пошуку можливих варіантів технологічних процесів підготовки і здійснення клейових з'єднань з використанням плану дисперсійного аналізу – греко-латинський квадрат – 3×3 [9, 10] (табл. 2).

Як фактори впливу на вказані вище критерії обрані такі рівні варіювання:

x_1 – ширина затягувальної кромки, мм: 10,0; 12,0; 15,0;

x_2 – температура пластин затяжної машини, °С: 90, 110, 130;

x_3 – тривалість витримки затягувальної кромки під тиском, с: А – 10, В – 15, С – 20;

x_4 – тривалість сушки клейової плівки після намащування, с: α – 15, β – 20, γ – 25.

Таблиця 2

		План експерименту		
		Ширина затягувальної кромки, мм		
Температура пластин, °С	90	А, α	В, β	С, γ
	110	В, γ	С, α	А, β
	130	С, β	А, γ	В, α

Результати всіх експериментів зведені в таблицях 3 – 5.

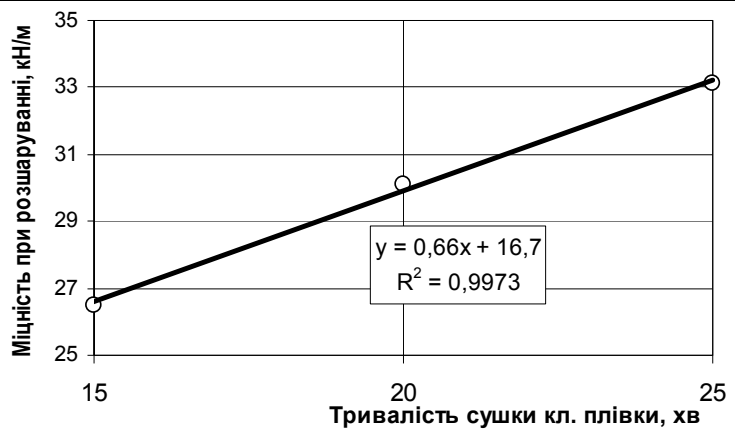
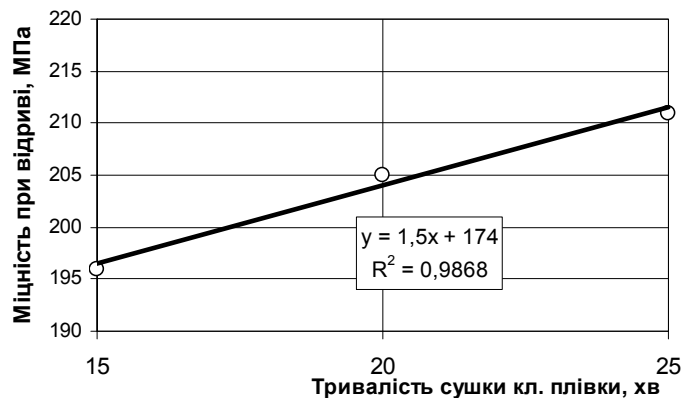
Рис. 6. Залежність міцності при розшаруванні від тривалості сушки клейової плівки ($t_{\text{пласт}} = 90$ °С)

Рис. 7. Залежність міцності при відриві від тривалості сушки клейової плівки

Результати експерименту при дослідженні показника "міцність клейового з'єднання при зсуві", МПа

x_2 \ x_1		Ширина з'являючої кромки, мм		
		10,0	12	15,0
Температура пластин, °C	90	1,12	1,38	1,61
	110	1,46	1,63	1,34
	130	1,57	1,52	1,48

Таблиця 4

Результати експерименту при дослідженні показника "міцність клейового з'єднання при розшаруванні", кН/м

x_2 \ x_1		Ширина з'являючої кромки, мм		
		10,0	12	15,0
Температура пластин, °C	90	2,86	2,93	2,98
	110	2,97	3,05	3,20
	130	2,74	2,96	2,84

Таблиця 5

Результати експерименту при дослідженні показника "міцність клейового з'єднання при відриві", МПа

x_2 \ x_1		Ширина з'являючої кромки, мм		
		10,0	12	15,0
Температура пластин, °C	90	187,1	196,7	201,8
	110	196,8	205,4	211,3
	130	201,4	207,5	214,6

По кожному з показників адгезійних властивостей клейових з'єднань нами отримані оптимальні склади, які дещо відрізняються один від одного. Для отримання об'єднаних оптимальних режимів склеювання як головний параметр оптимізації застосуємо функцію бажаності [9]. При цьому критеріями оцінки обирали ті ж самі показники: міцність клейових з'єднань при зсуві; міцність клейових з'єднань при розшаруванні; міцність клейових з'єднань при відриві. Вони з урахуванням їх кількості об'єднані у функцію бажаності D за формулою:

$$D = \sqrt[3]{d_1 \cdot d_2 \cdot d_3}, \quad (1)$$

де d_1, d_2, d_3 – локальні критерії бажаності, величина яких для кожного з показників розраховується за формулою:

$$d_i = e^{-e^{-y_i'}} \quad (2)$$

Тут y_i' – приведена величина локальних критеріїв, яка розраховується за рівняннями [4]:

$$y_1' = -8,392 + 0,494y_1;$$

$$y_2' = 19,97 - 0,34y_2;$$

$$y_3' = -2,5 + 1,3y_3,$$

де y_1 – міцність клейових з'єднань при зсуві;
 y_2 – міцність клейових з'єднань при розшаруванні;
 y_3 – міцність клейових з'єднань при відриві.

Результати розрахунків локальних критеріїв бажаності за трьома вказаними показниками представлені у таблицях 6–8.

Таблиця 6

Результати досліджень локального критерію бажаності d_1 показника "міцність клейового з'єднання при зсуві"

x_2 \ x_1		Ширина з'являючої кромки, мм		
		10	12	15
Температура пластин, °C	90	0,897	0,982	0,970
	110	0,606	0,768	0,967
	130	0,882	0,956	0,939

Таблиця 7

Результати досліджень локального критерію бажаності d_1 показника "міцність клейового з'єднання при розшаруванні"

x_2 \ x_1		Ширина з'являючої кромки, мм		
		10	12	15
Температура пластин, °C	90	0,924	0,931	0,891
	110	0,782	0,926	0,747
	130	0,982	0,907	0,405

Результати досліджень локального критерію бажаності d_1 показника "міцність клейового з'єднання при відриві"

x_2 \ x_1		Ширина зтягувальної кромки, мм		
		10	12	15
Температура пластин, °С	90	0,846	0,977	0,805
	110	0,661	0,695	0,879
	130	0,949	0,879	0,912

Результати розрахунку комплексного показника D за формулою (1) представлені в таблиці 9.

Таблиця 9

Результати розрахунку комплексного показника D

x_2 \ x_1		Ширина зтягувальної кромки, мм		
		10	12	15
Температура пластин, °С	90	0,846	0,977	0,805
	110	0,661	0,695	0,879
	130	0,949	0,879	0,912

З таблиці 9 слідує, що найбільше значення функція бажаності D набуває при ширині зтягувальної кромки 12 мм та при температурі пластин зтягнутої машини 90 ° С. Отже ці технологічні режими є оптимальними для усіх трьох показників міцності клейового з'єднання – при зсуві, при розшаруванні та при відриві. Інші технологічні режими приймемо як оптимальні за одиничними регресійними залежностями. Згідно із залежністю (рис. 3) для тривалості пресування зтягувальної кромки пластинами зтягнутої машини як оптимальне приймемо значення $T_{прес} = 15$ с. Згідно із залежностями (рис. 4 і 5) для тривалості сушки клейової плівки (при $t_{пласт} = 90^\circ\text{C}$) як оптимальне приймемо значення $T_{суш} = 15$ хв. Вказані технологічні режими в подальшому будуть використані при удосконаленні технологічного процесу виготовлення повсякденного взуття клейового методу кріплення із застосуванням деталей (основної устілки та формованого задника) із полімерних композиційних матеріалів.

Висновки. На основі проведених експериментальних досліджень одиничних показників міцності клейових з'єднань у роботі встановлені оптимальні технологічні режими операцій клейового зтягування заготовки верху та прикріплення підошов, які забезпечують високі показники експлуатаційних властивостей повсякденного взуття.

Література

1. Зыбин Ю.П. Технология изделий из кожи / Зыбин Ю.П. – М. : Легкая индустрия, 1975. – 464 с.
2. Фукин В.А. Технология изделий из кожи : [учебник для вузов] / В.А. Фукин, А.Н. Калита. – М. : Легпромбытиздат, 1988. – 272 с.
3. Раяцкас В. Л. Технология изделий из кожи: учебник для вузов / В.Л. Раяцкас, В.П. Нестеров. – М. : Легпромбытиздат, 1988. – Ч. 2. – 320 с.
4. Лобанова Г.С. Удосконалення технології виготовлення спеціального взуття з деталями із композиційних матеріалів : дис. ... канд. техн. наук : 05.19.06 / Лобанова Г.С. – Хмельницький., 2009.– 175 с.
5. Морозова Л.П. Справочник обувщика (Проектирование обуви, материалы) / [Морозова Л.П., Полуэктова В.Д., Михеева Е.Я. и др.]. – М. : Легпромбытиздат, 1988. – 432 с.
6. ССБТ. Клеи. Метод определения прочности при сдвиге : ГОСТ 14759-89. – М. : Міждержавна Рада з стандартизації, метрології та сертифікації, 1989. – 13 с.
7. ССБТ. Клеи полимерные. Метод определения прочности при расслаивании : ГОСТ 28966.1-91. – М. : Міждержавна Рада з стандартизації, метрології та сертифікації, 1991. – 9 с.
8. ССБТ. Клеи. Метод определения прочности при отрыве : ГОСТ 14760-89. – М. : Міждержавна Рада з стандартизації, метрології та сертифікації, 1989. – 8 с.
9. Маркова Е.В. Применение греко-латинских квадратов в химической технологии / Маркова Е.В. – М. : Химия, 1976. – 117 с.
10. Тихомиров В.Б. Планирование и анализ эксперимента (при проведении исследований в легкой и текстильной промышленности) / Тихомиров В.Б. – М. : Легкая индустрия, 1974. – 263 с.

Надійшла 26.9.2011 р.

**РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ПРОГРАМОВАНОГО РОЗРАХУНКУ
І ПОБУДОВИ СІТЧАСТОЇ МОДЕЛІ СТОПИ**

У статті розглянуто алгоритм та результати програмованого розрахунку і побудови сітчастих моделей стоп дітей-танцюристів.

The article discusses the algorithm and results of programmed calculation and construction of mesh models feet child dancers.

Ключові слова: стопа, сітчастий каркас, відеозйомка, алгоритм, спортивне взуття.

Постановка проблеми. Для дитячого спортивного взуття актуальними є показники ергономічності, що характеризують систему "стопа – спортивне взуття", з метою збереження природної анатомо-морфологічної будови стопи і її правильного функціонування та розвитку. Спортивне взуття не повинне надмірно стискувати стопу, порушувати крово- та лімфоповнення, викликати патологічні відхилення. Такі показники якості спортивного взуття можна забезпечити використанням результатів комплексних наукових досліджень форми та розмірів стоп дітей-спортсменів, врахуванням анатомії, фізіології та біомеханіки їхніх стоп [1– 3]. Антропометричні дослідження стоп дітей, які займаються спортивними танцями, дозволяють:

отримати морфологічну характеристику стоп дітей-танцюристів.

створити банк антропометричних даних про стопи дітей-танцюристів.

встановити закономірності довжинних, широтних і обхватних параметрів стоп дітей-танцюристів.

Антропометричні дослідження стоп прийнято здійснювати за вузькою і широкою програмами.

Перша з них має на меті вибіркові дослідження значної кількості стоп за відносно невеликою кількістю розмірних ознак, статистичну обробку антропометричних ознак обміряних стоп та визначення параметрів умовно-середньої стопи окремо для дівчаток і хлопчиків. Друга передбачає детальне обстеження умовно-середніх стоп з отриманням максимальної кількості розмірних ознак.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. З аналізу технічної літератури відомо [2, 4, 5], що на даний час всі методи обміру стопи поділяють на контактні та безконтактні. Крім того, в останні роки для отримання та обробки антропометричної інформації використовуються ПЕОМ, що дозволяє підвищити точність і оперативність масових обмірів стоп. Контактні методи засновані на безпосередньому контакті пристрою, що використовується при вимірюванні, з досліджуванним об'єктом. Завдяки простоті і доступності вони найбільш поширені серед методів обміру стоп. До них відносяться такі методи: метричні; плантографія; контурографія; гіпсування. Безконтактні методи забезпечують високу продуктивність, можливість отримання об'єктивних і достовірних даних, можливість дослідження нижньої кінцівки в русі. Виходячи з таких переваг, у роботі передбачається застосування безконтактного методу – відеозйомку з наступною програмованою обробкою отриманих результатів.

Формулювання цілі статті – розробити алгоритм програмованого розрахунку координат вузлових точок та побудови сітчастого каркасу поверхні умовно-середньої стопи дітей-танцюристів.

Виклад основного матеріалу

Основою для отримання сітчастого каркасу стоп дітей-танцюристів є детальна антропометрична інформація про них. Отримання антропометричних даних про стопи дітей-танцюристів здійснювалось за широкою програмою засобами відеозйомки, що передбачає наступні етапи [6]:

- підготовчий етап включає ретельну підготовку стоп дітей, спеціальних пристосувань та налаштування відеокамери;
- етап відеозйомки, що передбачає отримання трьохпроекційного відеозображення стоп;
- етап завантаження відеофайлів в пам'ять ЕОМ, який включає узгодження масштабу відомих розмірів існуючої системи координат, що є в кадрі, з масштабними компонентами програми; здійснення необхідних вимірів та графічних процедур; математичний розрахунок коефіцієнтів для кожного з рівнів сцен відеозображення; здійснення необхідних вимірів та графічних процедур;
- відтворення відеофайлів за допомогою відповідної програми та їх аналіз виконувався за допомогою відповідної програми ЕОМ шляхом автоматичного зчитування (сканування) координат точок у пам'ять ЕОМ у реальному масштабі часу звичайною процедурою копіювання, при якій прилад для фіксації зображень (в даному випадку відеокамера) виконує роль носія інформації.

Проведені відеозйомки вибірки 10 стоп дівчаток і 12 стоп хлопчиків у запропонованих сценах, які містять необхідні мітки для розрахунків перспективних спотворень у поздовжньому і поперечному напрямках, забезпечили необхідну достовірність та відтворюваність розмірів.

Обробка фронтальних і профільних відеозображень тильної та плантарної поверхонь стоп дітей-танцюристів здійснювалась за розробленим алгоритмом (рис. 1, 2).

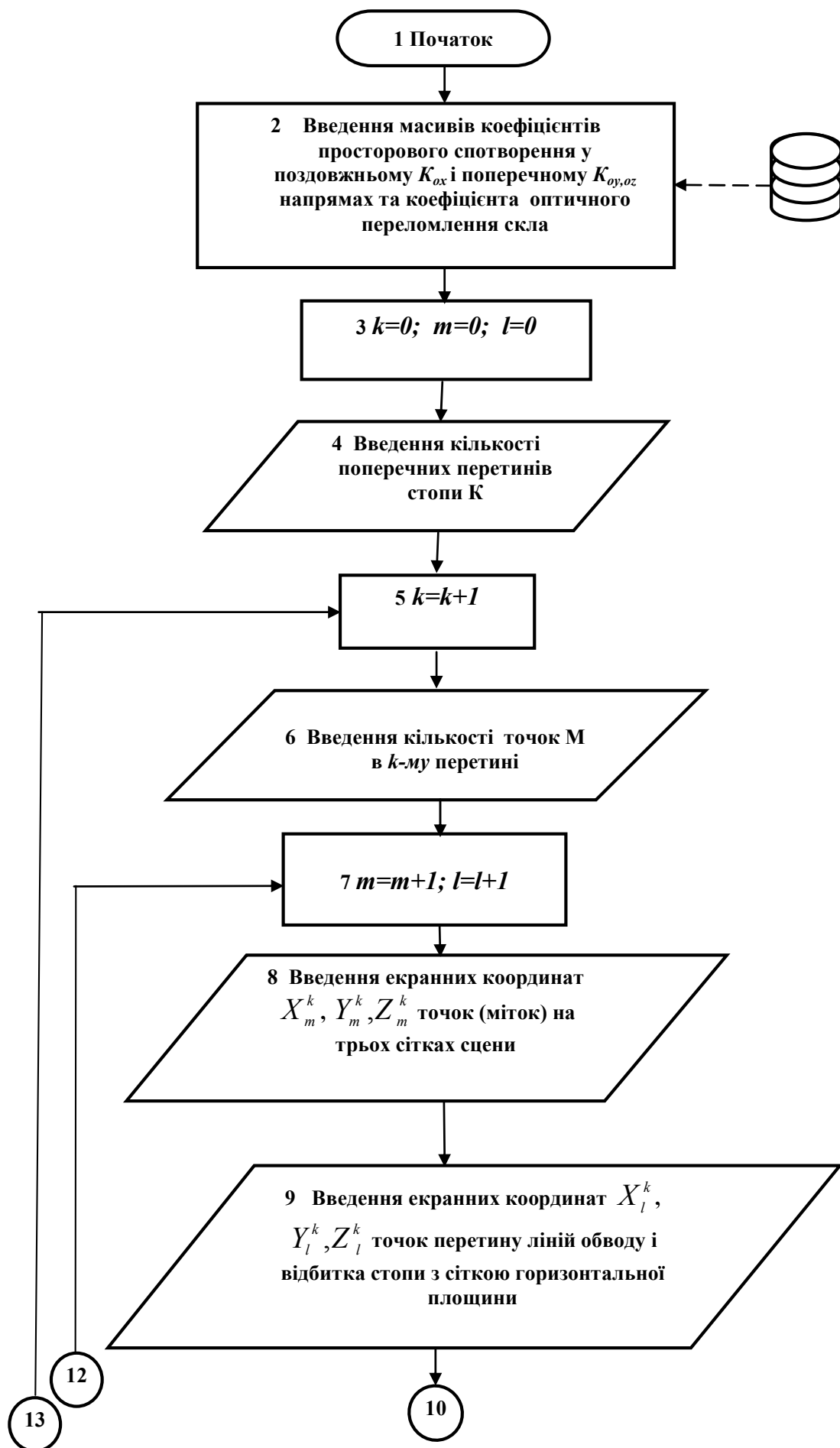


Рис. 1. Алгоритм програмованого розрахунку і побудови сітчастої моделі стопи (блоки 1–9)

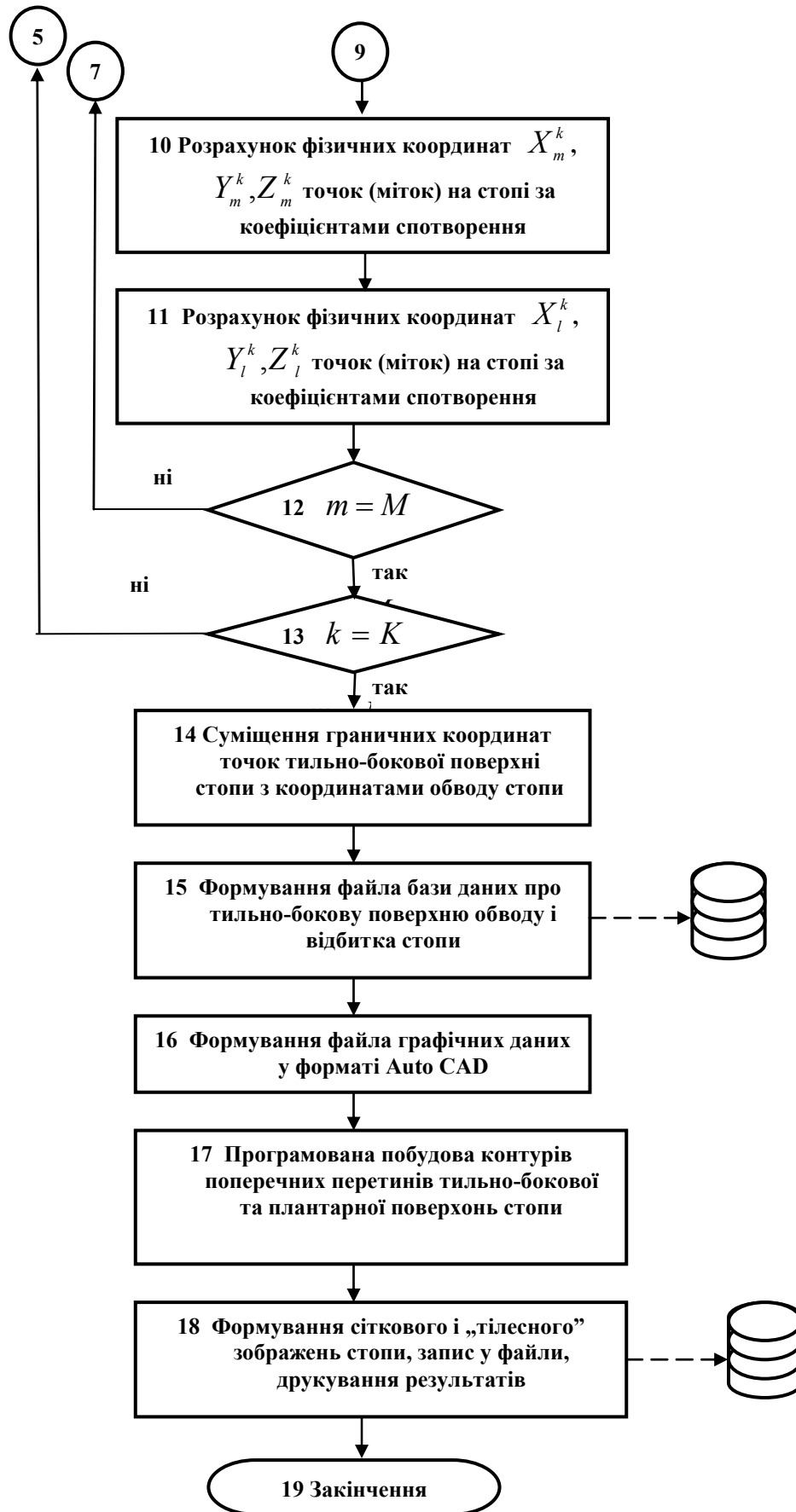


Рис. 2. Алгоритм програмованого розрахунку і побудови сітчастої моделі стопи (блоки 10– 19)

Алгоритм забезпечує розрахунок фізичних координат точок (міток) на стопі, побудову контурів поперечних перетинів тильно-бокової і плантарної поверхонь стопи, об'єднання їх у сітковий каркас та формування тілесного зображення стопи. Значення фізичних координат вузлових точок визначаються за величинами коефіцієнтів K_i глибинного спотворення у профільній і фронтальній площині [6]:

$$K_i = \frac{L_1}{L_1 - i \times \Delta L}, \quad (1)$$

де i – номер глибинного рівня опорної площини для зйомки;
 L_1 – відстань між вершинами першої пари міток опорної площини;
 ΔL – різниця перспектив опорної площини, що обчислюється за формулою:

$$\Delta L = \frac{L_1 - L_2}{N_{\text{проф}}}, \quad (2)$$

де L_1 і L_2 – виміряні на відеозображенні відстані між вершинами відповідних пар масштабних міток опорної площини.

Розроблений алгоритм реалізовано в прикладну програму на Visual Basic. В результаті здійснених комп'ютерних розрахунків та геометричних побудов за наведеним алгоритмом отримали сітчасті моделі умовно-середніх стоп дітей-танцюристів, які покладені за основу проектування раціональної колодки для виготовлення спортивного взуття для бальних танців. На рис. 3 наведено приклад сітчастої моделі стопи дівчаток-танцюристів. Розрахунки свідчать, що похибка отриманих координат не перевищує 0,05 мм при відстані відеокамери Panasonic AG-DVS 15E до стопи від 50 до 75 см.

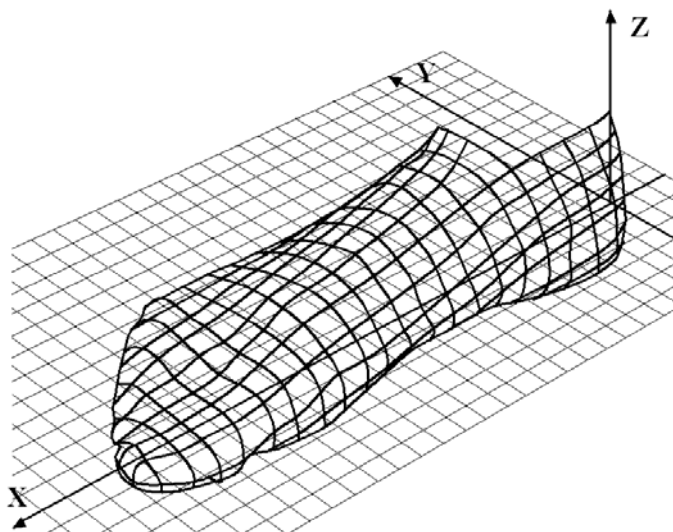


Рис. 3. Сітчаста модель умовно-середньої стопи дітей-танцюристів (дівчаток)

Висновки. Запропонований алгоритм програмованого розрахунку і побудови сітчастої моделі умовно-середньої стопи по фронтальних, профільних та плантарних зображеннях вибірки стоп, що забезпечує необхідну достовірність і точність побудови раціональної колодки для виготовлення спортивного взуття.

Література

1. Фукин В.А. Проектирование обувных колодок / [Фукин В.А., Костылева В.В., Лыба В.П. та ін.]. – М.: Легпромбытиздат, 1987. – 88 с.
2. Коновал В.П. Теоретичні практичні основи створення та форми взуття: дис.... доктора техн. наук: 05.19.06 / Коновал Віктор Павлович. – К., 1994 – 316 с.
3. Лыба В.П. Теория и практика проектирования комфортной обуви: дис.... доктора техн. наук: 05.19.06 / Лыба Владимир Петрович. – М., 1996. – 314 с.
4. Зыбин Ю.П. Основы разработки формы и размеров обуви массового производства / Зыбин Юрий Петрович. – М.: Гизлегпром, 1949. – 131 с.
5. Фукин В.А. Теоретические и методологические основы проектирования рациональной внутренней формы обуви: дис.... доктора техн. наук: 05.19.06 / Фукин Виталий Александрович. – М., 1980. – 305 с.
6. Михайловська О.А. Антропометричні обґрунтування удосконалення внутрішньої форми та конструкції спеціального дитячого взуття для занять спортивними танцями / О.А. Михайловська, А.Б. Домбровський, В.П. Лыба // Вісник Київського національного університету технологій дизайну. – 2009, № 6. – С. 136– 144.

Надійшла 16.9.2011 р.

ДОСЛІДЖЕННЯ ЛОКАЛІЗАЦІЇ ВІДЧУТТІВ ДИСКОМФОРТУ У СИСТЕМІ «СПОЖИВАЧ–ВЗУТТЯ»

На підставі дослідного носіння взуття та опитування респондентів досліджено локалізацію відчуттів людиною дискомфорту. Вивчено взаємозв'язок процесу потовиділення з умовами експерименту та анатомічними ділянками стопи.

Based on the pilot wearing shoes and survey respondents investigated localization of human feelings of discomfort. Studied the relationship of the process of sweating to the conditions of the experiment and anatomical areas of the foot.

Ключові слова: взуття, ергономічні властивості, подразники, потовиділення, відчуття, дискомфорт.

Вступ. Відчуття комфорту чи дискомфорту у людини виникає залежно від зручності взуття та умов оточуючого середовища. Тому ергономічні властивості конкретного взуття в системі «споживач–взуття–зовнішнє середовище» визначаються системним зв'язком між фізичним, фізіологічним та психічним. Вирішальними при цьому є психологічні відчуття носія взуття [1], завдяки яким і формується відчуття комфорту чи дискомфорту. Проте, не менш важливими є умови внутрішньовзуттєвого простору, невід'ємними складовими якого є нижні кінцівки людини (найчастіше нижні частини ніг – стопи) та оточуючі їх матеріали – зазвичай, це шкарпетки (або панчохи) та внутрішні деталі взуття (устілка, підкладка). При їх посередництві може порушуватись теплообмін стопи через зміну співвідношення таких двох процесів, як теплопродукція (хімічна терморегуляція) і тепловіддача (фізична терморегуляція). Близько 20 % тепловіддачі тіла людини в умовах комфорту здійснюється за рахунок потовиділення, адже рефлекторне випаровування 1 мл поту призводить до втрати тілом 0,585 ккал [2].

В умовах статичного чи динамічного навантаження стопи при посередництві взуття погіршуються умови тепло- і масообміну стопи з навколишнім середовищем, оскільки шкірний покрив людини є другим органом дихання, якому потрібне повітря. Якщо ми одягаємо взуття з синтетичних або інших матеріалів, які не пропускають до наших ніг повітря, то в цьому випадку порушується теплообмін, ноги перегріваються, організм намагається скинути надлишок тепла, в результаті чого ноги починають рясно (додатково рефлекторно) виділяти піт [3]. Потовиділення на кінцівках (долонях, ступнях), зазвичай, вище від інших ділянок шкірного покриву людини. Тому втрати тепла для ніг є найвищими порівняно з іншими частинами тіла й становлять за комфортних умов 39 % (для порівняння втрати тепла для рук – 22 %, голови – 6 %) [4].

Для стопи втрати тепла обумовлені кондуктивним (контактним за рахунок теплопровідності при контакті з ходовою поверхнею) та конвекційним (через повітря) теплообміном. Через відсутність сальних залоз на стопі людини та гідрофільну природу шкірного покриву піт доволі швидко зволожує шкіру. Внаслідок тривалої взаємодії стопи з вологим середовищем виникає так звана мацерація шкіри, остання при цьому стає більш еластичною, м'якою і, разом з тим, більш чутливою до дії подразників. Потові поля на долонях та ходовій поверхні ступні співпадають з чутливими рецепторами [5]. Це, очевидно, повинно сприяти кращим тактильним відчуттям, які за певних умов викликатимуть відчуття дискомфорту.

В процесі еволюції та розвитку взуттєвого виробництва кінцівки ніг людини, на відміну від кистей її рук, поступово втрачали чутливість до дії подразників. Постійне носіння сучасною людиною взуття створює для ніг комфортний мікроклімат, але сприяє зниженню теплорегуляторної здатності рецепторів підошов. Тому будь-яке охолодження (чи перегрівання) ніг кінець-кінцем призводить до простудних захворювань, оскільки ступні знаходяться у безпосередньому рефлекторному зв'язку зі слизовою оболонкою верхніх дихальних шляхів.

У наш час на відчуття споживача впливає урбанізоване носіння взуття в перемінних протягом дня умовах середовища, а також можлива присутність у внутрішньовзуттєвому просторі мікроорганізмів, різноманітних мінеральних та органічних сполук, що можуть надходити ззовні (наприклад, волога, повітря) та (або) утворюватися безпосередньо всередині взуття (наприклад, піт, жир, барвники тощо).

Сучасна наука поділяє відчуття на зовнішні та внутрішні, хоча деякі з них можна віднести до зовнішньо-внутрішніх. Будь-які контактні відчуття (температурні, тактильні тощо) співвідносяться з місцем дії їх подразника, проте, на різних частинах тіла точність локалізації дії подразника неоднакова [6]. Виходячи з викладеного, представляє інтерес вивчення не окремих, а результируючих відчуттів носіїв взуття залежно від потовиділення на різних анатомічних ділянках стопи.

Постановка завдання. З метою забезпечення комфорту споживача під час експлуатації взуття проведено серію експериментів, спрямованих на розробку критеріїв оцінки гігієнічних властивостей взуття та способів контролю гігієнічних властивостей взуттєвих матеріалів. У даній роботі вперше досліджено локалізацію відчуттів дискомфорту на різних анатомічних ділянках стопи під впливом поту, адже найбільші, після механічного впливу, незручності спричиняє саме надлишкова волога.

У якості об'єкту дослідження розглядали відчуття дискомфорту, які виникають у носіїв взуття

внаслідок потовиділення. У роботі застосували методи дослідного носіння взуття та анкетування споживачів, які користувались цим взуттям теплої пори року. Роль респондентів виконали 60 студентів Мукачівського державного університету. Одержані відповіді обробляли за методами математичної статистики (похибка досліду не перевищувала 5 %). Приріст маси матеріалів при потовиділенні визначали ваговим методом.

Результати дослідження. Стопа людини призначена переважно для опори та амортизації тіла; вона виконує такі рухи, як згинання, розгинання, відведення, поворот всередину та назовні.

Завдяки стопі опора ноги еластична і здатна до узгоджених рухів [4, 5], що забезпечується відповідними взаємопов'язаними фізіологічними функціями стопи. Розрізняють такі складові частини цієї частини людського тіла, як ходова (плантарна), тильна та дві бокові (зовнішня і внутрішня) поверхні [2, 4, 5] (рис. 1).

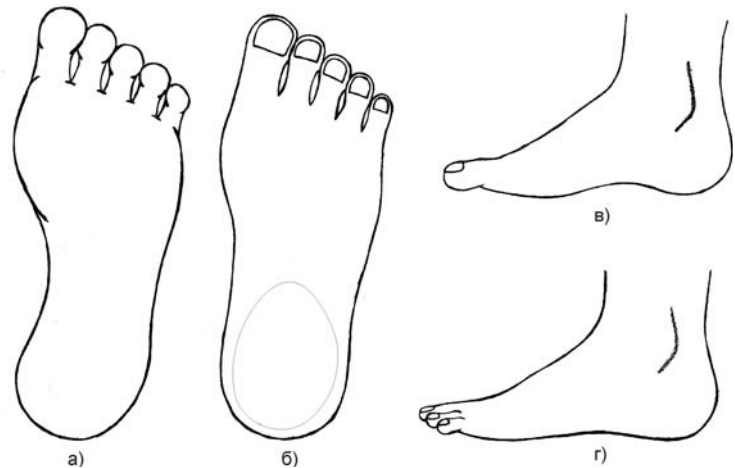


Рис. 1. Складові стопи людини: ходова (а), тильна (б), зовнішня бокова (в) та внутрішня бокова (г) поверхні

У відповідях на питання «На якій поверхні стопи виділяється найбільше вологи через потові залози під час носіння взуття?» 86,7 % респондентів надали перевагу ходовій поверхні, 10 % респондентів – внутрішній боковій поверхні, 3,3 % – тильній поверхні, зовнішню бокову поверхню стопи не згадав ніхто.

Ходова поверхня стопи безпосередньо стикається з поверхнею землі й дістала назву «ступня» [5]. Оскільки ступню умовно поділяють на носкову, пучкову, геленкову та п'яткову частини (рис. 2, I), наступне питання анкети зводилось до того, у якій частині ступні під час носіння взуття відчувається найбільше потовиділення. У відповіді на це питання більшість (59 %) респондентів зазначила носкову, 29 % опитуваних – пучкову, 12 % – геленкову частину; п'яткову частину ступні не згадав ніхто. Такий розподіл, очевидно, зумовлений потовиділенням при згинанні стопи та роботі м'язів під час ходьби.

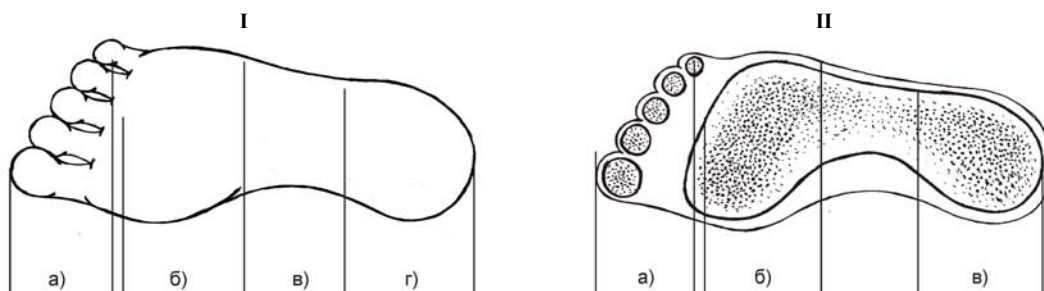


Рис. 2. Ділянки (I) та плантограма (II) ступні: носкова (а), пучкова (б), геленкова (в), п'ятова (г)

У носковій частині стопи знаходяться фаланги пальців, які мають ходову (плантарну) сторону (так звані «подушечки»), тильну поверхню та бічні сторони (вони знаходяться між фалангами пальців) (рис. 3). На думку 55 % респондентів, найбільша кількість поту утворюється між пальцями, на думку 45 % – на ходовій поверхні пучкової частини стопи. Отже, виходячи з результатів опитування, потовиділення на тильній поверхні пальців не призводить до неприємних відчуттів респондентів.

Відбиток ходової поверхні стопи (ступні) на площині дістав назву «плантограма» [5, 6] (рис. 2, II). Це найтвердіша ділянка стопи, що контактує з деталями низу взуття, а якщо людина ходить босоніж, – то з поверхнею землі або з підлогою. На плантограмі розпізнають три окремі зони: зону пальців, зону пучків та зону п'ятки.

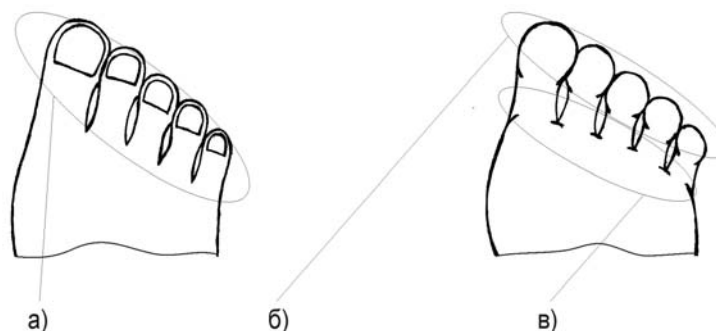


Рис. 3. Ділянки носкової частини стопи: тильна поверхня пальців (а), ходова поверхня пальців (б), зона між пальцями (в)

Відчуття дискомфорту через подразнення піотом у більшості (70 %) респондентів пов'язане з носковою частиною плантограми (зоною пальців), у решти 30 % – із зоною пучків.

Під час носіння взуття зі шкірним покривом стопи людини контактують шкарпетки та внутрішні деталі взуття, які поглинають якусь частину виділеного поту. З урахуванням цього в анкеті були поставлені питання щодо локалізації поту на шкарпетках та внутрішніх деталях взуття у жарку погоду. У своїх відповідях всі 100 % опитуваних стверджували, що за таких умов найбільше потовиділення відчувається у носково-пучковій частині шкарпеток. З внутрішніх деталей взуття більшого впливу поту зазнає вкладна устілка (відсоток відповідей склав 67 %), меншого – підкладка (відповідно 33 %).

Під час експлуатації взуття його внутрішні деталі працюють на згин у пучковій частині стопи та на стискання внаслідок тиску стопи на деталі низу взуття. Піт також негативно впливає на міцнісні характеристики внутрішніх взуттєвих матеріалів. На питання анкети «Які деталі Вашого взуття найбільше піддаються руйнуванню при потовиділенні?» 85 % респондентів вказали вкладну устілку, 15 % – підкладку.

Поряд з опитуванням респондентів досліджувалось потовиділення на різних анатомічних ділянках їх стопи. Носіями взуття були студенти університету (у кількості 10 чол.), в якості взуття обрали повсякденні напівчеревики. Проводилась статистична обробка отриманих результатів. Експеримент проводили в умовах комфорту та дискомфорту за методикою [1]. Для локального визначення потовиділення у якості матеріалу з високим вологопоглинанням використали чотиришарову паперову серветку «СЕРВЕТКА.com.ua» (ТУ У 21.2-35975097-001:2008) товщиною 0,4 мм. Гігроскопічність матеріалу становила 16,7 %. Після витримання протягом 24 год нормальних умовах (температура 20 ± 2 °C, вологість 60 ± 5 %) та зважування (початкова маса m_1) зразки серветок розміром 20x20 мм укладали на відповідні частини стопи під шкарпетку та повторно зважували після появи у респондента відчуття дискомфорту (кінцева маса m_2). За різницею між початковою та кінцевою масами зразків серветок визначали приріст маси Δm , який, власне, відповідав кількості виділеного поту. За відношенням Δm до початкової маси m_1 розраховували вологоємність серветок V , %, після вбирання ними надлишкової вологи всередині взуття. Для моделювання дискомфорту в умовах експерименту на одну ногу учасників експерименту поверх шкарпетки надягали тонкий поліетиленовий пакет, моделюючи таким чином умови дискомфорту; друга нога знаходилась у звичайних умовах (умовах комфорту). Під час експерименту фіксували абсолютний верхній поріг відчуття – ту умовну точку, у якій виникало відчуття нетерпимості за даних умов носіння взуття. Також фіксували зовнішні фактори: а) погодні умови – температура ($25-27$ °C) та вологість (64–66 %) повітря; б) температуру приміщення ($22-24$ °C). Результати дослідження представлені у табл. 1 та на рис. 4, 5.

Експериментально було встановлено, що відчуття дискомфорту у респондентів спостерігається через 30-60 хв від початку досліду.

Таблиця 1

Розподіл маси виділеного поту при дослідному носінні взуття

Зразок	Ділянка стопи, на якій розміщували зразок		Комфортні умови (ліва нога)		Дискомфортні умови (права нога)	
			m_1 , мг	m_2 , мг	m_1 , мг	m_2 , мг
1	Ходова поверхня стопи	п'яткова частина	527,5	584,5	519,0	610,0
2		геленкова частина	532,5	595,0	522,5	623,0
3		пучкова частина	542,5	602,0	520,0	625,5
4		носкова частина	510,0	578,5	530,0	670,5
5		Тильна поверхня стопи	526,0	533,5	536,5	574,5

З діаграми, представленої на рис. 4, видно, що найбільш інтенсивне потовиділення відбувається на ходовій поверхні стопи, особливо у її носковій, пучковій та геленковій частинах (приріст маси зразка в умовах дискомфорту становить понад 100 мг). Це, ймовірно, пояснюється більшою концентрацією потових залоз у пучковій ділянці стопи і закритістю взуття, а також інтенсивною роботою м'язів стопи (при згинанні та розгинанні) та можливістю кращої вентиляції п'яткової ділянки стопи при ходьбі. Потовиділення на тильній поверхні стопи значно менше: у 7,6–9,1 рази в умовах комфорту та у 2,4–3,7 рази в умовах дискомфорту. Кількість виділеного поту в комфортних та дискомфортних умовах становить 1200 та 2240 мг/год.

З діаграми, представленої на рис. 5, видно, що вологоємність матеріалу у внутрішньовзуттєвому просторі залежить від умов експерименту та анатомічних ділянок стопи. Так, для зразків, що перебували в комфортних умовах, цей показник знаходився в межах від 1,4 % (тильна поверхня) до 10,8–13,4 % (ходова поверхня стопи). Отримані дані не перевищували значення 16,7 %, тобто у комфортних умовах має місце фізико-хімічний зв'язок вологи з матеріалом всередині взуття.

Вологоємність зразків, що перебували у дискомфортних умовах, становила: п'ятковій частині стопи 17,5 %, у геленковій – 19,2 %, у пучковій – 20,3 %, у носковій – 26,5 %. Порівнявши отримані дані з вологоємністю досліджуваного зразка (16,7 %), можна зробити висновок, що у дискомфортних умовах волога з матеріалом всередині взуття знаходиться у фізико-механічному зв'язку. Надлишок вологи у внутрішньовзуттєвому просторі збільшуватиме теплопровідність взуттєвих матеріалів та сприятиме появі відчуття дискомфорту [7].

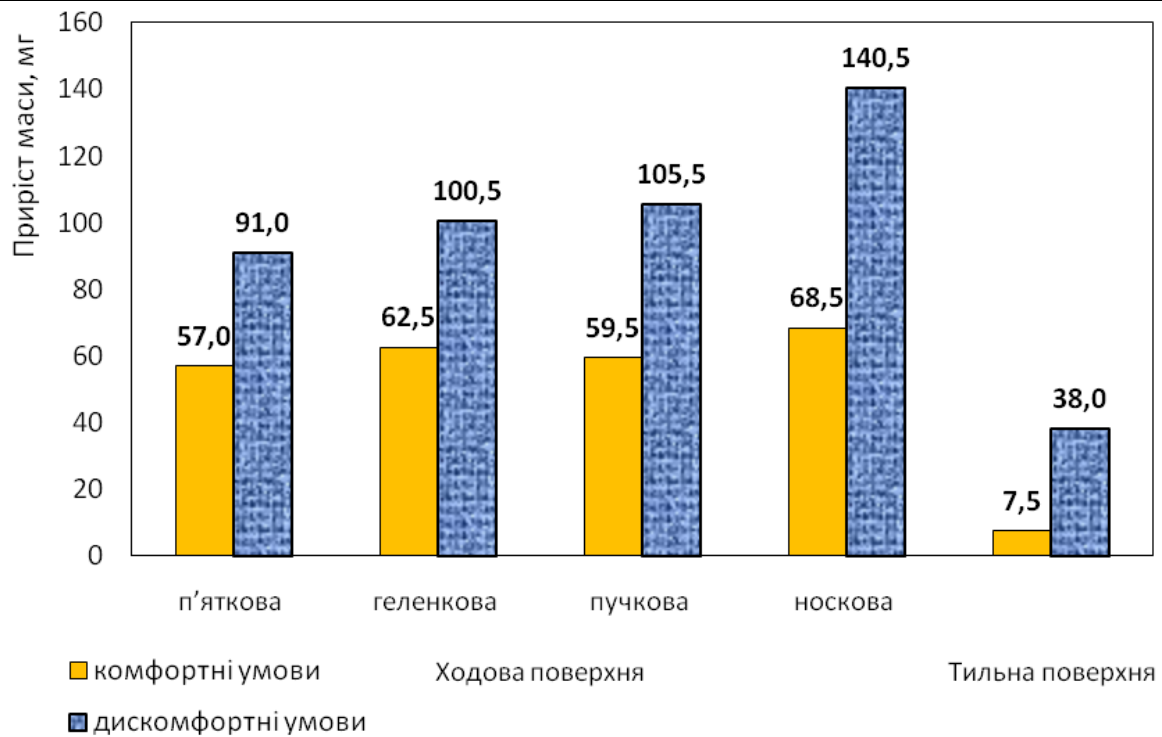


Рис. 4. Приріст маси зразка в умовах комфорту та дискомфорту

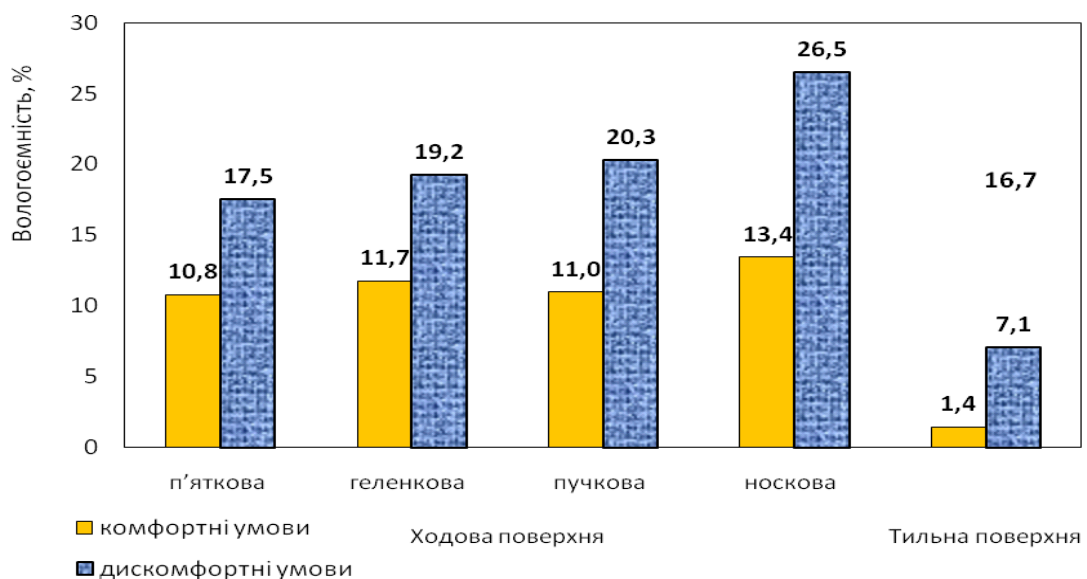


Рис. 5. Зв'язок вологи з матеріалом у різних анатомічних частинах стопи

Висновок. На підставі дослідного носіння взуття та опитування його носіїв, а також виходячи з особливостей анатомічної будови стопи, вперше досліджено локалізацію відчуттів дискомфорту при потовиділенні на окремих ділянках стопи. Встановлено, що через подразнення піотом неприємні відчуття людини пов'язані з ходовою (плантарною) поверхнею стопи. Це узгоджується з наведеними у літературі даними про те, що на даній частині стопи розташована найбільша ($500 \text{ од} / \text{см}^2$) кількість потових залоз [4].

На думку респондентів, під час експлуатації взуття найбільша кількість надлишкової вологи накопичується у носково-пучковій ділянці взуття, що пояснюється роботою м'язів в процесі функціонування стопи при ходьбі. Крім того, з відповідей учасників експерименту випливає, що утворення поту не лише викликає неприємні відчуття дискомфорту, а й погіршує споживчі властивості внутрішніх деталей взуття, насамперед, вкладної устілки. Відповідне відчуття респондента – локальний дискомфорт – може бути застосоване для оцінки ергономічних властивостей конкретних деталей взуття в системі «взуття–споживач».

Одержані результати будуть використані у подальшому дослідженні процесу потовиділення у внутрішньовзуттєвому просторі за різних умов з метою встановлення закономірностей процесу утворення відчуттів дискомфорту у системі «споживач–взуття–зовнішнє середовище», що, в свою чергу, дозволить обґрунтувати способи покращення споживчих властивостей взуття.

1. Фордзюн Ю.І. Психофізичний аспект відчуття дискомфорту у системі «споживач–взуття–зовнішнє середовище / Ю.І. Фордзюн, О.А. Андреева // Вісник КНУТД. – 2011. – № 1 (57). – С. 132–137.
2. Большая медицинская энциклопедия : в 29 т. / [гл. ред. Б. В. Петровский] ; [3-е изд.]. – М. : Советская энциклопедия, 1974–1988. – Т. 20. – С. 398–401.
3. Обувь Haflinger [Електронний ресурс] – Режим доступу : <http://www.parizo.net/index.php/haflinger>.
4. Экология и безопасность жизнедеятельности : [учеб. пособие] / Кривошеин Д.А., Муравей Л.А., Роева Н.Н., Шорина О.С. – М. : ООО «ИЗДАТЕЛЬСТВО ЮНИТИ-ДАНА», 2000. – 447 с.
5. Старушенко Л.І. Анатомія і фізіологія людини : [навч. посібник] / Старушенко Л.І. – К. : Вища школа, 1992. – 208 с.
6. Анатомия и физиология рук и ног человека, строение кожи [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.lechebnaya-glina.ru>.
7. Трифонов Е.В. Психофизиология человека : русско-англо-русская энциклопедия [Електронний ресурс] / Е. В. Трифонов. – Режим доступу : <http://tryphonov.narod.ru/tryphonov6/terms6/cmprcm.htm>.

Надійшла 14.9.2011 р.

УДК 685.34.016.3, 514.181.22

А.Б. ДОМБРОВСЬКИЙ, Т.А. НАДОПТА
Хмельницький національний університет

ЕМПІРИЧНА МЕТОДИКА ПРОЕКТУВАННЯ УМОВНОЇ РОЗГОРТКИ ПРОТОТИПУ

*Викладені головні положення емпіричної методики проектування умовної розгортки прототипу.
Expounded main positions of empiric design technique conditional involute of prototype.*

Ключові слова: емпірична методика, профільний абрис прототипу, керуючі точки, умовна розгортка прототипу.

Постановка задачі. В сучасних умовах забезпечення підвищення конкурентоздатності виробу можливе за рахунок використання новітніх конструкторських і технологічних рішень. Виконання даної умови пов'язане із системами автоматизованого проектування (САПР). Існує значна кількість різноманітних САПР, у тому числі й САПР взуття, проте, більшість із них не вирішують завдання переходу від форморозмірів стопи до форморозмірів колодки та її розгортки. Створення такої методики й системи автоматизованого проектування продовжує залишатися актуальним.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Основою для отримання креслень деталей верху взуття (ДВВ) є плоска розгортка бокової поверхні взуттєвої колодки (УРК). Існують різні типи отримання умовної розгортки колодки, що відрізняються конфігурацією й методом отримання, тому для кожного виду та конструкції взуття існують певні типи оптимальних методів отримання УРК. Але оскільки поверхня колодки має складну просторову форму, то виникає проблема її трансформації на площину [1, 2].

Найбільш вживані наступні методи та способи отримання умовної розгортки колодки [2]: спрощений шаблонний; шаблонний (Апанасенко В.П., Рослик Г.І., Тонковид Л.А.); «жорстка оболонка»; комбінований. Їм передував спосіб зняття копії з бічної поверхні взуттєвої колодки запропонований Арно Хассельбартом [1, 3]. Метод не давав можливості враховувати особливості носкової частини, що призводило до значних відхилень від ідеалізованої моделі. Спрощений шаблонний метод не потребує спеціального обладнання, простий та не трудомісткий. Шаблонний спосіб Апанасенка В.П. полягає в тому, що на колодці відмічаються граничні лінії верхньої носково-пучкової частини по формі овальної вставки, кількість паперових шаблонів в даному випадку дорівнює трьом [3, 4]. Одержують розгортки з бокових поверхонь і верхньої частини окремо, а потім суміщають і усереднюють. Цей спосіб досить складний та трудомісткий, тому мало застосовується на практиці. Методика одержання розгортки за методом Г.І. Рослика передбачає при підготовці колодки, крім поділу на зовнішню та внутрішню бокові поверхні, проведення на колодці і шаблоні геодезичних ліній по довжині (на рівні 1/3 висоти п'яткової і середини носкової частини) та по ширині (лінія обхвату колодки в пучках). Геодезична лінія – це найкоротша лінія між двома точками на даній поверхні [1, 5].

При одержанні УРК методом Л.А. Тонковида колодку поділяють на три характерні частини: носкову, тильну і п'яткову. Для одержання розгортки поверхню колодки покривають елементарними геометричними фігурами (трикутниками та прямокутниками), що щільно прилягають до поверхні колодки. В цьому випадку всі геометричні фігури є розгортками відповідних ділянок колодки, які переносяться на площину і дають досить повну та адекватну інформацію для побудови комплексної розгортки поверхні [6].

Автором [7] запропоновано отримувати умовну розгортку стопи за «жорсткою оболонкою». Якщо при розчленуванні поверхні колодки смужки виділяти уздовж геодезичних ліній, а потім і розчленувати поверхню за цими лініями, то після випрямлення лінії членування будуть досить близькими до прямих,

виточки й накладення, що утворилися при випрямленні поверхні, будуть становити собою трикутники, площа котрих легко розраховується. Характерним для способу «жорсткої оболонки» отримання УРК є розпластуння оболонки, яка надрізається індивідуально для кожного типу заготовок з обов'язковим розрахунком деформаційних властивостей матеріалів за певною методикою [8, 9].

Методика одержання розгортки бокової поверхні колодки італійської школи моделювання "АРС Суторія" полягає у використанні комбінованого суміщення: методу зліпка для отримання розгортки зовнішнього боку і шаблонного – для внутрішнього, і одержання усередненої розгортки бокової поверхні колодки та її коригування [10]. Авторами [11–13] запропоновано удосконалити спосіб одержання УРК за «жорсткою оболонкою». Даний спосіб складається з етапів підготовки та копіювання бічних поверхонь колодки, сплюснення та коригування знятих розгорток, одержання УРК. Новим у запропонованому способі є те, що у місцях накладення або нестачі матеріалу на бічних поверхнях колодки, при сплюсненні знятих з колодки паперових шаблонів відбувається коригування на розмір виточок або накладень. Таким чином, УРК за вдосконаленим способом дозволяє найбільш точно відтворити просторову форму колодки на папері. Сутність винаходів [14, 15] полягає в тому, що моделюють складні фігури при розкрій плоских матеріалів шляхом комбінування простими, що свідчить про появу деякої тенденції в методології розгортання просторових фігур в площинну форму – моделювання їх комплексом окремих складових.

Формулювання цілі статті. Метою роботи є розробка методики отримання умовної розгортки прототипу (УРП), яка разом з підвищенням продуктивності процесу забезпечувала б максимально можливу точність.

Виклад основного матеріалу. Процес профілювання абрисів за допомогою сплайнових кривих в принципі розпадається на дві підзадачі: знаходження траєкторії кривої при заданому положенні керуючих точок (умовно назвемо її прямою задачею) та визначення положення керуючих точок при необхідності забезпечення проходження сплайнової кривої через певний ареал точок (відповідно – обернена задача). Для питань, які входять в коло досліджуваних, першочергово важлива саме методика оберненої задачі. Раніше [16–18] викладені деякі варіанти розв'язання оберненої задачі на основі найбільш простих методик. Суть практично всіх їх становить теза про те, що при підборі координат положення керуючих точок при, природно, стабільному положенні контрольних (кінцевих) керуючі точки переміщуються по напрямних того чи іншого типу, причому орієнтація цих напрямних весь час залишається незмінною. Таким чином отримуємо методики, які забезпечують некероване профілювання сплайнових кривих. Слід зазначити, що для більшості кривих абрисів (гребінь, задник, стик) зазначених методик, особливо враховуючи їх відносну простоту, абсолютно достатньо як з позицій точності відтворення кривої, так і складності моделювання. Зовсім інша ситуація виникає у випадку, коли потрібно моделювати абрис сліду – замкнутої кривої зі складними переходами. Тому зазначених вище методів, в яких використовуються некеровані сплайнові криві, недостатньо для адекватного та якісного відтворення реальних абрисів, а сам процес підгонки кривої в певній мірі трудомісткий. До цього слід додати, що сама концепція прототипу як геометричного місця точок, в якому поряд з необхідними з точки зору естетики, гігієни, зручності експлуатації просторовими областями повинні бути враховані індивідуальні особливості стопи, на відміну від [19, 20]. Вище описане, насамперед, відноситься до абрису сліду, де зазначені фактори проявляються в першу чергу.

Таким чином, підсумовуючи вище зазначене, умовно розділимо методики профілювання абрисів за допомогою сплайнових кривих на два типи: з використанням керованих та некерованих відтворюючих контурів. Якщо методів некерованих кривих достатньо для відзначеної вище групи абрисів, то всі спроби застосувати їх для інтерпретації сліду як замкнутої кривої не принесли більш-менш прийнятних результатів, котрі могли в повній мірі задовольнити проектувальника в першу чергу з точки зору адекватності. Абриси не зовсім точно відтворюють області між заданими точками кривих, що не може не вплинути на точність профілювання деталей верху взуття. З метою уникнення зазначених недоліків розроблена методика профілювання з використанням керованої сплайнової кривої (КСК). Суть методів КСК зводиться до забезпечення можливості оперативної зміни положення керуючих точок шляхом регулювання орієнтації напрямної, відносно якої відбувається переміщення керуючих точок в ході підгонки кривої, або до штучного переміщення певних точок кривої в напрямку, близькому до тангенціального. Схема, яка демонструє обидва варіанти реалізації КСК, наведена на рис. 1.

В першу чергу, слід зазначити, що перераховані методики профілювання КСК можуть бути реалізовані як у вигляді окремих взаємно незалежних програмних продуктів, так і сумісно як комбінований метод.

На рис. 1 буквою *A* позначено точку, через яку сплайнова крива повинна проходити (ареал точок кривої). В першому циклі профілювання керуюча точка суміщається з точкою кривої *A*, що забезпечує абрис кривої 1. Напрямна 2 проходить через точку *A* під кутом α , причому для спрощення питання зі знаками тригонометричних функцій цей кут повинен задаватись незалежно від орієнтації

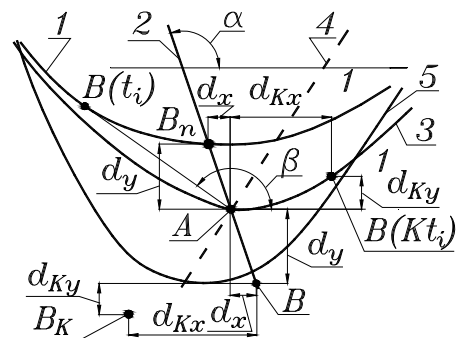


Рис. 1. Схема керованого формування сплайнової кривої

точок кривої стосовно самої кривої тільки в перших двох чвертях, тобто в межах $0 \dots 180^\circ$. Точка перетину напрямної з кривою B_n може визначатись, наприклад, за допомогою стандартної процедури *root*, проте вона має суттєвий недолік, який полягає в необхідності попереднього задавання діапазону параметра кривої t , в межах якого і відбувається пошук рішення. Проблема якраз і полягає в неможливості формування надійної логіки обмеження цього діапазону, оскільки при цьому необхідно цей діапазон обмежити так, щоб процедура визначала тільки одне рішення, що практично неможливо передбачити. Для уникнення подібних складностей запропонована принципово інша методика, суть якої зводиться до наступного. Особливо це стосується випадків, коли напрямні взаємно перетинаються. З огляду на зазначене розроблено принципово відмінний метод знаходження рішення. При поточному масиві даних координат керуючих точок X_B та Y_B безрозмірний параметр кривої t починаючи з нуля циклічно змінюється з певним кроком. Для кожної поточної точки $B(t_i)$ визначаються координати

$$x(t_i) = \sum_{k=0}^n X_{Bk} n! \frac{t^k}{k!(n-k)!} (1-t_i)^{n-k}, \quad (1)$$

$$y(t_i) = \sum_{k=0}^n Y_{Bk} n! \frac{t^k}{k!(n-k)!} (1-t_i)^{n-k}, \quad (2)$$

де n – порядок кривої, який менший на одиницю від числа точок, що утворюють криву.

Далі для кожної знайденої точки визначається кут β променя, що проходить через точки A і $B(t_i)$, який порівнюється з кутом α , причому характер цього порівняння (більший чи менший) кожний раз фіксується за допомогою певного індексу, якому кожного разу присвоюється позитивне чи від'ємне значення. Зміна знаку якраз і свідчить про перехід променя через положення напрямної. В цьому випадку різниця положення (наприклад через абсолютне значення кутів, хоча можливе і використання тригонометричних функцій кутів) порівнюється із заданим порогом точності. Принцип ідентифікації різниці кутів зводиться до наступних логічних формул

$$\text{if } \beta < 0 \rightarrow \alpha_n = \alpha_n + 180 \wedge \Delta\beta = 360 + \beta - \alpha_n; \quad (3)$$

$$\text{if } \beta \geq 0 \rightarrow \alpha_n = \alpha_n \wedge \Delta\beta = \alpha_n - \beta, \quad (4)$$

де α_n – вимірювальний кут променя напрямної, який або співпадає з кутом самої напрямної, або вимірюється в сторону протилежної чверті. Тільки при такому підході вирішується проблема переходу через вертикаль та горизонталь без зміни індикатору стану.

В принциповому плані можливі наступні ситуації в області, яка безпосередньо межує з напрямною.

Рішення отримано в результаті послідовного підходу з однієї сторони, тобто в деякому циклі зміни параметра t промінь зайняв положення, яке відрізняється від положення напрямної в допустимих межах. Тоді необхідно зафіксувати поточне значення параметра як характерне, повернути крок до номінального значення, оскільки перед цим він міг бути зменшений для підвищення точності наближення до напрямної. Далі параметр збільшується таким чином, щоб промінь гарантовано перейшов через напрямну (наприклад – на величину двох кроків).

Промінь перейшов в протилежну сторону, проте рішення немає, тобто і на протилежній стороні промінь розташований так, що відхилення перевищує допустиме. В такому випадку слід повернутись на протилежну сторону від напрямної, зменшивши параметр на величину кроку, зменшити крок зміни параметра і відновити процес наближення до напрямної, але з меншою дискретністю.

Промінь перейшов через напрямну, причому в цьому положенні він відстоїть від напрямної на величину, котра допустима з огляду на задану точність наближення. Слід зафіксувати параметр як характерний, змінити значення індексу стану на протилежний і продовжувати рух по кривій для пошуку наступного рішення (точки перетину).

Слід також відзначити, що для нормальної роботи програми правило визначення кутів повинно бути однотипним (прийнято від правосторонньої осі x проти годинникової стрілки).

Логіка порівняння базується на алгоритмі, відображеному на рис. 2.

Після визначення різниці кутів або параметрів присвоюється відповідно додатне чи від'ємне значення індексу *Ind*. Для першого циклу, коли параметр t має значення рівне нулю, множник K додатній, параметр збільшується на крок dt (гілка 5). В наступних циклах в першу чергу перевіряється чи не змінився індекс порівняно з попереднім I_k . Якщо ця зміна не зафіксована, то перевіряється чи різниця кутів (параметрів) по абсолютній величині не перевищує задану точність T . Саме ця подія фіксує факт допустимого відхилення променя стосовно напрямної, значення параметра фіксується як характерний параметр t_e для досліджуваної точки кривої, крок повертається до початкового значення, параметр кривої зростає на два кроки вперед (тобто точка гарантовано переходить через напрямну), а для виключення фіксації зміни ситуації в наступному кроці множнику присвоюється значення від'ємної одиниці (гілка 2). Якщо ж точність наближення не задовольняє, то параметр збільшується на крок (гілка 1). В разі ж, коли ситуація змінилась, про що свідчить нерівність індексів Ind та I_k , то можливі дві ситуації. Відхилення в межах допустимого, що свідчить про перехід променя через напрямну, причому в позицію, коли з врахуванням точності ця позиція може вважатись прийнятною для фіксації факту збігу променя та

напрямної, тоді алгоритм фіксує значення параметра, множник позитивний, що в наступному циклі обов'язково дозволить моделювати зміну ситуації, обновляється крок зміни параметра до номінального значення, параметр збільшується на величину цього кроку (гілка 4). Якщо ж ситуація змінилась, що свідчить про перехід променя через положення напрямної, але відхилення кута знаходиться за межами допустимого, то параметр повертається в попереднє положення, крок зменшується в десять разів і наближення до напрямної повторюється, але з більшою точністю (гілка 3). В кінці будь-якого циклу оновлюється контрольне значення індексу і процес обходу замкнутої кривої продовжується до самого її кінця.

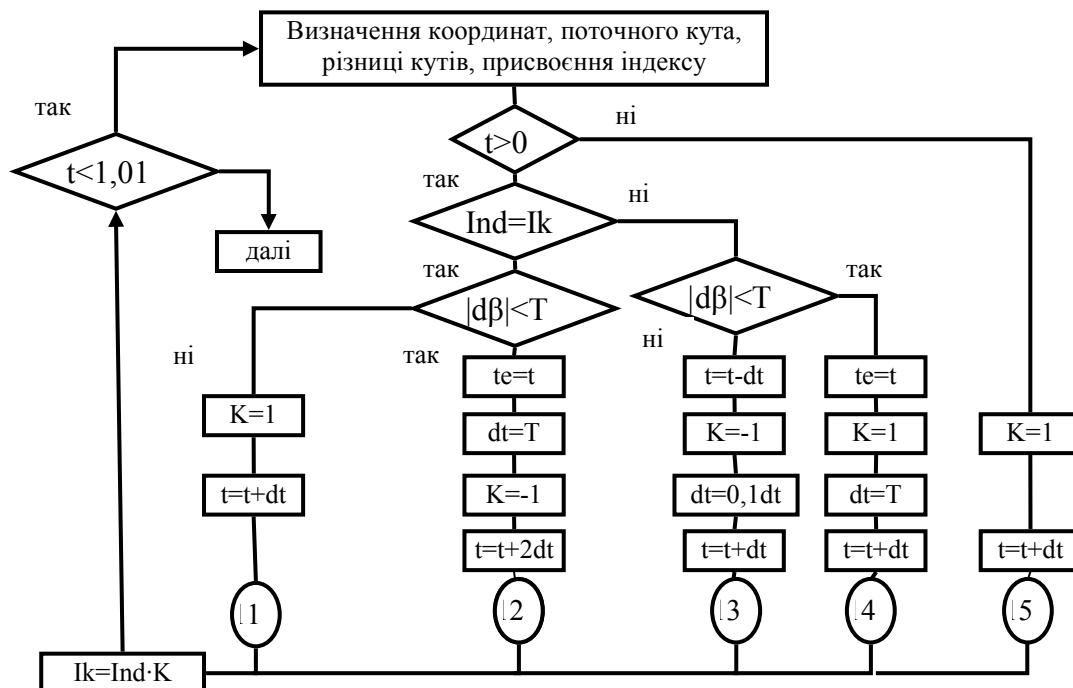


Рис. 2. Алгоритм ідентифікації зміни ситуації

Після того, як знайдено значення параметра, при якому крива перетинає напрямну, визначаються координати точки перетину B_n , далі відхилення положення цієї точки від заданої точки кривої A по осі x та y (відповідно dx , dy), положення керуючої точки змінюється на величини цих відхилень по відповідних осях. Очевидно, що зміщення кривої внаслідок зміни положення керуючої точки не буде абсолютно точно відповідати цим відхиленням, крім того аналогічне переміщення інших керуючих точок в тій чи іншій мірі призведе до корекції положення інших точок кривої, тому цикли обходу контуру повторюються багатократно, що в кінцевому результаті змусить криву проходити через всі задані точки масиву A , тобто крива займе положення 3 (рис. 1). При зміні кута нахилу напрямної до положення, наприклад, 4 форма кривої зміниться (5), хоча в кінцевому результаті крива теж пройде через точку A .

Метод тангенціального переміщення точок кривої полягає в тому, що до заданих точок кривої «підтягуються» точки $B(Kt_i)$, параметр яких визначено як добуток знайденого попереднім або іншим методом параметра на певний масштабний коефіцієнт, який менший одиниці, коли до керуючої точки потрібно перемістити попередню ділянку, або більший одиниці, коли переміщується наступна ділянка. За рахунок цього керуючі точки переміщуються від початкового положення відповідно по осях x і y на величини d_{Kx} та d_{Ky} , котрі визначаються як відхилення координат заданої точки та точки з масштабованим параметром, в положення B_K . Цей метод можна застосовувати і в комбінації з іншими методами визначення параметрів характерних точок, наприклад – метод пропорційного ділення.

Загальний алгоритм програми, в якій суміщено обидва методи керування сплайновою кривою, показано на рис. 3, а текст кодів наведено на рисунку 3.

В принциповому плані, як це слідує з рис. 3, загальний алгоритм включає окремі блоки, в яких визначаються безрозмірні параметри двох точок перетину напрямної з кривою, причому окремий алгоритм становить ситуація, коли напрямна задана у вигляді вертикалі або горизонталі (в цих випадках порівнюються не кути нахилу променя і напрямної, що, наприклад для вертикалі взагалі неможливе, оскільки тангенс кута її нахилу буде дорівнювати безкінечності, а координати x або, відповідно, y). Далі перевіряється факт знаходження для всіх точок кривої наявність характерних параметрів двох точок перетину і, в разі коли це підтверджується, визначається ближча з них до точки кривої. Координати точок кривої з зафіксованим характерним параметром порівнюються з заданими координатами кривої, координати керуючих точок корегуються на величини цих відхилень. Оскільки, як зазначалось вище, переміщення кривої при цьому, особливо при значних різницях координат, в повній мірі неадекватне переміщення керуючих точок, то викладену процедуру необхідно повторити багато разів. Після того, як крива проходить через всі задані точки, включається процедура вибіркового наближення точок з параметром, помноженим на

масштабний коефіцієнт, що дозволяє локально корегувати форму кривої, досягаючи при цьому більш точного відображення нею реальної моделі.

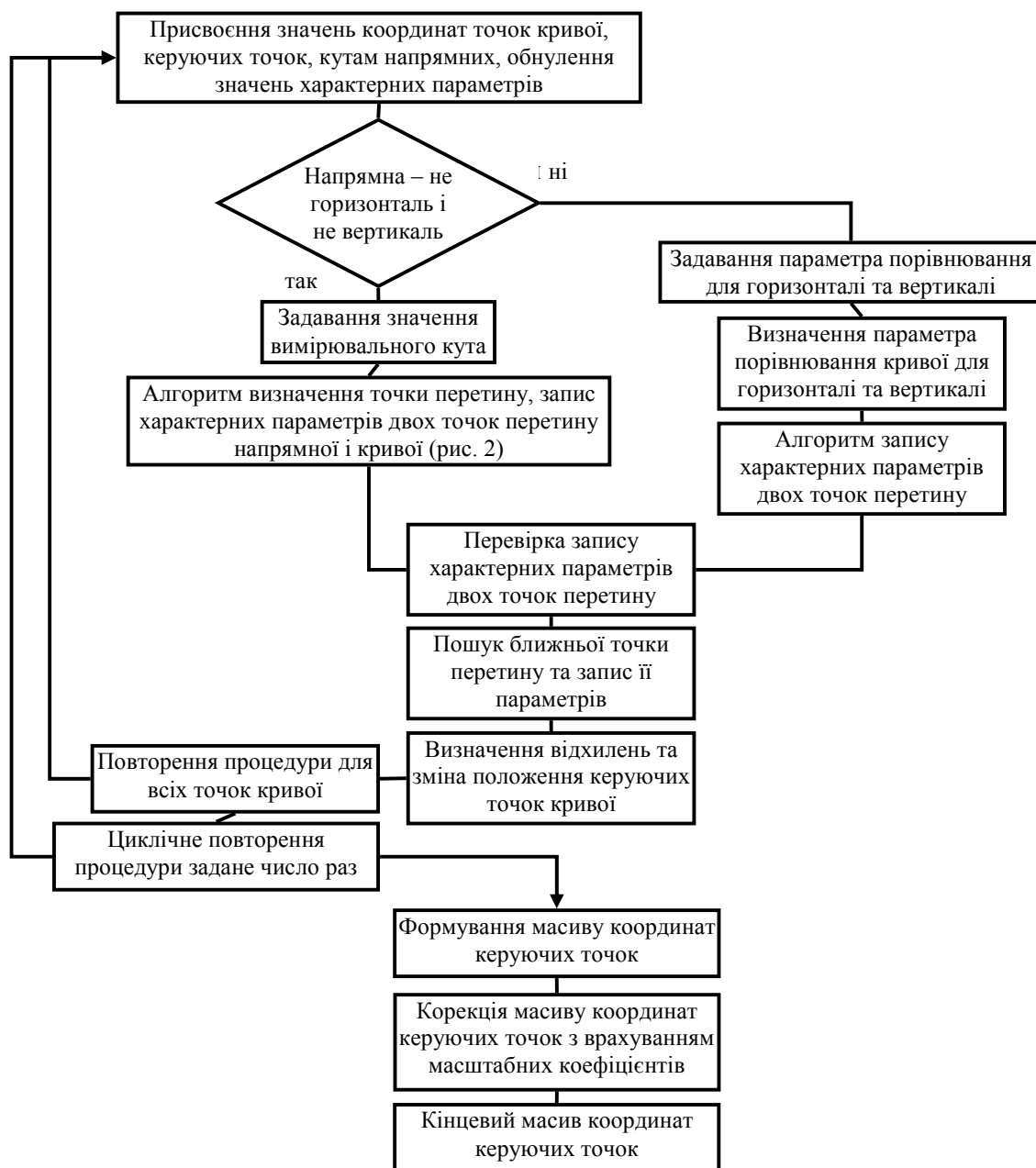


Рис. 3. Загальний алгоритм формування керованої сплайнової кривої

Слід зазначити, що реальна модель сліду може мати абрис, в якому враховані певні особливості моди тощо. Певну складність при профілюванні абрису сліду прототипу становить врахування конфігурації носкової частини. В загальному випадку носкова частина може бути із одним закругленням (одноцентрова носкова частина, рис. 4) або з двома закругленнями (відповідно – двоцентрова, рис. 5). На рис. 4 і 5 позначення характерних точок абрису (від 3 до 7) відповідає прийнятій в [21]. Координати цих точок визначаються на основі аналітичного апарату, викладеного в [17]. Для більш точного профілювання абрису в носковій частині додатково можуть бути введені точки 41 і 51 для одноцентрової схеми або 41, 42, 51 – для двоцентрової.

Вказані точки отримуються як точки дотику прямих до кола з радіусом закруглення r_v (точки 41 і 51 в одноцентровій схемі, дотичні проводяться відповідно з точок абрису 4 для точки 41 та 6 для точки 51) або до кіл радіусами r_v і r_z (точка 41 в двоцентровій схемі як точка дотику прямої, що проходить через точки 3 і 4; точка 42 як точка дотику спільної дотичної до обох кіл, при цьому для спрощення прийнято, що точка дотику до кола радіусом r_v співпадає з точкою 5; точка 51 отримується аналогічно одноцентровій схемі).

Тоді координати вказаних точок для одноцентрової носкової частини (з деяким спрощенням, котре не вносить скільки-небудь суттєвої похибки) можуть визначатись за системою рівнянь

$$\alpha = \arctg\left(\frac{y_6 - y_5 + r_v}{x_5 - r_v - x_6}\right) \quad (5)$$

$$\beta = \arctg\left(\frac{(y_5 - r_v) - y_4}{(x_5 - r_v) - x_4}\right) \quad (6)$$

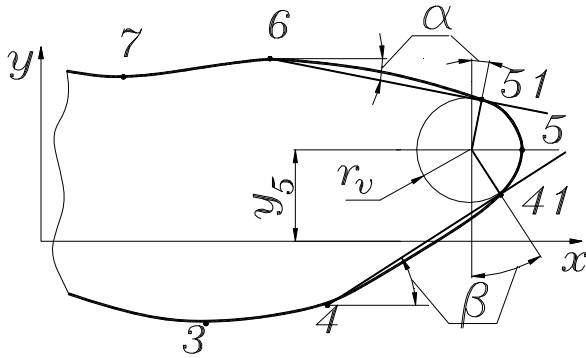


Рис. 4. Схема одноцентрової носкової частини

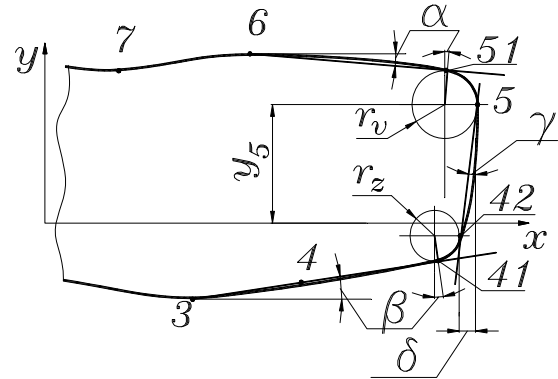


Рис. 5. Схема двоцентрової носкової частини

$$x_{41} = x_5 - r_v + r_v \sin \beta \quad (7)$$

$$y_{41} = y_5 - r_v \cos \beta \quad (8)$$

$$x_{51} = x_5 - r_v + r_v \sin \alpha \quad (9)$$

$$y_{51} = y_5 + r_v \cos \alpha \quad (10)$$

Аналогічно, для двоцентрової схеми носкової частини

$$\alpha = \arctg\left(\frac{y_6 - y_5 + r_v}{x_5 - r_v - x_6}\right) \quad (11)$$

$$\beta = \arctg\left(\frac{y_4 - y_3}{x_4 - x_3}\right) \quad (12)$$

$$x_{41} = x_5 - \delta - r_z + r_z \cos \beta \quad (13)$$

$$y_{41} = y_4 + (x_5 - \delta - r_z - x_4) \operatorname{tg} \beta \quad (14)$$

$$\gamma = \arctg\left(\frac{\delta}{y_5 - y_{41} + r_z}\right) \quad (15)$$

$$x_{42} = x_5 - \delta \quad (16)$$

$$y_{42} = y_5 - \frac{\delta}{\operatorname{tg} \gamma} \quad (17)$$

Координати точки 51 визначаються аналогічно одноцентровій схемі.

В залежності від співвідношення радіусів закруглення r_v і r_z , зміщення δ абрис носкової частини може прийнятно моделюватись при наступних варіантах задавання координат точок носкової частини:

для одноцентрової схеми:

- тільки для точки 5;
- для точок 41 і 51;
- для точок 41, 5, 51.

Для двоцентрової схеми:

- для точок 42 і 5;
- для точок 41, 5, 51;
- для точок 41 і 51.

Кращі варіанти в цих випадках встановлюються дослідним шляхом. Відповідно до вибраної моделі задавання характерних точок носкової частини формується алгоритм програмного продукту трансформації початкового масиву координат, розрахованих за залежностями, приведеними в [17].

Для переходу від габаритного сліду прототипу до розгортки сліду експериментальним шляхом

встановлено, що УРП повинна проходити через основні характерні анатомічні точки стопи, які відображені на прототипі [21]. Однак, в перетині точки згину стопи УРП вужча на 18–20 мм від габариту сліду прототипу. Це пояснюється тим, що при отриманні габариту сліду описано зовнішні та внутрішні контури, а при отриманні розгортки використано грані (ребра) прототипу. З огляду на сучасні тенденції моди було обрано одноцентрову носкову частину, тому крива розгортки сліду прототипу представлена дев'ятьма керуючими точками (рис. 6), котрі змінюються залежно від K_D , r_N , W , N .

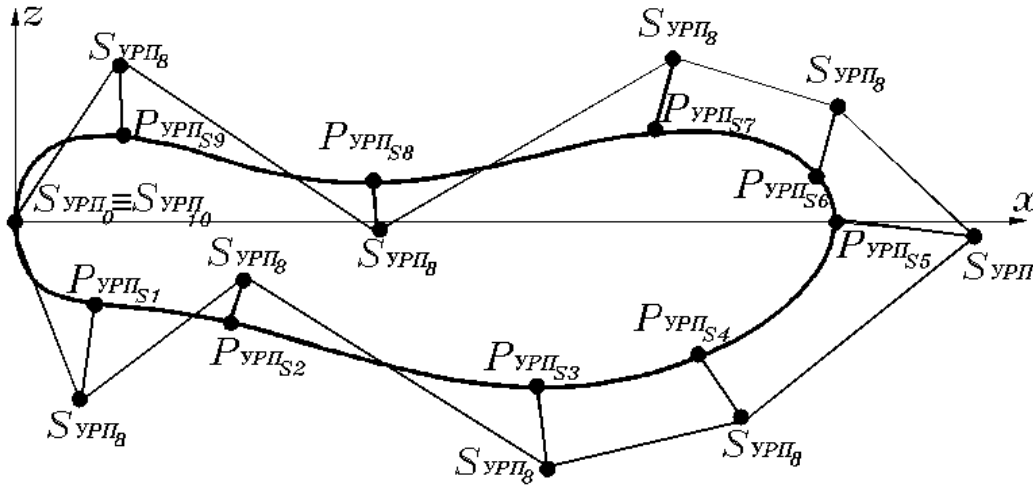


Рис. 6. Схема точок Безьє кривої сліду УРП

Використання методик обробки багатофакторної моделі [23] дозволяє описати рівняння керуючих точок абрису, з врахуванням даних факторів впливу. Отримані результати підтверджують експериментальні дані наведені у [24]. Рівняння для знаходження положення керуючих точок в загальному представлені у [18]. У таблиці 1 вказано порядок залежностей та кількість рівнянь для кривої розгортки сліду для чоловічої та жіночої статево-вікових груп (позначення параметрів відповідає [18]).

Таблиця 1

Характеристики кривої розгортки сліду прототипу

Фактори впливу		Крива сліду																	
		Чоловіча статево-вікова група																	
порядок рівнянь	к-сть залежності	Керуючі точки																	
		Вісь X																	
		P_{S1}	P_{S2}	P_{S3}	P_{S4}	P_{S5}	P_{S6}	P_{S7}	P_{S8}	P_{S9}									
K_D		2	$i=18$	2	$i=18$	2	$i=18$	2	$i=12$	2	$i=12$	2	$i=12$	2	$i=12$	2	$i=18$	2	$i=18$
r_N		2	$j=6$	2	$j=6$	2	$j=6$	2	$j=4$	2	$j=4$	2	$j=4$	2	$j=4$	2	$j=6$	2	$j=6$
W		2	$g=2$	2	$g=2$	2	$g=2$	1	$g=2$	1	$g=2$	1	$g=2$	1	$g=2$	2	$g=2$	2	$g=2$
N		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
		Вісь Z																	
K_D		2	$i=12$	2	$i=12$	2	$i=12$	2	$i=12$	2	$i=18$	2	$i=12$	2	$i=12$	2	$i=12$	2	$i=18$
r_N		2	$j=4$	2	$j=4$	2	$j=4$	2	$j=4$	2	$j=6$	2	$j=4$	2	$j=4$	2	$j=4$	2	$j=6$
W		1	$g=2$	1	$g=2$	1	$g=2$	1	$g=2$	2	$g=2$	1	$g=2$	1	$g=2$	1	$g=2$	2	$g=2$
N		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
		Жіноча статево-вікова група																	
		Вісь X																	
K_D		2	$i=12$	2	$i=12$	2	$i=12$	2	$i=12$	2	$i=12$	2	$i=12$	2	$i=12$	2	$i=12$	2	$i=12$
r_N		2	$j=4$	2	$j=4$	1	$j=6$	2	$j=4$	2	$j=4$	2	$j=4$	1	$j=6$	1	$j=6$	1	$j=6$
W		1	$g=2$	1	$g=2$	2	$g=2$	1	$g=2$	1	$g=2$	1	$g=2$	2	$g=2$	2	$g=2$	2	$g=2$
N		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
		Вісь Z																	
K_D		2	$i=8$	2	$i=8$	2	$i=12$	2	$i=12$	2	$i=12$	2	$i=12$	2	$i=12$	2	$i=12$	2	$i=12$
r_N		1	$j=4$	1	$j=4$	2	$j=4$	1	$j=6$	1	$j=6$	2	$j=4$	2	$j=4$	2	$j=4$	2	$j=4$
W		1	$g=2$	1	$g=2$	1	$g=2$	2	$g=2$	2	$g=2$	1	$g=2$	1	$g=2$	1	$g=2$	1	$g=2$
N		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2

Числові значення коефіцієнтів в рівняннях отриманні методикою формування багатофакторних моделей не приводяться з метою скорочення об'єму статті.

Профільний абрис УРП описаний кривими стику, гребня та задника. Розглянемо детальніше кожну

з кривих УРП.

Точки кривої задника УРП співпадають з точками задника прототипу, які обгрунтовані в [22] та представлені на рисунку 7, за виключенням точки $A_0 \equiv C_0$, оскільки УРП не передбачає величини зсуву п'яткової частини стопи, тому координата точки

$$x_{A_0} \equiv x_{C_0} = 0 \quad (18)$$

Координати точок P_C знаходяться за формулами, наведеними в [17].

Як слідує з рисунка 8, керуючі точки кривої стику УРП тотожні керуючим точкам прототипу, однак положення точок по осі X зміщені вправо на величину що відповідає четвертій частині п'яткового заокруглення, для чоловічої статево-вікової групи

$$r_p = \left[\left(0.235 + \frac{0.562}{N - 235} \right) - 11 \right] \cdot \frac{\pi}{4} \quad (19)$$

та для жіночої статево-вікової групи

$$r_p = \left[\left(0.265 - \frac{0.37}{N - 205} \right) - 22 \right] \cdot \frac{\pi}{4} \quad (20)$$

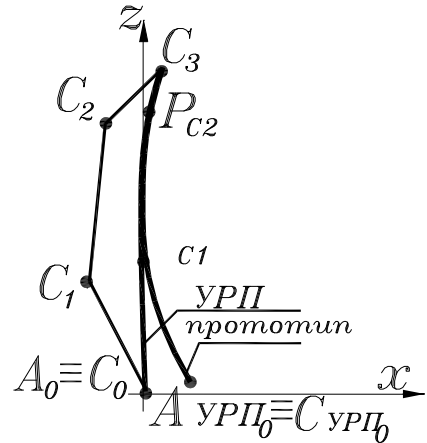


Рис. 7. Схема точок Безьє кривої задника прототипу та УРП

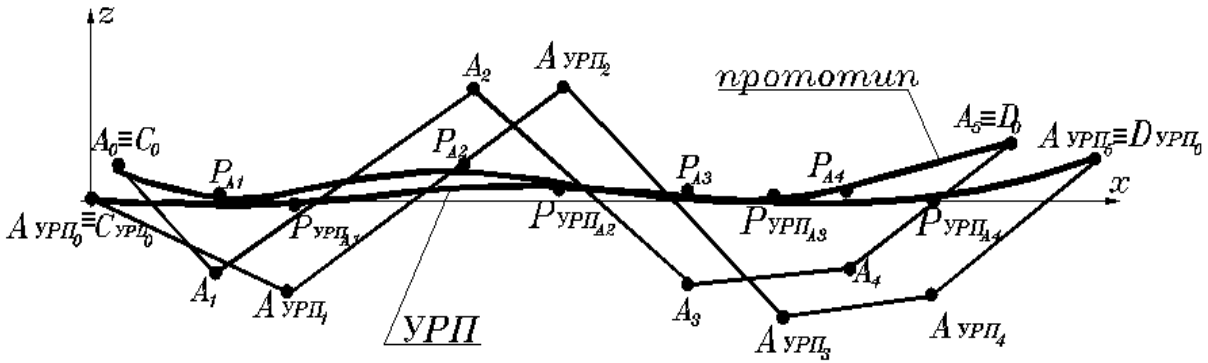


Рис. 8. Схема точок Безьє кривої стику прототипу та УРП

Керуючі точки кривої гребня УРП (рис.9) тотожні керуючими точкам прототипу, однак виключено з метою спрощення точка P_{D1} за рахунок того, що у відстань $P_{УРП_{D1}} - D_{УРП_0}$ входить довжина носкового заокруглення. Аналогічно керуючим точкам кривої стику УРП по осі X зміщені вправо на величину, зазначену у формулах 19, 20 відповідно.

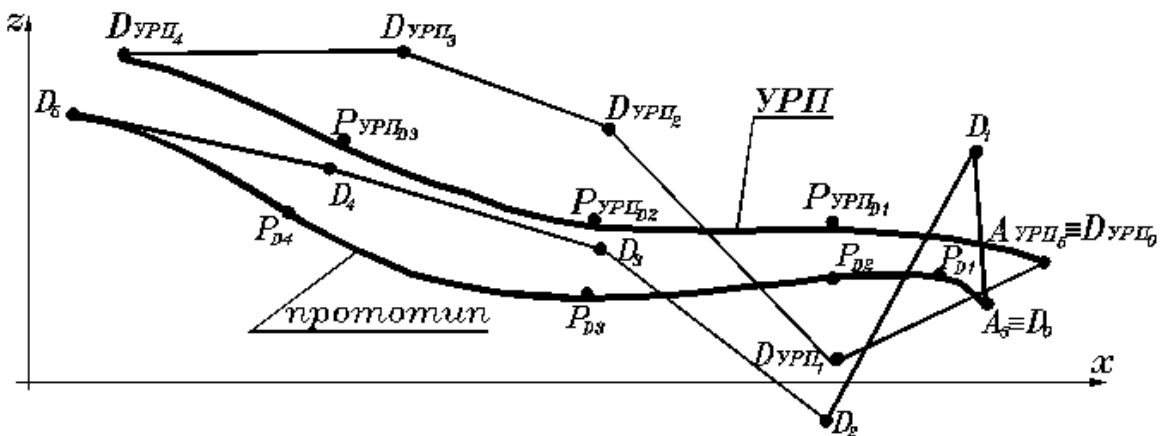


Рис. 9. Схема точок Безьє кривої гребня прототипу та УРП

У таблицях 2, 3 наведено порядок залежностей та кількість рівнянь для кривих стику та гребня чоловічої та жіночої статево-вікових груп. Аналогічно попереднім кривим числові значення не приводяться.

Емпірична методика ДВВ передбачає розробку аналітичного апарату зв'язків між розмірними характеристиками моделі та ДВВ. На рисунку 10 наведено алгоритм застосування емпіричної методики ДВВ.

Характеристики кривої стику УРП

Фактори впливу		Чоловіча статево-вікова група															
порядок рівнянь	к-сть залежностей	Керуючі точки															
		Вісь X								Вісь Z							
		P_{A1}		P_{A2}		P_{A3}		P_{A4}		P_{A1}		P_{A2}		P_{A3}		P_{A4}	
K_D		2	$i=8$	2	$i=8$	2	$i=8$	1	$i=8$	2	$i=8$	2	$i=8$	2	$i=8$	2	$i=8$
H_K		1	$j=4$	1	$j=4$	1	$j=4$	1	$j=4$	1	$j=4$	1	$j=4$	1	$j=4$	1	$j=4$
W		1	$g=2$	1	$g=2$	1	$g=2$	1	$g=2$	1	$g=2$	1	$g=2$	1	$g=2$	1	$g=2$
N		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Фактори впливу		Жіноча статево-вікова група															
K_D		1	$i=8$	2	$i=8$	1	$i=8$	1	$i=8$	1	$i=8$	1	$i=8$	1	$i=8$	1	$i=8$
H_K		1	$j=4$	1	$j=4$	1	$j=4$	1	$j=4$	1	$j=4$	1	$j=4$	1	$j=4$	1	$j=4$
W		1	$g=2$	1	$g=2$	1	$g=2$	1	$g=2$	1	$g=2$	1	$g=2$	1	$g=2$	1	$g=2$
N		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2

Таблиця 3

Характеристики кривої гребня УРП

Фактори впливу		Чоловіча статево-вікова група															
порядок рівнянь	к-сть залежностей	Керуючі точки															
		Вісь X								Вісь Z							
		P_{D1}		P_{D2}		P_{D3}		P_{D1}		P_{D2}		P_{D3}					
K_D		1	$i=12$	1	$i=12$	1	$i=8$	1	$i=8$	1	$i=8$	1	$i=8$	1	$i=8$	1	$i=8$
H_K		2	$j=4$	1	$j=6$	1	$j=4$	1	$j=4$	1	$j=4$	1	$j=4$	1	$j=4$	1	$j=4$
r_N		1	$g=2$	2	$g=2$	1	$g=2$	1	$g=2$	1	$g=2$	1	$g=2$	1	$g=2$	1	$g=2$
N		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Фактори впливу		Жіноча статево-вікова група															
K_D		2	$i=12$	2	$i=12$	2	$i=12$	2	$i=12$	2	$i=12$	2	$i=12$	2	$i=12$	2	$i=12$
H_K		1	$j=6$	1	$j=6$	1	$j=6$	1	$j=6$	1	$j=6$	1	$j=6$	1	$j=6$	1	$j=6$
r_N		2	$g=2$	2	$g=2$	2	$g=2$	2	$g=2$	2	$g=2$	2	$g=2$	2	$g=2$	2	$g=2$
N		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2

Для раціонального переходу від координат керуючих точок кривих прототипу до керуючих точок кривих УРП використано концепцію подібності прототипу та УРП, тому що будь-який розмір прототипу співвідноситься до аналогічного параметра прототипу

$$x_{УРП} = x_{П} K_{УРП} ,$$

$$z_{УРП} = z_{П} K_{УРП} \quad (21)$$

де $x_{УРП}$, $x_{П}$ – розміри УРП та прототипу відповідно в певному напрямку деякого поздовжнього перетину з координатою y вздовж УРП чи прототипу,

$z_{УРП}$, $z_{П}$ – розміри УРП та прототипу відповідно в певному напрямку деякого поперечного перетину з координатою x вздовж УРП чи прототипу,

$K_{УРП}$ – функція залежності, який враховує вплив характерних факторів.

Структура складових функцій залежностей отримана аналогічно вище зазначеній методиці і з метою скорочення об'єму статті не наводиться.

На рисунках 11, 12 наведено порівняння методів одержання розгортки. В якості еталонного вибрано комбінований, оскільки саме застосування цього методу забезпечує найбільш точне відтворення поверхні колодки, а для порівняння – спрощений шаблонний метод найчастіше використовують при проектуванні взуття. У виносках наведено абсолютні значення відхилення абрисів в критичних місцях від еталону, які свідчать про прийнятну точність емпіричної методики.



Рис. 10. Розгорнута схема алгоритму застосування емпіричної методики ДВВ

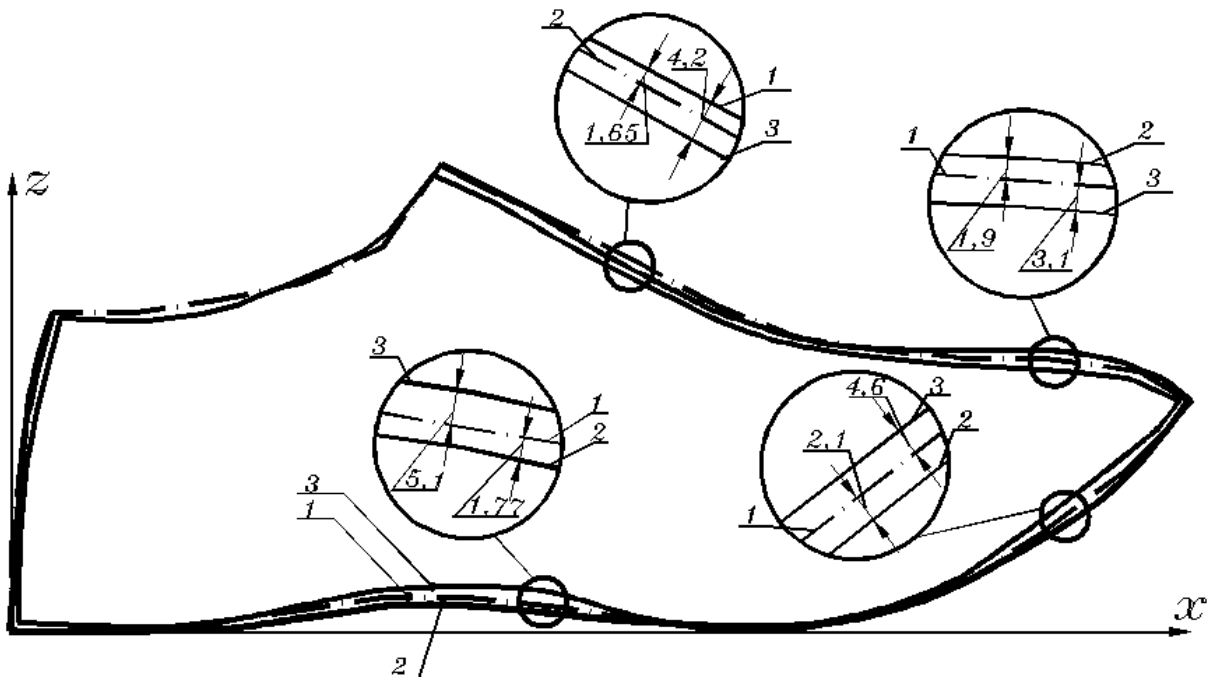


Рис. 11. Порівняння отримання розгортки (жіноча статево-вікова група) наступними методами:
1 – комбінований, 2 – з використанням емпіричної моделі, 3 – спрощений шаблонний

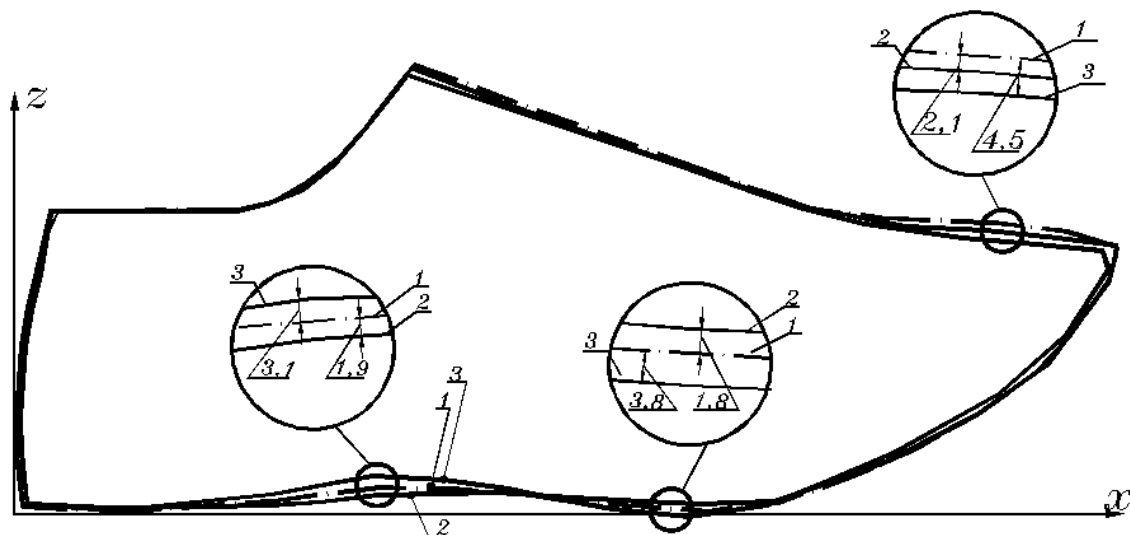


Рис. 12. Порівняння отримання розгортки (чоловіча статево-вікова група) наступними методами:
1 – комбінований, 2 – з використанням емпіричної моделі, 3 – спрощений шаблонний

Висновки: 1. Запропонована емпірична методика може рекомендуватися для практичного застосування як така, що забезпечує достатню точність, високу продуктивність та враховує анатомічні характеристики стопи.

2. Перспективою емпіричної методики також слід вважати можливість вдосконалення емпіричної моделі в міру накопичення нових експериментальних даних.

Література

1. Бегняк В.І. Основи конструювання і проектування виробів із шкіри : [навч. посібник] / Бегняк В.І. – Хмельницький, 2002. – 260 с.
2. Коновал В.П. Універсальний довідник взуттєвика : навчальний посібник / [Коновал В.П., Гаркавенко С.С., Свістунюва Л.Т. та ін.]. – К. : Лібра, 2005. – 720 с.
3. Бегняк В.І. Практикум з конструювання і проектування взуття : [навчальний посібник] / В.І. Бегняк, Т.Є. Корж. – Хмельницький : ТУП, 2002. – С. 242.
4. Апанасенко В.П. Новое в конструировании моделей обуви / Апанасенко В.П. – М. : Легпромбытиздат, 1986. – С. 28–36.
5. Лиокумович В.Х. Проектирование обуви / Лиокумович В.Х. – М. : Легкая индустрия, 1971. – С. 112–118, 196–227.
6. Тонковид Л.А. Расчет и проектирование обуви массового производства / Тонковид Л.А. – К. : Техніка, 1977. – С. 21–26.
7. Раяцкас В.Л. Исследование методов моделирования верха обуви и разработка основ его проектирования по жесткой оболочке : автореф. дис. на соискание ученой степени кандидата техн. наук : 05.19.06 «Технология обувных, кожевенно-галантерейных и шорных изделий» / В. Л. Раяцкас. М., 1963. – 17 с.
8. Раяцкас В.Л. Построение условных разверток боковой поверхности колодок по жесткой оболочке / В.Л. Раяцкас, Ю.П. Зыбин // Известия вузов. Технология легкой промышленности. – 1963. – № 1. – С. 20–22.
9. Ключникова В.М. Проектирование различных типов заготовок верха обуви по жесткой оболочке / Ключникова В.М., Кочеткова Т. С., Майорова Н.З. – М., 1973. – 346 с.
10. Холева Э. Основы рационального конструирования колодок и обуви. / Холева Э., Кашуба З., Луба Р. ; [пер. с польск.]. – М. : Легкая и пищевая промышленность, 1980. – 256 с.
11. Пат. України на винахід №25230 А. Спосіб одержання усередненої розгортки з бокових поверхонь колодки за допомогою шаблонів / Н.С. Храмова, В.П. Коновал ; опубл. 30.10.98, Бюл. № 6.
12. Храмова Н.С. Спосіб одержання умовної розгортки бічних поверхонь взуттєвої колодки / Н.С. Храмова, В.П. Коновал, В.І. Бегняк // Вісник ТУП. – 1999. – № 4, Ч. 2 – С. 26–27.
13. Храмова Н.С. Безконтактний спосіб одержання умовної розгортки бокової поверхні взуттєвої колодки / Н.С. Храмова, В.І. Бегняк // Вісник Технологічного університету Поділля. Технічні науки. – 2002. – №1. – С. 138–140.
14. Пат. 2086165 РФ, МПК А43D1/04. Способ получения условной развертки поверхности колодки для обуви / О.К. Тулупов, Д.Р. Минц, Н.Б. Лейкис, М.А. Зеленая. (РФ). – № 5047921/12 ; заявлено 15.06.92 ; опубл. 10.08.97.
15. Пат. 93004313 РФ, МПК А43D8/30. Способ разметки плоского материала / Петров В.М. (РФ). – № 93004313/12 ; заявлено 1.02.93 ; опубл. 10.08.95.
16. Сказкин А.В. Разработка методики проектирования внутренней формы обуви на основе

виртуальної візуалізації поверхності стопи : автореф. дис. на соискание ученой степени кандидата техн. наук : 05.19.06 «Технология кожи, меха, обувных и кожевенно-галантерейных изделий» / А. В. Сказкин. – М., 2010. – 23 с.

17. Надопта Т.А. Особливості формування габаритного сліду прототипу / Т.А. Надопта // Вісник Хмельницького національного університету. – 2010. – № 4. – С. 247–252.

18. Надопта Т.А. Характерні криві профільного абрису прототипу / Т.А. Надопта, Ю.М. Пухальська // Вісник Хмельницького національного університету. – 2011. – № 2. – С. 92–102.

19. Фукин В.А. Методика проектирования обувной колодки на основе технологии трехмерного сканирования / В.А. Фукин, А.В. Сказкин // Методика проектирования обувной колодки на основе технологии трехмерного сканирования. – М. : МГУДТ, 2010. № 17 (59) – С. 48–52.

20. Фукин В.А. Информационный метод проектирования обуви на базе 3D-биометрии / В.А. Фукин, А.В. Сказкин, В.Х. Буй // Дизайн и технологии. – М. : МГУДТ, 2008. – № 9 (51). – С. 31–41.

21. Надопта Т.А. Відображення анатомічної будови стопи за допомогою аналітичної моделі / Т.А. Надопта // Вісник Хмельницького національного університету. – 2010. – № 3. – С. 161–166.

22. Надопта Т.А. Моделювання профільних абрисів прототипу взуття з використанням кривих Безье / Т.А. Надопта // Вісник Хмельницького національного університету. – 2008. – № 6. – С. 222–226.

23. Надопта Т.А. Розмірні характеристики стопи / Т.А. Надопта // Вісник Хмельницького національного університету. – 2008. – № 1. – С. 102–106.

24. Надопта Т.А. Уточнення положення базових ліній для проектування деталей верху взуття на основі антропометричних досліджень дорослого населення України / Т.А. Надопта, В.П. Лоба // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. – 2010. – № 2. – С.85–89.

Надійшла 28.9.2011 р.

УДК 678.55 (075.8)

І.А. МАНДЗІЮК, О.В. ШАПОВАЛ, П.А. ЛИСОЧЕНКО, Н.В. СОВА

Хмельницький національний університет,
Київський національний університет технологій та дизайну

РЕЦИКЛІНГ ВІДХОДІВ ПОЛІЕТИЛЕНУ

Проведено дослідження матеріального рециклінгу відходів поліетиленової плівки за рахунок модифікації хімічним агентом, синтезованим із відходів поліетилентерефталату. Агент модифікації дозволяє стабілізувати в'язкість розплаву поліетилену, впливати на структуроутворення у вторинному ПЕ за рахунок подовження і розгалуження ланцюгів макромолекул.

A study of the material recycling of waste polyethylene film by chemical modification agent, synthesized from waste polyethylene terephthalate. Agent modification allows stabilization of the melt viscosity of polyethylene, to influence the structure formation in the secondary PE by lengthening and branching chains of macromolecules.

Ключові слова: рециклінг, поліетилен, рециклат, модифікатор, в'язкість розплаву.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. Галузі промисловості, пов'язані з виготовленням пластичних мас, їх переробкою залишаються провідними у економіці розвинутих країн. Виробництво пластмас у світі становило у 2009 році 150 млн т і за прогнозами у 2012 році досягне 220 млн т [1]. Найбільшим споживачем полімерних матеріалів (понад 1/3 загального об'єму) є індустрія пакувальних матеріалів. 50 % європейських товарів пакуються у пластмасову тару, 73 % відходів полімерної упаковки накопичуються у побутовому секторі (муніципальні відходи) і 20 % – у промисловості. Час використання пакувальних матеріалів надзвичайно короткий. У зв'язку зі збільшенням обсягів відходів пластиків виникає низка екологічних, економічних, соціальних проблем. Основним залишається питання охорони навколишнього середовища, однак, не менш важливим є те, що вся маса накопичених полімерних відходів – вагомий ресурсний потенціал [2] для країн з обмеженими сировинними ресурсами.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми. Дослідження, виконані Око-Institerl e.v (Данія) [3] дозволяють запропонувати ієрархію у системі управління відходами пластиків: механічний рециклінг; хімічний рециклінг; сировинний рециклінг; спалювання з регенерацією енергії; полігонне захоронення. Рециклінг полімерних відходів ставить за мету:

- зберігання, скорочення витрат мінеральної сировини;
- обмеження емісії газів, що обумовлюють “парниковий” ефект;
- зведення до мінімуму впливу на здоров'я живих організмів.

Ефективність того чи іншого способу рециклінгу полімерних відходів запропоновано [4] оцінювати за кількісними показниками:

- сумарною кількістю супутніх відходів, що утворюються на стадії синтезу будь-якого полімеру.

Чим нижче ця величина, тим ефективніший процес синтезу;

- енергетичними витратами на деполімеризацію (деструкцію) полімерних відходів. Чим нижча енергія, тим легше реалізувати процес, відповідно ефективніший рециклінг.

Розрахунки, здійснені для найбільш поширеного в різних секторах промисловості термопластичного полімеру – поліетилену (ПЕ) – засвідчують малу кількість супутніх відходів, які супроводжують синтез первинного ПЕ, в той час як величина деполімеризації (деструкції) ПЕ відходів є значною. За сукупністю обох показників для відходів ПЕ найбільш доцільним слід вважати механічний рециклінг з багаторазовим використанням і додаванням до первинної сировини. Матеріал відходів ПЕ протягом свого життєвого циклу піддається дії багатьох зовнішніх факторів: формуванню виробу, експлуатації перетворенню у відходи. При формуванні виробів із полімеру, на полімер діють високі температури, механічні напруги, яких достатньо для стимулювання хімічних реакцій, в умовах обмеженого доступу кисню. Після виготовлення виробу, він експлуатується в різних умовах. За температур оточуючого середовища полімер насичується киснем, що обумовлює окисну деструкцію. Процес деструкції прискорюється дією сонячного світла, озону тощо. Повторне використання полімеру після того, як виріб стає відходом, обумовлює додаткову подальшу деструкцію відходів при промиванні, висушуванні, подрібненні, агломерації, гранулюванні. За умов подальшої переробки відходів необхідно враховувати не тільки якість вторинної сировини, але і стабільність властивостей протягом “другого життя”.

Найбільша кількість відходів поліетилену високої густини (ПЕВГ) накопичується у вигляді пакувальних матеріалів – ємкості під рідину, плівки. Аналіз засвідчує, що молекулярна маса вторинного матеріалу змінюється мало, тому що деструкція матеріалу незначна при короткообіговому використанні виробів, що наглядно видно з таблиці 1 [5]. Значна кількість операцій переробки вторинного ПЕВГ у порівнянні з вихідним ПЕВГ обумовлює зменшення відносного подовження і підвищення модуля пружності. Ці зміни пов’язані з розривом ланцюга полімеру, наслідком якого є розгалуження (зі зростанням молекулярної маси), а також реакції зшивання, які погано визначаються за зміною молекулярної маси.

Основна кількість відходів поліетилену низької густини (ПЕНГ) накопичується з пакувальної плівки і плівки для сільського господарства. В останньому випадку, відходи плівки з сільського господарства характеризуються значним ступенем деструкції під дією УФ-опромінення. У вторинному матеріалі з цих відходів присутні у значній кількості кисневі групи. Присутність зшитих структур підтверджується наявністю гелевої фракції і різким збільшенням індексу течії розплаву.

Формування цілей статті. Метою роботи є дослідження з удосконалення технологій рециклінгу відходів поліетилену як суміші полімерних матеріалів з різним ступенем деструкції шляхом модифікації їх за рахунок введення добавок цільового призначення (модифікаторів) і переробкою у вироби, які б конкурували з аналогічними виробами із первинних матеріалів.

Виклад основного матеріалу. Відходи поліетилену – агломерат, виготовлений з відходів поліетиленової пакувальної плівки (ООО “Пласт” м. Дніпропетровськ) – розглядався нами як вторинна сировина, яку можна використовувати самостійно.

Показник течії розплавів (ПТР) агломерату при переробці у вироби, за однієї температури, для різних партій змінювався від 1,5 до 6 г/10 хв. З метою вивчення можливостей забезпечення стабільності процесу переробки агломерату, наданню йому нових властивостей, досліджено вплив рециклату, синтезованого з відходів ПЕТФ, на зміну в’язкісних характеристик розплаву агломерату. Модифікатор – добавку на основі рециклату, відходів ПЕТФ – отримували за технологією хімічного рециклінгу [6]. Вибір рециклату (ОЕ-МА) як дієвого модифікатору ґрунтується на теоретичних припущеннях, щодо можливих фізико-хімічних процесів, які відбуваються у агломераті при його переробці. В процесі переробки агломерату методом лиття під тиском, в умовах низької концентрації кисню, процеси термодеструкції ПЕНГ відбуваються переважно з утворенням алкілрадикалів. За рахунок наявності у рециклаті ОЕ-МА подвійного зв’язку відбувається атака алкілрадикалами ненасиченого зв’язку з утворенням розгалужених ланцюгів за рахунок поєднання макромолекул ПЕНГ олігомерним модифікатором за схемою (рис. 1).

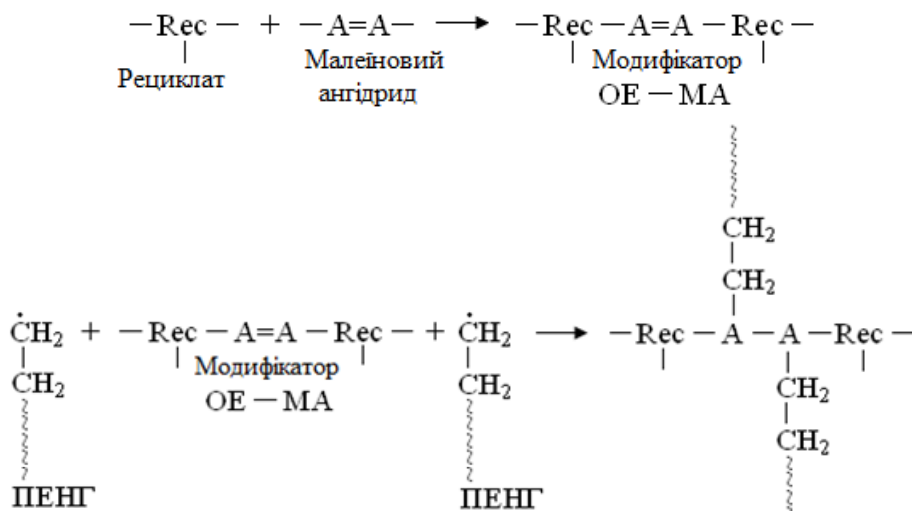


Рис. 1. Схема взаємодії модифікатору ОЕ – МА з агломератом ПЕНГ

У відповідності до наведеної схеми, модифікатор ОЕ-МА відіграє роль подовжувача ланцюга ПЕ з утворення розгалуженої будови і частково виконує роль стабілізатора, оскільки сприяє зменшенню кількості алкілрадикалів у вторинному поліетилені. В якості об'єкту порівняння використано класичний стабілізатор поліолефінів Irganox 1520 (фенол-2-метил-4,6 бис-октилтіометил) М.М. – 424,7. Кількість модифікатору ОЕ-МА змінювали у межах від 0,5 до 3,0 м.ч. на 100 м.ч. агломерату. Результати попередніх досліджень механічних властивостей засвідчують, що збільшення кількості модифікатору, понад 1,5 м.ч. практично не впливає на зміну властивостей агломерату, тому в подальшому всі дослідження проводили з вмістом ОЕ-МА у агломераті -1, 5 м.ч. на 100 м.ч. агломерату. Реометричні дослідження (табл. 1) показали, що у присутності модифікатору ОЕ-МА ефективна в'язкість розплаву агломерату збільшується у порівнянні з в'язкістю агломерату і агломерату+ Irganox 1520. Для композиції модифікованої ОЕ-МА аномальний характер зміни в'язкості проявляється менш інтенсивно.

В області швидкостей зсуву $100\text{--}350\text{ с}^{-1}$ в'язкість стабілізується на рівні $3300\text{--}3500\text{ Па}\cdot\text{с}$ (190°C). Такий характер зміни в'язкості розплаву свідчить [7] про зростання молекулярної маси.

Значення енергії активації в'язкого плинину розплаву агломерату, що містить ОЕ-МА, зменшуються, однозначно вказує на послаблення міжмолекулярної взаємодії у ПЕНГ за рахунок розгалуженості ланцюгів.

Таблиця 1

Реологічні характеристики агломерату ПЕНГ при 190°C

Зразок	Напруження зсуву, τ , Па	Градiєнт швидкості, $\dot{\gamma}$, с^{-1}	В'язкість, η , Па·с	Енергія активації в'язкого плинину, E_0 , кДж/моль при $180\text{--}190^{\circ}\text{C}$	Індекс течії, n
агломерат	20691	34,1	1253,7	46	0,86
	48950	80	942		
	97038	256	843		
	142730	436	942		
агломерат + ірганокс 1520	20691	27,0	1423	38	0,81
	48950	148	847		
	97038	269	1034		
	142730	430	1039		
агломерат+рециклат ОЕ-МА	20691	12	4518	31	0,62
	48950	63	3589		
	97038	204	3393		
	142730	343	3579		

Графік залежності зміни ефективної в'язкості від температури (рис. 2) засвідчує, що композиція агломерат-модифікатор менш чутлива до зміни температури у діапазоні розглянутих швидкостей зсуву, що побічно свідчить про стабілізуючий вплив модифікатору.

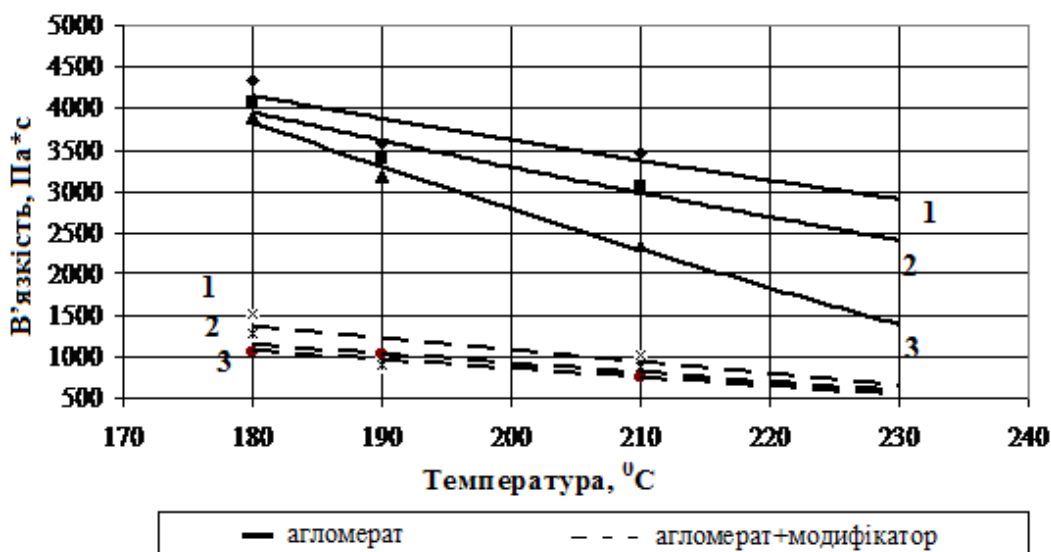


Рис. 2. Залежність в'язкості розплавів агломерату від температури, при різних градієнтах швидкості зсуву: 1 – 60 с^{-1} ; 2 – 200 с^{-1} ; 3 – 400 с^{-1} .

Додаткові дослідження з визначення питомого об'єму, відносної в'язкості у ксилолі (табл. 2) композицій на основі агломерату з модифікатором ОЕ-МА побічно свідчать про те, що запропонований нами механізм взаємодії ОЕ-МА і агломерату ПЕНГ з утворенням прищепленої, розгалуженої будови макромолекул ПЕНГ підтверджується.

Таблиця 2

Фізико-хімічні властивості композицій на основі агломерату ПЕНГ

Склад	Питомий об'єм, м ³ /кг	Ступінь кристалічності, %	Відносна в'язкість у ксилолі
Агломерат	1,075·10 ⁻³	47,2	5,12
Агломерат +ОЕ-МА	1,082·10 ⁻³	43,4	4,02

При додаванні до агломерату ОЕ-МА спостерігається збільшення питомого об'єму матеріалу, зменшення ступеню кристалічності, відносної в'язкості, що свідчить про збільшення ефективного розміру макромолекули ПЕНГ за рахунок бокових відгалужень ланцюгів (фрагменти рециклату ОЕ-МА), а відповідно зменшення міжмолекулярної взаємодії і підвищення рухомості окремих макромолекул у розчині. Повне розчинення композиції агломерат + ОЕ-МА відбувається за час значно менший (7 хв) у порівнянні з розчиненням агломерату без добавок (15 хв), а це свідчить про те, що процеси зшивання, які є характерними для ПЕНГ за термодеструкції, не проявляються для зразка, що містить ОЕ-МА.

Дослідження плівок зразків в ІЧ-спектрах (рис. 2) свідчать, що у спектрі зразка з ОЕ-МА з'являються додаткові піки поглинання 860 см⁻¹, 1740 см⁻¹; які відповідають (860 см⁻¹) коливанням -С-Н груп бензольного кільця, 1740 см⁻¹ – фталатній групі -Ar-CO-O-. Це є підтвердженням того, що у складі агломерату ПЕНГ містяться фрагменти рециклату ОЕ-МА поєднані хімічним зв'язком з макромолекулами ПЕНГ.

Основні фізико-механічні властивості модифікованого агломерату наведені у таблиці 3. Спостерігається зростання межі міцності у 2 рази, відносного подовження на 30 %, лінійна усадка зменшується у 2 рази.

Таблиця 3

Основні фізико-механічні властивості модифікованого агломерату

№ п/п	Показники	Значення показників	
		Агломерат	Агломерат+модифікатор
1	Усадка, %	6,7	3,6
2	Водопоглинання, %	0,2	0,3
3	Межа міцності при розтягненні, МПа	8,0	15,0
4	Відносне подовження при розриві, %	57,0	73,0

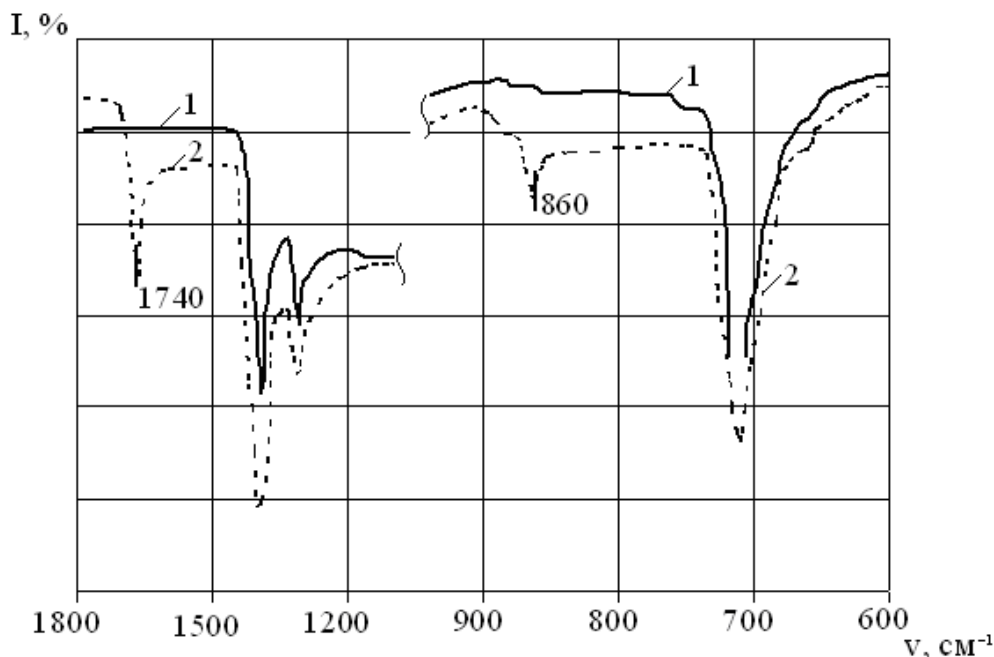


Рис. 2. ІЧ спектр плівок агломерату (1) і агломерат + ОЕ-МА (2)

Під час формування плівок з агломерату з добавкою ОЕ-МА було відмічено підвищену адгезію

матеріалу до поверхні формування плівки- алюмінієвої фольги. Дослідження з визначення кута змочування алюмінієвої поверхні розплавом матеріалу і дослідження з визначення міцності на зсув, сформованого клейового шару із клею Наіріт між двома плівками виготовленими з досліджуваних матеріалів показали наступне. Кут змочування краплі розплаву зменшується з 113° (агломерат) до 82° (агломерат + ОЕ-МА). Міцність склеювання на зсув складає для плівок з агломерату -15,5 н/см². Агломерат + ОЕ-МА-22,2 н/см².

Висновки. Проведені дослідження, свідчать про те, що рециклат ОЕ-МА може бути рекомендовано до використання в якості поліфункціональної добавки, яка може виконувати функції регулювання в'язкості розплаву вторинного поліетилену і стабілізуючого агенту і речовини, що підвищує адгезивні властивості поверхні поліолефінів.

Література

1. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні. – К., 2010.
2. Мандзюк І.А. Питання поводження з промисловими та побутовими відходами / І.А. Мандзюк // Енерготехнології і ресурсозбереження. – 2003. – № 3. – С. 41–43.
3. Dr. Rayen A.H.M. Environmental and economic aspects of post-consignor polymers disposal A.H.M / Dr. Rayen // European Environmental Technology Forum. Dec. 4-6, 1995, Utrecht, Netherlands. – 1995. – P. 125–129.
4. Lange J.P. Sustainable development: efficiency and recycling in chemicals Manufacturing / Jean-Paul Lange // Green Chemistry. – 2002. – № 4. – P. 546–550.
5. Вторичная переработка пластмасс / [под ред. Фр. Ла Мантия]. – СПб., 2006. – 395 с.
6. Мандзюк І.А. Хімічний рециклінг полімерних відходів/ І.А. Мандзюк // Хімічна промисловість України. – 2006. – № 6. – С. 27–32.
7. Шаповал О.В. Влияние состава полимерных смесей на основе вторичных термопластов на их структуру и свойства / [О.В. Шаповал, Е.П. Мамуня, В.Д. Мишак та ін.] // Пластические массы. – 1990. – № 9. – С. 48–51.

Надійшла 18.9.2011 р.

УДК 667.044.132

О.А. ПАРАСКА, С.А. КАРВАН, В.О. СТОПЧАК
Хмельницький національний університет

ВИКОРИСТАННЯ ПРИРОДНИХ МІНЕРАЛІВ В ЯКОСТІ СОРБЕНТІВ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ОРГАНІЧНИХ РОЗЧИННИКІВ

Описано особливості регенерації розчинників в процесі хімічного чищення. Наведено характеристику мінералів-сорбентів Хмельницького регіону. Обґрунтовано доцільність використання сапонітів в якості екологічно безпечних сорбентів для очищення органічних розчинників.

The features of the regeneration of solvents in the process of dry cleaning are described in the article. The characteristics of mineral sorbents of Khmelnytsky region are considered. The using of saponite as an environmental and safe sorbent for cleaning of organic solvents is substantiated.

Ключові слова: мінерали, сапоніти, сорбенти, фільтрування, фільтрувальні порошки, хімічне чищення.

Вступ. Необхідною умовою одержання високої якості обробки виробів в процесі хімічного чищення є безперервне очищення органічного розчинника. Під час обробки виробів в органічному розчиннику всі забруднення з виробів переходять в розчинник і забруднюють його. Крім розчинних забруднень, в розчиннику накопичуються і нерозчинні речовини (сажа, пил, пісок, обривки волокон, ґрунтові пігменти, наповнювачі, що входять до складу апретів). Забруднення спричиняють зміну забарвлення розчинника (від жовтого до коричневого), уповільнюють дистиляцію, подовжують час сушіння та надають неприємного запаху виробам [1].

Розчинник виконує роль транспортувального агенту, в якому переміщуються вироби, компоненти забруднень. За допомогою розчинника створюються турбулентні потоки і здійснюється механічна дія на вироби. У розчиннику розчиняються жири та олії, які утримують пігментні частинки на волокнах. Забруднення, що переходять з виробів в розчинник, утворюють залежно від класу розчини, емульсії і дисперсії. Ступінь дисперсності безперервно змінюється під впливом турбулентного потоку, процесу фільтрації, диспергувальної дії ПАР. В процесі накопичення забруднень у розчиннику створюються умови для їх вторинної сорбції волокнистими матеріалами, відповідно погіршується якість обробки виробів [2, 3]. Тому необхідно постійно контролювати ступінь чистоти розчинника в процесі хімічного чищення.

Сьогодні значна увага приділяється природним мінералам-сорбентам. До таких речовин належать цеоліти, бентоніти, хумоліти, сапоніти, глауконіти. Природні дисперсні мінерали володіють високими адсорбційними, каталітичними та іонообмінними властивостями. Завдяки пористій структурі та високорозвиненій поверхні такі мінеральні сорбенти здатні селективно вилучати з розчинів шкідливі

речовини, Дослідження вчених: Богданова Г.О., Бурлака В.А., Грабовенського І.Й., Засухи Т.В., Кравціва Р.Й., Кулика М.Ф., Буцяка В.І. показали можливість використання таких мінералів для потреб різних галузей промисловості. Економічна доцільність їх використання в різних технологічних процесах зумовлюється існуванням ефективності методів регулювання їхньої геометричної структури та хімічної природи поверхні, наявністю в Україні великих промислових родовищ і невисокою вартістю глинистих мінералів [4, 5].

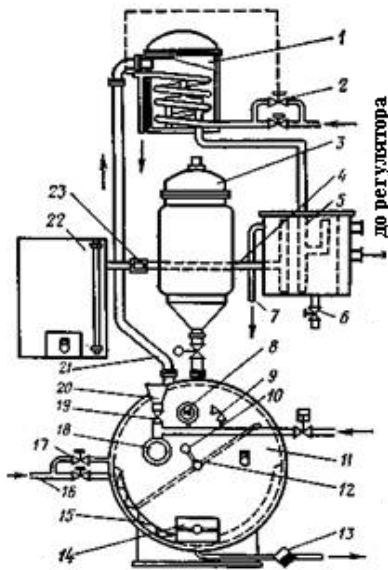


Рис. 1. Типова схема дистильційної установки:
1 – конденсатор; 2 – термостатований вентиль; 3 – фільтр; 4, 7, 16 – трубопроводи; 5 – водовідділювач; 6 – вентиль; 8 – манометр; 9 – запобіжний клапан; 10 – ручка приводу мішалки; 11 – куб-випарювач; 12 – лопасті мішалки; 13 – конденсатовідвідник; 14 – люк; 15 – нагрівач; 16 – трубопровід; 17 – вентиль; 18, 23 – оглядове вікно; 19 – закривач; 20 – воронка; 21 – паропровід; 22 – бак

Постановка завдання. Поширеними способами очищення розчинників є фільтрування, адсорбція і дистиляція. Найбільш ефективним методом регенерації розчинника є дистиляція, що видаляє як механічні, так і розчинні забруднення. В сучасних машинах хімічного чищення FIBRIMATIC, ITALCLIN, RENZACCI, AMA, DONINI, BOWE немає особливих конструкційних відмінностей. Машини хімічистки мають замкнений цикл, весь розчинник, що використовується в процесі миття, відновлюється завдяки системі дистиляції. Типову схему дистиляції розчинника в машині хімічного чищення представлено на рис. 1.

Принцип дистиляції заснований на різниці температур кипіння чистого розчинника і розчинних забруднень, які мають, як правило, вищу температуру кипіння [6]. При нагріванні до температури кипіння розчинника в дистильційних установках в пароподібний стан переходить чистий розчинник, у той час як розчинні забруднення та нелеткі механічні забруднення залишаються в кубі дистильтора. Одночасно випаровується вода, яка вводиться в розчинник в процесі миття разом з посилювачем та виробами (рівноважна волога). Після конденсації парів в холодильнику вода, яка є основною домішкою, відокремлюється в водороздільники, а чистий розчинник по трубопроводах направляється в спеціальний бак або безпосередньо в мийний барабан. Забруднення, що входять до складу кубового залишку, підлягають додатковій обробці

гострою парою. Однак, дистиляція є досить дорогим способом регенерації розчинника, оскільки витрачається пара, вода, енергія. Також відбуваються втрати розчинника і утворюються шламові відходи, які потребують утилізації. Для зменшення втрат розчинника в процесі дистиляції ефективним є застосування дво- і триванного способів миття виробів та фільтрувальних порошків.

Результати досліджень та їх обговорення. Фільтрація дозволяє зберігати розчинник тривалий час та розширює можливості очищення розчинника від забруднень. Фільтр являє собою апарат, розділений пористою фільтрувальною перегородкою на дві частини. В одну з них надходить суспензія, інша служить для відводу чистого розчинника. Щоб рідина пройшла через пори фільтру, в обох частинах його створюється різниця тисків за допомогою поршневих або відцентрових насосів, компресорів, вакуум-насосів.

На машинах хімічної чистки встановлюють фільтри періодичної дії, що забезпечують фільтрування не менше 4 л / хв розчинника на 1 кг одягу.

Фільтри машин хімічної чистки різноманітні за конструкцією, матеріалами, з яких виготовляють фільтрувальні елементи, видами фільтрувального порошку [7]. За матеріалами фільтрувальних елементів, розрізняють фільтри металеві, тканинні, паперові та комбіновані (вугілля, папір). За способами використання фільтрувального порошку розрізняють одно- і багатопорційні фільтри. За конструкцією фільтрувальних елементів розрізняють фільтри пластинчасті, дискові і свічкові. Як правило, застосовують вертикальні фільтри, що полегшує скидання фільтрувального порошку після його забруднення. Зовнішній вигляд основних видів фільтрів представлено на рисунку 2.

В корпусі пластинчатого фільтру 8 за допомогою тримачів 5 та ніпелів 7 закріплені фільтрувальні пластини 6. Патрубки 9, 3 використовуються для подачі та видалення розчинника. Забруднений розчинник разом з порошком осідає в конусній частині 2 і подається через патрубок 1 в дистильтор. Корпус фільтра закривається кришкою 4, що має в середині патрубків для виводу повітря. Корпус фільтру має водяну сорочку для охолодження розчинника. При підготовці машини хімічного чищення до роботи, на пластини наносять до 1,5 кг фільтрувального порошку, перед початком кожного робочого циклу необхідно додавати 0,15...0,2 кг фільтрувального порошку.

Патрон експандерного фільтру (рисунок 2.2) виконаний у вигляді пружини, всередині якої встановлена перфорована латунна трубка 10. З патроном жорстко з'єднаний нижній кінець штоку зі зворотною пружиною. В робочому положенні пружина стиснута і через неї проходить очищений розчинник. За допомогою пневматичного пристрою, який діє на верхню частину штоку, патрон розтягується, порошок

скидається з пружини. При звільненні штоку поворотна пружина повертає патрон в робоче положення. Комплект патронів поміщений в середині корпусу фільтра, має водяну охолоджувальну сорочку. Патронні експандерні фільтри встановлено на машині МХЧА-18 і машинах фірми „BOWE”. Головною перевагою експандерного фільтра є можливість швидкої заміни забрудненого порошку, що скидається за допомогою пневматичного пристрою протягом 30 с. Тривалість операцій перезарядження фільтра становить від 3 до 5 хв.

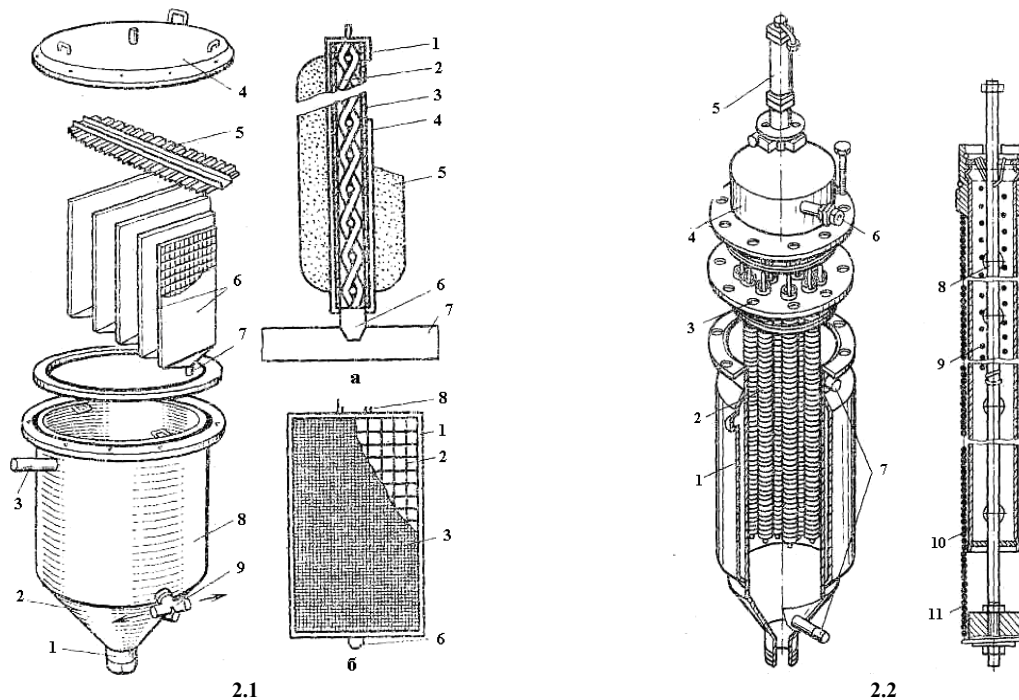


Рис. 2. Конструкція фільтрів:

2.1 – пластинчастий фільтр з вертикальним розміщенням пластин: 1 – патрубок, 2 – конусоподібне дно, 3,9 – патрубки для розчинника, 4 – кришка, 5 – тримач, 6 – пластини, 7 – ніпель, 8 – корпус; 2.1.а – з'єднання секцій фільтрувальних пластин;
 2.1.б – фільтрувальна пластина: 1 – рама, 2 – центральна груба сітка, 3 – тонка сітка, 4 – кожух, фільтрувальний шар, 6 – ніпель, 7 – дренажна трубка, 8 – ручка; 2.2 – експандерний фільтр з патроном: 1 – корпус, 2 – патрон, 3 – труба решітка, 4 – кришка, 5 – пневмоциліндр, 6 – патрубок відведення розчинника, 7 – вхідні труби, 8 – шток, 9 – зворотня пружина, 10 – латунна трубка, 11 – фільтрувальна пружина

Якщо фільтрування розчинника проводити через елементи фільтра, то швидкість фільтрування швидко зменшиться внаслідок закупорювання пор фільтрувальної перегородки твердими частками розміром до 5 мкм. Для запобігання закупорювання пор застосовують допоміжні речовини, які наносять на фільтрувальну перегородку або додають до суспензії перед початком фільтрування (намивна фільтрація).

В сучасних машинах швидкість фільтрації забезпечує повну зміну розчинника в мийному резервуарі за 1 хв. На машинах різних типів кількість розчинника, що проходить через кожен кілограм одягу, становить 4...12 л / хв. Площа фільтрувальних елементів в машинах різних типів становить 1,5...12 м. Якість формування фільтрувального шару залежить від типу фільтрувального порошку, правильності його дозування, справності фільтрувальних елементів, способу нанесення порошку.

Адсорбенти дозволяють вловлювати з розчинника фарбувальні речовини і жирні кислоти. У чистому вигляді вони не застосовують, оскільки не утворюють пористого шару і тому дуже швидко підвищують тиск у фільтрі. Їх наносять на фільтр, зазвичай, в суміші з порошками, що володіють фільтрувальними властивостями. Такими адсорбентами є деревне вугілля, спеціальні глини, порошки карбамідних смол.

Адсорбційні властивості речовин зумовлені дією надлишкових сил молекул, що знаходяться на поверхні. Дія поверхневих сил поширюється на малі відстані, однак, при цьому, кількість адсорбованих пароподібних речовин досить велика. Наприклад, 1 т вугілля може сорбувати 280 л бензину. Пористі тіла поглинають не лише зовнішньої поверхнею, а головним чином, стінками внутрішніх пор, зокрема, 1 г активованого вугілля 1 г має загальну поверхню від 500 до 1000 м². Якщо пори будуть закриті, то адсорбція буде протікати дуже повільно, тому хороші адсорбенти повинні володіти такою структурою, при якій всі стінки його внутрішніх пор і капілярів легко доступні для молекул різних речовин. Також адсорбенти повинні володіти достатньою механічною міцністю для запобігання засмічення порошком машини хімічного чищення та забруднення одягу під час обробки.

На ефективність процесу фільтрації розчинника впливають маса забруднень, що переходять в розчинник з одягу, швидкість фільтрації, площа фільтрувальних елементів, якість формування фільтрувального шару, вміст у розчиннику посилювачів і води.

Додавання допоміжних матеріалів дозволяє за рахунок пористості шару знизити опір фільтрувальної перегородки, що еквівалентно збільшенню площі фільтрації. Зазвичай, підбирають допоміжні речовини, які містять частки неправильної форми, утворюють шари з високою пористістю і

забезпечують отримання чистого фільтрату. Як правило, маса допоміжної речовини дорівнює масі твердих часток, які містяться в суспензії і становить 0,5...2 кг. На поверхню фільтрування наносять шар товщиною 0,8...2,5 мм, що відповідає витраті допоміжної речовини 0,2...0,6 кг на 1 м² поверхні фільтрування. Допоміжні речовини повинні відповідати наступним вимогам: накопичуватися на фільтрувальних елементах, бути інертними до розчинників і посилювачів, знаходитись на поверхні розчинника, утворювати пористий шар.

Поряд з активованим вугіллям в якості допоміжних речовин тривалий час використовують глиноземні мінерали: діатоміти, трепели, перліти. За хімічним складом фільтрувальні порошки є сумішшю кремнезему (до 90 %), глинозему (до 10 %), кальцій оксиду (до 3 %) і домішок інших елементів.

Діатоміти є закам'янілими панцирами дрібних молюсків. Діатоміт обпалюють та подрібнюють до часток розміром від 2 до 4 мк. Діатоміти володіють високою пористістю від 70 до 75 %, його щільність – 2030...2200 кг/м³.

Трепели володіють високою пористістю від 60 до 64 %, їх щільність – 2200...2500 кг/м³. Трепели володіють фільтрувальними та адсорбційними властивостями.

Перліти є породами вулканічного походження, це порошки білого кольору, пористістю від 85 до 90 %, вологістю 2 %.

Зикейський трепел помолу 200 (ЗП 200) – тонкодисперсний порошок від світло-сірого до світло-жовтого кольору, його щільність 590 кг/м³, вологість не більше 3...4 %.

Кизельгур кіровоградський – білий порошок щільністю 350 кг/м³, пористість не менше 75 %.

Фільтрувальний порошок КМК (карбонізований кальцій метасилікат) – порошок білого кольору, що містить оксидів кальцію і кремнію по 35,5 %, оксидів лужних металів, феруму і алюмінію по 0,1...0,5 %. Питома поверхня становить 80 м²/г, рН водної витяжки – 9...9,6, частинок розміром 0,05 мм – 80 %. Хімічний склад деяких порошків наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Хімічний склад фільтрувальних порошків

Порошок	Вміст оксидів, %							рН
	SiO ₂	FeO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O+Na ₂ O	SO ₃	
Діатоміт (Росія)	81,10	2,42	7,20	0,69	1,01	2,01	0,30	4,80
Перліт (Росія)	73,50	1,10	13,00	0,90	0,20	1,65	-	-
ЗК 200 (Росія)	82,84	3,07	7,20	0,69	1,10	1,24	1,14	7,00
Спеціаль 2 (Чехія)	77,39	1,17	9,20	1,44	1,14	8,36	0,23	8,00
Кислотний сіро-жовтий (США)	71,50	3,42	9,61	2,04	1,49	2,05	1,67	4,35

На Україні виявлено більше 100 проявів бентонітових глин з сумарним запасом понад 100 млн тонн, які знаходять застосування в нафтопереробній галузі як адсорбенти і каталізатори, як пластифікатори при виробництві вогнетривких матеріалів, в масло-жировій, виноробній та безалкогольній промисловості для освітлення масел, олій, вин, соків, для очистки напівпродуктів цукрового виробництва, як біодобавки для підкормки домашньої птиці та худоби. Розроблено сучасні ефективні і економічно доцільні технології практичного використання сапонітової продукції в тваринництві, рослинництві, ґрунтоутворенні, детоксикації та підвищенні врожайності техногенно-забруднених ґрунтів, очищенні харчових продуктів від солей важких металів та радіонуклідів, для отримання легких пористих наповнювачів [5].

На півдні Хмельницької області на території Віньковецького району знайдені і попередньо розвідані Адамівське і Карачієвецьке комплексні родовища глауконіт-кварцових пісків з високим вмістом глауконіту. Доведено ефективне використання глауконітів у якості екологічно чистих калійних добрив, а також мінеральних добавок у корми всіх видів сільськогосподарських тварин і птахів, поліпшення фізико-хімічних, механічних і агрохімічних властивостей мінеральних добрив. Дослідження, проведені Українською академією сільськогосподарських наук, показали, що використання добрив на базі глауконіту дозволяє збільшити урожайність зернових культур на 24...44 %, овочів – на 25...40 %. При цьому вирощується екологічно чиста продукція високої якості, зменшується захворюваність рослин, поліпшується стан ґрунтів. Глауконіт-кварцеві піски є новим видом мінеральної сировини, використання якої за розрахунками та дослідженнями можливе в якості меліоранта ґрунтів, комплексного мінерального добрива, а також мінерального сорбенту при облаштуванні інженерно-геохімічних бар'єрів та забруднених нафтопродуктами територіях [4, 8].

Графіт відноситься до стратегічних матеріалів. Його широко використовують у ливарній справі, електротехнічній і хімічній промисловості, для виробництва мастильних матеріалів і антифрикційних виробів, ядерній енергетиці та в інших галузях промисловості. Буртинське родовище знаходиться на території Полонського і Шепетівського районів Хмельницької області. Однак, на сьогодні затверджено запаси лише Городнявської ділянки у Шепетівському районі. Безпосередньо ділянка надр знаходиться між селами: Заморочення, Михайлочка, Городнявка. Родовище пластове, відносно витриманої потужності, вміщує безрудні прошарки. Руди легко збагачувані, шкідливі домішки в графіті відсутні, або ж їх вміст в гранично допустимих межах. В результаті збагачення графітових руд можливе отримання концентрату, що за своїми фізико-хімічними показниками відповідатиме графіту тигельному, елементному і ливарному.

У межах Білогірського і Теофіпольського районів виділено 7 ділянок, де неглибоко залягають рудні

тіла фосфоритів із сумарними прогнозними ресурсами 100 млн тонн руди, або біля 6 млн тонн P_2O_5 . За результатами проведених лабораторно-технологічних досліджень руд зернистих фосфоритів розроблені схеми переробки зернистих фосфоритів, що дають можливість одержати фосфатний концентрат, який відповідає вимогам для виробництва фосфатних мінеральних добрив. Розроблено технологічну схему збагачення і грануляції, що дозволяє одержати комплексне гранульоване добриво, яке буде містити Фосфор, Нітроген і Калій. Агрохімічні вегетаційні і польові дослідження руд зернистих фосфоритів і продуктів їхньої переробки, що проводилися в Поліській філії Інституту ґрунтознавства й агрохімії ім. Соколовського (м.Луцьк), Інституті цукрового буряка (м.Київ), Інституті агроєкології і біотехнології (м.Київ) дали позитивні результати.

Апатитові руди виявлені на території Летичівського, Деражнянського і Хмельницького районів у межах Голосківської структури не мають аналогів серед розвіданих родовищ на Україні. Руди характеризуються високим вмістом апатиту до 25 % і P_2O_5 до 10,5 %. Розроблено технологію збагачення апатитових руд, що дозволяє одержати апатитовий концентрат із вмістом P_2O_5 до 38 %.

Хмельницька область – це єдиний регіон в Україні та в колишньому Радянському Союзі, де розвідані родовища сапонітових глин – унікальних природних утворень, які вкладають цілу провінцію бентонітової сировини з особливими властивостями. Потужність продуктивного шару – 10...40 м, потужність розкривних порід – 5...20 м. Найбільш вивченим є Варварівське родовище сапонітових глин, яке складається із двох ділянок: Ташківської та Варварівської, що знаходяться в 5 км і 12 км відповідно південніше від м.Славуті. Площа Ташківської ділянки становить 12 га, Варварівської – 55 га. Ділянки характеризуються різними запасами ресурсів і гірничо-технічними умовами експлуатації. Характеристику мінеральних родовищ наведено в таблиці 2.

Таблиця 2

Характеристика мінеральних родовищ Хмельницької області

Родовище	Район	Мінерал	Запаси сировини	Орієнтовна вартість
Буртинське (Городнявська ділянка)	Шепетівський	Графіт	6,5 млн.т	10 млн. грн
Адамівське-1	Віньковецький	Глауконіт	3,9 млн.т	2 млн. грн
Варварівське	Славутський	Сапоніт	17,8 млн.т	8 млн. грн
Ташківське	Славутський	Сапоніт	4,8 млн.т	2 млн. грн

Кристалічна структура мінералів монтморилонітів сапонітової групи побудована із двомірнескінчених шарів, утворених комбінацією двох тетраедричних кремнієкисневих (або кремнійалюмоокисневих) ґраток і розміщеною між ними октаедричною ґраткою, яка містить переважно Алюміній, Магній та Ферум у співвідношенні 2:1. Ці триповерхові шари пов'язані обмінними гідратованими катіонами Натрію, Кальцію, Магнію, Феруму, Мангану та іншими макро- і мікроелементами і додатковими молекулами води. Сапоніти володіють високою дисперсністю, поверхнею набухання, ємністю катіонного обміну [9, 10]. Їм властива здатність сорбувати деякі аніони і катіони та перетворювати їх на обмінні іони, які здатні залишатись з іншими катіонами або аніонами при взаємодії з водним розчином. Можливе також протікання обмінних реакцій у не водному середовищі за рахунок міжшарових катіонів, які зумовлюють нейтралізацію заряду шарів мінералів.

Висновки. Головні напрямки використання сапонітових мінералів пов'язані з багатофункціональністю та ефективністю дії цих мінералів в різних галузях промисловості. Наприклад, в хімічній промисловості сапонітові глини використовуються як адсорбенти. В сільському господарстві бентонітова сировина використовується для збільшення термінів зберігання коренеплодів; у фармацевтичній – як біопрепарати та вітаміни; в косметології та парфумерії сапонітові глини входять до складу засобів догляду за шкірою. В легкій промисловості бентонітову сировину використовують в очищенні стічних вод. Перспективи застосування сапонітових глин в текстильній промисловості знаходять при фарбуванні, у хімічному чищенні, при наданні виробам спеціальних бактерицидних, брудовідштовхувальних та антистатичних властивостей, при заключній обробці виробів. Враховуючи високі сорбційні та цінні фізико-хімічні властивості можливе застосування сапонітів в якості безпечних і недорогих сорбентів для очистки розчинників в процесі хімічного чищення. Використання сапонітів при фільтрації розчинників дозволить покращити якість очистки розчинника, підвищити екологічну безпеку процесу, зменшити кількість шламових відходів.

Література

1. Карван С.А. Видалення забруднень різної природи з текстильних матеріалів в процесі хімічного чищення / С.А. Карван, Г.Т. Бубенщикова, О.А. Параска // Проблеми легкой и текстильной промышленности Украины. – 2003. – № 1 (7). – С. 37–39.
2. Параска О.А. Вплив процесів хімічного чищення на експлуатаційні властивості текстильних матеріалів / О.А. Параска, С.А. Карван // Вісник КНУТД – 2010. – № 4. – С. 278–282.
3. Карван С.А. Роль якості хімічної чистки в зберіганні споживчих властивостей текстильних

виробів / С.А. Карван, Г.Т. Бубенщикова, О.А. Параска // Легка промисловість – 2004. – № 2. – С. 56–57.

4. Параска О.А., Рак О.І, Стопчак В.О. Перспективи використання сапонітів в текстильній промисловості / О.А. Параска, О.І. Рак, В.О. Стопчак // «Сучасні технології в легкій промисловості і сервісі»: регіональна наук.-прак. конф., 22 – 23 вересня 2010р.: тези допов. – Хмельницький, 2010. – С. 7.

5. Марцин І.І. Структурно-сорбційні характеристики українського сапоніту / [Марцин І.І., Манк М.І., Лебовка М.В., Вигорницький М.В.] // Укр. хім. журн. – 2001. – Т. 67. – № 2. – С. 98–101.

6. Шалугін В.С. Процеси та апарати промислових технологій : [навчальний посібник] / В.С. Шалугін, В.М. Шмандій – К.: Центр учбової літератури, 2008. – 392 с.

7. Федорова А.Ф. Технология химической чистки : [учебное пособие] / Федорова А.Ф. – М. : Танграм, 2005. – 559 с.

8. Бабчук М.М. Використання сапоніту для очищення стічних вод від барвників / М.М. Бабчук, О.Ф. Алексєєв, І.М. Астрелін // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2009. – № 5/5 (41). – С. 41–44.

9. Ганзюк А.Я. Дослідження сорбційних процесів на природному і кислотно активованому сапоніті / А.Я. Ганзюк, О.І. Кулаков // Вісник Хмельницького національного університету. – 2009. – № 2. – С. 85–90.

10. Ганзюк А.Я. Дослідження адсорбційних властивостей сапоніту, модифікованого катіонами багатовалентних металів / А.Я. Ганзюк, Ю.О. Яфінович // Вісник Хмельницького національного університету. – 2010. – №1. – С. 230–235.

Надійшла 22.9.2011 р.

УДК 687:658

Н.В. ПОПОВИЧ, А.І. ПОПОВА, Р.В. РОСУЛ

Мукачівський державний університет

Л.І. ТЕБЛЯШКІНА

Хмельницький національний університет

ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ БАГАТОРАЗОВОГО ПРАННЯ НА ФОРМОСТІЙКІСТЬ ПАКЕТІВ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ЖАКЕТУ ЖІНОЧОГО

В статті представлені результати дослідження впливу багаторазового прання на жорсткість пакетів матеріалів для виготовлення жакету жіночого.

The article presents the results of research on the impact of repeated washing on the stiffness of packets of materials for the manufacture of women's jacket.

Ключові слова: формостійкість, жорсткість, прання, пакет матеріалів.

Постановка проблеми. Якість виробу, зовнішній вигляд, зручність догляду за виробом під час його експлуатації залежать від здатності пакету матеріалів протягом тривалого часу зберігати надану формостійкість, що, в свою чергу, впливає на розширення костюмного асортименту конкурентоспроможних швейних виробів. При визначенні експлуатаційних властивостей пакетів матеріалів особливу увагу заслуговує вплив прання, оскільки для тканин різного волокнистого складу можливе різне їх відношення до дії цього чинника [1]. У зв'язку з цим актуальним є вивчення впливу багаторазового прання на показники жорсткості пакетів матеріалів.

Формулювання цілі статті. Об'єктом дослідження є процес впливу багаторазового прання на показники жорсткості пакетів матеріалів. З метою визначення цих показників застосовано теоретичні та експериментальні методи текстильного матеріалознавства для визначення показників формостійкості матеріалів та пакетів на їх основі. Дослідження полягають у відтворенні умов прання та наступному визначенні показників формостійкості пакетів матеріалів (жорсткості) та порівнянні їх з показниками контрольних зразків (до прання і після прання). Предметом дослідження є сучасні технології підвищення формостійкості костюмних льняних та клейових матеріалів. Мета даної роботи полягає у визначенні впливу багаторазового прання на жорсткість пакетів матеріалів. Для досягнення поставленої мети у даній роботі розв'язувались наступні задачі:

- підбір складових пакетів матеріалів, які характеризуються єдиними методами догляду;
- визначення формостійкості пакетів матеріалів з використанням показника жорсткості при згині до і після багаторазового прання.

Виклад основного матеріалу. При пранні текстильних швейних виробів на пакет матеріалів впливає ряд фізичних, фізико-механічних та механічних факторів, які в комплексі руйнують структуру пакету матеріалів, погіршують його механічні та фізичні властивості: при пранні – миючий розчин, механічні дії, підвищена температура; при сушінні – фактори світлопогоди; при прасуванні – підвищена температура гладильної поверхні [1].

Для визначення впливу прання на жорсткість пакету матеріалів проведено експериментальні дослідження, в якому визначали жорсткість пакету матеріалів при п'ятиразовому пранні.

Складові пакету матеріалів скріплювали методом дублювання на пресі прохідного типу MEYER

RPS – MINI за наступними параметрами процесу дублювання: температура $T=132\text{ }^{\circ}\text{C}$, час $t=12\text{ с}$, тиск $P=12\text{ Н/см}$.

Складові пакету матеріалів склеювались наступним чином:

- нитка основи матеріалу верху співпадала з поздовжнім напрямком клейового матеріалу (О – О);
- нитка основи матеріалу верху розташовувалась під кутом 90° до поздовжнього напрямку клейового матеріалу (О – П);
- нитка основи матеріалу верху розташовувалась під кутом 45° до поздовжнього напрямку клейового матеріалу (О – $<45^{\circ}$).

Прання зрізків пакету матеріалів на основі зразків тканини верху Т1 (100% – льон), Т2 (47% – льону, 53% – віскози), Т3 (55% – льону, 18% – шовку, 27% – бавовни) та клейових матеріалів на основі флізеліну артикул 5054/4BS, дублерину на нейлоновій основі артикул 2420/965MC1, дублерину на трикотажній основі артикул 1100/2BS4, біластичного прокладкового матеріалу артикул 4026/990BS4 здійснювалось за допомогою пральної машини протягом 30 хвилин, полоскання протягом 5 хвилин, віджимання у центрифугі, сушіння, прасування протягом 2 хвилин праскою [2]. Зразки піддавали 5-разовому пранню.

Дослідження жорсткості пакету матеріалів при згині до і після прання проведено методом консолі на приладі ПТ-2 відповідно до методики ГОСТ 10550-93 «Материалы текстильные. Полотна. Методы определения жесткости при изгибе». Отримані результати досліджень жорсткості при згині ($\text{мкН}\cdot\text{см}^2$) пакетів матеріалів до прання наведено в таблиці 1, після прання – в таблиці 2, а також у вигляді діаграм (рис. 1–3).

На рисунку 1 представлені діаграми жорсткості при згині пакету матеріалів до та після прання в напрямку О – О (100% – льон; 47% – льону, 53% – віскози; 55% – льону, 18% – шовку, 27% – бавовни); на рисунку 2 представлені діаграми жорсткості при згині пакету матеріалів до та після прання в напрямку О – П (100% – льон; 47% – льону, 53% – віскози; 55% – льону, 18% – шовку, 27% – бавовни); на рисунку 3 представлені діаграми жорсткості при згині пакету матеріалів до і після прання в напрямку О – $<45^{\circ}$ (100% – льон; 47% – льону, 53% – віскози; 55% – льону, 18% – шовку, 27% – бавовни).

Таблиця 1

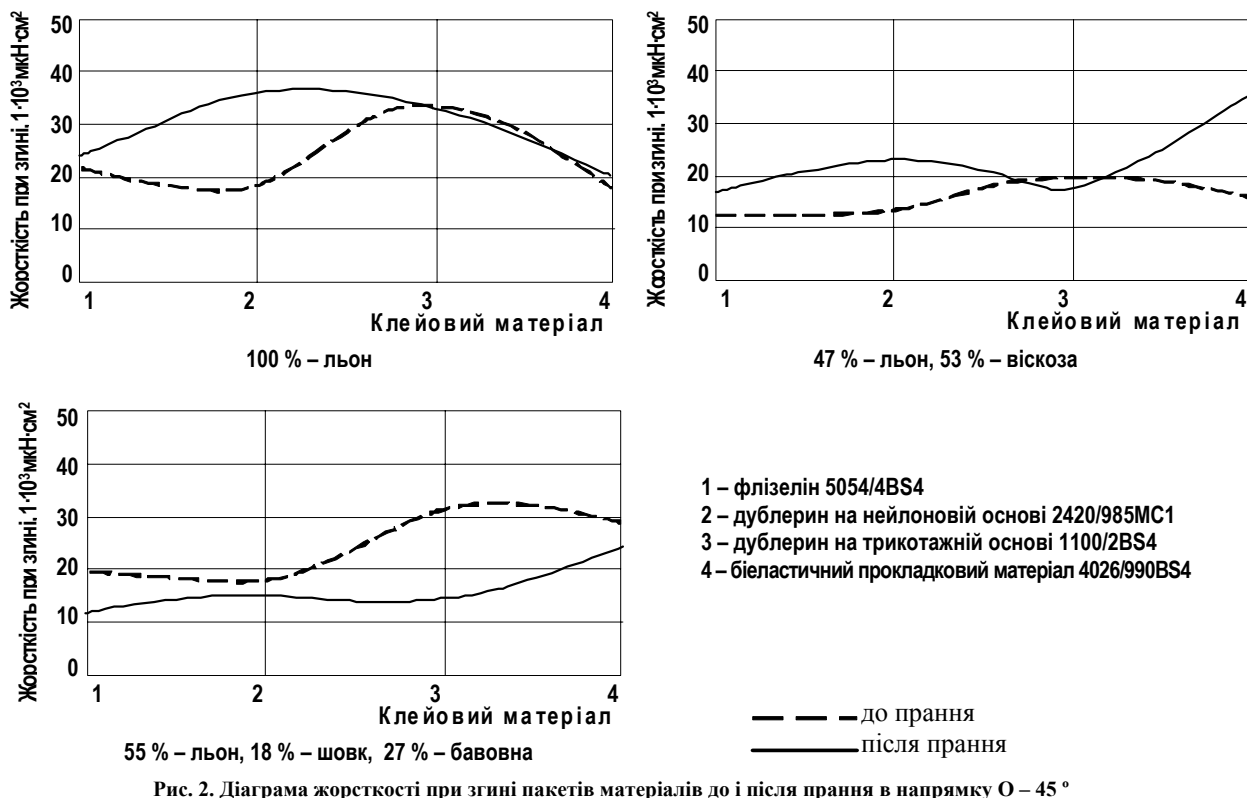
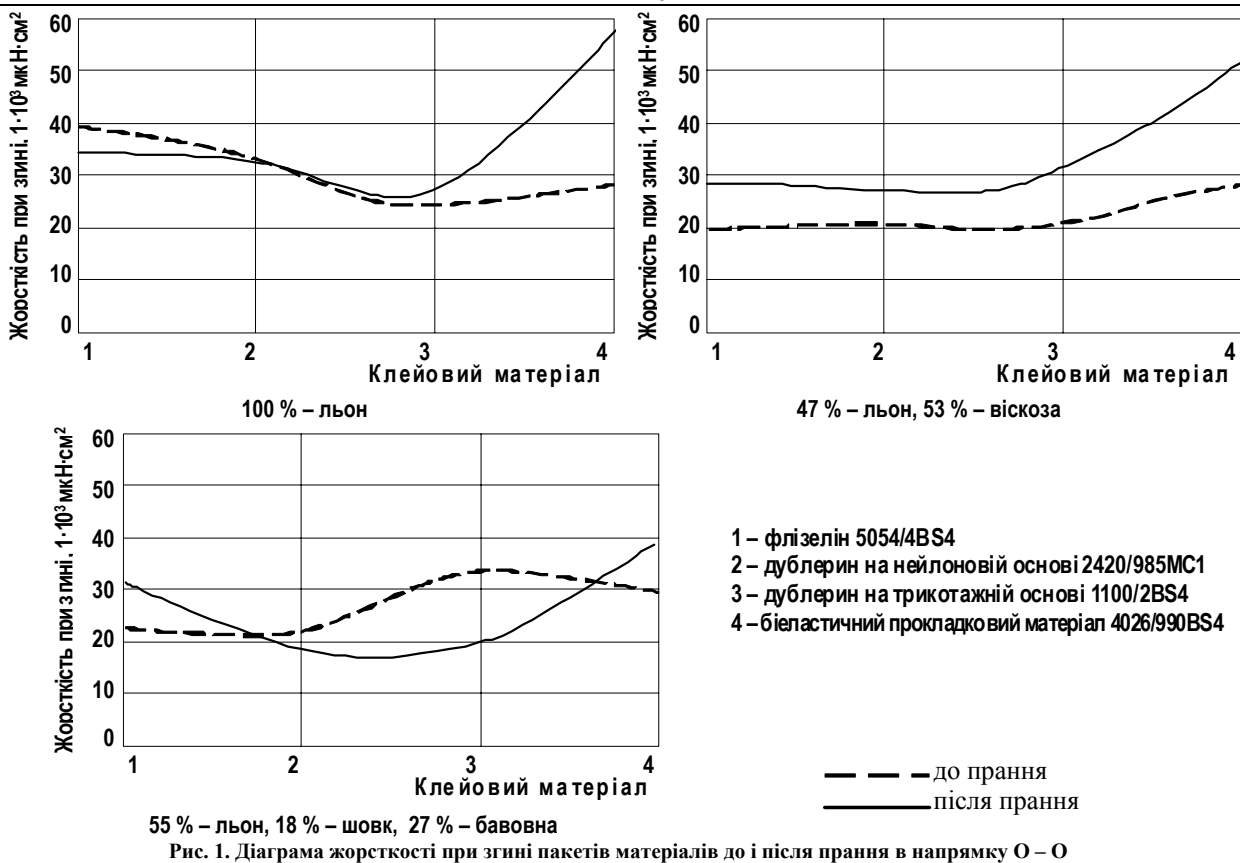
Зведена таблиця результатів дослідження жорсткості при згині пакетів матеріалів до прання

Клейовий матеріал	Напрямок ниток у зразку	Матеріал верху					
		Т1 (100% льон)		Т2 (47% льону, 53% віскози)		Т3 (55% льону, 18% шовку, 27% бавовни)	
		О	П	О	П	О	П
Флізелін арт. 5054/4BS4	О	39248,42	11291,67	20344,84	10496,06	21752,72	12013,14
	П	28574,36	8877,64	12560,51	15822,41	22100,21	17297,23
	$<45^{\circ}$	22723,74	9558,07	12053,98	12865,01	19825,29	15031,74
Дублерин на нейлоновій основі арт. 2420/985MC1	О	35414,35	13220,26	19042,32	14795,46	21212,11	18184,96
	П	30216,9	10681,29	16988,6	14741,66	32958,96	16199,03
	$<45^{\circ}$	18856,99	9727,62	13221,26	11072,32	19914,95	12655,35
Дублерин на трикотажній основі арт. 1100/2BS4	О	22459,35	20863,43	16231,43	31915,14	33646,62	37050,98
	П	51177,71	9595,4	29247,09	10256,5	49743,54	13830,11
	$<45^{\circ}$	31594,91	9633,18	20203,92	11442,77	36471,72	13014,24
Біластичний прокладковий матеріал арт. 4026/990BS4	О	26786,61	11792,64	23456,4	21842,08	31643,31	14756,23
	П	35433,42	14311,37	20328,02	17489,22	31512,74	23576,02
	$<45^{\circ}$	17525,09	19598,3	14340,9	11977,86	28562,56	18472,84

Таблиця 2

Зведена таблиця результатів дослідження жорсткості при згині пакетів матеріалів після прання

Клейовий матеріал	Напрямок ниток у зразку	Матеріал верху					
		Т1 (100% льон)		Т2 (47% льону, 53% віскози)		Т3 (55% льону, 18% шовку, 27% бавовни)	
		О	П	О	П	О	П
Флізелін арт. 5054/4BS4	О	34638,93	8953,19	27994,07	12941,13	30748,59	9777,42
	П	29507,06	22204,07	11791,94	20939,58	20045,92	23407,43
	$<45^{\circ}$	25439,15	12885,5	15153,33	13638,72	11880,92	16011,48
Дублерин на нейлоновій основі арт. 2420/985MC1	О	34353,04	18104,1	25888,99	20056,63	16032,27	16103,74
	П	31172,03	18893,4	29585,89	25888,99	26767,43	13994,75
	$<45^{\circ}$	34353,04	12268,38	23150,33	14472,65	16874,22	12655,35
Дублерин на трикотажній основі арт. 1100/2BS4	О	22290,23	18173,6	25605,54	22733,2	14097,66	16079,92
	П	32788,17	12890,39	14032,25	22649,78	14097,66	6862,99
	$<45^{\circ}$	31594,91	12149,27	16620,75	17524,42	12976,46	7036,6
Біластичний прокладковий матеріал арт. 4026/990BS4	О	56897,57	20859,18	53282,43	35135,93	35709,63	19287,9
	П	45231,3	34071,76	34257,53	47130,26	22819,57	25992,07
	$<45^{\circ}$	19459,31	19598,3	37554,44	24276,56	22567,42	22945,64



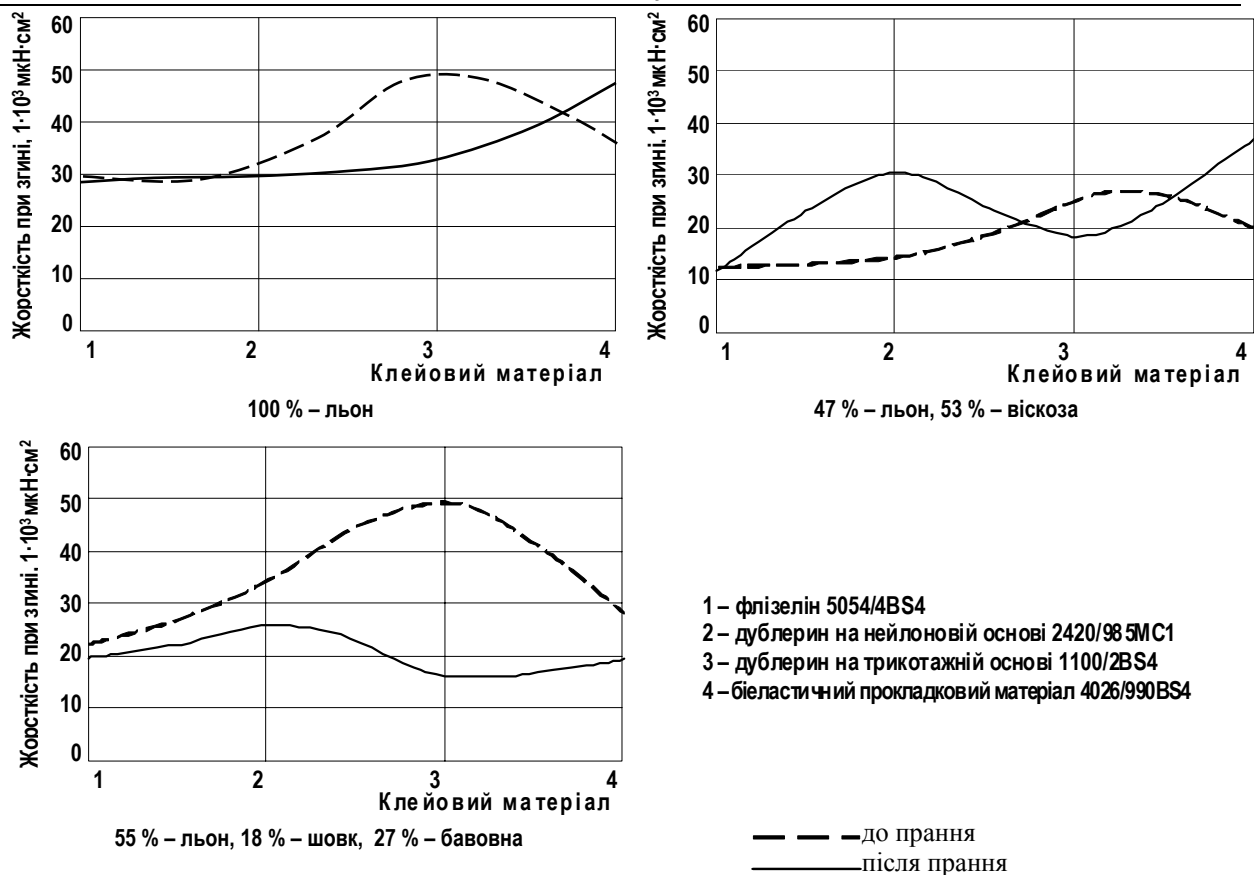


Рис. 3. Діаграма жорсткості при згині пакетів матеріалів до і після прання в напрямку О – П

Як видно з таблиць та діаграм жорсткість пакету матеріалів після прання на основі тканин з натуральних волокон (100% льон) в напрямку О – О зменшується для пакетів на основі флізеліну артикул 5054/4BS, дублерину на нейлоновій основі артикул 2420/965MC1, дублерину на трикотажній основі артикул 1100/2BS4, а для пакетів на основі біластичного прокладкового матеріалу артикул 4026/990BS4 – у всіх випадках збільшується.

Жорсткість пакету матеріалів після прання на основі тканин (47% льону, 53% віскози) в напрямку О – О збільшується для пакетів на основі флізеліну артикул 5054/4BS, дублерину на нейлоновій основі артикул 2420/965MC1, дублерину на трикотажній основі артикул 1100/2BS4, біластичного прокладкового матеріалу артикул 4026/990BS4.

Жорсткість пакету матеріалів після прання на основі тканин (55% льону, 18% шовку, 27% бавовни) в напрямку О – О зменшується для пакетів на основі дублерину на нейлоновій основі артикул 2420/965MC1, дублерину на трикотажній основі артикул 1100/2BS4, а для пакетів на основі флізеліну артикул 5054/4BS, біластичного прокладкового матеріалу артикул 4026/990BS4 збільшується.

Жорсткість пакету матеріалів після прання на основі тканин (100% льон) в напрямку О – П зменшується для пакетів на основі дублерину на трикотажній основі артикул 1100/2BS4, а для пакетів на основі флізеліну артикул 5054/4BS, дублерину на нейлоновій основі артикул 2420/965MC1, біластичного прокладкового матеріалу артикул 4026/990BS4 також збільшується.

Жорсткість пакету матеріалів після прання на основі тканин (47% льону, 53% віскози) в напрямку О – П зменшується для пакетів на основі флізеліну артикул 5054/4BS, дублерину на трикотажній основі артикул 1100/2BS4, а для пакетів на основі дублерину на нейлоновій основі артикул 2420/965MC1, біластичного прокладкового матеріалу артикул 4026/990BS4 збільшується.

Жорсткість пакету матеріалів після прання на основі тканин (55% льону, 18% шовку, 27% бавовни) в напрямку О – П зменшується для пакетів на основі флізеліну артикул 5054/4BS, дублерину на нейлоновій основі артикул 2420/965MC1, дублерину на трикотажній основі артикул 1100/2BS4, а також біластичного прокладкового матеріалу артикул 4026/990BS4.

Жорсткість пакету матеріалів після прання на основі тканин (100% льон) в напрямку О – 45° збільшується для пакетів на основі флізеліну артикул 5054/4BS, дублерину на нейлоновій основі артикул 2420/965MC1, дублерину на трикотажній основі артикул 1100/2BS4, біластичного прокладкового матеріалу артикул 4026/990BS4.

Жорсткість пакету матеріалів після прання на основі тканин (47% льону, 53% віскози) в напрямку О – 45° зменшується для пакетів на основі дублерину на трикотажній основі артикул 1100/2BS4, а для пакетів на основі флізеліну артикул 5054/4BS, дублерину на нейлоновій основі артикул 2420/965MC1, біластичного прокладкового матеріалу артикул 4026/990BS4 збільшується.

Жорсткість пакету матеріалів після прання на основі тканин (55% льону, 18% шовку, 27% бавовни) в напрямку $O - 45^\circ$ зменшується для пакетів на основі флізеліну артикул 5054/4BS, дублерину на нейлоновій основі артикул 2420/965MC1, дублерину на трикотажній основі артикул 1100/2BS4, біластичного прокладкового матеріалу артикул 4026/990BS4.

Висновки. У результаті експериментальних досліджень встановлено:

- на зміну жорсткості пакету матеріалів після багаторазового прання впливає ряд факторів (волоконистий склад матеріалу верху, вид клейової прокладки, напрямок склеювання шарів пакету матеріалів);

- для надання формостійкості жакетам, виготовленим з пакетів матеріалів, що містять у своєму складі тканину верху (100% льон) доцільне використання біластичного прокладкового матеріалу артикул 4026/990BS4;

- для надання формостійкості жакетам, виготовленим з пакетів матеріалів, що містять у своєму складі тканину верху (47% льону, 53% віскози) доцільне використання флізеліну артикул 5054/4BS, дублерину на нейлоновій основі артикул 2420/965MC1, дублерину на трикотажній основі артикул 1100/2BS4, біластичного прокладкового матеріалу артикул 4026/990BS4 ;

- для надання формостійкості жакетам, виготовленим з пакетів матеріалів, що містять у своєму складі тканину верху (55% льону, 18% шовку, 27% бавовни) доцільне використання флізеліну артикул 5054/4BS, біластичного прокладкового матеріалу артикул 4026/990BS4 .

За результатами досліджень можна надати наступні рекомендації швейним підприємствам: для досягнення бажаної формостійкості деталей виробу та утримання виробом початкової форми протягом тривалого часу експлуатації при виготовленні жакетів жіночих з тканини верху (100% – льон) використання біластичного прокладкового матеріалу артикул 4026/990BS4, з тканини верху (47% льону, 53% віскози) використання всіх видів досліджуваних клейових матеріалів (флізеліну артикул 5054/4BS, дублерину на нейлоновій основі артикул 2420/965MC1, дублерину на трикотажній основі артикул 1100/2BS4, біластичного прокладкового матеріалу артикул 4026/990BS4), з тканини верху (55% льону, 18% шовку, 27% бавовни) використання флізеліну артикул 5054/4BS, біластичного прокладкового матеріалу артикул 4026/990BS4.

Література

1. Патлашенко О.А. Матеріалознавство швейного виробництва : [навчальний посібник] / Патлашенко О.А. – К. : Арістей, 2003. – 288 с.
2. Бузов Б.А. Практикум по материаловедению швейного производства : [учебное пособие для студ. высш. учеб. заведений] / Бузов Б.А., Альменкова Н.Д., Петропавловский Д.Г. – М. : Академия. – 2003. – 416 с.
3. Материалы текстильные. Полотна. Методы определения жесткости при изгибе : ГОСТ 10550–93. – М. : Міждержавна Рада з стандартизації, метрології та сертифікації, 1993. – 10 с.

Надійшла 9.9.2011 р.

УДК 677.027

Н.Р. СМЕРЕЧИНСЬКА, І.О. ЛЯШОК, Л.В. КУЛІНІЧ
Київський національний університет технологій та дизайну

ТЕКСТИЛЬ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ОПТИЧНИХ ПОВЕРХОНЬ

Накопичення зарядів на поверхні діелектрика викликає багато проблем при їх експлуатації. При використанні оптики необхідно докласти досить великих зусиль, щоб підтримувати оптичні поверхні в чистоті. Одним з інструментів який широко використовується, є серветка, що чистить. Вона повинна мати відповідні характеристики, щоб бути ефективною, а саме: чистоту, м'якість, абсорбційну здатність, антистатичні властивості. В результаті роботи визначені і ранжовані параметри, які впливають на якість чищення серветками для оптики і оптимальні технології для їх опорядження.

The Accumulation charge on surfaces dielectric causes many problems under their usages. When use optometrists necessary to enclose rather greater efforts to support the optical surfaces in purity. One of the instrument, which broadly ispolizuetsya, is cleaning napkin. She must have corresponding to features to be efficient, as follows: purity, softness, абсорбционную ability, антистатическую characteristic. As a result of work determined and ranked parameters, which influence upon quality of the cleaning napkin for optometrists and optimum technologies for their processing.

Ключові слова: оптична поверхня, очистка поверхні, накопичення заряду.

Накопичення зарядів на поверхні діелектрика викликає багато проблем при їх експлуатації. Адже заряди притягують до себе забруднюючі частинки і запобігти такому накопиченню зарядів і забрудненню традиційними способами (заземлення, підвищення вологості повітря і його іонізація) не завжди можливо. До діелектриків відносяться повітря й інші гази, скло, різні смоли, пластмаси, багато видів гуми. І, наприклад, при використанні оптики, незалежно від того чи це фотокамера, лазер, збільшувач або навіть окуляри, необхідно докласти досить великих зусиль, щоб підтримувати оптичні поверхні в чистоті. У нескінченній

битві із брудом одним з перших інструментів, який широко використовується, є серветка, що чистить. Як інструмент вона повинна мати відповідні характеристики, щоб ефективно виконувати свою роботу. Визначення таких характеристик і їх впливу на якість очищення дозволить обрати текстильний матеріал для серветок і розробити технологію його оброблення. Виходячи з вище зазначеного, метою дослідження було визначення оптимальних параметрів, які забезпечують хорошу якість очищення оптичних поверхонь текстильним матеріалом, а також визначення шляхів досягнення таких параметрів.

Проведено дослідження з визначення впливу сировинного складу текстильного матеріалу на якість очищення і можливість багаторазового використання. Зразки обиралися близькі за щільністю і з переплетенням, що утворює гладеньку поверхню. Розроблена методика оцінювання якості очищення. На зразок скла розміром 5x10 см наноситься широким пензликом 0,5 г забруднюючої суміші, яка складається із сажі, піску, тальку в співвідношенні 3:0,5:6,5. Зразком тканини (серветки) розміром 15x15 см рухом зліва направо і зворотнім (всього 4 рази) протирається скло (без тиску на нього). Ваговим методом визначається відносна кількість (%) видаленого забруднювання. Скло зважується після нанесення і після видалення забруднення. Проводиться також візуальна оцінка з метою визначення подряпин, сторонніх домішок чищення (волоконцець, додаткового пилу, смугастості). За цією методикою визначалась і можливість багаторазового використання серветки. В цьому випадку забруднене скло протирається серветкою (після 5-кратного струшування), яка вже використовувалась 2,3,4,5 разів (тією частиною, що вже використовувалась). Забруднення скла кожного разу проводиться наново. Результати наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Визначення впливу сировинного складу текстильного матеріалу і його багаторазового використання на якість очищення скла

% п/п	Сировинний склад і різновид серветки	% видалення забруднення і візуальні спостереження залежно від кількості використань серветки					
		1 використання		2 використання		5 використання	
		%	ВСП*	%	ВСП*	%	ВСП*
1	2	3	4	5	6	7	8
<i>Бавовняні ТМ**</i>							
1	міткаль	96	Поверхня чиста	86	На поверхні окремі забруднені (сірі) волоконця	45	На поверхні значна кількість забруднених волоконцець, смуги забруднення сірого кольору, подряпини
2	фланель	92	На поверхні окремі волоконця	83	На поверхні невелика кількість забруднених волоконцець	41	На поверхні велика кількість забруднених волоконцець, смуги забруднення сірого кольору
3	трикотажне полотно	99	Поверхня чиста	90	На поверхні окремі забруднені волоконця	46	На поверхні значна кількість забруднених волоконцець, смуги забруднення сірого кольору, подряпини
<i>Віскозні ТМ</i>							
4	переплетення атласне	99	Поверхня чиста	89	На поверхні окремі забруднені волоконця	59	На поверхні невелика кількість забруднених волоконцець, смуги забруднення сірого кольору
5	переплетення саржа	97	Поверхня чиста	88	На поверхні окремі забруднені волоконця	52	На поверхні невелика кількість забруднених волоконцець, смуги забруднення сірого кольору, подряпини
6	трикотажне полотно фланель	93	На поверхні окремі волоконця	81	На поверхні невелика кількість забруднених волоконцець	48	На поверхні велика кількість забруднених волоконцець, смуги забруднення сірого кольору

1	2	3	4	5	6	7	8
<i>Вовняні ТМ</i>							
7	фланель	90	На поверхні окремі волоконця	76	На поверхні невелика кількість забруднених волоконець	35	На поверхні велика кількість забруднених волоконець, смуги забруднення сірого кольору
<i>Поліамідні ТМ</i>							
8	трикотажне полотно фланель	97	Поверхня чиста	94	На поверхні окремі волоконця	61	На поверхні невелика кількість забруднених волоконець, смуги забруднення сірого кольору

Примітки: ВСП* – візуальні спостереження, ТМ** – текстильні матеріали

Результати дослідження показали, що всі обрані зразки ТМ забезпечують (після одноразового використання) хороше або повне очищення скляної поверхні. Зразки з ворсовою поверхнею (фланелі) добре очищують поверхню від забруднення, але залишають на ній ворсинки. Найкраще очищують бавовняні, віскозні ТМ матеріали з гладенькою поверхнею та трикотажне полотно (фланель) з поліамідного волокна. Використання багаторазове не забезпечує задовільне очищення. Тобто встановлено, що серветка, яка чистить, повинна бути чистою. Використання забрудненої серветки частками бруду, що раніше видалявся, закінчується, як правило, появою смуг, ворсинок на поверхні, що протирається. Особливо небезпечним є використання не дуже чистої серветки, коли потрібно зробити ряд рухів з додатковим тиском на поверхню, яка протирається. В такому випадку наявність на поверхні твердих часток, наприклад, піску, може привести до подряпин. Якщо серветка є одноразовою, треба використовувати її тільки один раз. Якщо серветка підлягає пранню, після кожного використання її необхідно прати. При цьому необхідно користуватися режимом прання, який не погіршить властивості і ТМ.

Враховуючи, що серветками очищують оптичні поверхні різної конфігурації, досліджувався вплив перших на якість чищення поверхні будь-якої форми. З цією метою, за наведеною вище методикою забруднювали поверхню лінзи, а потім оцінювали якість очищення. В результаті було виявлено, що для того, щоб серветка, що чистить, видаляла забруднення, вона повинна бути м'якою, щоб повністю повторювати рельєф поверхні, що протирається, включаючи крайки поруч із оправою або всю поверхню лінзи. Ще більш важливо, щоб при обробці широких поверхонь серветка рівномірно торкалася поверхні, інакше на поверхні, що протирається, можуть залишитися смуги й ворсинки, що буде вимагати додаткових зусиль і часу для досягнення потрібного результату. Еластична поверхня (м'яка серветка) обволікує частки, такі як, наприклад пісок, зменшуючи тиск на оптичну поверхню й відповідно зменшуючи ймовірність появи подряпин. ТМ, які забезпечують найкраще чищення поверхонь різного рельєфу, можна розмістити в наступній послідовності (в порядку зменшення очищувальної здатності): трикотажне полотно (фланель) з поліамідного волокна; віскозні ТМ матеріали з гладенькою поверхнею; бавовняне трикотажне полотно.

З огляду на те, що серветка повинна рівномірно торкатися поверхні, вивчався вплив розміру серветки до площини поверхні, що очищується. При чищенні оптики звичайною помилкою є використання занадто великої за розмірами серветки. Занадто більша серветка може викликати наступні незручності:

- загороджувати поверхню, що очищається, й не давати можливість оцінити якість очищення;
- кінці серветки можуть забруднитися, торкаючись різних забруднених поверхонь, які не зазнають у цей момент чищення;
- довгі кінці серветки можуть заважати процесу очищення й призводити до того, що залишаться не очищені поверхні;
- втрата чистого місця на серветці й очищення раніше використаним, а значить забрудненим місцем серветки.

Для очищення більших поверхонь слід використовувати серветку розміром 20–25 см². Для очищення лінз і невеликих поверхонь слід використовувати серветку площею не більш 12–15 см². Якщо очищувана площа значно більша стандартної, то розмір серветки повинен бути більший по відношенню до поверхні чищення в межах 30–60 %. Основна проблема, пов'язана із занадто малою серветкою, полягає в тому, що пальці можуть торкатися поверхні, що очищається, залишаючи плями.

Майже кожне протирання оптичних поверхонь, за винятком струшування декількох випадкових сухих часточок, вимагає застосування серветок, що чистять, з гарними вбираючими (абсорбційними) властивостями. Якщо на поверхні, що очищається, прилип сухий бруд, то необхідно застосовувати розчини, що чистять, для видалення яких буде потрібна абсорбуюча серветка. Абсорбція залежить від хімічної сумісності матеріалу, щільності волокон, сировинного складу серветки і площі поверхні серветки. З цієї точки зору, проведені попередньо дослідження не враховували такі забруднення, як масло (машинне і т.п.), жирні забруднення, які присутні в промисловому смогу і т.п. Наприклад, для забрудненої маслом поверхні може бути використаний розчинник, наприклад спирт, хімічно сумісний як з маслом, так і з водою. Тобто,

розчинник повинен бути хімічно сумісний як із забрудненням (змішуватися з ним і водою), так і з серветкою, якою забруднений розчин можна зібрати. Це основне правило використання розчинників для чищення оптики. Але всі органічні розчинники мають значний недолік – вони випаровуються і тому герметичне пакування не може гарантувати довготривалий строк зберігання. Крім того, навіть у побуті (для протирання окулярів) не дуже зручно зберігати серветки кожну в окремій упаковці. А у виробничих умовах це стає досить суттєвою проблемою: адже при цьому зменшується площа робочого місця, тобто погіршуються умови праці.

Абсорційні властивості ТМ серветок оцінювали за показником капілярності, визначали вплив щільності ТМ на цей показник. Додатково до зразків, що вказані в табл.1, визначалась капілярність бавовняних зразків тканин: бязь, сатин, тик, марля. За результатами виявлено, що чим тканина менш щільна, тим більше є простору, у який може поглинатися вода (зразки 1, 6, 7, 8). Там, де волокна притиснуті одне до одного (тик, бязь), немає місця для води. Якщо волокна занадто далеко одне від одного, капілярна дія слабкіша. Існує оптимальна відстань між волокнами, яка створює найбільшу капілярну дію. Площа поверхні волокон зразка серветки являє собою суму площ поверхонь усіх волокон у цьому зразку. Чим більша площа поверхні, тим більше рідини може бути поглинене капілярною дією. Чим тонші волокна в даному зразку ТМ, тим більша площа поверхні. Площа поверхні (більша або менша) також залежить від ткацького переплетення.

При видаленні пилу, наприклад з лінзи, за допомогою серветки, спостерігається збільшення кількості пилу. Причина цього полягає в тому, що при торканні лінзи серветкою на лінзі формується статичний заряд. Цей статичний заряд притягує частки пилу з повітря подібно магніту, що притягує металеві ошурки. Технічна назва виникнення такого заряду – електризація тертям. Для електризації тертям необхідно, щоб два об'єкти-ізолятора потерлися одне з одним. Електризація не відбудеться, якщо один із цих об'єктів є провідником. Антистатична серветка повинна бути зроблена таким чином, щоб вона була провідником. Внаслідок того, що волокно тканини, з якої зроблена серветка, є гарним ізолятором, необхідно застосувати такі засоби, які зроблять тканину електропровідною.

Існує декілька способів зробити тканину електропровідною: напилювання на неї електропровідної сполуки; додавання в тканину електропровідних волокон подібних за своїми фізичними характеристиками із тканиною; вилетнення в тканину карбонових ниток мікрофібри; фарбування барвниками, що синтезуються на волокні. Аналіз вище зазначених факторів впливу на очищувальні властивості ТМ дозволив дійти висновку, що для забезпечення оптимальної якості чищення, необхідно розробити такі параметри опорядження (в тому числі визначити склад апрету), які перетворюють серветку з ізолятора в провідник з гарними адсорбційними властивостями.

Проведені попередні дослідження дозволили визначити оптимальні за сировинним складом, щільністю, переплетенням зразки ТМ для подальшої роботи – це бавовняне трикотаже полотно, віскозна тканина переплетення атласне, поліамідне трикотаже полотно фланель.

Для надання електропровідності обрано технологію апретування ТМ антистатиками.

Антистатики змінюють наступні характеристики волокна: збільшують електропровідність поверхні волокна; створюють проміжний шар з високої діелектричної постійної між волокном і поверхнею тертя; знижують потенціал контакту, збільшують гладкість волокна. Найбільш важливі групи продуктів: неорганічні й органічні солі, багатоатомні спирти, поліетиленгликолі, поверхнево-активні речовини (ПАР) всіх видів, поліелектроліти.

Неорганічні й низькомолекулярні органічні солі застосовують рідко, в основному для посилення дії або для підвищення сорбції волокнами інших антистатиків. Багатоатомні спирти і поліетиленгликолі застосовуються як антистатичні добавки самі по собі, однак, в основному разом з ПАР. Найбільшу групу антистатиків, що дають нестійку до прання обробку, становлять ПАР: аніонні, катіонні, амфотерні і неіоногенні сполуки.

Дія антистатиків залежить від виду волокна і від препарату, разом з яким він застосовується.

Зроблено спробу [1] знайти зв'язок між хімічною структурою речовини та її антистатичною дією. Встановлено, що на поліакрилонітрильному волокні антистатична дія ПАР зростає разом з подовженням гідрофобного ланцюжка, і що ПАР з одним алкільним залишком або одним алкільбензольним радикалом діють краще, ніж насичені сполуки з тією ж кількістю атомів карбону. Однак, у цілому й сьогодні відомості про природу антистатичної дії ПАР засновані на досвіді. Тому в патентах ПАР (або їхньої суміші) рекомендуються для певного виду волокна. Бувають випадки, коли в результаті комбінації двох або декількох антистатиків досягається істотно більший ефект, чим сума цих ефектів (синергізм).

Синтетичні волокна, стійкі до дії статичної електрики, одержують такими способами:
хімічною модифікацією полімеру волокна або введенням активних антистатичних речовин;
хімічною модифікацією поверхні волокна;
нанесенням реагуючих з волокном антистатиків;
нанесенням нерозчинних антистатичних покриттів на поверхню волокна.

Існує безліч патентів, що захищають способи введення антистатичних засобів у компоненти волокна або реактиви для модифікації. Однак і зараз дуже мало виробляється синтетичних волокон, які в порівнянні з немодифікованими відрізняються поліпшеною електропровідністю. У цілому запропоновані способи майже не впроваджуються через значну зміну властивостей волокна.

Що стосується модифікування поверхні волокна, є можливість прищепити провідні речовини за допомогою енергоємних випромінювань на поверхню волокна або модифікувати макромолекули на ній.

Вченими США було доведено, що при обробці найлону газоподібним хлористим воднем утворювалися гідроксильні групи, що поліпшують електропровідність. Поліакрилонітрильні волокна за допомогою піролізу переводяться в електропровідну форму – карбонові волокна (плутон-волокно), причому відбувається конденсація нітрильних груп і дегідрування ланцюжка карбонгідрогенів (виходять волокна чорних кольорів). Їхня електропровідність заснована на переміщенні електронів, тому вона практично не залежить від вологості повітря. У результаті взаємодії поліакрилонітрильних волокон із сумішами етиленгліколю із сірчаною кислотою (при підвищеній температурі) можна одержати волокна із зменшеним вмістом азоту й поліпшеними антистатичними властивостями, але з досить істотною втратою розривної міцності.

Третій спосіб, тобто нанесення антистатичних речовин, застосовується тільки для волокон з реакційноздатними групами на поверхні. Як правило, синтетичні волокна таких не містять або містять у недостатній кількості.

Майже всі антистатики перманентної дії засновані на створенні нерозчинних, антистатично діючих покриттів на волокні. Процес рекомендується вести відповідно до наступних основних принципів:

на волокні закріплюють обігрівом розчинені у воді або дисперговані речовини, що містять аніонні або катіонні групи; потім обробляють із протилежною за знаком заряду ПАР;

просторову шивку з набухаючими у воді або іоноутворюючими речовинами проводять угрупованням реакційноздатних молекул на волокні аж до створення нерозчинних, добре електропровідних покриттів.

Враховуючи світовий досвід опорядження ТМ для надання їм електропровідності і адсорбційних властивостей визначено, що найбільш ефективним є комплексний підхід до розробки режиму опорядження ТМ для антистатичних серветок, який розпочинається з вибору ефективних текстильно-допоміжних речовин, як найпростішого етапу (з точки зору практичного впровадження). Таким чином, для створення такого опоряджувального режиму, необхідно враховувати фактори які впливають на задані властивості ТМ.

Аналіз літературних даних і результатів виробничої практики свідчить про необхідність врахування наступних факторів при виборі текстильно-допоміжних сполук (ТДС):

- бути поверхнево-активною речовиною і забезпечувати хороші адсорбційні властивості ТМ; електролітом; ліофільним колоїдом;
- мати здатність утворювати на поверхні волокна полімерну еластичну плівку, незалежно від сировинного складу ТМ;
- бути технологічною – не потребувати спеціального устаткування і умов проведення процесу опорядження.

Одним з прогресивних напрямів в наданні текстильним матеріалам антистатичних і абсорбційних властивостей є використання силоксанових еластомерів. Силоксанові еластомери є кремнійорганічними полімерами, що мають, подібно еластомерам несилікатного типу, довгий лінійний ланцюжок і високу молекулярну вагу. При просоченні текстильних матеріалів емульсіями таких полімерів з подальшою термообробкою утворюється плівка еластомеру, що разом з необхідними властивостями збільшує і механічну міцність оброблюваного матеріалу. Досліджувались наступні препарати: тетраєтоксисилан етилтрихлорсилан, полідіметілсиліконат натрію, поліетілсиліконат натрію. Всі продукти відповідають названим вище вимогам. Найкращі показники забезпечує поліетілсиліконат натрію.

За результатами роботи можна зробити загальні висновки:

- найкращими текстильними матеріалами для виготовлення антистатичних серветок є (в порядку зменшення) поліамідне трикотажне полотно фланель, бавовняне трикотажне полотно, віскозна тканина переплетення атласне;
- режим опорядження – апретування композицією на базі поліетілсиліконату натрію;
- в результаті роботи визначені і ранжовані параметри, які впливають на якість чищення серветками для оптики і оптимальні технології для їх опорядження.

Література

1. Хвала А. Текстильные вспомогательные вещества / А. Хвала, В. Ангер. – М. : Легпромбытиздат. – 1991. – Т. 1, 2. – 425 с., 342 с.
2. Севостьянов А.Г. Моделирование технологических процессов (в текстильной промышленности) / А.Г. Севостьянов, П.А. Севостьянов. – М., 1984. – 344 с.
3. Смеречинська Н.Р. Сучасні концепції будови і властивостей силоксанів / Смеречинська Н.Р., Гриценко Л.П., Міщенко Г.В. – ХНТУ, 2008. – №1 (14).

Надійшла 5.9.2011 р.

ВПЛИВ ТРАДИЦІЙНОЇ ТА НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНОЇ ТЕХНОЛОГІЙ ВИБІЛЮВАННЯ НА СПОЖИВНІ ВЛАСТИВОСТІ БАВОВНЯНИХ БІЛИЗНЯНИХ ТКАНИН

У статті вивчено вплив технології вибілювання білизняних бавовняних тканин на індекс їх білості. Вибілювання проведено за традиційною і низькотемпературною технологіями.

The article provides the influence bleaching technology of cotton fabrics linen purpose on a whiteness index. The bleaching carry out for bleaching on a cold and traditional technology.

Ключові слова: споживні властивості, бавовняні тканини, “холодне” вибілювання, індекс білості, гігроскопічність, капілярність, стійкість до стирання, розривне навантаження.

Вступ. Одним із важливих завдань текстильної промисловості на сьогодні є підвищення конкурентоспроможності бавовняних тканин на внутрішньому та зовнішньому ринках. Для виробництва конкурентоспроможної продукції вітчизняними підприємствами необхідно максимально знизити її собівартість, зберігаючи при цьому споживні властивості готових виробів на рівні, регламентованому стандартами. Досягти такої мети можна за рахунок зниження витрат на текстильно-допоміжні речовини; застосування низькотемпературних технологій, суміщення технологічних операцій, зниження витрат електроенергії та води, застосування нових видів вибілювачів.

Класичні (традиційні) технології вибілювання бавовняних текстильних матеріалів передбачають проведення операцій при високих температурах. За цих умов бавовняне волокно піддається жорсткому хімічному впливу і, як наслідок, втрачає цінні природні властивості – еластичність, блиск, механічну міцність тощо. В той же час вибілювання бавовняних тканин за температури навколишнього середовища 25–35 °С збільшує тривалість процесу та витрати хімічних реагентів [1, 2]. Тому питання пошуку економічних, з мінімальними витратами на вибілювання 1 м² тканини, енерго- та ресурсозберігаючих технологій вибілювання залишається актуальним, а їх вивченням та вдосконаленням займаються багато провідних вчених.

Однією з перспективних технологічних схем вибілювання бавовняних тканин є технологія при температурі навколишнього середовища, так звана технологія “холодного” вибілювання, розроблена у Херсонському національному технічному університеті, яка має певні переваги перед традиційною [3, 4]. Нова технологія не супроводжується процесом деструкції целюлози, а також дозволяє значно скоротити витрати електроенергії, пари, води, що є важливим для економіки підприємств. “Холодне” вибілювання сприяє покращанню якості готових виробів (підвищується ступінь білості, стійкість до стирання, розривне навантаження тощо), що є важливим чинником для споживачів. Тому товарознавчі дослідження з порівняння властивостей текстильних матеріалів, вибілених із застосуванням технології вибілювання при температурі навколишнього середовища і вибілених за класичними технологіями, є актуальними та перспективними.

Постановка завдання. Мета роботи – визначити ступінь білості бавовняних тканин білизняного призначення, вибілених за різними технологіями, проаналізувати показники споживних властивостей досліджуваних тканин.

Дослідженню підлягали 4 варіанти бавовняних тканин білизняного призначення, вибілених за традиційною високотемпературною технологією (варіант 1) та технологією вибілювання при температурі навколишнього середовища (табл. 1):

- а) рецептура фірми “Хімтекс” (рецептура 1, варіант 2);
- б) рецептура фірми “Schill+Seilacher” (рецептура 2, варіант 3);
- в) рецептура фірми “Хімтекс” (рецептура 3, варіант 4).

Таблиця 1

Характеристика досліджуваних зразків тканин

Варіант	Вид тканини	Вид оброблення
1	Бязь арт. БВ 142 (базовий зразок)	Вибілена за традиційною технологією
2	Бязь	Вибілена за рецептурою 1
3	Бязь	Вибілена за рецептурою 2
4	Бязь	Вибілена за рецептурою 3

З метою порівняння якості тканин, вибілених за традиційною і низькотемпературною технологіями, нами визначено такі показники споживних властивостей даних зразків: ступінь білості, розривне навантаження, стійкість до стирання, капілярність, гігроскопічність.

Визначення індексу білості бавовняних тканин білизняного призначення проводилося у

лабораторії ДП “Хімтекс” на приладі “Spectroscan 5100” згідно із вимогами нормативної документації [5].

Розривні характеристики (розривне навантаження і видовження) досліджуваних зразків тканин оцінювали за стандартною методикою [6] на розривній машині марки РТ 250М-2. Розмір пробних смужок становив 50X200 мм. Необхідну для дослідження кількість зразків обирали з урахуванням заданої гарантійної похибки коефіцієнта варіації, яка не перевищує 2–3%.

Визначення стійкості до стирання за площиною зразків з діаметром елементарної проби 27 ± 1 мм проведено у контрольно-дослідній лабораторії Укрметродержстандарту за стандартною методикою [7] на приладі ІТ-ЗМ-1. Випробування проводилося за такими параметрами: тиск на пробу – 1 МПа (1 кгс/см^2), частота обертання голівок приладу – 100 об/хв. Як абразив використано сірошинельне сукно арт. 6405. Критерій оцінки зношування тканини – кількість циклів стирання, які зразок витримує до повного руйнування (утворення дірки). Необхідну для дослідження кількість зразків обирали з урахуванням заданої гарантійної похибки коефіцієнта варіації, яка не перевищує 4–8%.

Визначення капілярності і гігроскопічності проводили за стандартною методикою [8].

Результати дослідження. Сурові волокнисті матеріали, що потрапляють на переробні підприємства, містять природні (воски, лігніни, азотисті речовини, пектини) та технологічні (замаслювачі, шліхта тощо) домішки, які суттєво змінюють гігроскопічність тканин, їх капілярність та доступність дії хімічних реагентів і технологічних розчинів. Тому під час попередньої підготовки і оброблення (обпалювання, розшліхтовування, лужне відварювання, вибілювання, мерсеризація) вони вилучаються, а тканинам надається необхідна змочуваність, капілярність і стійка білість.

Підготовка бавовняних тканин є компромісним завданням, яке полягає у тому, щоб досягти максимального видалення забруднень, мінімально зруйнувавши текстильний матеріал. Тому підбір текстильно-допоміжних речовин та технологій є важливими у збереженні високої якості готової продукції.

Вибілювання бавовняних тканин традиційним способом проводилося у виробничих умовах Тернопільського бавовняного комбінату “Текстерно”. Процес вибілювання передбачав такі операції: просочування вибілюючим розчином, віджимання, теплова обробка просоченої тканини у запарних камерах, промивання. Відварювання і вибілювання було проведено безперервним лужним способом. При цьому відварювання проводилося за температури 60–70 °С, а вибілювання – за температури 40–50 °С. Як вибілювач використано водню пероксид.

Використовувані на сьогоднішній день технології вибілювання є енерго- і матеріаломісткими, а вибілені бавовняні тканини мають велику усадку і невисоку міцність. Тому вибілювання досліджуваних бавовняних тканин проводилося за новою низькотемпературною технологією у лабораторії ДП “Хімтекс”.

Слід підкреслити, що “холодний” спосіб вибілювання бавовняних тканин має низку суттєвих переваг перед традиційним:

- собівартість вибілювання 1 м^2 бавовняної тканини за технологією при температурі навколишнього середовища знижується майже у 1,5 рази за рахунок значної економії електроенергії, води і повного виключення пари з технологічного процесу;
- вибілювання за новою технологією не спричиняє деструкцію волокон;
- є більш екологічно безпечним [3].

Технологія “холодного” вибілювання для всіх досліджуваних бавовняних тканин білизняного призначення включає наступні операції:

просочування тканини вибілюючим розчином та віджимання матеріалу (ступінь віджимання $100 \pm 5\%$);

вилежування тканин впродовж 3-х діб при температурі навколишнього середовища (для рецептури 3 вилежуванням протягом 1 доби);

промивання холодною водою;

нейтралізація розчином оцтової кислоти (1 г/л);

промивання холодною водою;

висушування гарячим повітрям за температури 110 ± 5 °С.

Розчин для просочування зразків готували за 3-а рецептурами (табл. 2).

Як окиснювач в операціях вибілювання використано водню пероксид (рецептура 1 і 2) та натрію гіпохлорит (рецептура 3).

Гіпохлорит є найсильнішим окиснювачем серед всіх вибілювачів, що застосовуються у текстильній промисловості. Висока окиснююча здатність розчинів гіпохлориту, що проявляється не тільки стосовно домішок, але й самих волокон, жорстко регламентує умови його застосування, в яких окиснююча деструкція волокон незначна [9, 10]. Хоча гіпохлоридне вибілювання дещо втратило своє значення через деструктивну дію на целюлозу і токсичність, однак цей спосіб на сьогодні є перспективним за рахунок економічності і простоти у застосуванні.

Водню пероксид є недорогим вибілювачем масового промислового виробництва. Він забезпечує стійку білість тканин при мінімальному пошкодженні волокон, а при додаванні натрію гідроксиду отримують високі показники гігроскопічності бавовняних тканин. Ефект вибілювання водень пероксидом обумовлений утворенням у розчині атомарного кисню, що відповідно спрощує оброблення тканини після вибілювання, а також не є токсичним для навколишнього середовища.

Основним недоліком водень пероксиду є його нестійкість, тому спонтанний розклад спричиняє його

перевитрату, нерівномірне вибілювання і пошкодження волокон. З цією метою використовують стабілізатори (у нашому випадку – натрій силікат, прекокор ВА), які служать для підтримання рН вибілюючих розчинів [9, 11].

Таблиця 2

Рецептури розчинів для вибілювання бавовняних тканин при температурі навколишнього середовища

Рецептура 1		Рецептура 2		Рецептура 3	
Їдкий натрій 100 %	7 г/л	Їдкий натрій 100 %	10 г/л	Натрію гіпохлорит	300 мл/л
Натрію силікат	15 г/л	Прекокор ВА	8 г/л	Натрію силікат	15 г/л
Коловет АН	1 г/л	Прекокор ВР-8	1 г/л	Коловет ПК	0,5 г/л
Колофлок КВ	2 г/л	Колофом	0,5 г/л	Кальцинована сода	5 г/л
Колофом	0,5 г/л	Оптикол конц. С	0,3 г/л	N-метилпіролідон	5 г/л
Оптикол конц. С	0,3 г/л	Водню пероксид		Оптикол конц. С	0,3 г/л
Водню пероксид 35 %	100 мл/л	35 %	100 мл/л	(додається на стадії промивання)	

Крім стабілізаторів, вибілюючі розчини містять й інші текстильно-допоміжні речовини, які відіграють дуже важливу роль у процесі вибілювання і покращують споживчі властивості готових виробів. Так, наприклад, коловет АН, прекокор ВР-8, коловет ПК (табл. 2) виконують функцію змочувача і використовуються для зниження поверхневого натягу, підвищення швидкості змочування текстильних матеріалів; колофлок КВ, прекокор ВА – комплексоутворювачі – утримують солі важких металів і перешкоджають осіданню їх на тканині; колофом – піногасник – застосовується для зниження піноутворення; оптикол конц. С – універсальний оптичний вибілювач для целюлозних текстильних матеріалів фірми ДП “Хімтекс” (м. Херсон).

Проведемо порівняльний аналіз показників споживчих властивостей досліджуваних зразків, вибілених за традиційною та “холодною” технологіями. Про якість зразків бавовняних тканин свідчать початкові (до проведення прання) механічні характеристики, ступінь білості, капілярність і гігроскопічність.

Розривальне навантаження та стійкість до стирання досліджуваних бавовняних тканин білизняного призначення наведено у табл. 3.

Таблиця 3

Розривальне навантаження та стійкість до стирання досліджуваних тканин

Показники споживчих властивостей	Варіанти тканин (табл. 1)			
	1	2	3	4
Розривальне навантаження по основі, Н	1,0202	1,2753	1,0791	1,1968
Стійкість тканини до стирання, кількість циклів	1412	2314	1943	1715

Як бачимо з даних табл. 3, найменше значення розривального навантаження і стійкості тканини до стирання у 1 варіанті, вибіленому за традиційною технологією. Внаслідок руйнування волокон під дією високих температур у процесі оброблення тканина частково втратила свою міцність.

Високі показники механічних властивостей у 2 варіанті пояснюються тим, що вибілювання холодним способом проводиться за температури приміщення, внаслідок чого волокно зазнає меншого руйнування.

Досліджувані зразки (варіант 3 і 4), вибілені за низькотемпературною технологією, мають дещо нижчі розривальні характеристики, що зумовлено рецептурою вибілювального розчину. Так, для 4 варіанту це пояснюється наявністю у вибілюючому розчині натрій гіпохлориту, який здійснює найбільш деструктивну дію на целюлозу, оскільки володіє високим окиснювальним потенціалом (1400–1550 мВ).

Ступінь білості бавовняних тканин білизняного призначення характеризує індекс білості, дані якого наведено у табл. 4.

Як бачимо, найменше початкове значення індексу білості у варіанта 4, що також пояснюється наявністю натрій гіпохлориту.

Найбільше початкове значення індексу білості у варіанта 3 (рецептура 2), дещо поступається варіант 2, а також варіант 1 (традиційна технологія). Вибілюючий розчин усіх вищезазначених варіантів тканин містить водень пероксид. Вищий ступінь білості зразків варіантів 2 і 3 можна пояснити наявністю кращого за своїми властивостями оптичного вибілювача фірми ДП “Хімтекс” (табл. 2).

Головним критерієм зношування бавовняних білизняних тканин є, як відомо, багаторазове прання, під час якого тканина зазнає фізико-хімічних, механічних та інших впливів. Прання проводилося згідно з ДСТУ ISO 6330-2001 / ГОСТ ИСО 6330-2002 в автоматичній пральній машині за температури 60 °С із застосуванням мийного засобу без оптичного вибілювача. При цьому використано лінійне сушіння зразків.

На зростання індексу білості після перших циклів прання у всіх варіантах тканин діють два конкуруючих чинники, а саме: 1) відбувається вимивання забруднюючих, фарбуючих і супутніх речовин у волокнах; 2) з іншого боку, чинить вплив наявний оптичний вибілювач.

Індекс білості досліджуваних тканин

Варіанти тканин	Індекс білості, %, після кількості циклів прання						
	0	1	3	6	15	30	60
1	100,1	103,6	98,1	101,0	106,9	104,2	101,0
2	109,1	113,6	112,6	111,5	100,4	96,4	87,5
3	111,0	112,2	109,1	106,2	102,2	101,2	87,4
4	87,6	100,0	98,6	100,8	98,1	95,6	83,8

Після проведення 60-и циклів прання, як бачимо на рис. 1, індекс білості досліджуваних тканин знижується внаслідок вимивання оптичного вибілювача, що є закономірним процесом: у варіанті 3 – на 27,0 %, у варіанті 2 – на 24,6 %, у варіанті 4 – на 4,5 %. Попри це, білість бавовняних білизняних тканин залишається досить високою.

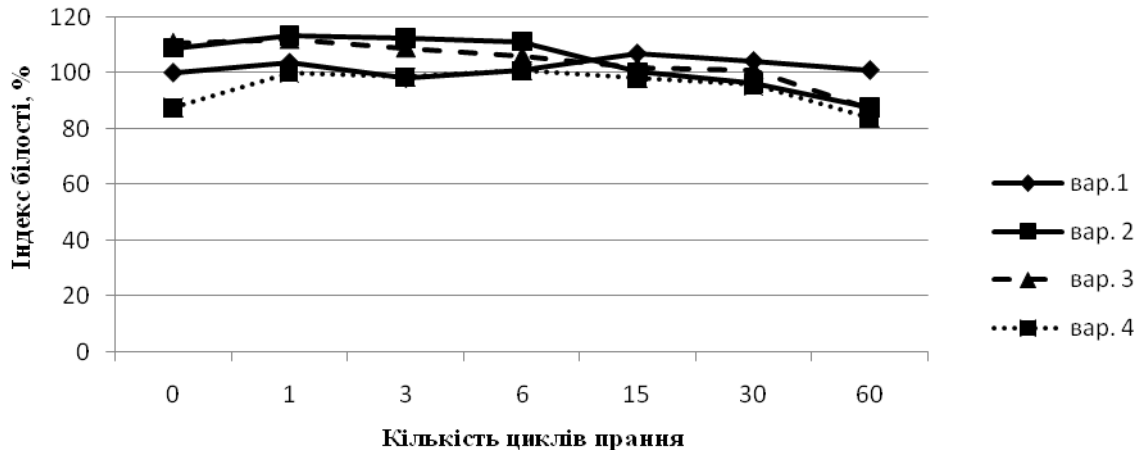


Рис. 1. Вплив багаторазового прання на індекс білості бавовняних білизняних тканин

Вплив багаторазового прання на зміну індексу білості досліджуваних тканин описується рівнянням (1) для варіанта 2, рівнянням (2) – для варіанта 3.

$$y = -0,4308x + 111,5 \quad R^2 = 0,91 \quad (1)$$

$$y = -0,3792x + 110,4 \quad R^2 = 0,95 \quad (2)$$

де x – кількість циклів прання;
 y – індекс білості, %.

У варіанті 1 спостерігається незначне зростання індексу білості – на 0,9 %. На нашу думку, це пов'язано з тим, що на підприємствах для покращання ефекту вибілювання дають більшу концентрацію оптичного вибілювача, в результаті його вимивання білість зростає.

Не менш важливими для споживачів поряд із механічними показниками та білістю є сорбційні властивості. Необхідність дослідження сорбційних властивостей пояснюється їх визначальним впливом на формування сприятливого мікроклімату підодягового простору. Окрім того, гігроскопічні властивості текстильних матеріалів мають важливе значення для протікання технологічних процесів їх виробництва, виготовлення та експлуатації виробів. Капілярність досліджуваних текстильних матеріалів представлена у табл. 5.

Таблиця 5

Вплив прання на зміну капілярності досліджуваних тканин

Варіанти тканин	Капілярність, мм/60 хв, після кількості циклів прання						
	0	1	3	6	15	30	60
1	83,7	126,3	132,8	135,3	136,7	135,3	137,3
2	23,7	88,8	95,7	167,7	160,7	166	143
3	40,3	69,7	65,5	159,5	152,7	157,3	153,3
4	62,8	71,7	104,3	142,7	160,5	163,3	165,3

Відмітимо, що за нормою капілярність бавовняних тканин становить 130 мм/60 хв [3]. Початкове значення капілярності жодного із зразків цієї нормі не відповідає. Однак, найбільшим показником початкової капілярності серед досліджуваних тканин характеризується варіант 1, що пов'язано з технологією вибілювання (традиційна). Зразки текстильних матеріалів, вибілених за “холодною” технологією, мають невисокі показники початкової капілярності. Таке явище має місце через наявні у бавовняних тканинах воски, температура плавлення яких становить більше 50 °С, які не видаляються у процесі “холодного” вибілювання (за температури навколишнього середовища). Це є недоліком

низькотемпературної технології вибілювання, проте вчені працюють над його подоланням.

Аналіз табл. 5 показує, що капілярність бавовняних тканин білизняного призначення значно підвищується після прання, що пов'язано з вимиванням супутніх речовин целюлози внаслідок взаємодії з пральним засобом при підвищеній температурі. Так, вже після 1-го прання різке збільшення капілярності спостерігається у варіанта 2 (рецептура 1) – на 73,31 %.

Зміна значення гігроскопічності досліджуваних зразків текстильних матеріалів від кількості циклів прання представлена у табл. 6.

Таблиця 6

Залежність гігроскопічності досліджуваних тканин від кількості циклів прання

Варіанти тканин	Гігроскопічність, %, після кількості прань						
	0	1	3	6	15	30	60
1	8,76	8,44	7,99	8,18	8,36	8,06	7,76
2	17,69	14,68	15,94	16,85	18,74	19,51	14,4
3	8,36	8,18	8,37	8,37	8,69	11,31	10,11
4	10,52	9,81	10,37	10,07	10,65	11,67	10,08

Як випливає з даних табл. 6, усі бавовняні тканини характеризуються високим значенням початкової гігроскопічності, однак, вирізняються варіанти 2 і 4, гігроскопічність яких складає 17,69 % і 10,52 % відповідно. Оскільки усі зразки однакові за волокнистим складом, то на поглинання вологи бавовняними волокнами впливає рецептура вибілюючого розчину. Під час процесу вибілювання сорбційні властивості зменшуються за рахунок ущільнення структури пряжі внаслідок осідання силікатів на поверхні волокон.

У процесі експлуатації під дією багаторазового прання гігроскопічність досліджуваних тканин спочатку зменшується, що зумовлено ущільненням структури пряжі, однак після 15-го прання спостерігається зростання даного показника для всіх зразків (рис. 2). Це, на нашу думку, пов'язане з частковим розпушуванням і руйнуванням структури волокон.

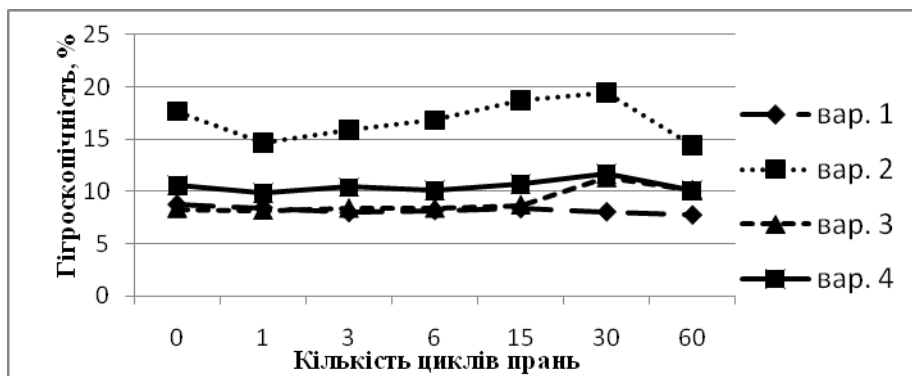


Рис. 2. Вплив багаторазового прання на гігроскопічність бавовняних тканин

Зміна гігроскопічності досліджуваних тканин від кількості циклів прання описується рівнянням (3) для варіанта 2, рівнянням (4) – для варіанта 3, рівнянням (5) – для варіанта 4.

$$y = -0,0047x^2 + 0,2584x + 15,77 \quad R^2 = 0,74 \quad (3)$$

$$y = -0,0016x^2 + 0,1346x + 7,9361 \quad R^2 = 0,80 \quad (4)$$

$$y = -0,0014x^2 + 0,0852x + 9,9915 \quad R^2 = 0,67 \quad (5)$$

де x – кількість циклів прання;
 y – гігроскопічність, %.

Висновок. Результати досліджень дозволяють зробити висновок, що зразки бавовняних тканин білизняного призначення, вибілені за “холодною” технологією, є кращими за своїми споживними властивостями порівняно зі зразками тканин, вибіленими за традиційною технологією. При цьому, під час визначення механічних і гігроскопічних властивостей зразків кращими виявилися варіант 2, а під час визначення білості тканин – варіант 3, що зумовлено рецептурою вибілюючого розчину. Усі зразки тканин, вибілені за низькотемпературною технологією, мають достатньо високі показники споживних властивостей, що підтверджує їх придатність для експлуатації як виробів білизняного призначення.

Література

1. Волох В.В. Удосконалення процесу “холодного” вибілювання тканин / В.В. Волох, Г.В. Міщенко // Проблеми легкой и текстильной промышленности Украины. – 2008. – № 1(14). – С. 157–158.
2. Ксенжук Н.І. Розробка і застосування композиційних текстильно-допоміжних речовин для вибілювання бавовняних матеріалів : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец.

- 05.19.03 “Технологія текстильних матеріалів” / Н.І. Ксенжук. – Херсон, 2002. – 17 с.
3. Ресурсозберігаюча низькотемпературна технологія вибілювання бавовняних тканин / Г.Ф. Сльозко, В.І. Барановський, Г.В. Міщенко, Н.І. Ксенжук // Легка промисловість. – 1999. – №4. – С. 57.
4. Міщенко Г.В. Основні напрямки у технологіях опорядження текстильних матеріалів / Г.В. Міщенко, О.В. Погоріла // Проблемы легкой и текстильной промышленности Украины. – 2002. – № 6. – С. 39–41.
5. Текстиль. Випробування на стійкість забарвлення. Частина J02. Метод оцінювання білості за допомогою приладу : ДСТУ ISO 105-J02-2001 / ГОСТ ИСО 105-J02-2002. – [Чинний від 2005-07-01]. – Гармонізований з: ISO 105-J02: 1997, IDT; ГОСТ ИСО 105-J02-2002, IDT.
6. Ткани и штучные изделия текстильные. Методы определения разрывных характеристик при растяжении : ГОСТ 3813-72. – [Введен с 01.01.73]. – М. : изд-во стандартов, 1972. – 8 с.
7. Ткани текстильные. Метод определения стойкости к истиранию : ГОСТ 18976-73. – [Введен с 01.07.74]. – М. : изд-во стандартов, 1985. – 5 с.
8. Ткани текстильные. Методы определения гигроскопических и водоотталкивающих свойств : ГОСТ 3816-81. – [Введен с 01.07.82]. – М. : изд-во стандартов, 1981. – 14 с.
9. Кричевский Г.Е. Химическая технология текстильных материалов : учебник, в 3-х т. / Г.Е. Кричевский. – М. : РосЗИТЛПИ, 2000. – Т. 1. – 436 с.
10. Вальтер Бернанд. Практика беления и крашения текстильных материалов / Вальтер Бернанд ; [пер. с нем. Е.С. Шатрова, Н.Т. Прыткова]. – М. : “Легкая индустрия”, 1971. – 472 с.
11. Шихер М.Г. Беление хлопчатобумажных тканей / Шихер М.Г. – М. : “Легкая индустрия”, 1975. – 144 с.

Надійшла 23.9.2011 р.

УДК 677. 024.07.017

А.М. СЛІЗКОВ

Київський національний університет технологій та дизайну

ПОБУДОВА ФІЗИЧНОЇ МОДЕЛІ ВОЛОКНИСТИХ ПРОДУКТІВ

Побудова фізичної моделі волокнистих матеріалів дозволяє глибше вивчати особливості їх структури та її перетворення в процесі виробництва, а також прогнозувати зміни їх властивостей.

The constructing of a physical analog of fibrous materials allows more deeply to study features of their pattern and its transforming during production, and also to forecast variation of their properties.

Ключові слова: волокнистий продукт, структура, конкурентоспроможність.

Однією з передумов підвищення конкурентоспроможності підприємств легкої та текстильної промисловості України є оновлення асортименту та підвищення якості виготовленої продукції. Рациональне використання сировини є одним з найбільш важливих напрямів підвищення ефективності роботи текстильних підприємств. Якість текстильних матеріалів формується в процесі їх виробництва. Основними факторами, які визначають якість текстильних матеріалів, у першу чергу, є властивості похідної сировини (волокон), способи виготовлення ниток та виробів з них, а також технічний стан устаткування

Підвищення якості та конкурентоспроможності текстильних матеріалів пов'язане з можливістю швидко реагувати на споживчий попит шляхом створення асортименту текстильних матеріалів із прогнозованими властивостями. Вирішення цих завдань великою мірою прискорюється шляхом застосування нових підходів в прогнозуванні властивостей текстильних матеріалів. Виходячи з зазначеного вище, застосування нових науково обґрунтованих підходів при вирішенні завдань прогнозування властивостей текстильних матеріалів є актуальним.

Об'єкти та методи дослідження. Об'єктами дослідження є показники структури та властивостей волокнистих продуктів прядильного виробництва, а також метод побудови загальної фізичної моделі волокнистого продукту.

Постановка завдання. У процесі виробничого циклу волокнисті продукти змінюють свою структуру та властивості. Цю видозміну можна представити на основі наступної послідовності волокнистих продуктів: волокниста маса в паках або мішках (жмутки); розпушена волокниста маса після підготовчої обробки (жмутки); прочіс; стрічка; рівниця; пряжа однопниткова; кручена пряжа; текстильний виріб (тканина, трикотаж, неткане полотно). Дослідження цієї зміни є важливим під кутом зору прогнозування структури та властивостей волокнистих продуктів [1, 2].

Результати та їх обговорення. Важливим елементом функціонування текстильного виробництва є знання про структуру та властивості текстильних продуктів впродовж усього циклу їх виробничого перетворення, а також наявність методичного забезпечення визначення показників структури та властивостей матеріалів. Це дозволяє здійснювати планове визначення та оперативний контроль за показниками структури та властивостями текстильних матеріалів, а також глибше підійти до визначення причинно-наслідкових зв'язків між показниками структури та властивостями текстильних матеріалів і

прогнозувати їх перетворення в процесі виготовлення.

Виробничі процеси в прядильному виробництві є дуже складними, на них впливає велика кількість взаємопов'язаних факторів. На процеси текстильного виробництва можуть впливати випадкові (неконтрольовані) фактори, які можуть призводити до суттєвих впливів на властивості продуктів прядильного виробництва, а також на пряжу та текстильні вирази [1, 2].

В процесі транспортування та зберігання волокон у вигляді пак або мішків утворюються елементарні утворення у вигляді жмутків різної форми та розмірів. В підготовчій обробці прядильного виробництва волокниста маса, яка складається з жмутків, видозмінюється в напрямку зменшення її густини, що покращує проходження процесу чесання. Тому визначення цієї видозміни допомагає визначати ступінь підготовки волокнистої маси до чесання. Крім цього в кожному технологічному переході прядильного виробництва доцільно знати особливості структури та властивостей волокнистого матеріалу, що дозволяє оптимізувати технологічні параметри устаткування і покращити якість вихідного продукту.

Для оцінки стану структури та властивостей волокнистого матеріалу та його зміни в процесі прядильного виробництва були обрані наступні показники: поверхнева густина, коефіцієнт орієнтації волокон, коефіцієнт скрученості та міцність. Кожен з представлених показників визначався за відомим або розробленим методом. Так для оцінки скрученості та міцності волокнистих продуктів (стрічка, рівниці та пряжа) застосовувалися відомі методи [1, 2]. Для оцінки розпрямленості та орієнтації волокон застосовувався метод Леонтєвої [1, 2], а для визначення ступеня ущільненості волокнистої маси (густини) розроблявся новий метод. Для визначення ступеня підготовки волокнистої маси до чесання визначають її розпушеність, яка може бути оцінена об'ємною або поверхневою густиною волокнистих жмутків та їх зміною в процесі дії робочих органів машин підготовчої обробки прядильного виробництва (РТА або РОА).

Метод оцінки поверхневої густини волокнистих жмутків, яка характеризує ступінь ущільненості волокон полягав в наступному. Спочатку визначали геометричні параметри (довжину та ширину) та масу кожного відібраного у репрезентативну вибірку жмутка, а в подальшому за формулою (1) розраховували поверхневу густина волокнистої маси:

$$\delta = \frac{m}{l \cdot b}, \quad \text{г/м}^2 \quad (1)$$

де m – маса жмутка, г; l – довжина проекції жмутка на площині, м; b – ширина проекції жмутка на площині, м.

Структурні показники текстильних матеріалів мають суттєвий вплив на їх фізико-механічні властивості, а також на властивості виготовлених з них рівниці та пряжі. Тому визначення ступеня розпрямленості та орієнтації волокон в стрічкоподібних волокнистих продуктах є важливою складовою в прогнозуванні властивостей цих текстильних матеріалів [3–5].

Визначення особливостей структури та властивостей текстильних матеріалів (волокон, стрічок, рівниці, пряжі) на кожній ділянці їх видозміни дасть можливість побудувати фізичну модель волокнистого продукту, яку він має в процесі прядильного виробництва, що в подальшому дозволить краще орієнтуватися в зміні структури продукту і прогнозувати зміни його властивостей. На рис. 1 побудована об'єднана фізична модель показників структури та властивостей волокнистих продуктів прядильного виробництва.

За графіками зміни ступеня ущільненості волокон, розпрямленості та орієнтації волокон, а також ступеня скрученості волокнистих продуктів чітко простежуються взаємозв'язки між зазначеними показниками. Графіки показників будувалися в відносних величинах, визначених за наступною формулою

$$q = P_i / P_{\text{баз}}, \quad (2)$$

де P_i – фактичне значення показника; $P_{\text{баз}}$ – базове значення показника.

За базове значення приймалося найбільше значення з фактичних значень кожного із наведених показників. Такі показники волокнистого продукту, як коефіцієнт скрученості, поверхнева густина волокнистого продукту, розпрямленість та орієнтація волокон, визначають особливості його структури. Показник міцності визначає механічні властивості продукту і має опосередкований зв'язок зі структурою волокнистого продукту. Так, зі зростанням розпрямленості та орієнтації волокон зменшується міцність стрічки, що пояснюється зменшенням сил тертя та щеплення між волокнами. З графіків показників структури і властивостей волокнистих продуктів, представлених на рис. 1, видно, що густина волокнистого продукту має найбільше значення при упорядкованій та найбільш скрученій структурі пряжі.

Ступінь скрученості волокон у продукті на початку має невисокі значення і при отриманні пряжі має важливе значення, що пов'язано зі ступенем ущільненості волокон, яка призводить до зростання густини волокнистого продукту.

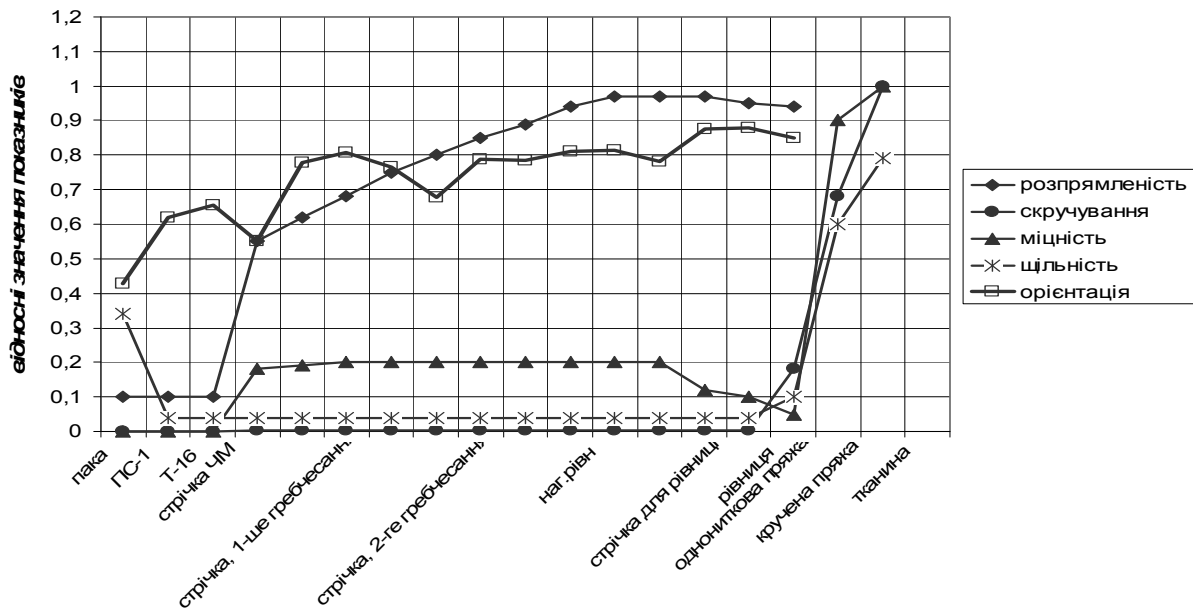


Рис. 1. Об'єднана модель показників структури та властивостей волокнистих продуктів

Міцність волокнистого продукту має незначні коливання в процесі переробки волокнистого продукту у вигляді стрічки і має значне зростання зі збільшенням ступеню скрученості від рівниці до пражі. Значення показників розпрямленості та орієнтації волокон у продукті від практично нульових у жмутках зростають з кожним виробничим перетворенням і досягають найбільшого значення в стрічці для рівниці. Наявність більшого ступеня скрученості волокон у рівниці дещо зменшує орієнтацію волокон у ній.

Знання взаємозв'язку між показниками структури та властивостями волокнистих продуктів дозволить оперативно впливати на виробничий процес і підвищити якість волокнистого продукту. У табл. 1 представлені кореляційні залежності між показниками структури та властивостями волокнистих продуктів.

З даних таблиці видно, що найбільший прямий зв'язок мають між собою такі показники: міцність та коефіцієнт скрученості волокнистого продукту ($r=0,96$) та міцність з поверхневою густиною волокнистого продукту ($r=0,88$), поверхнева густина продукту з коефіцієнтом скрученості волокон ($r=0,87$), а також коефіцієнт скрученості з коефіцієнтом орієнтації волокон ($r=0,73$) та міцність з коефіцієнтом орієнтації волокон ($r=0,71$).

Таблиця 1

Кореляційні залежності між показниками структури та властивостями волокнистих продуктів

Показники	Густина, г/см ²	Коефіцієнт скрученості, -	Міцність, сН	Орієнтація волокон, -
Поверхнева густина, г/см ²		0,87	0,88	0,54
Коефіцієнт скрученості, -	0,87		0,96	0,73
Міцність, сН	0,88	0,96		0,71
Орієнтація волокон, -	0,54	0,73	0,71	

Висновок. Об'єднана модель структури та механічних властивостей стрічкоподібних волокнистих продуктів дозволяє глибоко визначати зв'язки між цими властивостями та структурою. Визначено високий рівень кореляційних взаємозв'язків між структурними показниками та міцністю і ступенем скрученості стрічкоподібних волокнистих продуктів, що дуже важливо при прогнозуванні властивостей текстильних матеріалів в умовах виробництва.

Література

1. Севостьянов А.Г. Методы и средства исследования механико-технологических процессов текстильной промышленности / Севостьянов А.Г. – М. : МГТУ им. А.Н. Косыгина, ООО «Совьяж Бево», 2007 – 646 с.
2. Кобляков А.И. Лабораторный практикум по текстильному материаловедению / Кобляков А.И. – М. : Легпромбытиздат. 1986. – 334 с.
3. Слізков А.М. Розвиток наукових основ прогнозування фізико-механічних властивостей

текстильних матеріалів побутового призначення : дис. ... докт. техн. наук : 05.02.01 / Слізков Андрій Миколайович. – К. : КНУТД, 2009. – 402 с.

4. Динамика основных процессов прядения. Формирование и выравнивание волокнистого потока : в 2 т. / Гинсбург Л.Н., Хавкин В.П., Винтер Ю.М., Молчанов А.С. – М. : Легкая индустрия, 1970. – Т. 1. – 304 с.

5. Разумеев К.Э. Прогнозирование свойств гребенной ленты и шерстяной пряжи / К.Э. Разумеев // Текстильная промышленность. – 1998. – № 4. – С. 28–30.

6. Привалов С.Ф. Методологические основы построения коэффициентов связи между свойствами пряжи / С.Ф. Привалов, А.В. Гусаков, Н.И. Труевцев // Современные технологии и оборудование текстильной промышленности (Текстиль-96). Сб. науч. трудов. – М. : МГТУ, 1997. – С. 87–89.

Надійшла 23.9.2011 р.

УДК 677.027

Л.Н. КОНДРАТЮК, ЛА. НЕСТЕРОВА, Г.С. САРИБЕКОВ
Херсонский национальный технический университет

ИНТЕНСИФИЦИРУЮЩЕЕ ДЕЙСТВИЕ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ НА КОВАЛЕНТНУЮ ФИКСАЦИЮ АКТИВНЫХ КРАСИТЕЛЕЙ

В статті досліджено хімічну інтенсифікацію процесу фарбування текстильних матеріалів активними барвниками. Встановлено, що введення інтенсифікуючих агентів збільшує кількість ковалентно-фіксованого барвника на волокні.

In the article a chemical intensification of process of a dyeing of textile materials is investigated by active dyes. It is established that introduction of intensifying agents increases quantity covalent-fixed of a dye on the fibre.

Ключові слова: фарбування, активні барвники, інтенсифікація.

Повышение ковалентной фиксации при крашении текстильных материалов из целлюлозных волокон активными красителями является одной из основных проблем, существующих в настоящее время.

Существует несколько способов решения этого вопроса:

предварительная обработка текстильного материала до процесса крашения;
повышение смачивающей способности водных красильных систем с помощью различных вспомогательных веществ;

закрепление гидролизованного красителя на волокне с использованием различных закрепителей;

использование физических методов интенсификации процесса крашения.

Одним из известных способов крашения является модификация целлюлозы волокна в результате ферментативно-механической обработки. Недостатком данного способа является высокая стоимость реагентов для интенсификации [1]. Для повышения показателей белизны и капиллярности тканей в подготовительной операции к процессу крашения возможно использование перекиси водорода, путем замены традиционной технологии промывки текстильных материалов после беления [2].

Высокая степень закрепления гидролизованной части активного красителя на текстильном материале достигается при введении в промывной состав катионного ПАВ – катапав и катионного полиэлектролита-каустамин-15. С ростом концентрации закрепляющего композита в растворе наблюдается увеличение количества связанной гидролизованной формы красящего вещества. Дальнейшее увеличение концентрации нецелесообразно, так как количество красителя, закрепленного на целлюлозном волокне, при этом не изменяется [3]. Экспериментально подтверждено универсальность действия системы каустамин – катапав в концентрации 12 г/л при связывании гидролизованных активных красителей различного химического строения.

Для интенсификации крашения текстильных материалов водорастворимыми классами красителей используют хитозан, который обладает пленкообразующими свойствами и при нанесении его на ткань образуется прочная окрашенная пленка, способствующая повышению интенсивности окраски. Оптимальная концентрация хитозана составляет 1,5% от массы волокна, температура крашения – 40...80°C [4–5].

Присутствие редокс-систем в красильных растворах увеличивает скорость сорбции активных красителей волокном в среднем в 1,2–1,9 раза; энергии активации снижаются в среднем в 1,1–1,4 раза; диффузия активных красителей вглубь полимера ускоряется в 1,3–1,7 раза по сравнению с традиционным высокотемпературным крашением. Повышение окрашиваемости и скорости истощения красильных ванн, а также ускорение диффузии активных красителей в волокно позволили предположить, что при использовании окислительно-восстановительных систем происходит изменение поверхности ткани и активности молекул красителя. В качестве редокс-систем использовали: перекись водорода–глюкоза, перекись водорода–этиленгликоль, перекись водорода–пропантриол–1, 2, 3; перекись водорода–полиоксиметилен, перекись водорода – гексаметилентетрамин [5].

Из всех известных технологий крашения активными красителями не существует такого способа химической интенсификации процесса, который позволяет решить комплекс проблем, а именно:

- повысить недостаточно высокую ковалентную фиксацию красителя на целлюлозном волокне,

вследствие чего большое количество красильных веществ попадает в сточные воды;

- значительно сократить продолжительность процесса крашения, и, соответственно, существенно снизить высокую энергетическая стоимость, обусловленную длительным периодом подогрева красильного раствора;

- снизить затраты на количество потребляемой воды для промывки тканей после процесса крашения, что, в свою очередь, ведет к увеличению объемов сточных вод и дополнительных затрат на их очистку.

В связи с этим в работе исследовали химическую интенсификацию процесса крашения хлопчатобумажных тканей активными красителями путем введения в красильный раствор интенсификаторов органической природы с целью повышения экономической эффективности технологии.

Методическая часть. В данной работе изучено влияние органических интенсификаторов на ковалентную фиксацию активных красителей. Крашение хлопчатобумажной ткани осуществляли активными красителями Drimagene Orange CL-3R и Drimagene Navy blue CLR при 60°C в присутствии интенсифицирующих компонентов и по традиционной технологии. Длительность процесса составляла 120 мин. После крашения текстильный материал подвергали промывке и сушке.

Эффективность использования интенсификаторов оценивали по степени ковалентной фиксации на волокне, интенсивности окраски, а также устойчивости окрасок физико-механическим и физико-химическим воздействиям.

Степень фиксации определяли по количеству ковалентно-фиксированного активного красителя с целлюлозным волокном. Ковалентно-незафиксированный краситель извлекали десорбцией кипящим 50% - ным раствором мочевины. Количественное определение красителя, содержащегося на волокне, осуществляли растворением окрашенных образцов в концентрированной серной кислоте. Концентрацию красителя в полученных растворах определяли спектрофотометрическим методом по оптической плотности при длине волны $\lambda = 670$ нм.

Экспериментальная часть. На рис. 1 представлены результаты интенсификации процесса крашения компонентом К1. Установлено, что повышение ковалентной фиксации активного Navy blue CLR до 17% достигается при введении К1 в количестве 10 г/л. При крашении активным Orange CL-3R максимальная степень фиксации наблюдается в случае использования К1 в количестве 5 г/л (рис. 2).

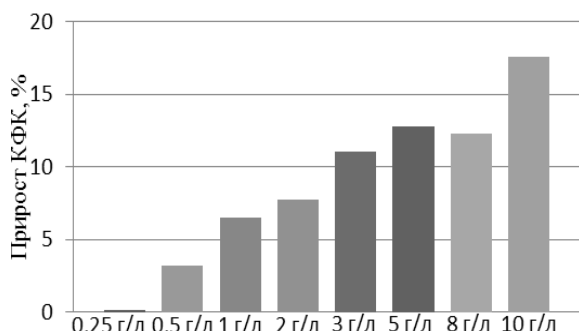


Рис. 1. Влияние концентрации интенсификатора К1 на ковалентную фиксацию активного красителя Navy blue CLR

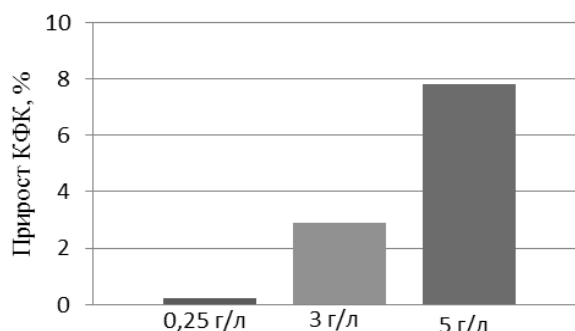


Рис. 2. Влияние концентрации интенсификатора К1 на ковалентную фиксацию активного красителя Orange CL-3R

Известно, что химическая интенсификация процесса колорирования возможна введением в красильный раствор поверхностно-активных веществ. В связи с этим в состав вводили ПАВ – П1 в концентрациях от 1,0 до 8,0 г/л (рис. 3).

Анализ результатов исследования свидетельствует о том, что с повышением содержания П1 в красильном растворе увеличивается ковалентная фиксация исследуемых красителей. Однако, при крашении Drimagene Navy blue CLR введение в красильный состав П1 (8 г/л) способствует повышению фиксации до 80 % (рис. 4).

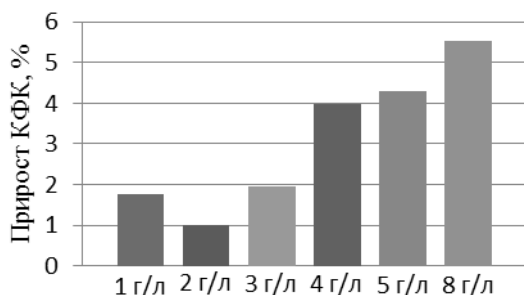


Рис. 3. Влияние концентрации интенсификатора П1 на ковалентную фиксацию активного красителя Orange CL-3R

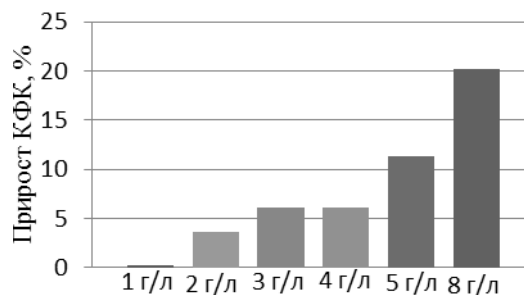


Рис. 4. Влияние концентрации интенсификатора П1 на ковалентную фиксацию активного красителя Navy blue CLR

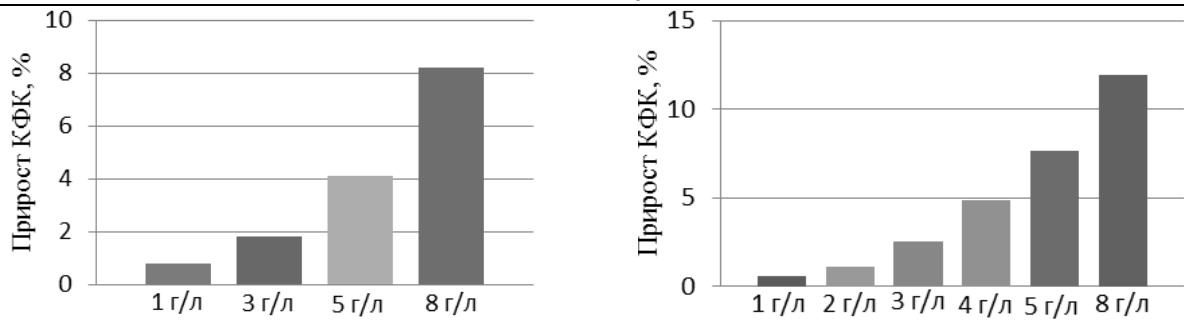


Рис. 5. Влияние концентрации интенсификатора П2 на ковалентную фиксацию активных красителей Orange CL-3R и Navy blue CLR

При введении поверхностно-активного вещества П 2 (рис. 5) в красильные растворы Drimarene Orange CL-3R и Drimarene Navy blue CLR в количестве 8 г/л увеличивается ковалентная фиксация красителя на 8,2% и 12,0% соответственно. Следующим этапом исследований представлялось изучение действия одно- и многоатомных спиртов (С1, С2, С3, С4) на фиксацию красителя на волокне. На рис. 6 показаны результаты исследований, полученных при введении С4 в красильную систему.

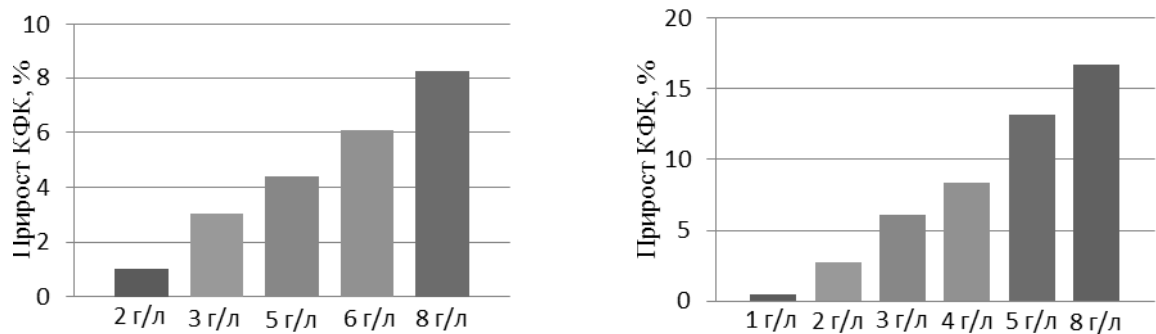


Рис. 6. Влияние концентрации интенсификатора С4 на ковалентную фиксацию активных красителей Orange CL-3R и Navy blue CLR

Установлено, что для красителей Drimarene Orange CL-3R и Drimarene Navy blue CLR степень фиксации увеличивается на 8 и 17 % соответственно при концентрации 8 г/л. Использование в качестве интенсифицирующего агента (рис. 7) С2 в количестве 10 г/л обеспечивает рост ковалентной фиксации для Orange CL-3R на 4% и для Navy blue CLR на 15%.

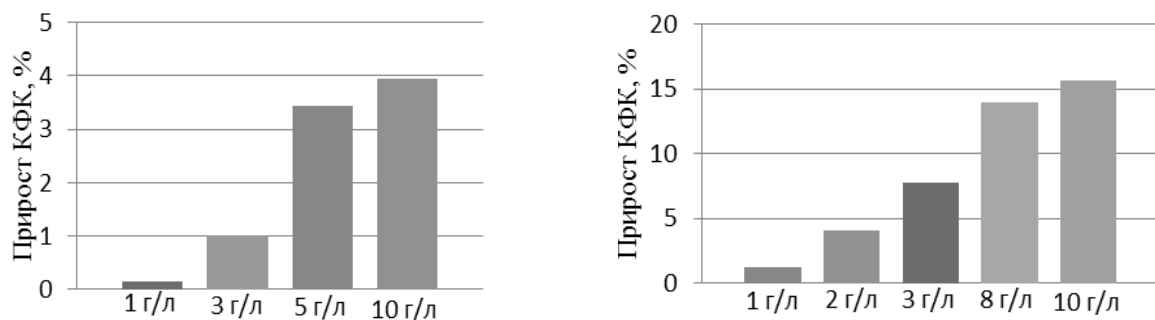


Рис. 7. Влияние концентрации интенсификатора С2 на ковалентную фиксацию активных красителей Orange CL-3R и Navy blue CLR

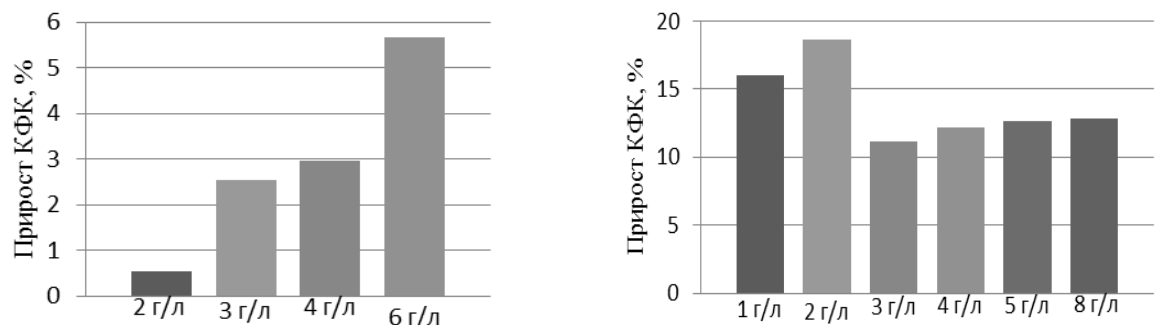


Рис. 8. Влияние концентрации интенсификатора С3 на ковалентную фиксацию активных красителей Orange CL-3R и Navy blue CLR

На рис. 8 показано влияние СЗ на степень фиксации активных красителей. Максимальная ковалентная фиксация достигается при крашении Navy blue CLR на 17% при 2 г/л, и при крашении Orange CL-3R на 6% при 6 г/л.

На рис. 9 отражена зависимость степени фиксации Drimarene Navy blue CLR от концентрации С1. Повышение ковалентной фиксации достигается при использовании С1 в количестве 8 г/л до 14%.

В связи с тем, что интенсивность окраски является одним из определяющих факторов конкурентоспособности готовых изделий, целесообразно исследование влияния концентрации интенсификаторов на этот показатель. Анализ полученных результатов (рис. 10), показывает, что при введении в красильный состав поверхностно активных веществ П1 и П2 концентрацией от 1,0 до 8,0 г/л достигается увеличение K/S до 4 и 3–3,5 соответственно.

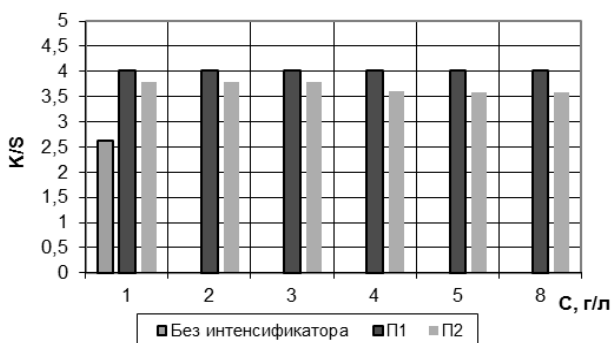


Рис. 10. Влияние концентрации интенсификаторов П1 и П2 на интенсивность окраски при крашении активным красителем Orange CL-3R

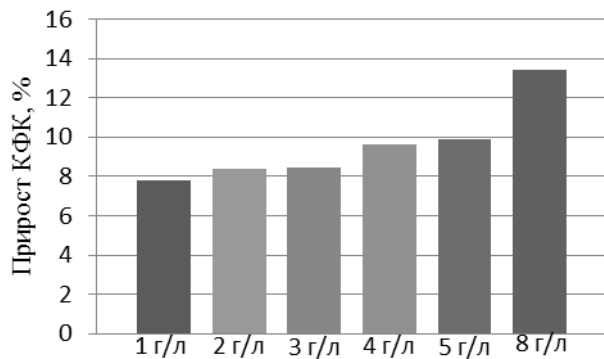


Рис. 9. Влияние концентрации интенсификатора С1 на ковалентную фиксацию активного красителя Navy blue CLR

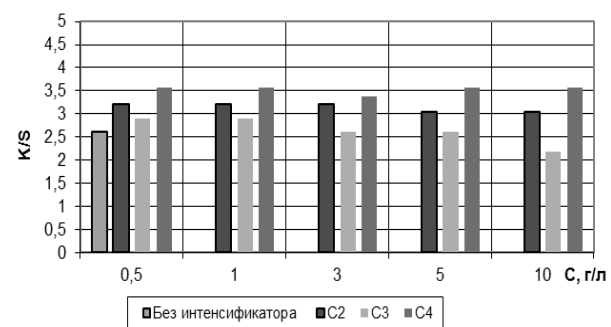


Рис. 11. Влияние концентрации органических спиртов на интенсивность окраски при крашении активным красителем Orange CL-3R

Интенсивность окраски повышается в случае использования в качестве интенсификаторов – С2, С3, С4 (рис. 11). Введение С4 обеспечивает повышение K/S в количестве 0,5 г/л. Максимальная интенсивность окраски наблюдается при введении С2 (1–3 г/л) до 3,2, а также при С3 (0,5–3 г/л) до 3,6.

Выводы. Разработанная технология с использованием интенсифицирующих агентов органической природы при крашении хлопчатобумажных текстильных материалов значительно повышает количество ковалентно-фиксированного красителя на волокне, интенсивность окраски, а также обеспечивает снижение себестоимости готовой продукции, сокращает экологическую нагрузку на окружающую среду.

Литература

1. Сафонов В.В. Влияние ферментов и аминокислот на крашение целлюлозных текстильных материалов водорастворимыми красителями / В.В. Сафонов, И.М. Шкурихин // Изд. Вузов. Технология текстильной промышленности. – 2001. – № 1. – С. 43–46.
2. Энергосберегающая технология пероксидного беления целлюлозных текстильных материалов / М. Кротова, О. Одинцова, И. Муравьев, А. Денисова // Технология текстильной промышленности. – 2004. – № 1 (276). – С. 34.
3. Инновационная технология колорирования целлюлозных тканей и трикотажа / О. Одинцова, М. Кротова, И. Муравьев та ін. // Технологии отделки текстильных материалов. – 2004. – № 2 (77). – С. 26.
4. Препараты для «холодного» беления целлюлозных материалов / О. Одинцова, М. Кротова, Б. Мельников // Технологии отделки текстильных материалов. – 2004. – № 2 (77). – С. 16.
5. Механизм интенсифицирующего действия окислительно-восстановительных систем в процессе крашения шерсти кислотными и активными красителями / О.В. Петрова, Н.Э. Ермакова, А.А. Буриная, С.Ф. Гребенников // Технология текстильной промышленности. – 2006. – № 2 (289). – С. 27.

Надійшла 28.9.2011 р.

ОСОБЛИВОСТІ РОЗРОБКИ ЛЕКАЛ ПІДКЛАДКИ ДВОШОВНОГО РУКАВА З ВІДКРИТОЮ ШЛИЦЕЮ В ЖІНОЧОМУ КОСТЮМІ

В статті розглянуті питання, які виникають при обробці підкладки двошовного рукава із відкритою шлицею в жіночому костюмі. Розроблено та побудовано лекала двошовного рукава з відкритою шлицею з урахуванням виявлених особливостей.

The article deals with issues that arise in the processing of substrates of sleeves with two seams and open vents in a woman's suit. Designed and built templates of sleeves with two seams and open vents considering the detected features.

Ключові слова: підкладка, двошовний рукав, відкрита шлиця, зрізи, припуски

Постановка проблеми

Підкладка в жіночому костюмі будь-якого стилю та напрямку є її невід'ємною частиною та відіграє не менш важливе значення ніж зовнішній бік виробу. Підкладка, і її волокнистий склад, якість її покрою та обробки видає рівень професіоналізму спеціаліста, який доклав зусиль для створення цієї речі. В більшості випадків якість обробки кожного вузла виробу залежить від точності конструкторських обрахунків та, відповідно, якості побудови лекал. Одним із найскладніших технологічних вузлів у жіночому костюмі є відкрита шлиця у двошовному рукаві, яка використовується у виробках класу «люкс».

Мета та задачі роботи

Метою даної роботи являється визначення ступеня важливості ролі підкладки у одязі. Дослідження та виявлення особливостей, що виникають при розробці креслення та проектуванні лекал підкладки двошовного рукава із відкритою шлицею, а також її подальший вплив на якість обробки та зовнішній вигляд виробу. Результатом роботи є розробка лекал двошовного рукава з відкритою шлицею для жіночого костюму із урахуванням виявлених особливостей.

Виклад основного матеріалу

За сферою життєдіяльності особистості та за роллю у відтворенні здібностей людини розрізняють потреби фізичні (біологічні), соціальні та інтелектуальні. Задоволення біологічних потреб забезпечує фізичне існування людини. Соціальні потреби формуються у результаті ціленаправленої діяльності по взаємодії з іншими людьми, інтелектуальні потреби визначаються в постійному отриманні знань, розширення їх меж і вивчення невідомого.

Одяг виконує утилітарні та соціальні функції, задовольняє біологічні та соціальні потреби.

Серед соціальних функцій особливе місце належить естетичній функції одягу, за посередництвом якої задовольняються естетичні потреби. Від точності та ретельності технологічної обробки та оздоблення всіх доступних для зовнішнього сприйняття конструктивних елементів залежить естетичне сприйняття одягу. Це рівнозначно стосується, як зовнішнього вигляду виробу, так і його внутрішнього оформлення, а саме підкладки.

Підкладка - це останній штрих у виготовленні верхнього одягу різного асортименту. Вона представляє собою технологічний вузол, який оформлює виріб з вивороту та надає йому акуратного закінченого вигляду.

У структурі якості одягу, розробленої в МТИЛП, яка у зв'язку з великою кількістю впливаючих на неї факторів, визначається як багаторівнева, показник якості внутрішнього оздоблення є одним з показників четвертого рівня, що характеризують якість одягу в цілому (рис 1) [1].

Але без ретельного конструкторського опрацювання лекал підкладки її подальша технологічна обробка буде неможливою. Тому важливо врахувати всі нюанси, що можуть виникнути при технологічній обробці вузлів виробу.

Одним з таких вузлів, при обробці яких нерідко виникають ускладнення – це низ двошовного рукава із відкритою шлицею у жіночому одязі.

Перед тим, як перейти до безпосереднього проектування лекала підкладки рукава необхідно врахувати низку сучасних вимог, що висуваються до самої підкладки взагалі, а саме, якість, відповідність матеріалу призначенню. Тканина підкладки повинна відповідати тканині верху за кольором, виду оздоблення, переплетенню. Згідно сучасних вимог нормативних

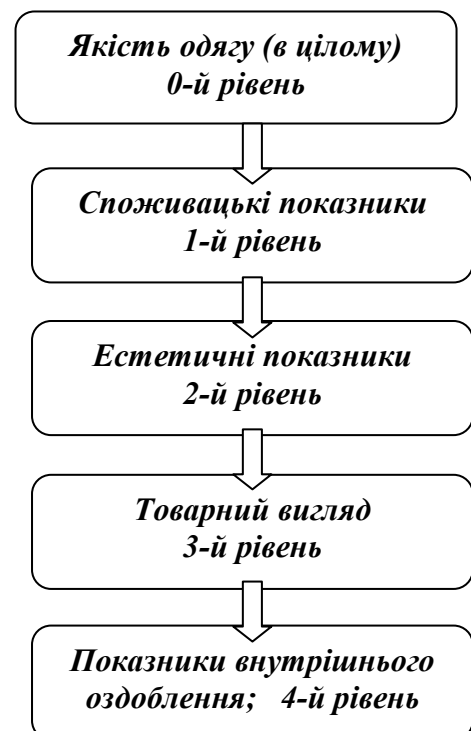


Рис.1. Структурна схема значимості показника внутрішнього оздоблення в загальній структурній схемі якості одягу

документів підкладка обов'язково повинна відповідати вимогам безпеки за низкою показників: за рівнем вільного формальдегіду та електризуємості, стійкості фарбування до дії тертя та виду волокнистого складу. Тканини підкладки повинні мати оптимальну поверхневу щільність та коефіцієнт тангенціального опору для зручності одягання та знімання одягу. Оскільки підкладка несе на собі певне навантаження, то тканини повинні володіти високою стійкістю до стирання, міцністю до розривних навантажень, міцністю фарбування до дії поту та хімічної чистки, а зсідання матеріалу повинно відповідати нормативним документам[2].

Від складу волокон та переплетення підкладкового матеріалу залежить його стійкість до зовнішніх чинників. Найчастіше для підкладки у жіночих костюмах використовуються шовкові тканини, що мають у своєму складі штучні абосинтетичні шовкові волокна або їх поєднання (ацетат, віскоза, капрон, поліестр). Віскозні підкладкові матеріали більш гігроскопічні, не електризуються, але легко мнуться, мають значний процент зсідання при волого-тепловій обробці та невисокий термін придатності при експлуатації. Капронові та поліестрові підкладкові тканини мають високу міцність, стійкі до дії світла води та гниття, не мнуться, проте, майже не гігроскопічні, тому їх не варто обирати для виробів де підкладка безпосередньо контактує із шкірою. Виготовляються підкладкові тканини переважно саржевим, сатиновим, атласним переплетенням та рідше - жаккардовим. На сьогоднішній день підкладкові тканини випускаються широкої кольорової гами, крім того візерунком та принтами. Аналіз показав, що у побутовому одязі, куди саме і відносяться вироби верхнього та костюмного асортименту підкладку найчастіше підбирають у тон основної тканини. Підкладку, контрастну за кольором або з набивним малюнком, частіше використовують у дитячому та спортивному одязі або в молодіжних чи святкових ансамблях.

Висока якість швейних виробів повинна бути закладена на етапі проектування. При розробці технічного опису визначають конструкцію, форму і розміри деталей, технічні умови на їхню розробку, розкрій та виготовлення. Особливу увагу при проектуванні приділяють розробці конструкції деталей верху та підкладки, як фактором, що впливають на кінцеву якість готового виробу. Тому креслення лекал деталей одягу є важливим технічним документом, який визначає конструкцію, форму і розміри деталей, технічні умови на їхню розробку та розкрій.

За способом побудови усі лекала, незалежно від призначення, діляться на основні, похідні та допоміжні. Лекала підкладки рукава відносяться до категорії похідних, тобто, це ті лекала, які призначені для обробки країв основних деталей одягу. Креслення лекал похідних деталей розробляють на основі лекал-оригіналів основних деталей з урахуванням методів обробки. Методи обробки визначають не лише форму зрізів похідних деталей, але й величину технологічних припусків [3].

Існує безліч методик за якими проектується лекала підкладки рукава. Але сам принцип побудови у всіх випадках аналогічний. Передній зріз верхньої та нижньої частин рукава підкладки залишається незмінним, тобто, співпадає з переднім зрізом лекал верху. У верхній частині ліктьового зрізу лекала підкладки також співпадають з лекалами верху, а у нижній його частині враховується запроєктована шлиця. Головним чином, при побудові підкладки двошовного рукава додається припуск у ділянці окату та низу рукава.

Зазвичай, до нижнього зрізу підкладки рукава крім необхідного припуску на шов додається припуск на свободу руху. У звичайному двошовному рукаві без шлиці при з'єднанні низу рукава з підкладкою не виникає ніяких особливих ускладнень. У двошовному рукаві з відкритою шлицею після зшивання кута шлиці та пришивання підкладки до зрізу шлиці та до нижнього зрізу рукава у куту шлиці з вивороту утворюється напуск, який не має функціонального призначення та погіршує зовнішній вигляд даного вузла виробу. Щоб усунути цей недолік, по нижньому зрізу підкладки верхньої частини рукава з того боку де утворюється кут оформлення шлиці, доцільно залишати припуск тільки на шов зшивання. Лінія оформлення низу підкладки рукава плавно зводиться у бік переднього шва, при цьому зберігається припуск на свободу руху (рис. 2).

Таким чином оформлення низу лекал підкладки верхньої частини рукава набуває криволінійної форми, а не прямолінійної як раніше. При з'єднанні підкладки по низу двошовного рукава з відкритою шлицею по запропонованому способу виворітна сторона шлиці набуває естетичного вигляду. Це підтверджується контрольним зразком жіночого жакету, при виготовленні якого було використано деталі крою виробу, що отримані при застосуванні запропонованого методу (рис.3).

Висновки

1. Виконано аналіз сучасних вимог до тканини підкладки швейних виробів костюмно – пальтового асортименту.
2. Удосконалено креслення конструкції лекал підкладки двошовного рукава для жіночого верхнього одягу.
3. Виготовлено контрольний зразок виробу на основі розробленого методу, який підтверджує, що оформлення підкладки рукава по запропонованому способу покращує зовнішній вигляд виробу

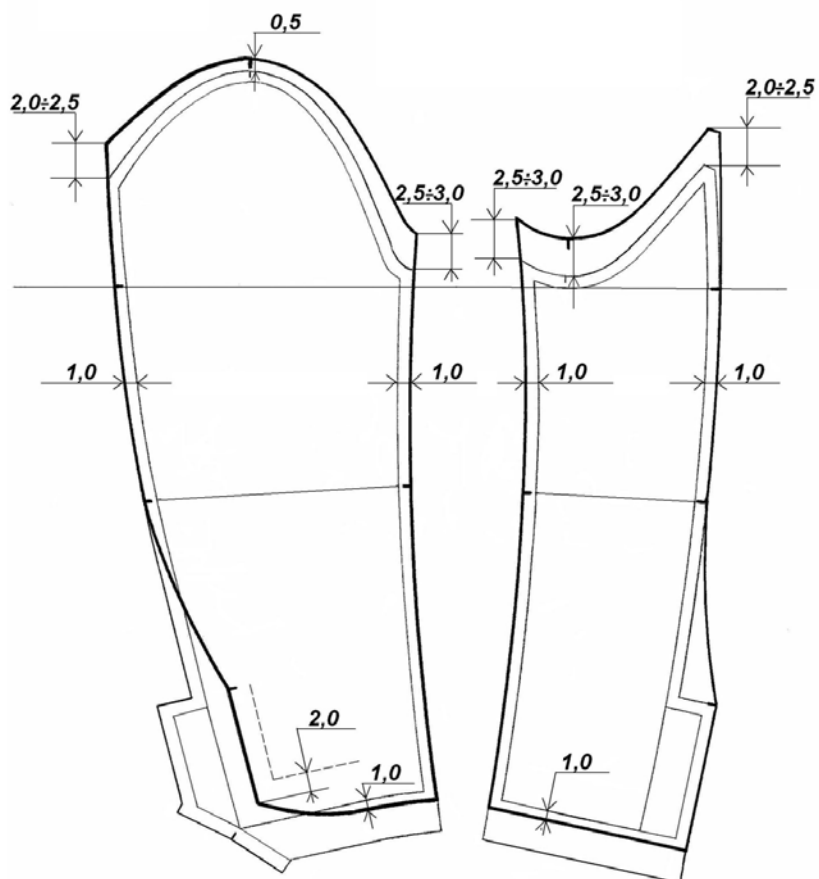


Рис.2. Побудова креслення лекал підкладки двобшовного рукава з відкритою шлицею. Пунктирною лінією на кресленні позначено кут, який утворюється при зшиванні кута оформлення шлиці

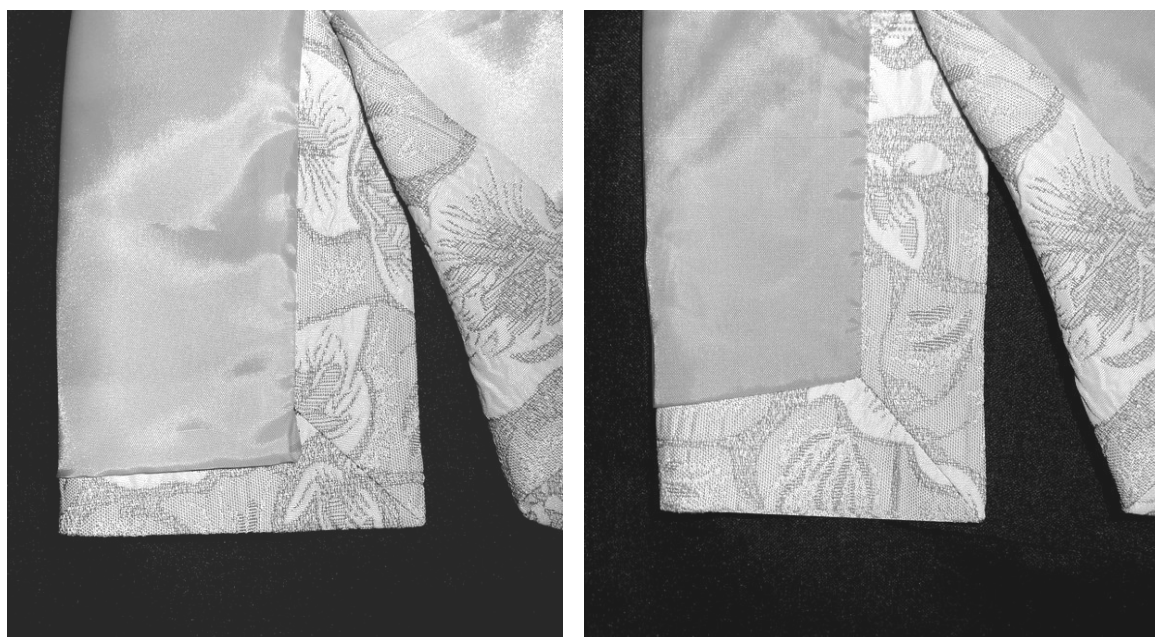


Рис. 3. Низ рукава з відкритою шлицею оформлений підкладкою традиційним способом (зліва) та запропонованим способом (справа)

Література

1. Конструирование одежды с элементами САПР / Под ред. Е.Б.Кобляковой.-М.: Легпромбытиздат, 1988.-464с
2. Баженов В.И. Материалы для швейных изделий. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982
3. Славінська А.Л. Побудова лекал одягу різного асортименту: Хмельницький. ТУ Поділля, 2002 – 116с.

Надійшла 27.9.2011 р.

УДК 681.12

Й.Й. БІЛИНСЬКИЙ, І.В. МИКУЛКА, Б.П. КНИШ
Вінницький національний технічний університет**КЛАСИФІКАЦІЯ МЕТОДІВ ВИМІРЮВАНЬ
РОЗМІРІВ МІКРОСКОПІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ**

Проведено аналіз методів вимірювань розмірів мікроскопічних об'єктів та запропоновано їх класифікацію.

The analysis methods of measuring the size of microscopic objects and proposed classification.

Ключові слова: вимірювання розмірів, мікроскопічний об'єкт, класифікація.

Вступ. На сьогодні в промисловості для вимірювань мікророзмірів використовується багато різновидів приладів, заснованих на різних методах мікроскопії. Слід зазначити, що на початковому етапі мікроскопію використовували виключно для отримання зображень об'єктів, натомість зараз мікроскопія широко застосовується для отримання геометричних розмірів мікрооб'єктів. Мікроскопія пройшла складний шлях розвитку й кожне її досягнення супроводжувалося, насамперед, збільшенням роздільної здатності, спостереженням за великим полем (введення растрового режиму), підвищенням автоматизації збору, обробки і відображення результатів вимірювань [1].

Велика кількість методів вимірювання розмірів мікроскопічних об'єктів не дозволяє досліднику безпомилково обрати той чи інший метод, тому з'явилась необхідність розробити їх класифікацію, що і було поставлено за мету роботи.

Основна частина. Розвиток існуючих та створення нових методів вимірювання розмірів мікроскопічних об'єктів неможливі без аналізу досягнутого рівня, їх різновидів і якості існуючих підходів. Тому в роботі на основі аналізу літературних джерел запропоновано класифікацію методів вимірювання розмірів мікроскопічних об'єктів (рис.1). Основною ознакою класифікації відомих методів вимірювання розмірів мікроскопічних об'єктів є специфіка впливу на об'єкт, який обумовлює власне сам процес вимірювання та його особливості. Таким чином з усіх методів можна виділити світлові (традиційні), електронні та нетрадиційні методи вимірювання розмірів мікроскопічних об'єктів. Світлові методи вимірювання поділяються на люмінесцентні, ультрафіолетові, інфрачервоні, рентгенівські, лазерні, поляризаційні та інші, а силові – на іонні, електронні (растрові та тунельні) та магнітні [6–7]. Нетрадиційні методи поєднують різні процеси вимірювання та пристосовані або спеціально призначені для використання в мікроелектроніці.

Встановлено, що переважна більшість методів вимірювання є світловими, в яких реєстрація об'єкта виконується за допомогою фотоприймальних приладів, таких як фотолінійка та фотоматриця [8]. Світлові методи мають ряд переваг, таких як простота, надійність, відносно висока швидкість отримання результату, а також порівняно низька вартість. Обмеження, що існують для світлових мікроскопів при вимірюванні малих розмірів інтегральних мікросхем, зазвичай, пов'язують з обмеженням їх роздільної здатності (до 0,2 мкм) [9].

Для досягнення високої роздільної здатності об'єкта, що вимірюється в світлових мікроскопах, використовуються об'єктиви з високою числовою апертурою. Але при цьому глибина різкості зменшується обернено пропорційно квадрату апертури, що формально призводить до "планаризації" вимірюваного об'єкта з малими розмірами. Перешкоди, що ускладнюють вимірювання розмірів, пов'язані з самим об'єктом та доповнюються перешкодами, що обумовлені світловим мікроскопом навіть у межах його роздільної здатності.

Електронні методи [10, 11] вимірювання розмірів мікроскопічних об'єктів основані на хвильовому трактуванні потоку електронів, згідно з яким потік електронів певної енергії можна інтерпретувати як випромінювання з довжиною хвилі, що відповідає цій енергії. Підвищення кінетичної енергії електронів еквівалентне зменшенню довжини хвилі [12]. При цьому спостерігається збільшення роздільної здатності (яка в даний час наближається до 0,1 нм) [13]. Перевагами таких методів є великий діапазон збільшення (до 100000 і вище), велика глибина фокусування (~ 100 мкм), різноманіття режимів роботи і можливість отримання інформації про об'єкт у вигляді електричного сигналу, що дозволяє розробити високочутливі засоби вимірювань лінійних розмірів [1]. Проте, недоліками електронних методів є складність отримання тривимірних зображень поверхні, проведення вимірювань тільки в умовах вакууму, можливість пошкодження досліджуваної поверхні високоенергетичним сфокусованим пучком електронів.

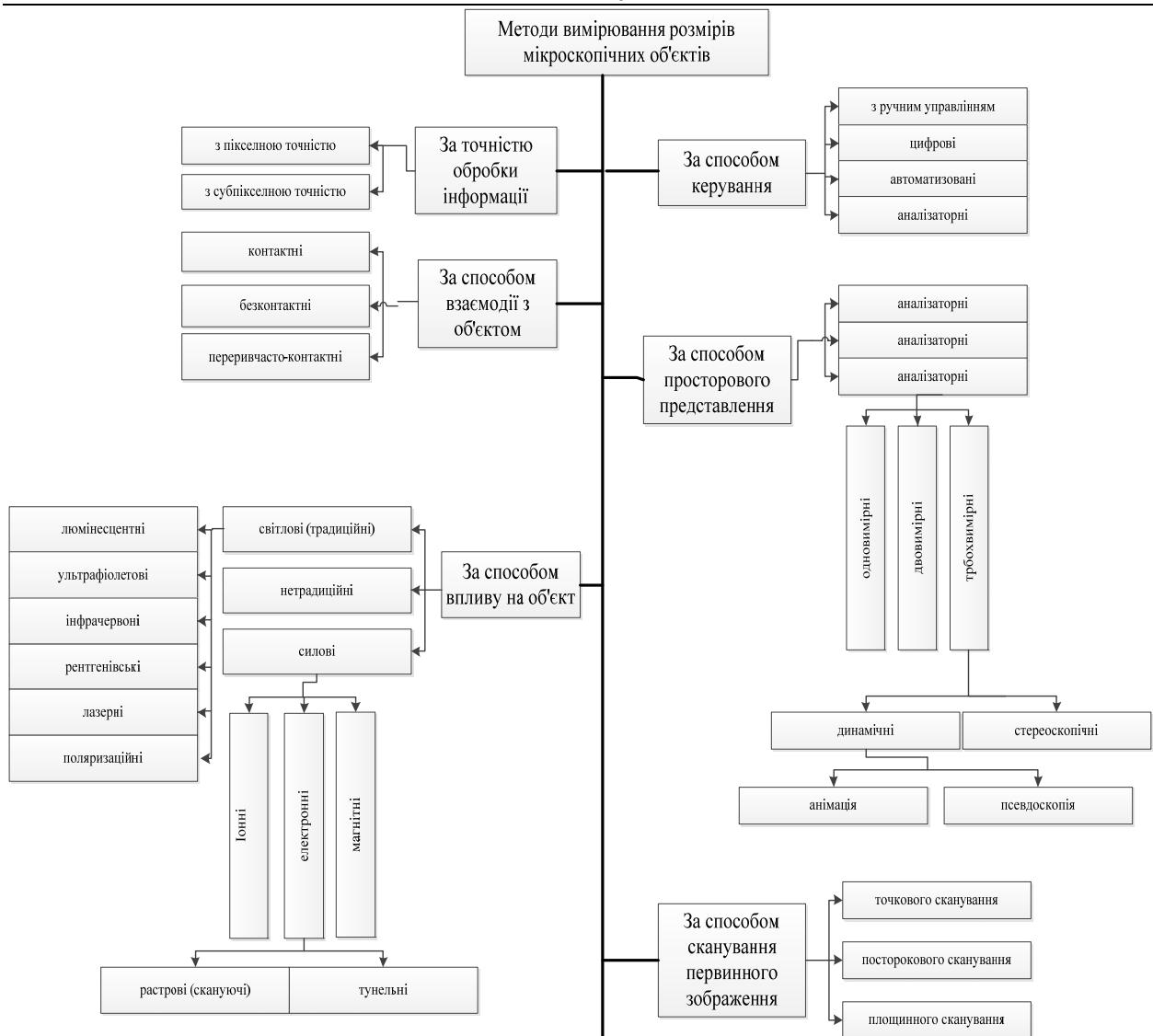


Рис.1. Класифікація методів вимірювання розмірів мікроскопічних об'єктів

Неспроможність усунути існуючі недоліки традиційними (світловими) методами призвела до появи принципово нових («нетрадиційних») методів вимірювань. На сьогодні отримали найбільш широке поширення серед інших нетрадиційних методів вимірювання розмірів мікроскопічних об'єктів вимірювальні прилади, що засновані на методі конфокальної лазерної скануючої мікроскопії (КЛІСМ). Термін "конфокальна" означає "софокусна" у площині, оптично сполучено з фокальною площиною об'єктива. Це дозволяє реєструвати сигнал лише від тонкого шару. Зразок у КЛІСМ сканується сфокусованим лазерним пучком. Характерними рисами, що вирізняють конфокальну лазерну скануючу мікроскопію з поміж інших різновидів мікроскопії, є її покращена просторова та часова роздільна здатність [14, 15]; високий рівень контрастності зображень; детальне дослідження визначеної ділянки препарату завдяки селективному опроміненню лазером [16]. Конфокальна мікроскопія дозволяє отримувати "оптичні зрізи" живих та фіксованих препаратів завтовшки до 100 мкм [17], проводити дослідження у діапазоні 400–759 нм [16, 17]. Фактично конфокальний мікроскоп спроможний виявити присутність окремої молекули [18]. Проте, незважаючи на покращену роздільну здатність (5–10 нм) конфокального мікроскопа, деталізація зображень, отриманих за допомогою електронного мікроскопа, чіткіша [19].

Наступними класифікаційними ознаками є здатність впливу на об'єкт, спосіб керування, способи просторового представлення, сканування первинного зображення, та точність обробки результату. Слід зауважити, що такий розподіл є досить умовним.

За способом взаємодії з об'єктом методи вимірювання розмірів поділяються на контактні, безконтактні та переривчасто-контактні. В порівнянні з контактними та переривчасто-контактними, безконтактні мають ряд переваг, основною з яких є те, що ці методи не взаємодіють з об'єктом, що виключає пошкодження його структури [2].

За способом керування методи вимірювання можна виділити: традиційні з ручним керуванням, цифрові, автоматизовані та аналізаторні. В традиційних методах з ручним керуванням відповідальність за умови нагляду, вибір об'єктів та результати аналізу в повній мірі покладається на лаборантів. Іншим видом є так звані «цифрові» методи, в яких зображення поля зору за допомогою відеокамери чи цифрового

фотоапарату передаються в комп'ютер та піддаються в ньому програмній обробці системами аналізу зображення.

Основне призначення автоматизованих методів – це автоматизація простих операцій, що повторюються. Проаналізовані методи дозволяють самостійно переміщувати та фокусувати препарат, обирати траєкторію перегляду залежно від розподілення біоматеріалу, контролювати якість освітлення та окраску, знаходити та записувати в базу даних зображення об'єктів заданих типів [20]. Таким чином розвиток методів вимірювання розмірів мікроскопічних об'єктів сприяє зменшенню ролі людини в процесі вимірювань, що забезпечує більшу точність отриманих результатів.

За способом просторового представлення об'єктів, що вимірюються розрізняють одновимірні, двохвимірні та трьохвимірні методи вимірювання розмірів мікроскопічних об'єктів. Найбільш поширені двохвимірні методи. Проте, з розвитком комп'ютерної техніки та програмного забезпечення все більшу роль займають трьохвимірні методи тому, що вони дають більше інформації про вимірюваний об'єкт [8].

За способом сканування первинного зображення методи вимірювання розмірів мікроскопічних об'єктів поділяють точкового, построкового та площинного сканування. Усі ці методи використовують обробку отриманих зображень з метою підвищення їх якості. Слід зазначити, що метод точкового сканування є найбільш інформативним. Проте, недоліком цього методу порівняно з методом построкового та площинного сканування є тривалий час обробки, оскільки сканується кожен піксель зображення. Важливим фактором в моменті дослідження об'єктів за допомогою методів вимірювання є подальша обробка, метою якої є підвищення контрасту, фільтрація та виділення контурів зображення. Для високоточного виділення контурів розрізняють методи вимірювання розмірів мікроскопічних об'єктів як з піксельною, так і з субпіксельною точністю. Субпіксельні методи забезпечують більш високу точність виділення границь та направлені на зменшення похибки, що складає менше половини ширини пікселя [21].

Висновки. На основі проведеного аналізу методів вимірювання розмірів мікроскопічних об'єктів запропоновано їх класифікацію, основними класифікаційними ознаками якої є: точність обробки результату, спосіб взаємодії з об'єктом, спосіб впливу на об'єкт, спосіб керування, спосіб просторового представлення та спосіб сканування первинного зображення. За основну ознаку обрано спосіб впливу на об'єкт, оскільки він зумовлює різноманітність існуючих методів та їх фізичні особливості.

Як видно з аналізу не існує ідеального методу для визначення розмірів в мікрометровому діапазоні, тому дана проблематика потребує вирішення. Одним із напрямків підвищення точності вимірювань є розробка не тільки методів вимірювання розмірів мікроскопічних об'єктів, але розробка та удосконалення існуючих методів для обробки отриманого зображення.

Література

1. Кузин А.Ю. Методы и средства измерений линейных размеров в нанометровом диапазоне [Електрон. ресурс] / Кузин А.Ю., Марютин В.Н., Календин В.В. – Режим доступу : <http://www.microsystems.ru>
2. Hamashima N. Optical measurements of half micron critical dimensions / Hamashima N., Kato K., Ishizeki T. – Ibid P. 92-99.
3. Binnig G. Tunneling through a controllable vacuum gap / Binnig G., Rohrer H., Gerber Ch., Weibel E. - A ppl. Phys. Lett. . – 1982. – V. 40. – N. P. 178–180.
4. Бинниг Г. Сканирующая туннельная микроскопия – от рождения к юности / Г. Бинниг, Г. Рорер // УФН. – 1988. – Т. 151. – № 2. – С. 261–278.
5. Маслова Н.С. Сканирующая туннельная микроскопия атомной структуры, электронных свойств и поверхностных химических реакций / Н.С. Маслова, В.И. Панов // УФН. – 1988. – Т. 157. – № 1. – С. 185–195.
6. Эдельман В.С. Развитие сканирующей туннельной и силовой микроскопии / Эдельман В.С. – ПТЭ. – 1991. – № 1. – С. 24–42.
7. Бухараев А.А. Диагностика поверхности с помощью сканирующей туннельной микроскопии / Бухараев А.А. – Заводская лаборатория. – 1994. – № 10. – С. 15–25.
8. Линейные измерения в субмикронном диапазоне / [Богданкевич О.В., Календин В.В., Кудяров Ю.А., Невзорова Л.Н.]. – Метрологическая служба в СССР. – 1987. – Вып. 3. – С. 31–35.
9. Nyussonen D. – Opt. Soc. Amer. – 1982. – V. 72. – № 10. – 1425 p.
10. Измерение малых длин на основе РЭМ / [О.В. Богданкевич, Ж. Желкобаев, В.В. Календин та ін.] // Измерительная техника. – 1985. – № 11. – С. 31–33.
11. Невзорова Л.Н. Поверхность. Физика, химия, механика / Невзорова Л.Н., Петров В.И., Щитов Н.И. – 1982. – № 11.
12. Шклярський В.І. Сканувальна телевізійна оптична мікроскопія: теорія та практика : [монографія] / Шклярський В.І. – Вид-во Львівської політехніки. – 2010. – 456 с.
13. Васильев С.И. Сканирующая туннельная и атомно-силовая микроскопия поверхности в метрологии / С.И. Васильев, В.М. Мостепаненко, В.И. Панов // Измерительная техника. – 1990. – № 1. – С. 9–22.
14. Robert H.W. Confocal optical microscopy / Robert H.W. — Rep. Prog.Phys. — 1996. — 59. P. 427—471.

15. Rowland R.E. Confocal microscopy opens the door to 3-dimensional analysis of cells / Rowland R.E., Nickless E.M. – Bioscene. – 2000. – 26(3). – P. 1–7.
16. Verveer P.J. A comparison of image restoration approaches applied to three-dimensional confocal and widefield fluorescence microscopy / Verveer P.J., Gemkow M.J., Jovin T.M. – J.Microscopy. – 1999. – 193. – P. 50–61.
17. Claxon N.S. Laser scanning confocal microscopy / Claxon N.S., Fellers T.J., Davidson M.W. – Olympus Fluoview Resource Center. – National High Magnetic Field Laboratory. – Retrieved on 2007-07-25.
18. Peternam E.A. Single molecule spectroscopy and microscopy for biomedical motors / Peternam E.A., Sosa H., Moerner W.Ю – Ann. Rev. Phys. Chem. – 2004. – 55. – P. 79–96.
19. Pawley J. Fundamental limits in confocal microscopy/ Pawley J. – Handbook of biological confocal microscopy. – New York: Plenum Press. – 1995. – P. 19.
20. Дюков В.Г. Растровая оптическая микроскопия / В.Г. Дюков, Ю.А. Кудеяров. – М. : Наука. – 1992. – 208 с.
21. Кондратов В.Т. Визуализация в метрологии: урони, напрвления, цели, задачи, методы и программное обеспечение/ В.Т. Кондратов // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах, 2001. – №1. – С. 7–22.

Надійшла 5.9.2011 р.

УДК 539.234

Б.П. ЯЦИШИН, Н.І. ДОМАНЦЕВИЧ
Львівська комерційна академія

ОПТИМІЗАЦІЯ ФІЗИКО-ТЕХНІЧНИХ КРИТЕРІЇВ ЗІ СТВОРЕННЯ МІКРОКРИСТАЛІЧНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ЧУТЛИВИХ ЕЛЕМЕНТІВ СЕНСОРНИХ ПРИСТРОЇВ

Створено модель та проведено розрахунки з математичного прогнозування умов формування тонких плівок тернарних систем. Розроблена модельна графіка дає змогу оцінити часові зміни фізичних характеристик конденсатів.

The diagrammatical model is created and the calculation from mathematical prediction of forming requirements of thin films ternary systems is produced. The designed model graph enables to estimate changes of physical properties of condensates.

Ключові слова: тонкі плівки, термоелектрорушійна сила, часова стабільність.

Вступ. Для створення тонкопліткових матеріалів, які визначаються структурою та фізичними характеристиками, необхідними для використання та експлуатації, першочергово застосовуються методи математичного моделювання, з допомогою яких визначаються найбільш перспективні для досліджень склади та умови формування конденсатів. Отримані таким чином математичні моделі також використовуються як джерело інформації, необхідної для створення систем оптимального управління процесом “випаровування–конденсації”, і можуть застосовуватись для різних технологічних методів отримання конденсатів (дискретне випаровування сплавів, узгоджене випаровування тощо).

Методика досліджень. Технологічний процес отримання тонких плівок інтерметалідів та формування наноструктур на їх основі має низку особливостей щодо проведення моделювання, а саме: недостатній рівень автоматизації, відсутність засобів і методів оперативного контролю формування структур, дискретно-неперервний характер технологічних процесів, що призводять до утворення великої кількості різновидів структур, складність спостереження за зміною параметрів процесу “випаровування–конденсації” та перетворень “аморфна–кристалічна фаза”. Вибір самої математичної моделі визначається, з одного боку, обмеженнями, які накладаються концентраційним складом матеріалу, з іншого боку – низькою інформативністю пасивних статистичних методів дослідження технологічних особливостей формування структури конденсатів.

Виходячи із перспективності матеріалів тернарних систем рідкісноземельний (або 5-*d*) метал-перехідний метал-германій (R-M-Ge, де R: Sc, Y, La, Hf; M: Fe, Co, Ni) в якості термоелектричних перетворювачів, були додатково встановлені основні параметри тонкопліткового матеріалу, які визначали якісні характеристики первинного перетворювача, а саме – термо-е.р.с. – y_1 та часова стабільність – y_2 . Діапазони змін параметрів технологічних процесів визначався з літературних джерел та експериментально [1, 2]. При цьому було встановлено, що найбільш значущими факторами, що найсуттєвіше впливають на фізичні властивості РЗМ, є концентрація металу (x_1), швидкість росту (x_2) та температура підкладки під час конденсації (x_3).

Число проведених досліджень зі встановлення взаємозв'язку технологічних параметрів та фізичних характеристик зразків визначали згідно з ортогональним планом другого порядку Бокса-Вілсона [3].

Результати досліджень. При знаходженні оптимальної області значень факторів визначались умови планування експерименту [5, 6]. Факторний експеримент здійснювався з використанням 3-х змінних.

У табл. 1 наведено основні рівні та інтервали зміни досліджуваних незалежних величин x_1 , x_2 та x_3 при проведенні експерименту для створення нанокристалічних та мікротристалічних конденсатів R-M-Ge.

Таблиця 1

Умови планування експерименту

Фактори та основні рівні факторів	x_1 , (C, ваг. %)	x_2 , (v_p , нм/с)	x_3 , (T, K)
Зоряне плече (+ α) 1,650	55	27	750
Верхній рівень (+1)	50,0	25	650
Основний рівень, Z_{0r}	30	15	600
Нижній рівень (-1)	10	5	550
Зоряне плече (- α) 1,650	5	2	450

Створена на основі розрахунків матриця планування показує розкид значень факторів, які, відповідно до потреб досліджень, переведені у безрозмірні величини. Параметри оптимізації фізичних характеристик y_1 та y_2 відповідають дослідним натуральним значенням термо-е.р.с. – y_1 та часової стабільності – y_2 , відповідно. При цьому враховувались особливості вимірювання термо-е.р.с. плівкових зразків y_1 (за методикою, порівнюючи із зразковою платино-платинородієвою термодією [6, 7]) та визначення часової стабільності y_2 (за зміни питомого електроопору та контрольними електронно-мікроскопічними структурними [2, 8]) і проводилось їх експериментальне оцінювання. Для статистичного аналізу рівнянь регресії було поставлено по 2 паралельних дослідження у центрі плану. На основі отриманих даних були визначені значення \hat{y}_1 та \hat{y}_2 , розраховані за отриманими рівняннями регресії (табл. 2). Аналіз отриманих даних проводили за оцінкою однорідності дисперсії вимірювань, яку порівнювали з критерієм Кохрена, визначаючи середньоквадратичне відхилення експериментально отриманого параметра (Y_1 або Y_2):

$$S_i^2 = \frac{\sum_{m=1}^n (y_{im} - \hat{y}_i)^2}{n-1}, \quad (1)$$

де n – число паралельних дослідів (у нашому випадку воно дорівнює 2); y_i – середньоарифметичне значення, знайдене за значеннями параметра оптимізації у всіх точках. Однорідність дисперсій перевіряється за критерієм Кохрена, згідно якого:

$$G = \frac{S_{\max}^2}{\sum_{i=1}^m S_i^2} \leq G_{кр}. \quad (2)$$

Експериментальне значення величини $G = 0,3262$ є значно менше критичного значення, визначеного за довідниковими таблицями [4, 5], згідно з якими $G_{кр} = G_{0,05(1,16)} = 0,4709$. При такій постановці експерименту вважається, що дисперсія розкидів значень S_i^2 є достатньо однорідною.

$$S_e^2 = \frac{\sum_{i=1}^m S_i^2}{m} \quad (3)$$

$$S_e^2 = \sum 589,8424/16 = 36,8615 \text{ з числом ступенів свободи, що дорівнює} \quad (4)$$

$$f = m(n-1).$$

Таблиця 2

Матриця планування і результати дослідів (для мікротристалічних плівок)

№ з/п	X_1	X_2	X_3	Y_1	$Y_1 - \hat{y}_1$	Y_2	$Y_2 - \hat{y}_2$	$(Y_1 - \hat{y}_1)^2$	$(Y_2 - \hat{y}_2)^2$	S_i^2	S_e^2
1	+	+	+	-12	-5,13	2160	-1025	26,3169	105625		
2	-	+	+	-9	-2,13	3000	-185	4,5369	34225		
3	+	-	+	-8	-1,13	3500	315	1,2769	99225		
4	-	-	+	-7	-0,13	3200	15	0,0169	225		
5	+	+	-	-6	0,87	3100	-85	0,7569	7225		
6	-	+	-	-5	1,87	2900	-285	3,4969	81225		
7	+	-	-	-1	5,87	2800	-385	34,4569	148225		
8	-	-	-	3	9,87	2600	-585	93,5089	342225		
9	+1,650	0	0	-2	-4,87	3000	-185	23,7169	34225	589,8424	3958000
10	-1,650	0	0	7	13,87	3500	315	192,3769	99225		
11	0	+1,650	0	-5	1,87	3000	-185	3,4969	34225		
12	0	-1,650	0	-12	-5,13	2800	-385	26,3169	148225		
13	0	0	+1,650	-10	-3,13	3600	415	9,7969	172225		
14	0	0	-1,650	-13	-6,13	3800	615	37,5769	378225		
15	0	0	0	-15	-8,13	4000	815	66,0969	664225		
16	0	0	0	-15	-8,13	4000	815	66,0969	664225		
				Σ -110		Σ 50960		Σ 589,8424	Σ 3958000		
				$\hat{Y}_1 = -6,87$		$\hat{Y}_2 = 3185$		$S_e^2 = 36,86515$	$S_e^2 = 247375$		
								$G = 0,3262$	$G = 0,1678$		
								$G_{табл} = 0,4709$			

Встановлена можливість отримання допустимої відтворюваності дозволила розпочати розрахунки коефіцієнтів регресії, для чого були складені таблиці, які відображали пряму та корельовану взаємодію між досліджуваними величинами (табл. 3) та використали формули:

$$b_0 = \frac{\sum_{u=1}^N y_u}{N} = \bar{y}; \quad b_i = \frac{\sum_{u=1}^N x_{ui} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N x_{ui}^2}; \quad b_{ij} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{ui} \cdot x_{uj} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^N (x_{ui} \cdot x_{uj})^2}. \quad (5)$$

Дисперсію коефіцієнтів регресії знаходили за формулою:

$$S^2(b_i) = \frac{S_e^2}{\sum_{i=1}^m (x_i - \bar{x})^2} = \frac{S_e^2}{m} = 36,865/16 = 2,30 \quad (6)$$

Звідки $S(b_j) = 1,5179$, при $f_e = m(n-1) = 16(2-1) = 16$.

Коефіцієнти регресії для рівняння за термо-е.р.с. (\hat{y}_1) були визначені як:

$$b_1 = -23,85/13,445 = -1,773; \quad b_2 = 2,45/15,445 = 0,1586; \quad b_3 = -22,05/17,445 = -1,2639;$$

$$b_{11} = -0,125; \quad b_{22} = -0,875; \quad b_{33} = -0,125; \quad b_{12} = -5,1993; \quad b_{13} = -0,0022; \quad b_{23} = -1,4151; \quad b_0 = -26,03.$$

Відповідно рівняння регресії описувалось наступною формулою:

$$\hat{y}_1 = -26,03 - 1,773x_1 + 0,1586x_2 - 1,2639x_3 - 5,1993x_1 \cdot x_2 - 0,0022x_1 \cdot x_3 -$$

$$1,4151x_2 \cdot x_3 - 0,125x_1^2 - 0,875x_2^2 - 0,125x_3^2$$

Для спрощення вищеприведеного рівняння було перевірено значущість коефіцієнтів регресії за формулою відповідно до критерію Стьюдента (за t -критерієм)

$$t_i = \frac{b_j}{S(b)} \leq t_{кр} \quad (7)$$

Враховуючи, що величина $t_{кр} = 1,75$ (див. [4, 5]), можемо записати спрощене рівняння регресії.

$$\hat{y}_1 = -26,03 - 1,773x_1 - 5,1993x_1 \cdot x_2 - 1,4151x_2 \cdot x_3$$

Провівши аналогічні розрахунки за рівнянням часової стабільності (\hat{y}_2), знаходимо:

$$\hat{y}_2 = 3673,06 - 71,77x_1 + 381,35x_2 + 7,451x_3 + 116,62x_1 \cdot x_2 -$$

$$1267,17x_1 \cdot x_3 + 96,33x_2 \cdot x_3 - 142,5x_1^2 - 267,5x_2^2 - 555,0x_3^2.$$

Спростивши рівняння, аналогічно до вище наведеного та відкинувши неважливі коефіцієнти b_1, b_3, b_{12} , отримуємо рівняння регресії у вигляді:

$$\hat{y}_2 = 3673,06 + 381,35x_2 - 1267,17x_1 \cdot x_3 - 142,5x_1^2 - 267,5x_2^2 - 555,0x_3^2$$

Додатково проведена перевірка вибірових дисперсій за критерієм Кохрена підтвердила їх однорідність, а розрахунки за критерієм Фішера – адекватність рівнянь регресії.

Таблиця 3

Експериментальні дані для розрахунку коефіцієнтів регресії

№ точки	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁ X ₂	X ₂ X ₃	X ₁ X ₃	X ₁ ²	X ₂ ²	X ₃ ²	X ₁ Y ₁	X ₂ Y ₁	X ₃ Y ₁	X ₁ Y ₂	X ₂ Y ₂	X ₃ Y ₂	Y ₁	Y ₂
1	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-12	-12	-12	2160	2160	2160	-12	2160
2	-	+	+	-	+	-	+	+	+	9	-9	-9	-3000	3000	3000	-9	3000
3	+	-	+	-	-	+	+	+	+	-8	8	-8	3500	-3500	3500	-8	3500
4	-	-	+	+	-	-	+	+	+	7	7	-7	-3200	-3200	3200	-7	3200
5	+	+	-	+	-	-	+	+	+	-6	-6	6	3100	3100	-3100	-6	3100
6	-	+	-	-	-	+	+	+	+	5	-5	5	-2900	2900	-2900	-5	2900
7	+	-	-	-	+	-	+	+	+	-1	1	1	2800	-2800	-2800	-1	2800
8	-	-	-	+	+	+	+	+	+	-3	-3	-3	-2600	-2600	-2600	3	2600
9	+1,650	0	0	0	0	0	+2,7225	+	+	-3,3	-2	0	4950	3000	0	-2	3000
10	-1,650	0	0	0	0	0	+2,7225	+	+	-11,55	7	0	-5775	3500	0	7	3500
11	0	+1,650	0	0	0	0	0	+2,7225	+	0	-8,25	0	0	4950	0	-5	3000
12	0	-1,650	0	0	0	0	0	+2,7225	+	0	19,8	0	0	-4620	0	-12	2800
13	0	0	+1,650	0	0	0	0	0	+2,7225	0	0	-16,5	0	0	5940	-10	3600
14	0	0	-1,650	0	0	0	0	0	+2,7225	0	0	21,45	0	0	-6270	-13	3800
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-15	4000
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-15	4000
							13,445	15,445	17,445	-23,85	2,45	-22,05	-965	5890	130	Σ=-110	Σ50960
										-1,490	0,1531	-1,3778	-60,3	368,12	8,125	Ȳ ₁ =-6,87	Ȳ ₂ =3185

Для проведення аналізу отриманих рівнянь використовуємо деякі логічні аспекти складання рівнянь регресії та графічний апарат комп'ютерного математичного пакету Maple 7. Враховуючи, що всі коефіцієнти регресії по першому рівнянню переважно мають від'ємний знак, можемо однозначно вказати, що значення термо-е.р.с. збільшиться в разі зростання концентрації металевих компонентів (R+M). Водночас зростання цих факторів, відповідальних за зменшення термо-е.р.с., зумовлює зменшення параметра y_2 – часової стабільності, що вступає в конфлікт з роботоздатністю тонкоплівкового елемента в якості термоелектричного перетворювача. Це знаходить своє відображення у позитивних значеннях коефіцієнтів b_0 та b_2 в рівнянні регресії за параметром y_2 . Отже, для оптимізації процесу формування якості необхідно

розв'язувати так звану “компромісну” задачу – знаходження оптимального рішення для обох, взаємно протилежних параметрів.

Першим кроком дослідження рівнянь регресії є їх приведення до канонічної форми, тобто перехід до нової системи координат, що описує поверхню відклику.

Визначаємо нові значення координат центру поверхні відклику, використовуючи коефіцієнти із рівнянь регресії та координати центру поверхні відклику в старій системі:

$$\begin{cases} 2b_{11} \cdot x_{c1} + b_{12} \cdot x_{c2} + b_{13} \cdot x_{c3} + b_1 = 0 \\ 2b_{22} \cdot x_{c2} + b_{12} \cdot x_{c1} + b_{23} \cdot x_{c3} + b_2 = 0 \\ 2b_{33} \cdot x_{c3} + b_{13} \cdot x_{c1} + b_{23} \cdot x_{c2} + b_3 = 0 \end{cases} \quad (8)$$

> eqn1:=-0.2500*x-5.1993*y-0.0022*z=1.7730:

eqn2:=-5.1993*x-1.750*y+1.4151*z=-0.1586:

eqn3:=-0.0022*x+1.4151*y-0.2500*z=1.2639:

soln:=solve({-0.2500*x-5.1993*y-0.0022*z=1.7730,-5.1993*x-1.750*y+1.4151*z=-0.1586,-0.0022*x+1.4151*y-0.2500*z=1.2639},{x,y,z});

soln := {y = -2.587686030, x = -1.653086688, z = -6.505786637}

> eqn1:=-285.0*x+116.62*y-1267.17*z=71.77:

eqn2:=116.62*x-535.0*y+96.33*z=381.35:

eqn3:=-1267.17*x+96.33*y-1110.0*z=7.451:

soln:=solve({-285.0*x+116.62*y-1267.17*z=71.77,116.62*x-535.0*y+96.33*z=381.35,-1267.17*x+96.33*y-1110.0*z=7.451},{x,y,z});

soln := {x = .05861146556, y = -.7246064918, z = -.1365072380}

Отримуємо наступні значення нових координат центру поверхні відклику:

$X_1^c = -0,258$; $X_2^c = -1,653$; $X_3^c = -6,505$ (для \hat{y}_1)

$X_1^c = 0,058$; $X_2^c = -0,724$; $X_3^c = -0,136$ (для \hat{y}_2)

та параметрів Y_1 та Y_2 ($Y_1 = -40,0015$ та $Y_2 = 3256,06$).

У такому випадку канонічна форма рівняння буде мати вигляд:

$$\hat{Y}_1 - Y^c = B_{11} \cdot X_1^2 + B_{22} \cdot X_2^2 + B_{33} \cdot X_3^2 \quad (9)$$

де B_{ij} – коефіцієнти канонічного рівняння.

Розрахунок проводимо, використовуючи характеристичний детермінант та прирівнюючи його до нуля:

$$\begin{vmatrix} (b_{11} - B) & 0 & 0 & 0 \\ 0 & (b_{22} - B) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & (b_{33} - B) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix} = 0 \quad (10)$$

Отримані за методикою [3–5] та розраховані через Maple 7 канонічні рівняння другого порядку мають вигляд:

$$\hat{Y}_1 - 40,0015 = -3,2205 X_1^2 - 0,1240 X_2^2 + 2,21 X_3^2 \quad (11)$$

$$\hat{Y}_2 - 3256,06 = -1087,05 X_1^2 - 145,192 X_2^2 + 267,246 X_3^2 \quad (12)$$

Поверхня відклику задана рівняннями у графічній програмі

> plot3d(40.0015-3.2205*X^2-0.1240*Z^2, X=-30..40,Z=-60..70);

> plot3d(3256.06-1087.05*X^2-145.192*Z^2, X=-30..40,Z=-60..70);

та зображена на рис. 1 відповідає отриманим канонічним рівнянням.

Проведений аналіз поверхонь відклику виявив, що збільшення концентрації металу (вісь X_1) та збільшення швидкості (вісь X_2) призводять до початкового зростання термо-е.р.с. у певному концентраційному діапазоні та подальшого зменшення цієї величини.

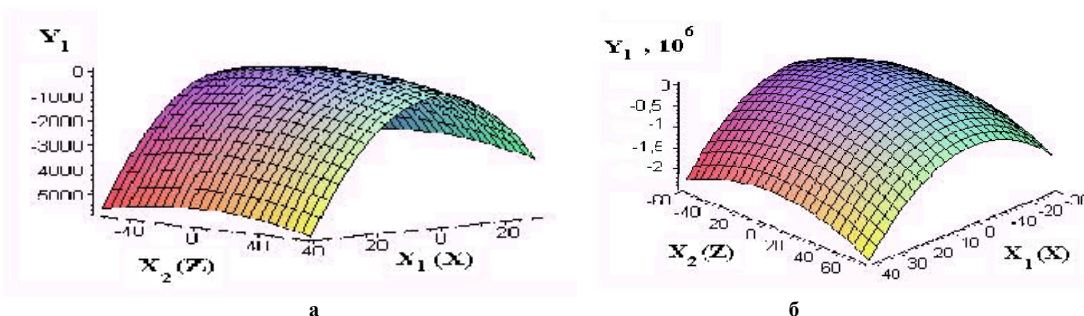


Рис. 1. Просторове зображення поверхні відклику канонічного рівняння другого порядку для визначальних параметрів по термо-е.р.с. Y_1 (а) та часовій стабільності Y_2 (б)

Однак, за результатами досліджень відомо, що збільшення вмісту металу в тонкоплівковій інтерметалічній системі неодмінно приводить до зниження термічної та часової стабільності матеріалу, який можна описати як “нанокристалічні або мікротристалічні утворення, розміщені в аморфній матриці”. Відповідно до канонічного рівняння з часової стабільності видно, що швидкість росту v_p (X_2) не впливає на

часову стабільність конденсату, що не узгоджується з результатами експериментальних спостережень і свідчить про доцільність використання регресивного аналізу для вироблення підходів щодо формування термічних та хронометрично стабільних мікрокристалічних матриць.

Оскільки вплив експериментальних факторів на параметри оптимізації доволі складний, то для вирішення цього питання вважається необхідним знайти розв'язок "компромісної задачі", застосовуючи аналітичний і графічний методи аналізу. Для цього складаємо систему рівнянь, використовуючи метод невизначених множників Лагранжа [3]:

$$\begin{cases} (b_{11} - \lambda)x_1 + 0,5b_{12}x_2 + 0,5b_{13}x_3 + 0,5b_1 = 0 \\ 0,5b_{21}x_1 + (b_{22} - \lambda)x_2 + 0,5b_{23}x_3 + 0,5b_2 = 0 \\ 0,5b_{31}x_1 + 0,5b_{32}x_2 + 0,5(b_{33} - \lambda)x_3 + 0,5b_3 = 0 \end{cases} \quad (13)$$

Рішення системи здійснюється за заданих значень множника Лагранжа λ , яке визначається згідно із параметром Хорля:

$$\lambda' = 2(B_{\max} - b_{kk}) = 2(2,21 + 0,125) = 4,67 \\ 4,67 \geq \lambda > 2,21$$

Підставляючи значення коефіцієнтів регресії та декількома різними значеннями множників Лагранжа λ (від 4,67 до 2,21) до системи рівнянь 13, розраховуємо значення x_1 та x_2 та визначаємо оптимальні технологічні режими (табл. 4, 5).

Таблиця 4

Значення параметрів оптимізації y_1 , вираховані для різних множників Лагранжа

№ з/п	λ	X_1	X_2	X_3	y_1
1	2,25	- 2,56	7,74	- 8,84	- 38,6297
2	2,5	- 1,87	1,55	- 0,65	- 10,605
3	3,0	- 0,32	0,56	- 0,74	-23,1765
4	3,5	- 0,23	0,32	- 0,47	-24,685
5	4,0	- 0,19	0,22	- 0,35	-24,9517
6	4,5	- 0,16	0,16	- 0,28	-25,2013

Таблиця 5

Значення параметрів оптимізації y_2 , вираховані для різних множників Лагранжа

№ з/п	λ	X_1	X_2	X_3	y_2
1	270	-0,29	0,38	-0,41	3257,82
2	370	0,29	0,40	0,27	3667,52
3	470	0,10	0,14	0,25	3637,73
4	570	0,06	0,08	0,22	3658,41
5	670	0,20	0,04	0,06	3652,23
6	770	0,18	0,05	0,03	3667,99

За даними розрахунків (табл. 4, 5) можна зауважити, що найбільш прийнятні значення експлуатаційних показників нанокристалічних та мікрокристалічних плівок R-M-Ge як датчиків (максимальний час експлуатації за помірних значень проникності) відповідають певній області концентрації компонентів та умовам отримання.

Проведені розрахунки дали змогу визначити оптимальні значення сумарної концентрації металевих компонент (R+M) та умов росту, які забезпечують найкращі фізичні та експлуатаційні властивості мікрокристалічних плівок і відповідають досягненню необхідного рівня якості первинного перетворювача. Розв'язання цієї „компромісної задачі” провели графічним методом. Для цього визначили кут обертання нової системи координат відносно старої для кожного із параметрів, використовуючи відомі тригонометричні рівняння.

Обчислення показали, що для рівняння (3.19) $\sin \varphi_1 = 0,4286$ та $\cos \varphi_2 = 0,5713$. Це відповідає кутам повороту $\varphi_1 = 25,37^\circ$ та $\varphi_2 = 56,15^\circ$. Для рівняння (3.20) $\sin \varphi_3 = 0,1344$ та $\cos \varphi_4 = 0,8656$. Це відповідає кутам повороту $\varphi_3 = 7,72^\circ$ та $\varphi_4 = 30,04^\circ$. Координати центру кожної з нових систем координат визначені за рівняннями 3.16 і наведені раніше.

Радіус сфери, яка обмежує область оптимальних значень параметрів оптимізації (R), визначали за даними табл. 4 за рівнянням:

$$R^2 = \sum_{i=1}^n X_i^2 \quad (14)$$

Тобто $R^2 = 144,6168$. Розраховане значення радіуса складає 12,0256.

$$X_1^c = -0,258; X_2^c = -1,653; X_3^c = - 6,505 \text{ (для } y_1)$$

та $X_1^c = 0,058$; $X_2^c = -0,724$; $X_3^c = -0,136$ (для y_2).

На рис. 2 наведено приклад розв'язання „компромисної задачі” графічним методом. Для цього в кожній системі координат побудовано двомірний переріз поверхні відклику за фіксованого бажаного значення параметра оптимізації.

Як можна бачити з наведеного рис. 2, перетин ліній, які відповідають цим перерізам, попадає всередину області оптимальних значень y_1 та y_2 . Цьому перетину відповідають такі координати: $x_1 = 0,5$, $x_2 = 0,5$. Тобто на основі математичного моделювання, дослідження поверхні відклику та зв'язання компромисної задачі оптимізовано склад та умови отримання тонкоплівкового мікрокристалічного матеріалу R-M-Ge, а саме – загальна концентрація металу в мікрокристалічній плівці, що характеризувалась максимально можливими параметрами по термо-е.р.с. та часовій стабільності, рівна $c = 40$ ат. % при дотриманні умов напильень – $v_p = 20$ нм/с (рис. 3).

Аналогічно визначені оптимальні значення концентрацій компонентів та умов отримання для аморфних плівок, які характеризувались максимальною стабільністю та позитивними значеннями термо-е.р.с., були $c = 22$ ат. % при $v_p = 5$ нм/с.

Висновки. Розроблена модельна графіка дає змогу оцінити часові зміни фізичних характеристик тонкоплівкових матеріалів у взаємозв'язку з концентраційними змінами складу конденсату, умовами його формування (через швидкість росту та температуру відпалу), що дозволило прогнозувати отримання нанорозмірного матеріалу із характеристиками придатними для створення високочутливих стабільних сенсорних пристроїв.

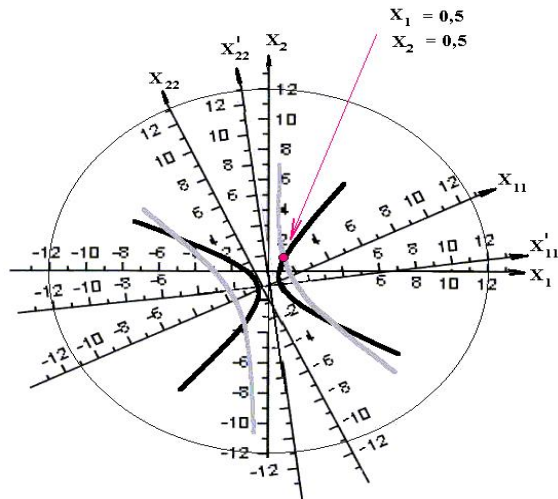


Рис. 2. Графічне рішення компромисної задачі для значень $y_1 = -24,9517$ та $y_2 = 3667,52$

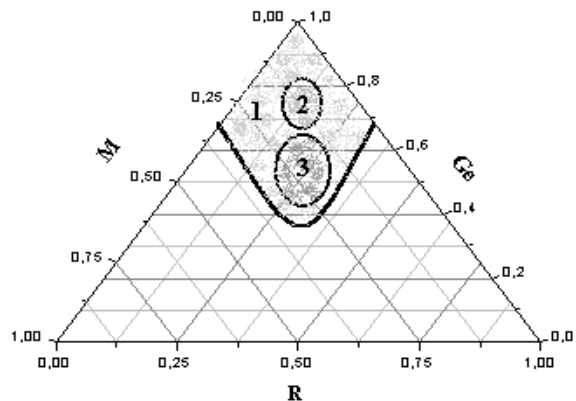


Рис. 3. Розміщення найбільш перспективних для досліджень концентраційних областей тонкоплівкових матеріалів R-M-Ge: 1 – загальна область; 2 – для аморфних конденсатів; 3 – для мікрокристалічних та нанокристалічних конденсатів

Література

1. Байцар Г. Вплив термодинамічних умов напильнення на властивості та кінетику кристалізації аморфних конденсатів Hf-(Fe, Co, Ni) – Ge / Г. Байцар, О. Миколайчик, Б. Яцишин // Фізика і хімія твердого тіла. – 2005. – Т. 6. – № 1. – С. 74–77.
2. Яцишин Б.П. Матеріали та технології формування аморфних та наноструктурних плівок на основі германідів РЗМ : [монографія] / Яцишин Б.П. – Львів : вид-во Львівської комерційної академії, 2008. – 336 с.
3. Рузинов Л.П. Статистические методы оптимизации химических процессов / Рузинов Л.П. – М. : Химия, 1972. – 200 с.
4. Рузинов Л.П. Планирование эксперимента в химии и химической технологии / Л.П. Рузинов, Р.И. Слободчикова. – М. : Химия, 1980. – 280 с.
5. Ашназарова С.Л. Методы оптимизации эксперимента в химической технологии / С.Л. Ашназарова, В.В. Кафаров. – М. : Высшая школа, 1985. – 328 с.
6. Точность контактных методов измерения температуры / [А.Н. Гордов, Я.В. Малков, Н.Н. Эргардт, Н.А. Ярышев]. – М. : Изд-во стандартов, 1976. – 232 с.
7. Методы измерения характеристик термоэлектрических материалов и преобразователей / [А.С. Охотин, А.С. Пушкарский, Р.П. Боровикова, В.А. Симонов]. – М. : Наука, 1974. – 166 с.
8. Структура, электропроводность и магнитные характеристики пленок РЗМ (Y, La, Sc)-Fe-Ge / [Яцишин Б. П., Миколайчук А. Г., Фреик Д. М. та ін.] // Изв. РАН. Неорган. матер. – 2009. – Т. 45. – № 3. – С. 1–6.

Надійшла 9.9.2011 р.

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ІМПУЛЬСНОГО НЕЙРОЕЛЕМЕНТА НА БІСПІН-ПРИЛАДІ

В статті розроблено математичну модель нейроелемента на біспін-приладі, яка, по-перше, дозволяє визначати не тільки частоту вихідних імпульсів, а і допустимий діапазон оптичних потужностей вхідних сигналів, а, по-друге, встановлює залежність не від зовнішніх (експлуатаційних) параметрів біспін-приладу, а від внутрішніх (технологічних) параметрів біспін-структури. Це дуже важливо при інтегральній реалізації масиву штучних нейронів, де на етапі проектування та виготовлення необхідно знати потрібні технологічні параметри напівпровідникових структур для досягнення заданих параметрів штучних нейронів.

The mathematical model of neuroelement, based on the bispin-device, is developed in the article. The model, firstly, allows to determine not only frequency of output pulses but also possible range of optical input signals, and, secondly, dependence establishes not on the external (operating) parameters of bispin-device, but on the internal (technological) parameters of bispin-structure. This is very important during VLSI realization of artificial neuron arrays, where on the stage of design and manufacturing it is necessary to know the necessary technological parameters of semiconductor structures for achievement of the preset parameters of artificial neurons.

Ключові слова: нейрон, математична модель, біспін-прилад, імпульсний нейроелемент, апаратна реалізація, нейронна мережа.

Вступ. Створення систем штучного інтелекту є надзвичайно актуальною задачею на сучасному етапі розвитку техніки та технології. Це дозволить розв'язувати такі складні задачі, як аналіз та розпізнавання великих об'ємів інформації, яка надходить від органів сприйняття; задачі пошуку оптимальних рішень за умови багатопараметричних вхідних даних; задачі планування та прогнозування за відсутності повної початкової інформації. Штучні нейронні мережі створюються зараз в більшості випадків у вигляді програм моделювання на універсальних комп'ютерах, рідше – у вигляді програмно-апаратних комплексів у складі універсальних комп'ютерів, а ще рідше – у вигляді апаратних реалізацій. Звісно, що надзавданням є створення апаратних реалізацій штучних нейронних мереж [1] з великою кількістю нейронів (в ідеалі ця кількість повинна наближатись до кількості нейронів у мозку людини – $(2...5) \times 10^{11}$), які можуть працювати автономно.

Постановка задачі. Для створення апаратних реалізацій штучних нейронних мереж з великою кількістю нейронів потрібно розробити якнайпростіші нейронні елементи – фізичні моделі біологічних нейронів. В роботі [2] було запропоновано варіант реалізації конструктивно простого нейронного елемента на біспін-приладі [3]. В [4] розроблено математичну модель цього нейроелемента, яка залежить від експлуатаційних (зовнішніх) параметрів біспін-приладу (ємність підкладки, порогова напруга і т.і.). В [5] цю математичну модель вдосконалено (враховано наявність періоду абсолютної рефрактерності та струму витоку з підкладки біспін-приладу). Але оскільки масив нейронних елементів потрібно виготовляти в інтегральному вигляді (електронна або оптоелектронна НВІС) [6], тому потрібно мати математичну модель нейроелемента, що встановлює залежність його вихідних характеристик від параметрів шарів напівпровідникової структури біспін-приладу (тобто від внутрішніх, технологічних параметрів), а не від його зовнішніх експлуатаційних параметрів. Наявність такої математичної моделі дозволить проектувати напівпровідникові структури масивів нейроелементів для їх виготовлення в інтегральному вигляді одразу із потрібними замовнику вихідними параметрами нейроелементів.

Мета цієї статті – розробка математичної моделі нейроелемента на біспін-приладі, яка встановлює залежність його вихідних характеристик від параметрів шарів напівпровідникової структури біспін-приладу (тобто від внутрішніх технологічних параметрів), а не від його зовнішніх експлуатаційних параметрів.

1. Сучасний стан математичного моделювання нейроелементів на біспін-приладі та шляхи його покращення

Схема нейроелемента на біспін-приладі, запропонована в [2], представлена на рис. 1.

Нейроелемент працює таким чином: перший фотодіод $VD1$ приймає всі збуджувальні вхідні оптичні сигнали (неперервні або імпульсні), а другий фотодіод $VD2$ приймає всі гальмівні сигнали. За умови неперервних вхідних сигналів сума всіх збуджувальних сигналів викликає пропорційний їм фотострум через перший фотодіод $VD1$, який заряджає ємність C_p підкладки біспін-приладу VE . Сума всіх гальмівних сигналів викликає пропорційний їм фотострум через другий фотодіод $VD2$, який витікає з підкладки біспін-приладу VE на загальну шину, розряджаючи ємність C_p підкладки біспін-приладу VE . При досягненні потенціалом на підкладці біспін-приладу VE порогової величини, запірний перехід біспін-приладу відкривається і заряд, накопичений в підкладці, починає через нього витікати, формуючи на резисторі навантаження R і світлодіоді $VD3$ вихідний імпульс. Частота імпульсів на резисторі навантаження R буде прямо пропорційна алгебраїчній сумі фотострумів через перший $VD1$ і другий $VD2$ фотодіоди. В разі імпульсних вхідних сигналів, збуджувальні імпульси, що надходять на перший фотодіод $VD1$, викликають

імпульси фотоструму через нього, які порціями заряджають ємність C_p підкладки біспін-приладу VE. А гальмівні імпульси порціями розряджають ємність підкладки біспін-приладу VE. Вихідний імпульс на резисторі навантаження R і світлодіоді VD3 сформується, коли потенціал підкладки біспін-приладу VE досягне порогового значення в результаті просторово-часового алгебраїчного підсумовування енергій вхідних імпульсів, які поступили на збуджувальні і гальмівні входи. Для зсуву діапазону вихідних частот в низькочастотну область можна підключити зовнішню ємність між підкладкою біспін-приладу і загальною шиною. Завдяки опору між омичним і запірним контактами біспін-приладу у відкритому стані порядки 1 кОм, резистор R у схемі не є обов'язковим. Нейронний елемент генерує послідовності імпульсів з частотою, пропорційною просторово-часовій алгебраїчній сумі збуджувальних і гальмівних сигналів. Амплітуда імпульсів при певній напрузі живлення постійна.

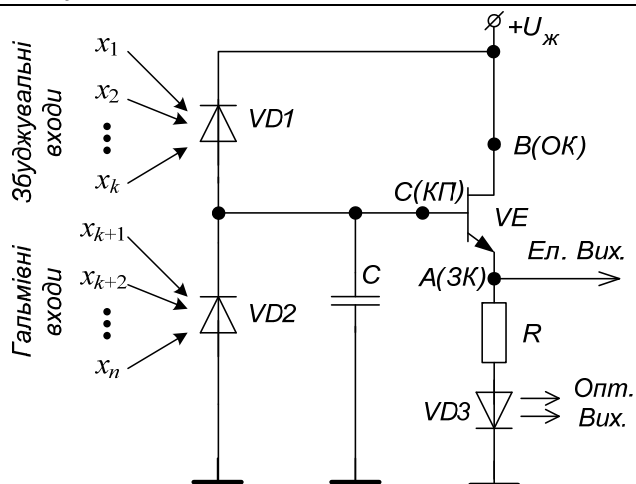


Рис. 1. Схема нейроелемента на основі біспін-приладу: VD1, VD2 – фотодіоди; VD3 – світлодіод; VE – біспін-прилад, ОК – омичний контакт, ЗК – запірний контакт, КП – контакт підкладки

Математична модель нейроелемента по рис. 1 вперше була розроблена в [4]:

$$\tau = \frac{C_p (U_{ж} - 0,35)}{S_{\phi 1} \cdot P_{зб} - S_{\phi 2} \cdot P_{гкм}} \quad (1)$$

де C_p – ємність підкладки біспін-приладу; $U_{ж}$ – напруга живлення схеми нейроелемента; $S_{\phi 1}, S_{\phi 2}$ – інтегральна чутливість фотодіодів VD1 і VD2 відповідно; $P_{зб}, P_{гкм}$ – оптична потужність на збуджувальному та гальмівному входах відповідно, τ – період вихідних імпульсів нейроелемента.

Потім математичну модель нейроелемента на біспін-приладі була вдосконалена в роботі [5], де було враховано наявність періоду абсолютної рефрактерності Δ^{abs} та струму витoku з підкладки біспін-приладу I_b :

$$\tau = \Delta^{abs} + \frac{C_p (U_{ж} - 0,35)}{S_{\phi 1} \cdot P_{зб} - S_{\phi 2} \cdot P_{гкм} - I_b} \quad (2)$$

Математична модель нейроелемента на біспін-приладі, розроблена в цій статті, відрізняється від моделей (1) [4] та (2) [5] тим, що встановлює залежність вихідних параметрів нейроелемента на біспін-приладі від параметрів шарів напівпровідникової структури біспін-приладу, а не від його зовнішніх експлуатаційних параметрів. Це суттєва відмінність і новизна, яка дозволяє визначати параметри напівпровідникових структур масивів нейроелементів при їх проектуванні та виготовленні в інтегральному вигляді залежно від потрібних замовнику вихідних параметрів нейроелементів.

З (1) та (2) видно, що математичні моделі, розроблені в [4, 5] є спрощеними, оскільки, по-перше, дозволяють визначати тільки період (частоту) вихідних імпульсів як функцію від вхідних сигналів, а, по-друге, встановлюють залежність періоду (частоти) вихідних імпульсів від зовнішніх (експлуатаційних) параметрів біспін-приладу. В даній статті цю математичну модель вдосконалено за двома напрямками:

удосконалена математична модель дозволяє визначати не тільки частоту вихідних імпульсів як функцію від вхідних сигналів, а і допустимий діапазон оптичних потужностей вхідних сигналів,

удосконалена математична модель залежить не від зовнішніх (експлуатаційних) параметрів біспін-приладу, а від внутрішніх (технологічних) параметрів біспін-структури (геометричні параметри шарів біспін-структури, концентрації домішок в напівпровідниках і т.п.). Це дуже важливо, оскільки передбачається інтегральна реалізація масиву штучних нейронів і необхідно на етапі проектування та виготовлення знати потрібні технологічні параметри напівпровідникової структури для досягнення заданих параметрів штучних нейронів.

2. Структура, принципи роботи та функціональні співвідношення біспін-приладу

Для розробки математичної моделі нейроелемента на основі біспін-приладу (схема на рис. 1), потрібно спочатку розглянути математичну модель самого біспін-приладу.

Даний нейроелемент визначає величину, пропорційну різниці суми збуджувальних сигналів та суми гальмівних сигналів, яка представляється частотою імпульсів на виході пристрою. Оскільки вихідним сигналом даного нейроелемента є частота вихідних імпульсів ($f_{вих}$), то оберемо для моделювання функціональну залежність

$$f_{вих} = F \left(\sum_{i=1}^k x_i - \sum_{j=k+1}^n x_j \right) \quad (3)$$

Як впливає з опису принципів роботи пристрою, якщо $\sum_{i=1}^k x_i < \sum_{j=k+1}^n x_j$, то струм заряду ємності C дорівнює нулю, і на виходах нейроелемента імпульси відсутні. Тому можемо записати

$$f_{\text{вих}} = \begin{cases} F\left(\sum_{i=1}^k x_i - \sum_{j=k+1}^n x_j\right), & \text{якщо } \sum_{i=1}^k x_i - \sum_{j=k+1}^n x_j > 0; \\ 0, & \text{якщо } \sum_{i=1}^k x_i - \sum_{j=k+1}^n x_j \leq 0. \end{cases} \quad (4)$$

Частота $f_{\text{вих}}$ є зворотною величиною до періоду T вихідних імпульсів, що генеруються нейроелементом. І цей період T складається з тривалості імпульсу τ_i і тривалості паузи τ_n (рис. 2):

$$T = \tau_i + \tau_n. \quad (5)$$

Крім того, математична модель цього нейроелемента повинна містити формули для визначення діапазону оптичних потужностей вхідних сигналів $P_{\text{min}} \dots P_{\text{max}}$.

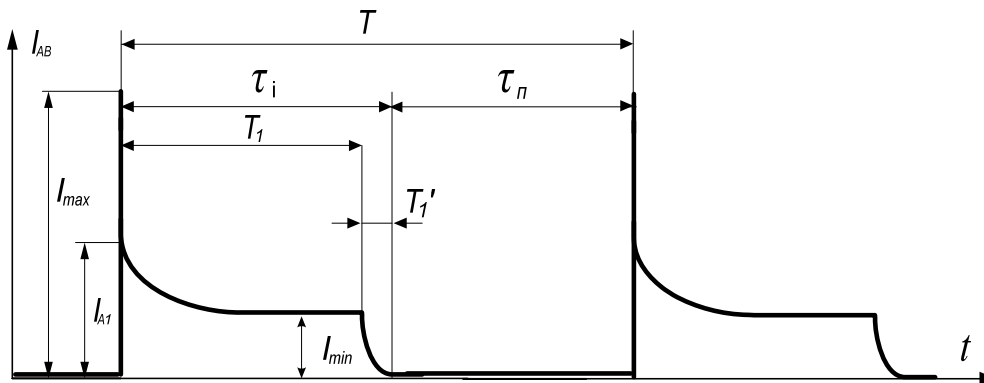


Рис. 2. Форма вихідних імпульсів біспін-приладу

Математичну модель цього нейроелемента побудовано на основі математичної моделі біспін-приладу, розробленої в роботі [7]. Там розглядається так званий транзисторний варіант біспін-структури, конструкція якої показана на рис. 3.

Біспін-прилад складається з розподіленого p^+ - n -переходу, утвореного епітаксiallyною плівкою кремнію n -типу, вирощеною на p^+ -підкладці, і контактів, два з яких («А» і «В») розташовані односторонньо щодо цього переходу на слабологованому n -шарі, а третій («С») – на сильнолегованій p^+ -області. У даному випадку контакт «А» виконаний у вигляді локального n^+ - p - n -транзистора, а контакти «В» і «С» – омичні.

Якщо до контактів «А» і «В» біспін-приладу прикласти різницю потенціалів так, щоб емітерний перехід транзистора був включений в пряму напрямі (мінус на контакті «А»), а потім її освітити, то в ньому (при певних комбінаціях напруги живлення і освітленості) виникає нестійкість, яка виявляється у вигляді імпульсів струму, що мають яскраво виражену релаксаційну форму зі сходиною на задньому фронті (див. рис. 2). Частота спостережуваних пульсацій струму в загальному випадку залежить від падаючого на структуру світлового потоку і напруги живлення. Крім того, контакт «С» може слугувати додатковим каналом управління частотою генерації.

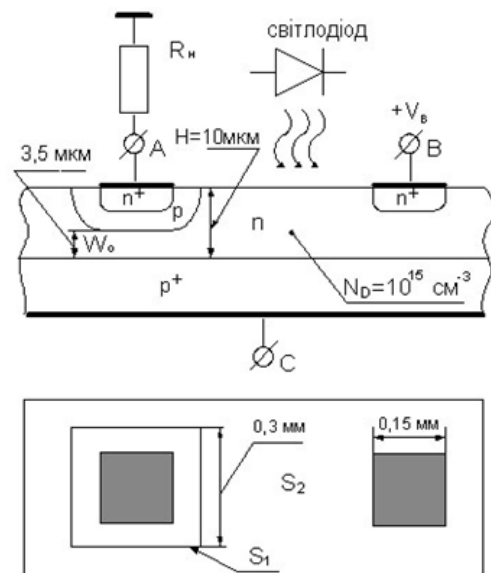


Рис. 3. Транзисторна біспін-структура

Пульсації струму через біспін-прилад можна спостерігати лише в обмеженій області значень напруги живлення і освітленості. Взагалі, біспін-прилад може знаходитися у трьох станах:

- 1) у стаціонарно закритому стані (струм між контактами А і В значно менший 1 мкА);
- 2) у стаціонарно відкритому стані (струм між контактами А і В – одиниці-десятки мА);
- 3) у стані пульсацій (струм між контактами А і В пульсує).

Період пульсацій і амплітуда імпульсів струму є немонотонними функціями напруги живлення структури. Діаграма станів біспін-приладу при різних значеннях напруги живлення (U_{AB}) і фотоструму (I_{ϕ}) або еквівалентного йому за дією струму, що надходить в підкладку біспін-приладу (I_C), показана на рис. 4.

До деякої мінімальної напруги V_{min} біспін-прилад може знаходитись лише в закритому стані (режим пульсації не виникає при будь-яких рівнях освітлення структури і струму в підкладку). Починаючи з V_{min} спостерігається режим пульсацій, причому, чим більша напруга живлення U_{AB} , тим ширший діапазон фотострумів $I_{\phi min} \dots I_{\phi max}$ (або струмів в підкладку $I_{C min} \dots I_{C max}$), при яких спостерігаються пульсації. При деякій характеристичній напрузі $V_{прг}$, яку названо пороговою, відбувається зміна режимів пульсації струмів (з вентиляного на фотодіодний). Ця напруга пов'язана з напругою перекриття $V_{пер}$, при якій відбувається змикання об'ємних зарядів колекторного переходу локального транзистора і розподіленого p^+-n -переходу під дією напруги живлення. У [7] показано, що порогова напруга дещо перевищує напругу перекриття.

Починаючи з напруги V_{max} біспін-прилад не має стаціонарно закритого стану. Це пов'язано з тим, що реальний зворотний струм розподіленого p^+-n -переходу, починаючи з цієї напруги живлення, стає більшим струму включення вертикальної структури тиристора $p^+-n-p-n^+$.

В [7] показано, що в стані пульсації можна виділити два режими, що відрізняються характером коливального процесу. Перший режим (вентильний) спостерігається в діапазоні напруги живлення від V_{min} до $V_{пер}$. В цьому випадку перемикання структури із зачиненого в провідний стан відбувається при прямому зсуві на p^+-n -переході. Другий режим (фотодіодний) розташовується в діапазоні напруг від $V_{прг}$ (яка дещо більша напруги $V_{пер}$) до $V_{пред}$, починаючи з якого прилад може знаходитись тільки в стаціонарно відкритому стані. В цьому випадку перемикання структури із замкненого в провідний стан відбувається при зворотному зсуві на p^+-n -переході.

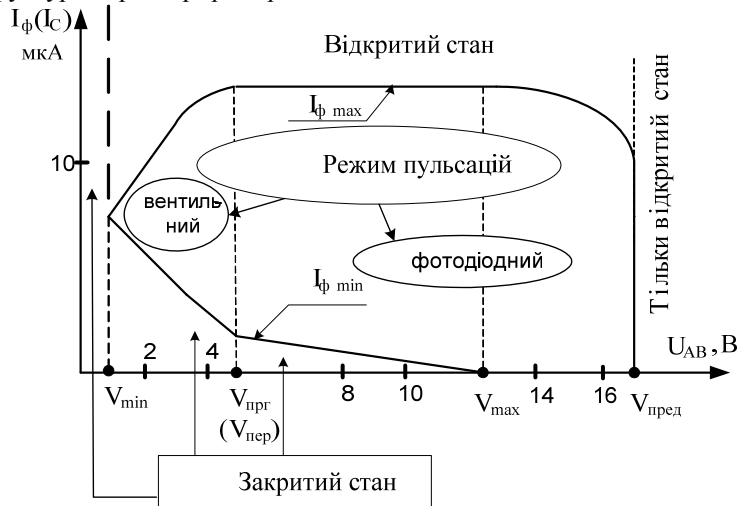


Рис. 4. Діаграма станів біспін-приладу

При вентиляльному режимі пульсацій (якщо $V_{min} < V_B < V_{пер}$) зачинений стан структури у відсутності освітлення характеризується тим, що локальний транзистор знаходиться в активному режимі, а розподілений p^+-n -перехід знаходиться практично в урівноваженому стані. При освітленні структури зачинений стан стає нестійким внаслідок дії позитивного зворотного зв'язку, суть якого (рис. 5) полягає в наступному.

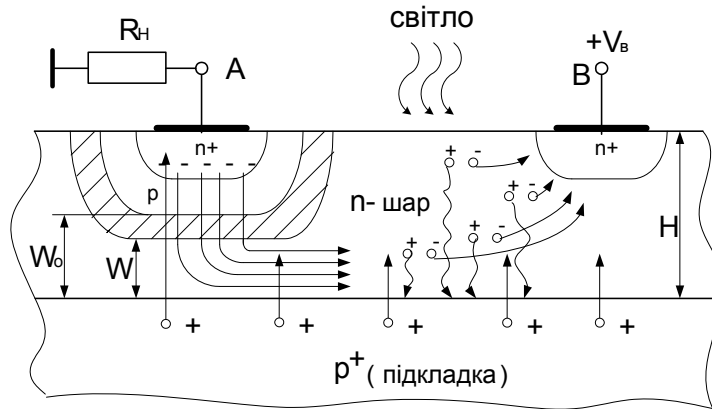


Рис. 5. Схема протікання струмів в біспін-приладі перед перемиканням його із зачиненого у відкритий стан

Електронно-діркові пари, що генеруються світлом, розділяються полем p^+-n -переходу і створюють на ньому прямий зсув. Завдяки цьому через p^+-n -перехід йде зустрічний потік дірок з p^+ -підкладки в n -плівку. Там, де над p^+-n -переходом розташована p -область транзисторної n^+-p-n -структури, дірки підхоплюються полем колекторного переходу транзистора і потрапляють в p -базу, тобто виконують роль базового струму. Відповідно, з'являється посилений в h_{21E} разів колекторний (електронний) струм, який, протікаючи уздовж n -області, створює перепад потенціалу і, отже, прямий зсув на p^+-n -переході виявляється неоднаковим: під транзисторною структурою позитивний зсув збільшується, а на решті частини – зменшується. Це приводить до перерозподілу прямого струму дірок (у стаціонарному стані він дорівнює первинному фотоструму I_{ϕ}) на користь «транзисторної» частини p^+-n -переходу. Це, у свою чергу, збільшує

потік електронів через транзистор і т.д. В результаті струм бази локального транзистора лавиноподібно наростає, транзистор входить в режим насичення, а біспін-прилад – в провідний стан. Після включення біспін-приладу всі три переходи структури по осі симетрії транзистора опиняються в прямому зсуві, і потенціал підкладки (відносно контакту «А») стає рівним $\approx 0,7$ В. Відповідно, «основна» (не «транзисторна») частина p^+ - n -переходу виявляється під зворотним зсувом, рівним $(V_B - 0,7) V$.

Розглянемо тепер ситуацію при $V_B > V_{\text{прг}}$. Оскільки напруга живлення більша напруги перекриття, то відбувається прокол n -бази вертикального тиристора. Внаслідок чого потенціальний бар'єр, що відокремлює дірки p^+ -підкладки від p -бази транзистора, виявляється нижчим рівноважного і автоматично підлаштовується під величину дірок, що поступають в підкладку. Поки струм дірок, що поступає в p -базу менший струму включення вертикального тиристора, плаваючий потенціал підкладки не перевищує величини $V_{\text{прг}}$. При цьому на «основній» частині p^+ - n -переходу зсув буде зворотним і рівним $(V_B - V_{\text{прг}})$. Відповідно весь струм $(I_{\phi} + I_{\text{звор}})$ (де $I_{\text{звор}}$ – зворотний струм переходу колектор-емітер локального транзистора, що протікає уздовж n -шару), що збирається розподіленим p^+ - n -переходом, починає протікати в прямому напрямі тільки через його «транзисторну» частину (I_1). У ланцюзі навантаження протікатиме струм $I_A = h_{21E} \cdot I_1$. Структура перемкнеться в провідний стан при досягненні струмом I_1 порогу включення ($I_{\text{вкл}}$). Відповідно пороговий фотострум $I_{\phi, \text{прг}}$ визначатиметься співвідношенням: $I_{\phi, \text{прг}} = I_{\text{вкл}} - I_{\text{звор}}(V_B)$. Оскільки із зростанням V_B зростає зворотний зсув на p^+ - n -переході і, отже, зворотний струм, то порогове значення фотоструму (при $V_B = V_{\text{max}}$) обертається, врешті-решт, в нуль. Здавалося б, що при $I_1 = I_{\text{вкл}}$ повинен виникнути звичайний позитивний тиристорний зворотний зв'язок за струмом, який приведе до включення тиристора. Проте, ця ситуація принципово відрізняється від тиристорної тим, що в біспін-приладі з n -бази тиристора є стік електронів через контакт «В». Тому механізм включення біспін-приладу при $V_B > V_{\text{прг}}$ тільки починається за сценарієм тиристора, а закінчується за тією ж моделлю, що і при вентиляльному режимі. Після включення структури напруга на тиристорі падає $V_{CA} = V_{\text{прг}}$ до напруги $V_{CA \text{ нас}} \approx 0,7$ В. Тобто, відкритий стан структури в цьому режимі якісно нічим не відрізняється від розглянутого раніше.

Уточнений критерій перемикання виглядає так: $(V_2 - V_1)_{\text{прг}} = m_2 kT/q$, де V_2 – зсув на основній частині розподіленого p^+ - n -переходу, а V_1 – на його транзисторній частині. Це має місце при фотострумі p^+ - n -переходу, рівному

$$I_{\phi, \text{прг}}(V_B) = \frac{I_0}{e} \left[\frac{m_2 kT \times N_D \times W}{q^2 R_K \times h_{21E} \times S_1 \times n_i^2 \times D_p} \right]^{m_1} + \frac{m_2 \times kT}{q \times h_{21E} \times R_K}, \quad (6)$$

де I_0, m_2 – емпіричні константи; m_1 – фактор недосконалості прямої гілки ВАХ «транзисторної» частини p^+ - n -переходу (для інжекційного струму); D_p – коефіцієнт дифузії дірок в n -плівці; W – товщина «підтранзисторного» n -шару, не охопленого областю просторового заряду (рис. 5); R_K – опір розтікання колектора; S_1 – площа «транзисторної» частини p^+ - n -переходу; N_D – концентрація домішок в епітаксильній плівці; q – заряд електрона; n_i – концентрація електронів (дірок) у власному напівпровіднику.

Це рівняння описує нижню порогову характеристику для вентиляльного режиму пульсацій (крива $I_{\phi \text{ min}}$ на діаграмі станів (рис. 4) для напруг, менших за $V_{\text{пер}}$.

Для інтервалу напруг, що відповідає фотодіодному режиму пульсацій ($V_{\text{прг}} \dots V_{\text{перед}}$ на діаграмі рис. 4), в замкненому стані біспін-приладу весь розподілений p^+ - n -перехід (за винятком «транзисторної» його частини) знаходиться під зворотним зсувом, тому весь збираний ним фотострум в сумі із зворотним струмом протікає через вертикальну структуру тиристора. Відповідно, рівняння порогової кривої (крива $I_{\phi \text{ min}}$ на діаграмі в діапазоні напруг $V_{\text{прг}} < V_B < V_{\text{max}}$) для фотодіодного режиму має вигляд

$$I_{\phi, \text{прг}}(V_B) = I_{\text{вкл. тиристор}} - I_{\text{звор}}(V_{BC} = V_B - V_{\text{прг}}) \quad (7)$$

де $I_{\text{вкл. тиристор}}$ – струм включення тиристорної структури; $I_{\text{звор}}$ – зворотний струм подовженого p - n -переходу.

Відкритий стан біспін-приладу має місце, коли локальний транзистор знаходиться в режимі насичення і одночасно перекиє в зсуві розподіленого p^+ - n -переходу перевищує величину $(m_2 kT/q)$. Якщо перекиє в зсуві розподіленого p^+ - n -переходу не перевищує цього значення, то незалежно від стану колекторного переходу локального транзистора, стаціонарний стан приладу є закритим.

У відкритому стані локальний транзистор насичений (принаймні в його центральній частині) і вихідна ВАХ структури визначається каналним фрагментом біспін-приладу. Дійсно, електрони, що інжектуються емітером, проходять активну базу транзистора і далі протікають під пасивною базою між

двох переходів (як в польовому транзисторі). При цьому вихідний струм ($I_A = I_K$), що є одночасно струмом стоку каналного фрагмента структури, управлятиметься базовим струмом транзистора. Чим більший прямиий зсув на центральній частині колекторного переходу, тим більший струм стоку. Для стаціонарно відкритого стану біспін-приладу існує мінімальне значення струму стоку (I_{Amin}) при кожній вихідній (для даного фрагмента) напрузі ($V_{c-n} - V_B - V_{нас}$, де $V_{нас}$ – напруга насичення транзистора). Ця мінімальна стокова характеристика описується виразом

$$I_{Amin}(V_{c-n}) = I_{Smin} - \frac{I_{Smin}}{V_{Smin}^2} [V_{c-n} - V_{Smin}]^2, \quad (8)$$

де I_{Smin} – мінімально можливий струм стоку насичення; V_{Smin} – мінімальне значення напруги насичення. Оскільки у відкритому стані біспін-структури весь фотострум розподіленого $p^+ - n$ -переходу спільно з його зворотним струмом надходить в базу транзистора, а мінімальний стоковий струм відповідає самому початку режиму насичення локального транзистора, то пороговий фотострум для вентиляного режиму (верхня порогова крива $I_{\phi max}$ на рис. 4 в зоні вентиляного режиму, тобто від V_{min} до $V_{прг}$) повинен бути меншим струму I_{Amin} в h_{21E} разів

$$I_{\phi, max}(V_B < V_{прг}) = (I_{Smin} / h_{21E}). \quad (9)$$

Для фотодіодного режиму каналний транзистор також буде знаходитися в насиченні, тобто $I_{Amin} = I_{Smin}$. Отже, рівняння верхньої порогової кривої (крива $I_{\phi max}$ на діаграмі станів в зоні фотодіодного режиму – рис. 4) матиме вигляд

$$I_{\phi, max}(V_B > V_{прг}) = (I_{Smin} / h_{21E}) - I_{звор}(V_{BC} = V_B - V_{прг}). \quad (10)$$

Протягом періоду T осциляції струму біспін-прилад частину часу проводить в провідному стані (τ_i – тривалість імпульсу), а частину – в замкненому (τ_n – тривалість паузи). Провідний стан, під час якого в навантаженні спостерігається імпульс струму (рис. 2), має три стадії розвитку.

Перша стадія пов'язана з лавиноподібним перемиканням структури із замкненого в провідний стан і супроводжується короткочасним (до 10 нс) сплеском струму I_{max} . Друга стадія провідного стану T_1 пов'язана з релаксацією нерівноважних носіїв заряду в обох базах вертикального тиристора до стаціонарної концентрації, що визначається з одного боку рекомбінацією, а з іншого – надходженням їх з підкладки за рахунок фотоструму і зворотного струму розподіленого переходу. Цей процес супроводжується зменшенням струму з I_{A1} до I_{min} . Третя, завершальна стадія провідної фази режиму пульсації T_1 , виникає, якщо стаціонарна концентрація дірок в базі транзистора виявляється нижчою мінімально можливою для підтримки режиму насичення локального транзистора. При цьому відбувається лавиноподібне замкнення «транзисторної» частини розподіленого $p^+ - n$ -переходу і припинення надходження в базу транзистора нових дірок. Дірки, що там залишилися, рекомбінують за час життя, підтримуючи протягом цього часу струм в зовнішньому ланцюзі. Це задній фронт імпульсу струму. Величини I_{max} , I_{A1} , I_{min} і τ_1 , значення яких зрозумілі з рис. 2, є основними параметрами вихідного імпульсу біспін-приладу. Всі вони можуть змінюватися залежно від освітленості, напруги живлення, опору навантаження і температури. У [7] показано, що струм I_A (див. рис. 2) є електронною складовою струму через транзистор у момент включення біспін-приладу. Цей струм залежить від напруги живлення. Суть цієї залежності полягає в такому. Після розряду бар'єрної ємності $p^+ - n$ -переходу струм дірок в базу транзистора різко скорочується і через структуру тече тільки електронний струм, величина якого лімітуватиметься каналними властивостями опору розтікання колектора. При цьому струм стоку каналного фрагмента структури визначатиметься напругою на стоці і величиною прямого зсуву центральної частини колекторного переходу транзистора. Останній є функцією інтегрального заряду дірок ΔQ , що поступили в базу транзистора через розряд бар'єрної ємності $p^+ - n$ -переходу.

У [7] показано, що в режимі пульсації самозамкнення приладу відбувається тоді, коли надмірна кількість дірок в базі транзистора знижується внаслідок рекомбінації до порогового значення ΔP_{min} . Тому для обчислення тривалості імпульсу струму було знайдено залежність $\Delta P(t)$ з вирішення нестационарного рівняння безперервності

$$\frac{d(\Delta P)}{dt} = \frac{\Delta P}{t_n} + \frac{I_{\phi} + I_{звор}}{q}. \quad (11)$$

Сама тривалість визначається співвідношенням

$$T_1 = t_n \times \ln \left\{ \frac{[\Delta P(0) - \Delta P_{стат.}]}{\Delta P_{min} - \Delta P_{стат.}} \right\}, \quad (12)$$

де $\Delta P(0)$ – початкова кількість дірок, що поступила в базу транзистора у момент включення

структури; t_n – час життя електронів в p -базі транзистора.

Аналіз цього співвідношення показує, що T_1 залежить як від зовнішніх чинників (від напруги живлення, освітленості, опору навантаження, зовнішньої ємності, температури), так і від внутрішніх параметрів біспін-структури (головним чином, від часу життя і від коефіцієнта передачі струму локального транзистора).

В [7] показано, що в залежності від режиму пульсацій, тривалість τ_n фази замкненого стану визначається по-різному. Процеси, що протікають в біспін-приладі у вентильному режимі пульсацій в період паузи між імпульсами струму, мають дві стадії. Протягом першої стадії (тривалістю T_2' – рис. 6) відбувається заряд бар'єрної ємності p^+ - n -переходу фотострумом від початкового (для замкненої фази) зворотного зсуву до рівноважного стану. Протягом другої стадії (тривалістю T_2'' – рис. 6) одночасно з процесом заряду бар'єрної ємності, що продовжується, йде її саморозряд через те, що на p^+ - n -переході з'явився прямий зсув. При цьому напруга на розподіленому переході асимптотично прагне до значення фотоЕРС. Включення біспін-приладу відбувається в мить, коли розрядний (прямий) струм цього переходу досягне порогового значення, що відбувається при пороговій напрузі $V_{\text{порог}}^+$. Тривалість паузи τ_n при цьому визначається сумою часу $T_2' + T_2''$, які визначаються співвідношеннями:

$$T_2' = \frac{S\sqrt{2\epsilon\epsilon_0 \cdot qN_D}}{I_\phi} \left[\sqrt{V_{03} + (V_B - V_{\text{САпоч}})} - \sqrt{V_{03}} \right], \quad (13)$$

де $V_{\text{САпоч}}$ – початкове для фази замкненого стану структури значення потенціалу підкладки, рівне, згідно експерименту, 1,3 В; $\epsilon\epsilon_0$ – діелектрична проникність (для кремнію – 1,05 пФ/см); V_{03} – контактна різниця потенціалів розподіленого p - n -переходу; S – площа p - n -переходу.

$$T_2'' = \int_0^{V_{\text{порог}}^+} \frac{S\sqrt{2\epsilon\epsilon_0 \cdot qN_D} \times dV}{\sqrt{2(V_{03} - V)} \times \left[I_\phi - I_0 \times \exp\left(\frac{qV}{m_2 \times kT}\right) \right]}. \quad (14)$$

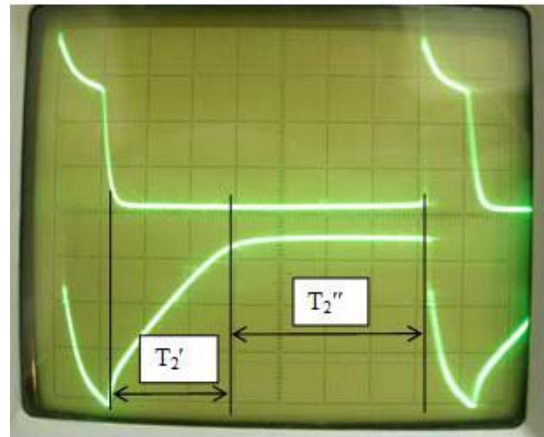


Рис. 6. Тривалість фази замкненого стану в біспін-приладі перед перемиканням його у відкритий стан (нижня осцилограмма показує зміну потенціалу підкладки)

У фотодіодному режимі під час паузи між імпульсами має місце тільки процес заряду бар'єрної ємності фотострумом. Тому тривалість паузи визначається тільки часом T_2'

$$\tau_n = T_2' = \frac{S\sqrt{2\epsilon\epsilon_0 \cdot qN_D}}{I_\phi} \left[\sqrt{V_{03} + (V_B - V_{\text{САпоч}})} - \sqrt{V_{03} + (V_B - V_{\text{прг}})} \right]. \quad (15)$$

3. Математична модель імпульсного нейроелемента на біспін-приладі

У [3, 7] показано, що фотострум I_ϕ , що виникає в подовженому p - n -переході біспіна, за своєю дією еквівалентний струму I_C , який інжектуються в підкладку (контакт КП) біспіна. У запропонованому нейроеlementі біспін-прилад безпосередньо не освітлюється, а використовується інжектування струму в його підкладку. Цей струм формується фотодіодами VD1–VD2 (див. рис. 1). Вираз для струму підкладки I_C можна записати так:

$$I_C = \begin{cases} S_{FD1} \sum_{i=1}^k x_i - S_{FD2} \sum_{j=k+1}^n x_j - I_{\text{Свит}} - I_{(C-A)T}, & \text{якщо } \left(\sum_{i=1}^k x_i - \sum_{j=k+1}^n x_j \right) > 0; \\ 0, & \text{якщо } \left(\sum_{i=1}^k x_i - \sum_{j=k+1}^n x_j \right) \leq 0; \end{cases} \quad (16)$$

де S_{VD1}, S_{VD2} – значення інтегральної чутливості фотодіодів відповідно VD1, VD2; $I_{\text{Свит}}$ – струм витоку ємності C ; $I_{(C-A)T}$ – темновий струм переходу підкладка-замикаючий контакт (C-A) біспін-приладу.

Струмами $I_{\text{Свит}}$, і $I_{(C-A)T}$ через їх незначну величину (одиниці наноампер і менше), в порівнянні з фотострумами фотодіодів VD1–VD2 (від десятих часток мкА до сотень мкА), можна знехтувати. При інтегральному виконанні фотодіодів VD1–VD2 на одному кристалі можна вважати, що $S_{VD1} = S_{VD2} = S_{FD}$. Тоді формула (16) переписеться

$$I_C^+ = \begin{cases} S_{FD} \left(\sum_{i=1}^k x_i - \sum_{j=k+1}^n x_j \right), & \text{якщо } \left(\sum_{i=1}^k x_i - \sum_{j=k+1}^n x_j \right) > 0; \\ 0, & \text{якщо } \left(\sum_{i=1}^k x_i - \sum_{j=k+1}^n x_j \right) \leq 0; \end{cases} \quad (17)$$

Для отримання математичного опису запропонованого нейроелемента у формулах (6)–(15) необхідно перейти від I_ϕ до I_C . З метою скорочення громіздкості формул для визначеності вважатимемо,

що $\left(\sum_{i=1}^k x_i - \sum_{j=k+1}^n x_j \right) > 0$ і будемо використовувати позначення $\left(\sum_{i=1}^k x_i - \sum_{j=k+1}^n x_j \right) = P_x$.

Тоді:

1) при **вентильному режимі роботи біспін-приладу** (що має місце при $U_{cc} < V_{\text{прг}}$) математична модель нейроелемента на біспін-приладі визначається такими співвідношеннями:

- мінімальна різниця оптичних потужностей збуджувальних та гальмівних входів, що фіксується пристроєм:

$$(P_x)_{\min} = \frac{I_0}{S_{FD} \times e} \left[\frac{m_2 k T \times N_D \times W(U_{cc})}{q^2 R_K \times h_{21E} \times S_1 \times n_i^2 \times D_p} \right]^{m_1} + \frac{m_2 \times k T}{S_{FD} \times q \times h_{21E} \times R_K} \quad (18)$$

- максимально допустима різниця оптичних потужностей збуджувальних та гальмівних входів, що фіксується пристроєм

$$(P_x)_{\max} = \frac{I_{S\min}}{S_{FD} \times h_{21E}}; \quad (19)$$

- частота вихідних імпульсів

$$f_{\text{вих}}(P_x) = \left[t_n \cdot \ln \left\{ \frac{[\Delta P(0) - \Delta P_{\text{стац.}}]}{\Delta P_{\min} - \Delta P_{\text{стац.}}} \right\} + \frac{S \sqrt{2 \varepsilon \varepsilon_0} \cdot q N_D}{S_{FD} \cdot P_x} \left[\sqrt{V_{03} + (U_{cc} - V_{C\text{Апоч.}})} - \sqrt{V_{03}} \right] + \int_0^{V_{\text{порог}}^+} \frac{S \sqrt{2 \varepsilon \varepsilon_0} \cdot q N_D \cdot dV}{\sqrt{2(V_{03} - V)} \cdot \left[S_{FD} P_x - I_0 \cdot \exp\left(\frac{qV}{m_2 \cdot kT}\right) \right]} \right]^{-1} \quad (20)$$

2) при **фотодіодному режимі роботи біспін-приладу** (що має місце при $V_{\text{прг}} < U_{cc} < V_{\text{пред}}$) математична модель нейроелемента на біспін-приладі визначається такими співвідношеннями:

- мінімальна різниця оптичних потужностей збуджувальних та гальмівних входів, що фіксується пристроєм

$$(P_x)_{\min} = \frac{I_{\text{вкл.тиристор}} - I_{\text{звор}}(U_{cc} - V_{\text{прг}})}{S_{FD}}; \quad (21)$$

- максимально допустима різниця оптичних потужностей збуджувальних та гальмівних входів, що фіксується пристроєм,

$$(P_x)_{\max} = \frac{I_{S\min}}{S_{FD} \times h_{21E}} - \frac{I_{\text{обр}}(U_{cc} - V_{\text{прг}})}{S_{FD}}; \quad (22)$$

- частота вихідних імпульсів:

$$f_{\text{вих}}(P_x) = \left[t_n \cdot \ln \left\{ \frac{[\Delta P(0) - \Delta P_{\text{стац.}}]}{\Delta P_{\min} - \Delta P_{\text{стац.}}} \right\} + \frac{S \sqrt{2 \varepsilon \varepsilon_0} \cdot q N_D}{S_{FD} P_x} \times \left[\sqrt{V_{03} + (U_{cc} - V_{C\text{Апоч.}})} - \sqrt{V_{03} + (U_{cc} - V_{\text{прг}})} \right] \right]^{-1} \quad (23)$$

Формули (18)–(23) і є математичною моделлю нейроелемента на біспін-приладі, яка встановлює залежність вихідних параметрів нейроелементу від внутрішніх (технологічних) параметрів його компонентів. Формули (18)–(19) та (21)–(22) задають допустимий діапазон вхідних оптичних потужностей, а формули (20) та (23) – залежність вихідної частоти нейроелемента від вхідних оптичних сигналів (відповідно для вентильного та фотодіодного режимів роботи біспін-приладу).

Висновки. В статті розроблено математичну модель нейроелемента на біспін-приладі, який виконує більшість функцій біологічного нейрона та є апаратно простим, що дозволяє реалізовувати на його основі штучні нейронні мережі з великою кількістю нейронів. Математичні моделі нейроелемента на біспін-приладі, розроблені раніше [4, 5], були спрощеними, оскільки, по-перше, дозволяли визначати тільки період

(частоту) вихідних імпульсів як функцію від вхідних сигналів, а, по-друге, встановлювали залежність періоду (частоти) вихідних імпульсів від зовнішніх (експлуатаційних) параметрів біспін-приладу. Розроблена в цій статті математична модель нейроелемента на біспін-приладі, по-перше, дозволяє визначати не тільки частоту вихідних імпульсів як функцію від вхідних сигналів, а і допустимий діапазон оптичних потужностей вхідних сигналів, а, по-друге, встановлює залежність не від зовнішніх (експлуатаційних) параметрів біспін-приладу, а від внутрішніх (технологічних) параметрів біспін-структури (геометричні параметри шарів біспін-структури, концентрації домішок в напівпровідниках і т.п.). Це дуже важливо при інтегральній реалізації масиву штучних нейронів, де на етапі проектування та виготовлення необхідно знати потрібні технологічні параметри напівпровідникової структури для досягнення заданих параметрів штучних нейронів.

Література

1. Галушкин А.И. Нейрокомпьютеры : [учебное пособие для вузов] / [под. общей ред. А.И. Галушкина]. – М. : ИПРЖР, 2000. – 528 с.
2. Пат. 22956 Україна, МПК G 06 F 7/50. Модель нейрона / Колесницький О.К., Кожем'яко В.П., Нізельський М.Б., Василецький С.А. – №97041757 ; заявлено 15.04.97 ; опубл. 30.06.98., Бюл. № 3.
3. Кнаб О.Д. Биспин – новый тип полупроводниковых приборов / О.Д. Кнаб // Электронная промышленность. – 1989. – № 8. – С. 8–14.
4. Василецький С.А. Математичне та комп'ютерне моделювання оптоелектронного частотно-динамічного нейронного елемента / С.А. Василецький, О.К. Колесницький // Оптоелектронні інформаційно-енергетичні технології. – 2001. – № 2. – С. 96–101.
5. Самра Муавия Хассан Хамо. Нейросетевые методы и средства распознавания газов для медицинской диагностики и экологического мониторинга : дис. ... канд. техн. наук / Самра Муавия Хассан Хамо. – 2008. – 150 с.
6. О. К. Kolesnytskyj, I. V. Bokotsey, S. S. Yaremchuk Optoelectronic Implementation of Pulsed Neurons and Neural Networks Using Bispin-Devices // Optical Memory & Neural Networks (Information Optics), 2010, Vol.19, №2, pp.154-165.
7. Лысенко А.П. Полупроводниковые приборы на основе явлений токовой неустойчивости в р-п-переходах и омических контактах малого размера : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра техн. наук : спец. 05.27.01 – «Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника на квантовых эффектах» / А. П. Лысенко. – Москва, 2001. – 396 с.

Надійшла 27.9.2011 р.

УДК 681.586.72

В.С. ОСАДЧУК, О.В. ОСАДЧУК, О.П. СТОВБЧАТА
Вінницький національний технічний університет

ПЕРЕТВОРЮВАЧ МАГНІТНОГО ПОЛЯ З ЧАСТОТНИМ ВИХОДОМ

Показано можливість прямого перетворення величини магнітного поля у частоту за допомогою автогенераторного пристрою, який побудований на основі біполярного двоколекторного магнітотранзистора, двозатворного МДН-транзистора, елемента Холла та індуктивності. Отримано залежності активної та реактивної складових повного опору від магнітної індукції, функцію перетворення та чутливість. Теоретичні та експериментальні дослідження показали, що найбільша чутливість перетворювача знаходиться в діапазоні магнітної індукції 0,15...0,4 Тл і складає 2,2...2,48 МГц / Тл.

The possibility to convert the value of magnetic field direct in the frequency using active based on double-collector bipolar magnetotransistor, double-gate MIS transistor, Hall-element and inductance oscillator is shown. The dependences of the active and reactive components of impedance on magnetic induction, transfer function and sensitivity are obtained. The theoretical and experimental studies showed that the greatest sensitivity of the transducer is in the range of magnetic induction 0,15...0,4 T and reaches 2,2...2,48 MHz / T.

Ключові слова: магнітне поле, магнітотранзистор, елемент Холла, частотний вихід, повний опір, функція перетворення, чутливість.

Вступ. Останнім часом поряд з іншими інноваціями в галузі сенсорної техніки значною динамікою характеризується розробка вимірювачів магнітного поля і магніточутливих мікросистем, оскільки за допомогою методів та пристроїв магнітних вимірювань розв'язується велика кількість задач, основними з яких є визначення магнітних величин, оцінка характеристик магнітних матеріалів, дослідження магнітного поля Землі та інших планет, вивчення фізико-хімічних властивостей матеріалів (магнітний аналіз), дослідження магнітних властивостей атома та атомного ядра, виявлення дефектів у виробках (магнітна дефектоскопія) і так далі [1, 2].

На сьогодні існує велика кількість різноманітних методів дослідження магнітного поля, однак

амплітудні перетворювачі не забезпечують високу точність та чутливість вимірювань. Тому серед вимірювальних перетворювачів перспективними є перетворювачі з частотним виходом, що базуються на реактивних властивостях напівпровідникових структур з від'ємним опором. Використання таких приладів дає можливість підвищити точність вимірювань, швидкодію, чутливість, покращити завадостійкість, відмовитись від використання аналогово-цифрових перетворювачів та підсилювальної апаратури [3–5].

Тому дана робота присвячена дослідженню основних параметрів та характеристик перетворювача магнітного поля з частотним виходом: повного опору, функції перетворення та чутливості.

Теоретичні та експериментальні дослідження. Електрична схема перетворювача магнітного поля з частотним виходом [6] зображена на рис. 1.

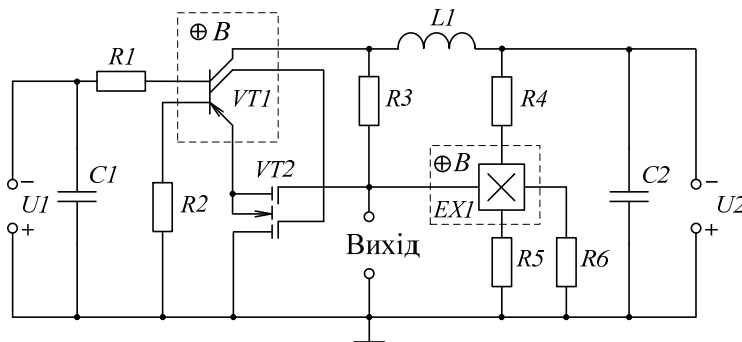


Рис. 1. Електрична схема перетворювача магнітного поля з частотним виходом

Перетворювач магнітного поля працює наступним чином. В початковий момент часу магнітна індукція не діє на біполярний двоколекторний магнітотчутливий транзистор $VT1$ та елемент Холла $EX1$. Підвищенням напруг джерел постійної напруги $U1$ і $U2$ досягається така їх величина, що на електродах перший колектор біполярного двоколекторного магнітотранзистора $VT1$ і стік двозатворного польового транзистора $VT2$ виникає від'ємний опір, який призводить до виникнення електричних коливальних контурів, який утворений паралельним включенням повного опору з ємнісною складовою на електродах перший колектор транзистора $VT1$ і стік двозатворного польового транзистора $VT2$ та повного опору з індуктивною складовою індуктивності $L1$.

За рахунок вибору постійної напруги живлення відбувається лінеаризація функції перетворення. Резистори $R1$ і $R2$ забезпечують стабільний режим живлення транзистора $VT1$ постійним струмом від джерела постійної напруги $U1$, а резистори $R4$ і $R5$ визначають режим живлення елемента Холла $EX1$ від джерела постійної напруги $U2$. Ємності $C1$ та $C2$ запобігають проходженню змінного струму через джерела постійної напруги $U1$ та $U2$ відповідно.

При наступній дії магнітної індукції на біполярний двоколекторний магнітотранзистор $VT1$ та елемент Холла $EX1$ змінюється напруга на транзисторі $VT1$, на першому і третьому електродах елемента Холла $EX1$ з'являється холлівська різниця потенціалів. Оскільки елемент Холла $EX1$ включений в колекторне коло транзистора $VT1$, то зміна напруги на елементі Холла $EX1$ залежно від резисторів $R3$ і $R6$ викликає додаткову зміну напруги на транзисторі $VT1$, внаслідок чого змінюється ємнісна складова повного опору на електродах перший колектор біполярного двоколекторного магнітотранзистора $VT1$ і стік двозатворного польового транзистора $VT2$, що викликає зміну резонансної частоти коливального контуру, яка є інформативним параметром для визначення магнітної індукції [6].

Для визначення функції перетворення та чутливості необхідно отримати залежності активної та реактивної складових повного опору перетворювача від магнітної індукції. З цією метою будемо нелінійну еквівалентну схему перетворювача для змінного струму (рис. 2).

В еквівалентній схемі використані наступні позначення: R_7 та R_8 – опори першої та другої бази біполярного двоколекторного магнітотчутливого транзистора $VT1$ відповідно; R_9 – опір між першою та другою базами транзистора $VT1$; R_{10} та R_{13} – опори першого та другого колектора транзистора $VT1$; R_{11} та R_{12} – опори емітера транзистора $VT1$; R_{14} – опір витоку двозатворного МДН-транзистора $VT2$; R_{15} – опір підкладки транзистора $VT2$; R_{16} , R_{19} та R_{20} – опори витоку-стоку транзистора $VT2$; R_{17} – опір витік – перший затвор транзистора $VT2$; R_{18} та R_{23} – опори першого та другого затворів транзистора $VT2$ відповідно; R_{21} – опір стоку транзистора $VT2$; R_{22} – опір стік – другий затвор транзистора $VT2$; R_{24} – опір котушки індуктивності $L1$; R_{25} – опір елемента Холла у напрямку виникнення ЕРС Холла; C_3 і C_6 – ємності між зовнішнім виводом першої бази та першого колектора, другої бази та другого колектора транзистора $VT1$ відповідно; C_4 і C_8 – ємності переходів перша база – перший колектор та друга база – другий колектор транзистора $VT1$ відповідно; C_5 і C_7 – ємності переходів перша база – емітер та друга база – емітер транзистора $VT1$ відповідно; C_9 – ємність підкладки – витік двозатворного польового

транзистора $VT2$; C_{10} та C_{11} – ємності підкладка – стік двозатворного МДН-транзистора $VT2$; C_{13} та C_{12} – ємності перший затвор – стік та другий затвор – стік транзистора $VT2$ відповідно; C_{14} – ємність затвор – витік транзистора $VT2$; C_{15} – ємність між першим та другим затвором транзистора $VT2$.

Перетворюємо еквівалентну схему (рис. 2) у зручну для подальших розрахунків форму (рис. 3).

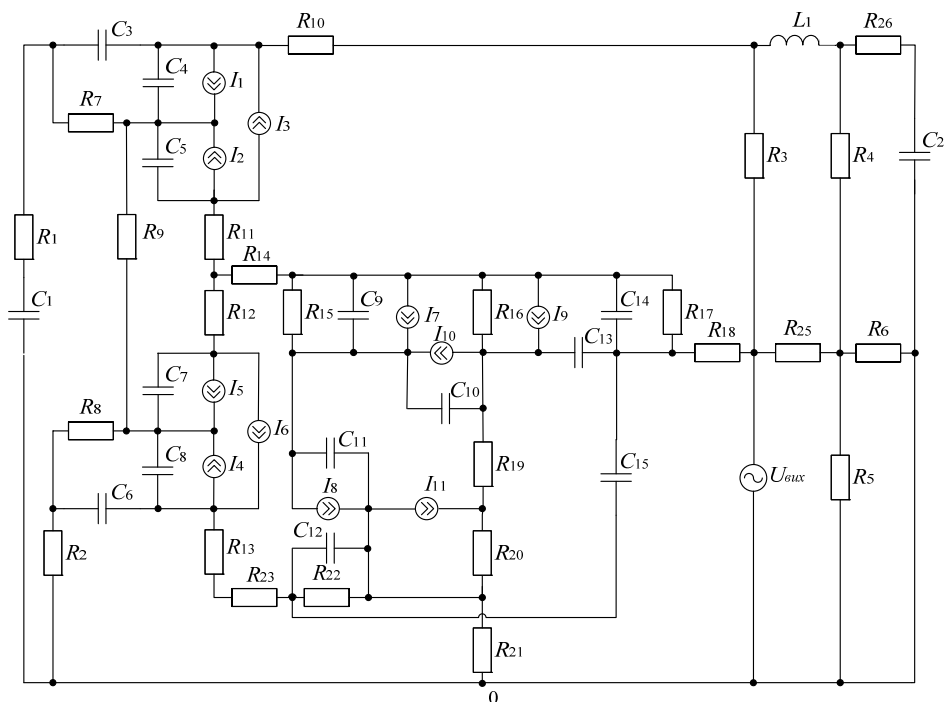


Рис. 2. Еквівалентна схема перетворювача магнітного поля з частотним виходом для змінного струму

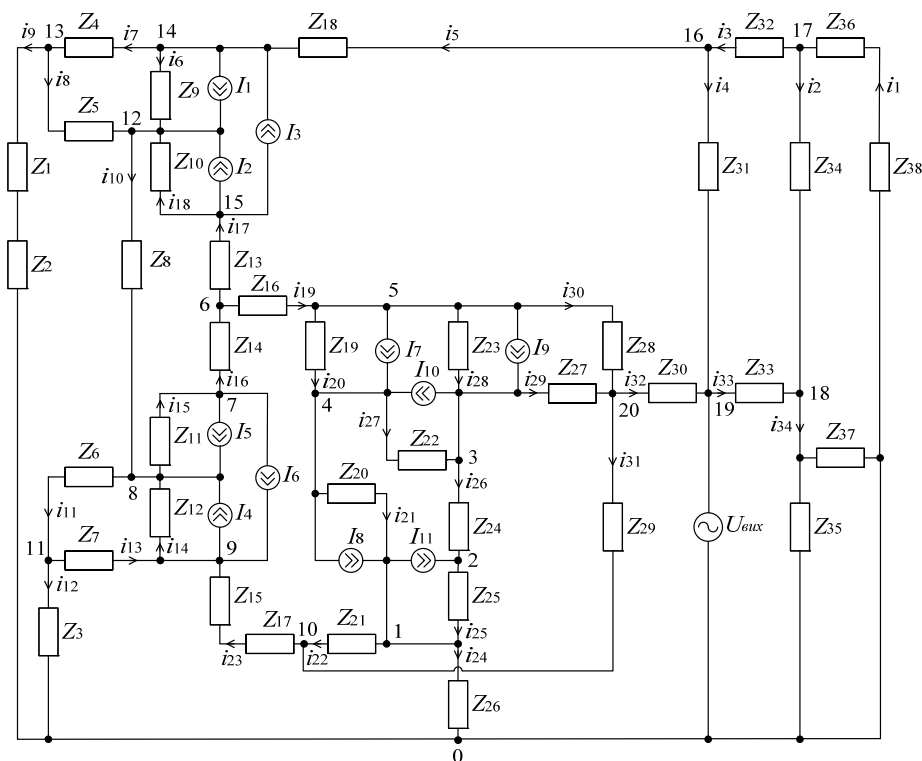


Рис. 3. Перетворена еквівалентна схема перетворювача магнітного поля з частотним виходом для змінного струму
У еквівалентній схемі (рис. 3) прийнято наступні позначення:

$$Z_1 = R_1, Z_2 = -\frac{j}{\omega C_1}, Z_3 = R_2, Z_4 = -\frac{j}{\omega C_3}, Z_5 = R_7, Z_6 = R_8, Z_7 = -\frac{j}{\omega C_6}, Z_8 = R_9, Z_9 = -\frac{j}{\omega C_4},$$

$$Z_{10} = -\frac{j}{\omega C_5}, Z_{11} = -\frac{j}{\omega C_7}, Z_{12} = -\frac{j}{\omega C_8}, Z_{13} = R_{11}, Z_{14} = R_{12}, Z_{15} = R_{13}, Z_{16} = R_{14}, Z_{17} = R_{23},$$

$$\begin{aligned}
Z_{18} &= R_{10}, \quad Z_{19} = \frac{R_{15}}{1 + \omega^2 R_{15}^2 C_9^2} - j \frac{R_{15}^2 \omega C_9}{1 + \omega^2 R_{15}^2 C_9^2}, \quad Z_{20} = -\frac{j}{\omega C_{11}}, \\
Z_{21} &= \frac{R_{22}}{1 + \omega^2 R_{22}^2 C_{12}^2} - j \frac{R_{22}^2 \omega C_{12}}{1 + \omega^2 R_{22}^2 C_{12}^2}, \quad Z_{22} = -\frac{j}{\omega C_{10}}, \quad Z_{23} = R_{16}, \quad Z_{24} = R_{19}, \quad Z_{25} = R_{20}, \quad Z_{26} = R_{21}, \\
Z_{27} &= -\frac{j}{\omega C_{13}}, \quad Z_{28} = \frac{R_{17}}{1 + \omega^2 R_{17}^2 C_{14}^2} - j \frac{R_{17}^2 \omega C_{14}}{1 + \omega^2 R_{17}^2 C_{14}^2}, \quad Z_{29} = -\frac{j}{\omega C_{15}}, \quad Z_{30} = R_{18}, \quad Z_{31} = R_3, \\
Z_{32} &= j\omega L_1, \quad Z_{33} = R_{25}, \quad Z_{34} = R_4, \quad Z_{35} = R_5, \quad Z_{36} = R_{26}, \quad Z_{37} = R_6, \quad Z_{38} = -\frac{j}{\omega C_2}.
\end{aligned}$$

Використовуючи метод вузлових потенціалів, запишемо систему рівнянь Кірхгофа для еквівалентної схеми (рис. 3). В якості базового вузла для розрахунку оберемо вузол 0. Тоді система рівнянь матиме вигляд

$$\left\{ \begin{aligned}
I_8 - I_{11} &= \varphi_1(y_{21} + y_{22} + y_{24} + y_{25}) - \varphi_2 y_{25} - \varphi_4 y_{21} - \varphi_{10} y_{22}; \\
I_{11} &= -\varphi_1 y_{25} + \varphi_2(y_{25} + y_{26}) - \varphi_3 y_{26}; \\
I_9 - I_{10} &= -\varphi_2 y_{26} + \varphi_3(y_{26} + y_{27} + y_{28} + y_{29}) - \varphi_4 y_{27} - \varphi_5 y_{28} - \varphi_{20} y_{29}; \\
I_7 - I_8 + I_{10} &= -\varphi_1 y_{21} - \varphi_3 y_{27} + \varphi_4(y_{20} + y_{21} + y_{27}) - \varphi_5 y_{20}; \\
-I_7 - I_9 &= -\varphi_3 y_{28} - \varphi_4 y_{20} + \varphi_5(y_{19} + y_{20} + y_{28} + y_{30}) - \varphi_6 y_{19} - \varphi_{19} y_{30}; \\
0 &= -\varphi_5 y_{19} + \varphi_6(y_{16} + y_{17} + y_{19}) - \varphi_7 y_{16} - \varphi_{15} y_{17}; \\
-I_5 - I_6 &= -\varphi_6 y_{16} + \varphi_7(y_{15} + y_{16}) - \varphi_8 y_{15}; \\
I_4 + I_5 &= -\varphi_7 y_{15} + \varphi_8(y_{10} + y_{11} + y_{14} + y_{15}) - \varphi_9 y_{14} - \varphi_{11} y_{11} - \varphi_{12} y_{10}; \\
I_6 - I_4 &= -\varphi_8 y_{14} + \varphi_9(y_{13} + y_{14} + y_{23}) - \varphi_{10} y_{23} - \varphi_{11} y_{13}; \\
0 &= -\varphi_1 y_{22} - \varphi_9 y_{23} + \varphi_{10}(y_{22} + y_{23} + y_{31}) - \varphi_{19} y_{31}; \\
0 &= -\varphi_8 y_{11} - \varphi_9 y_{13} + \varphi_{11}(y_{11} + y_{12} + y_{13}); \\
I_1 + I_2 &= -\varphi_8 y_{10} + \varphi_{12}(y_6 + y_8 + y_{10} + y_{18}) - \varphi_{13} y_8 - \varphi_{14} y_6 - \varphi_{15} y_{18}; \\
0 &= -\varphi_{12} y_8 + \varphi_{13}(y_7 + y_8 + y_9) - \varphi_{14} y_{17}; \\
I_3 - I_1 &= -\varphi_{12} y_6 - \varphi_{13} y_7 + \varphi_{14}(y_5 + y_6 + y_7) - \varphi_{16} y_5; \\
-I_2 - I_3 &= -\varphi_6 y_{17} - \varphi_{12} y_{18} + \varphi_{15}(y_{17} + y_{18}); \\
U_{вих} y_4 &= -\varphi_{14} y_5 + \varphi_{16}(y_3 + y_4 + y_5) - \varphi_{17} y_3; \\
0 &= -\varphi_{16} y_3 + \varphi_{17}(y_1 + y_2 + y_3) - \varphi_{18} y_2; \\
U_{вих} y_{33} &= -\varphi_{17} y_2 + \varphi_{18}(y_2 + y_{33} + y_{34}); \\
-U_{вих}(y_4 + y_{32} + y_{33}) &= -\varphi_{16} y_4 - \varphi_{18} y_{33} - \varphi_{20} y_{32}; \\
U_{вих} y_{32} &= -\varphi_3 y_{29} - \varphi_5 y_{30} - \varphi_{10} y_{31} + \varphi_{20}(y_{29} + y_{30} + y_{31} + y_{32}).
\end{aligned} \right. \quad (1)$$

Провідності віток у системі (1) визначаються за формулами:

$$\begin{aligned}
y_1 &= \frac{1}{Z_{36} + Z_{38}}, \quad y_2 = \frac{1}{Z_{34}}, \quad y_3 = \frac{1}{Z_{32}}, \quad y_4 = \frac{1}{Z_{31}}, \quad y_5 = \frac{1}{Z_{18}}, \quad y_6 = \frac{1}{Z_9}, \quad y_7 = \frac{1}{Z_4}, \quad y_8 = \frac{1}{Z_5}, \\
y_9 &= \frac{1}{Z_1 + Z_2}, \quad y_{10} = \frac{1}{Z_8}, \quad y_{11} = \frac{1}{Z_6}, \quad y_{12} = \frac{1}{Z_3}, \quad y_{13} = \frac{1}{Z_7}, \quad y_{14} = \frac{1}{Z_{12}}, \quad y_{15} = \frac{1}{Z_{11}}, \quad y_{16} = \frac{1}{Z_{14}}, \\
y_{17} &= \frac{1}{Z_{13}}, \quad y_{18} = \frac{1}{Z_{10}}, \quad y_{19} = \frac{1}{Z_{16}}, \quad y_{20} = \frac{1}{Z_{19}}, \quad y_{21} = \frac{1}{Z_{20}}, \quad y_{22} = \frac{1}{Z_{21}}, \quad y_{23} = \frac{1}{Z_{15} + Z_{17}}, \quad y_{24} = \frac{1}{Z_{26}}, \\
y_{25} &= \frac{1}{Z_{25}}, \quad y_{26} = \frac{1}{Z_{24}}, \quad y_{27} = \frac{1}{Z_{22}}, \quad y_{28} = \frac{1}{Z_{23}}, \quad y_{29} = \frac{1}{Z_{27}}, \quad y_{30} = \frac{1}{Z_{28}}, \quad y_{31} = \frac{1}{Z_{29}}, \quad y_{32} = \frac{1}{Z_{30}}, \\
y_{33} &= \frac{1}{Z_{33}}, \quad y_{34} = \frac{Z_{35} + Z_{37}}{Z_{35} \cdot Z_{37}}.
\end{aligned}$$

Шляхом розрахунку системи рівнянь (1) у системі Matlab 6.5 отримані залежності активної (рис. 4, а) та реактивної (рис. 4, б) складових повного опору від індукції магнітного поля. При розрахунку використано параметри типових електронних компонентів [7].

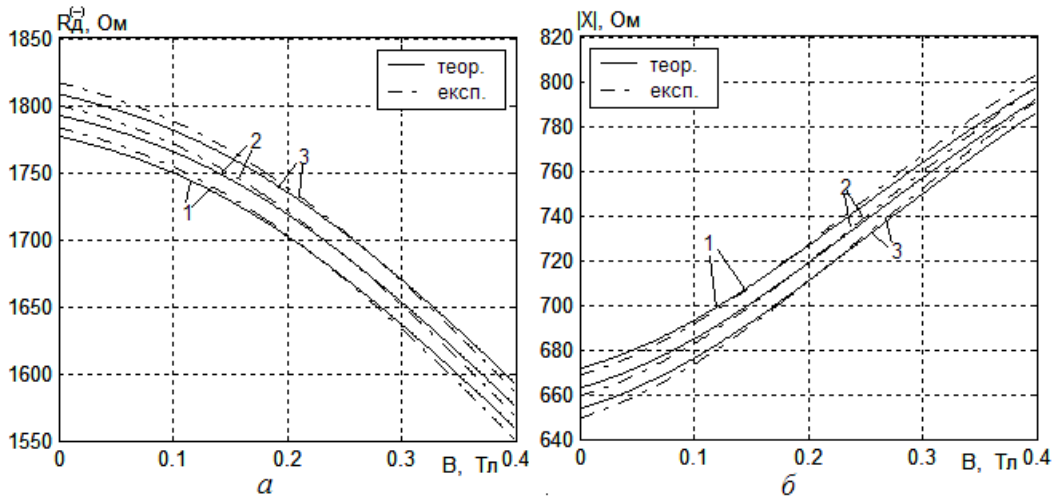


Рис. 4. Залежності активної (а) та реактивної (б) складових повного опору перетворювача від індукції магнітного поля при напрузі живлення $U_2 = 2,7$ В і при різних значеннях керуючої напруги: 1 – $U_1 = 1$ В; 2 – $U_1 = 2$ В; 3 – $U_1 = 3$ В

Отримавши на основі залежності реактивної складової повного опору від магнітної індукції залежність еквівалентної ємності та врахувавши від'ємний динамічний опір у вибраній робочій точці, можна визначити залежність резонансної частоти коливального контуру перетворювача магнітного поля з частотним виходом від магнітної індукції, яка розраховується за формулою [5]:

$$F_0 = \frac{1}{2\pi R_0^{(-)}(B) C_{екв}(B)} \sqrt{\frac{R_0^{(-)2}(B) C_{екв}(B)}{L} - 1}, \quad (2)$$

де $R_0^{(-)}$ – динамічний опір перетворювача магнітного поля з частотним виходом у вибрані робочій точці;

$C_{екв}$ – еквівалентна ємність коливального контуру перетворювача;

L – індуктивність.

На рис. 5, а зображено теоретичні, отримані шляхом розрахунку у системі Matlab 6.5, та експериментальні залежності частоти генерації перетворювача магнітного поля з частотним виходом від магнітної індукції, тобто його функція перетворення.

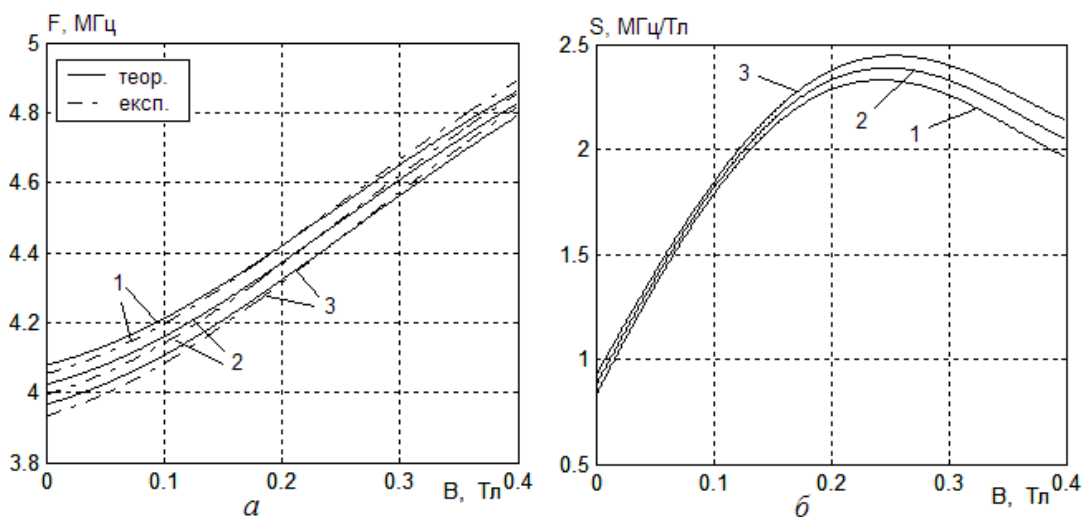


Рис. 5. Залежність резонансної частоти (а) та чутливості (б) перетворювача від індукції магнітного поля при напрузі живлення $U_2 = 2,7$ В і при різних значеннях керуючої напруги: 1 – $U_1 = 1$ В; 2 – $U_1 = 2$ В; 3 – $U_1 = 3$ В

Чутливість сенсора – один з важливих критеріїв, що визначають межі його застосування для тих чи інших потреб вимірювань. Чутливість характеризує зміну вихідної величини перетворювача при зміні параметрів, для визначення яких призначений сенсор. Абсолютна чутливість розраховується як похідна від функції перетворення за магнітною індукцією:

$$S_{B}^{F_0} = \frac{\partial F_0}{\partial B} = -\frac{1}{2\pi R_{\partial}^{(-)}(B)C_{екв}(B)} \left[\sqrt{\frac{R_{\partial}^{(-)2}(B)C_{екв}(B)}{L} - 1} \frac{\partial R_{\partial}^{(-)}(B)}{\partial B} + \frac{1}{C} \sqrt{\frac{R_{\partial}^{(-)2}(B)C_{екв}(B)}{L} - 1} \times \right. \\ \left. \times \frac{\partial C_{екв}(B)}{\partial B} - \left(2L \sqrt{\frac{R_{\partial}^{(-)2}(B)C_{екв}(B)}{L} - 1} \right)^{-1} \left(2R_{\partial}^{(-)}(B)C_{екв}(B) \frac{\partial R_{\partial}^{(-)}(B)}{\partial B} + R_{\partial}^{(-)2}(B) \frac{\partial C_{екв}(B)}{\partial B} \right) \right] \quad (3)$$

На рис. 5, б зображено залежності чутливості перетворювача магнітного поля від магнітної індукції. Як бачимо, оптимальною є керуюча напруга $U_1 = 3$ В, оскільки при цьому її значенні чутливість найбільша. Максимальна чутливість розробленого перетворювача магнітного поля з частотним виходом при напрузі живлення $U_2 = 2,7$ В та напрузі керування $U_1 = 3$ В знаходиться в діапазоні магнітної індукції 0,15...0,4 Тл і складає 2,2...2,48 МГц/Тл.

Висновок. Розроблено перетворювач магнітного поля з частотним виходом, що являє собою автогенераторний пристрій, побудований на основі біполярного двоколекторного магнітотранзистора, двозатворного МДН-транзистора, елемента Холла та індуктивності, проведено дослідження параметрів перетворювача. Отримано залежності активної та реактивної складових повного опору від магнітної індукції, функцію перетворення та чутливість. Теоретичні та експериментальні дослідження показали, що найбільша чутливість перетворювача знаходиться в діапазоні магнітної індукції 0,15...0,4 Тл і складає 2,2...2,48 МГц/Тл.

Література

1. Мікроелектронні сенсори фізичних величин : науково-навчальне видання в 3-х т. / [Вуйцік В., Готра З.Ю., Григор'єв В.В. та ін.]; за ред. З.Ю. Готри. – Львів : Ліга-Прес, 2003. – Т. 2. – 2003. – 595 с.
2. Клаассен К.Б. Основы измерений. Электронные методы и приборы в измерительной технике / Клаассен Б.; [пер. с англ.]. – М. : Постмаркет, 2000. – 352 с.
3. Новицький П.В. Цифровые приборы с частотными датчиками / Новицький П.В., Кноринг В.Г., Гутников В.С. – Л. : Энергия, 1970. – 424 с.
4. Осадчук В.С. Напівпровідникові перетворювачі інформації : [навчальний посібник] / В.С. Осадчук, О.В. Осадчук – Вінниця : ВНТУ, 2004. – 208 с.
5. Осадчук В.С. Сенсори тиску і магнітного поля : [монографія] / В.С. Осадчук, О.В. Осадчук. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. – 207 с.
6. Пат. 59007 Україна, МПК H01L29/82, H01L 43/00, G01R 33/06. Мікроелектронний пристрій для виміру магнітної індукції / Осадчук В.С., Осадчук О.В., Стовбчата О.П. ; заявник і патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – №u201015634 ; заявл. 24.12.2010 ; опубл. 26.04.2011, Бюл №8.
7. Разевиг В.Д. Применение программ P-CAD и PSpice для схемотехнического моделирования на ПЭВМ : в 4 выпусках / Разевиг В.Д. – М. : Радио и связь, 1992. – Вып. 2. – 72 с.

Надійшла 8.9.2011 р.

УДК 621.376.6

А.А. ОВЧАРУК, П.О. ГАВРАСИЄНКО, В.В. КИЧАК
Вінницький національний технічний університет

ФАЗОВИЙ АНАЛОГОВО-ЦИФРОВИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ НВЧ ДІАПАЗОНУ

У статті запропоновано фазовий аналогово-цифровий перетворювач для надвисокочастотного діапазону хвиль, який створюється на основі смужкових ліній. Проведено аналіз залежності цифрового коду на виході даного перетворювача від початкової фази вхідного сигналу.

In this paper phase analog-digital converter for microwave wavelength range, which is based on strip lines is considered. The analysis of digital code depending on the output of the transducer from the initial phase of the input signal is conducted.

Ключові слова: аналогово-цифровий перетворювач, смужкові лінії, фаза сигналу.

Вступ. Протягом останніх років спостерігається загальна тенденція розвитку радіотехніки та зв'язку, спрямована на перехід від аналогової до цифрової обробки сигналів. Стрімкий розвиток мікроелектронної цифрової і аналогово-цифрової елементної бази та поява нових компонентів змінюють структуру радіотехнічного тракту, а саме ті частини радіотехнічних пристроїв і систем, які традиційно реалізовувались на базі аналогових методів обробки, будуються на базі цифрової обробки сигналів. Таким чином, відбувається проникнення цифрової методології обробки сигналів у радіотехнічні вузли, які раніше

вважалися виключно аналоговими, тобто спостерігається наближення ЦОС до лінійного тракту (хвилеводів, антен, коаксіальних кабелів). Разом з тим, в царині обробки високочастотних сигналів перехід до цифрової методології оброблення є складною проблемою, оскільки сучасні радіотехнічні системи та пристрої функціонують в діапазоні надвисоких частот, використовуючи складні види широкосмугової модуляції. При цьому висуваються особливі вимоги до продуктивності засобів оброблення сигналів. Тому методи та засоби цифрової обробки сигналів на рівні вторинного оброблення в радіотехнічних телекомунікаційних системах та пристроях ефективно використовуються протягом останніх кількох десятиріч.

Аналогово-цифрові перетворювачі (АЦП) є ключовими елементами комп'ютерних та радіотехнічних систем. Але їх реалізація в діапазоні НВЧ хвиль супроводжується деякими проблемами, що спричиняються особливістю поширення даних хвиль у провідниках. Як відомо НВЧ хвилі [1] поширюються не лише у самому провіднику (кабелі чи смужковій лінії) але і у просторі навколо нього, що в кінцевому результаті зумовлює необхідність враховування геометричних розмірів смужкових ліній. Також через необхідність дискретизації сигналу в АЦП виникає проблеми створення частоти вищої ніж частота вхідного сигналу, та обробка результатів дискретизації з такою частотою.

Постановка задачі. Метою даного дослідження є розробка фазового аналогово-цифрового перетворювача для діапазону НВЧ на базі смужкових ліній передачі для реалізувати безпосереднє оброблення сигналів безпосередньо на частоті-носії, що дозволить знизити втрати інформативності прийнятих сигналів.

Основний матеріал. Одним із шляхів підвищення граничної частоти перетворюваних сигналів є перенесення їх спектра у смугу надвисоких частот (НВЧ). У радіотехнічних системах такі перетворення можна здійснити за допомогою амплітудної, частотної чи фазової модуляції сигналу носійної частоти. Такі методи оброблення сигналів набули особливого значення після того, як з'явилися транзистори з граничними частотами $10 \div 25$ ГГц.

У роботі пропонується швидкодіючий АЦП з обробленням сигналів на базі фазової модуляції [2]. Структура АЦП побудована на базі конвеєрної організації кодування.

При виконанні будь-яких схем для НВЧ діапазону необхідно враховувати геометричні розміри смужкових ліній. Хвилі НВЧ діапазону мають довжину хвилі λ_0 співрозмірну з довжиною друкованих провідників (від 1 до 10 см).

На рис. 1 зображено схема блоку компарації вхідного сигналу і опорного коливання.

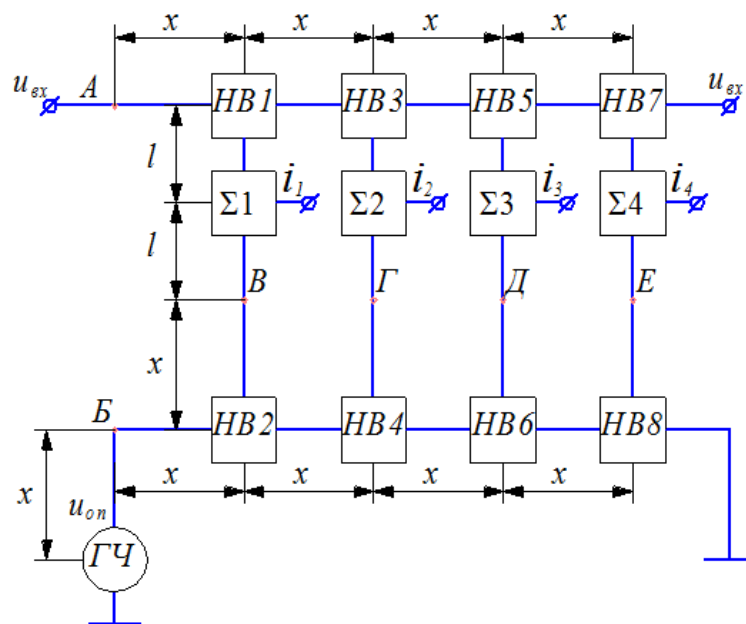


Рис. 1. Блок компарації вхідного сигналу і опорного коливання

Запропонована схема забезпечує вимірювання фази вхідного сигналу у точці А. Принцип роботи схеми ґрунтується на порівнянні фази вхідного сигналу $u_{вх}$ у точках відгалуження з фазою опорного коливання $u_{оп}$ у точках В, Г, Д, Е.

Напрявлені відгалужувачі НВ1, НВ3, НВ5 та НВ7 забезпечують відділення сигналу у точках лінії з кроком x (м) (при цьому враховується і довжина лінії у самому відгалужувачі). Так як крок вимірювання фази при 2-х розрядах АЦП складає 90° , то відстань x обирається виходячи з формули [3]:

$$x = n\lambda_{ef} + \frac{\lambda_{ef}}{4}, \quad (1)$$

де n – ціле число, $n = 1, 2, 3, \dots$;

λ_{ef} – ефективна довжина хвилі [1, 3], визначається за формулою:

$$\lambda_{ef} = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\varepsilon_{ef}}},$$

де ε_{ef} – ефективна діелектрична проникність смужкової лінії (залежить від матеріалу підкладки і параметрів лінії [1]);

λ_0 – довжина хвилі у вакуумі, визначається за формулою [1, 3]:

$$\lambda_0 = \frac{c}{f},$$

де c – швидкість світла в вакуумі;

f – частота сигналу.

Якщо відстань x визначається за формулою (1), а фаза сигналу u_{ex} в точці A рівна φ_0 , то у вторинній лінії відгалужувачів $HB1$, $HB3$, $HB5$ та $HB7$ значення фаз буде відповідно рівне:

$$\varphi_{HB1} = \varphi_0 + (n \cdot 180^\circ + 90^\circ) = \varphi_0 + 90^\circ;$$

$$\varphi_{HB3} = \varphi_0 + (n \cdot 180^\circ + 180^\circ) = \varphi_0 + 180^\circ;$$

$$\varphi_{HB5} = \varphi_0 + (n \cdot 180^\circ + 270^\circ) = \varphi_0 + 270^\circ;$$

$$\varphi_{HB7} = \varphi_0 + (n \cdot 180^\circ + 360^\circ) = \varphi_0 + 360^\circ.$$

Генератор опорної частоти $\Gamma\mathcal{C}$ забезпечує утворення коливання u_{on} з амплітудою співрозмірною до амплітуди вхідного сигналу u_{ex} та початковою фазою φ_0^{on} рівною 0. Таким чином, якщо відстань x визначається за формулою (1), то фаза опорного коливання у точках B , B , Γ , \mathcal{D} , E буде:

$$\varphi_B^{on} = \varphi_0^{on} + (n \cdot 180^\circ + 90^\circ) = 90^\circ;$$

$$\varphi_B^{on} = \varphi_0^{on} + (n \cdot 180^\circ + 270^\circ) = 270^\circ;$$

$$\varphi_\Gamma^{on} = \varphi_0^{on} + (n \cdot 180^\circ + 450^\circ) = 90^\circ;$$

$$\varphi_\mathcal{D}^{on} = \varphi_0^{on} + (n \cdot 180^\circ + 630^\circ) = 270^\circ;$$

$$\varphi_E^{on} = \varphi_0^{on} + (n \cdot 180^\circ + 810^\circ) = 90^\circ.$$

Суматори $\Sigma 1$, $\Sigma 2$, $\Sigma 3$, $\Sigma 4$ забезпечують додавання сигналів з виходів $HB1$, $HB3$, $HB5$ та $HB7$ і точок B , Γ , \mathcal{D} , E відповідно. На рис. 2а наведено процес створення сигналів на виходах i_1 , i_2 , i_3 , i_4 при значенні $\varphi_0 = 0$.

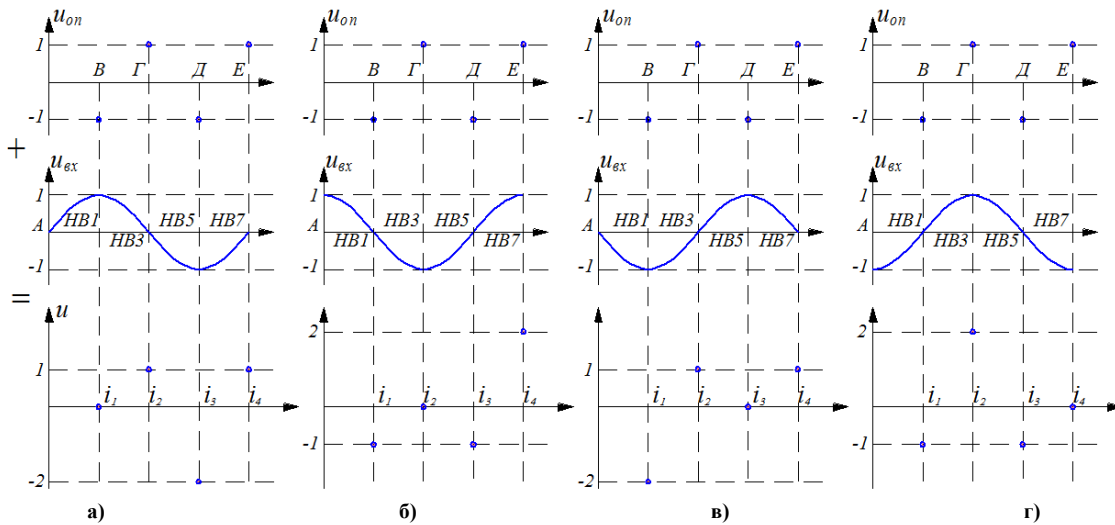


Рис. 2. Залежність значення амплітуди сигналу на виходах суматорів $\Sigma 1$, $\Sigma 2$, $\Sigma 3$, $\Sigma 4$

від значення початкової фази φ_0 сигналу u_{ex}

Як видно з рис. 2а, амплітуда сигналу на виході i_1 має від'ємне значення. Аналогічна ситуація спостерігається на інших виходах суматорів на рис. 2б, 2в, які відповідають значенням фази φ_0 рівним відповідно 180° , 270° та 360° . Для того щоб працювати з однополярною напругою необхідно пропустити

сигнал з виходів i_1, i_2, i_3, i_4 через випрямляючі НВЧ діоди та порогові пристрої, які встановлюють два можливі логічні значення – «0» або «1» (рис. 3).

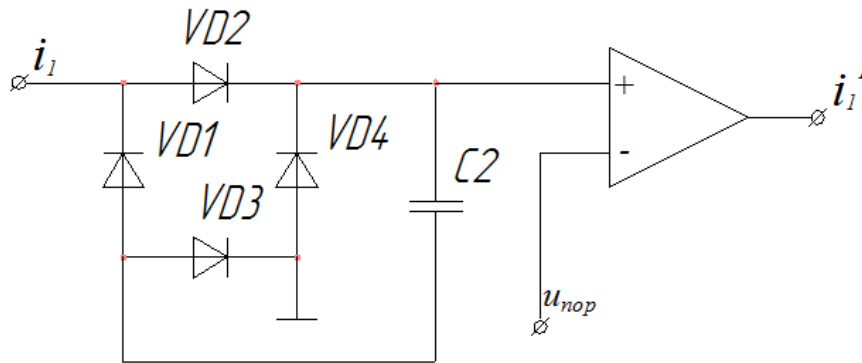


Рис. 3. Випрямлення та обробка сигналу на виході суматора

Як відомо напруга на виході мостової схеми в точці K співвідноситься з амплітудою u_i сигналу i як:

$$u_K = \frac{u_i}{\sqrt{2}}.$$

На рис. 4 подано залежність випрямленої напруги від початкової фази φ_0 сигналу u_{ex} отримана в результаті моделювання у програмі MATLAB 6.5

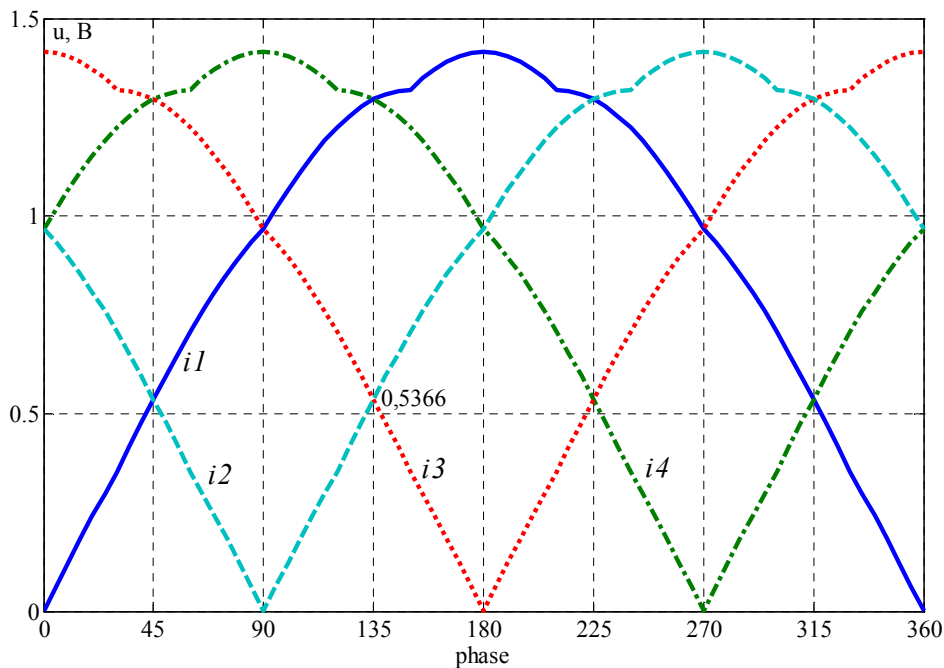


Рис. 4. Залежність випрямленої напруги з виходів i_1, i_2, i_3, i_4 від φ_0

Як видно з рис. 4 значення порогової напруги необхідно встановити рівним:

$$u_{nop} = 0,5366 \cdot E_m, \quad (2)$$

де E_m – амплітуда сигналів u_{ex} і u_{on} .

При використанні формули (2) для u_{on} можна побудувати таблицю логічних станів виходів компаратора $i_1^1, i_2^1, i_3^1, i_4^1$ (табл. 1).

Таблиця 1.

Логічні стани АЦП

$\varphi_0, ^\circ$	i_1^1	i_2^1	i_3^1	i_4^1	a	b
316 – 45	0	1	1	1	0	0

46 – 135	1	0	1	1	0	1
136 – 225	1	1	0	1	1	0
226 – 315	1	1	1	0	1	1

Формування вихідного двійкового коду a , b (табл. 1) здійснюється за допомогою логічної схеми зображеної на рис. 5.

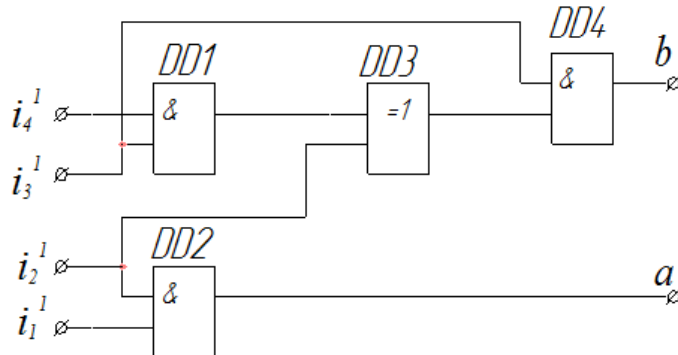


Рис. 5. Логічна схема формування вихідного коду

Так як НВЧ сигнал модулюється сигналом з значно меншою частотою, то протягом періоду модулюючого сигналу T на одному із виходів i_1^1 , i_2^1 , i_3^1 , i_4^1 буде зберігатися мінімальне, в порівнянні з іншими виходами, значення напруги, а це значить, що логічні елементи DD1 – DD4 зображені на рис. 5 повинні бути розраховані на роботу не в НВЧ діапазоні, а в значно нижчому, що збільшує час реєстрації фази сигналу в точці A (рис. 1).

Висновки. В результаті виконаної роботи показано можливість реалізації двохрозрядного фазового АЦП конвеєрного типу для НВЧ діапазону на основі смужкових та мікросмужкових ліній. Базуючись на схемі, запропонованій на рис. 1, можна легко збільшити кількість розрядів АЦП, підвищивши точність квантування.

Первинне цифрове оброблення сигналів безпосередньо на частоті-носії з використанням фазового представлення інформації знижує втрати інформативності прийнятих сигналів та принципово змінює підхід до розроблення радіотехнічних та телекомунікаційних засобів. Також це дозволяє обробляти прийняті сигнали у режимі реального часу, а це, в свою чергу, створює умови для підвищення ефективності реалізації адаптивних алгоритмів оброблення сигналів у радіотехнічних телекомунікаційних системах.

Література

1. Проектирование полосковых устройств СВЧ / Ульяновский государственный технический университет, 2001. – 129 с.
2. Сколинский В.Г. Частотные и фазовые модуляторы и манипуляторы / В.Г. Сколинский, В.Г. Шейнкман. – М.: Радио и связь. – 1983. – 192с.
3. Карлинер М.М. Электродинамика СВЧ / М.М. Карлинер. – Новосибирск: Новосибирск, 1999. – 267 с.

Надійшла 22.9.2011 р.

УДК 621.317

І.В. ГУЛА, І.В. ТРОЦИШИН, О.П. ВОЙТЮК
Хмельницький національний університет

РОЗРОБКА МЕТОДУ ВИМІРЮВАННЯ ФАЗОВИХ ЗСУВІВ СИГНАЛІВ

Надано загальну характеристику методів вимірювання фазових зсувів сигналів. Обґрунтована актуальність створення нових високоточних і високошвидкісних методів для вимірювання фазових зсувів сигналів в радіотехнічних системах. Запропоновано новий метод вимірювання фазових зсувів сигналів через частоту.

This general description of methods for measuring the phase shift signals. Urgency of creating new and high-precision methods for measuring the phase shift of signals in radar systems. A new method of measuring phase signals by frequency.

Ключові слова: фазовий зсув сигналів, метод коінциденції, частота сигналу, період сигналу.

Вступ. Розв'язання багатьох задач радіотехніки неможливе без вимірювання поряд з амплітудою і частотою фазового зсуву (ФС) сигналів. В даний час фазові методи продовжують інтенсивно розвиватись.

Вони дозволяють розв'язати багато задач, пов'язаних зі створенням систем високоточного визначення дальності й координат, заводо захищеної передачі інформації, високоякісного телебачення та ін. Стан фазовимірювальної техніки створює істотний вплив на розвиток радіотехнічних пристроїв. Нові методи побудови фазовимірювальної апаратури знаходять широке застосування у радіотехнічних системах, створюють передумови для їх вдосконалення. У той же час розвиток радіотехнічних систем призводить до необхідності створення більш досконалої вимірювальної апаратури і метрологічної бази. Все це вимагає випереджаючого розвитку фазовимірювальної техніки, постійного оновлення парку фазовимірювальних і створення спеціалізованих приладів [1]. Тому з'явилася необхідність розробки нових високоточних і високошвидкісних методів для вимірювання фазових зсувів сигналів.

Аналіз класичних методів побудови цифрових фазометрів. Існуючі методи побудови цифрових фазометрів (ЦФ) можна розділити на методи врівноваженого (компенсаційного) і прямого перетворення. Компенсаційні ЦФ будуються за класичними структурами вимірювальних приладів врівноваженого перетворення, заснованих на послідовному і порозрядному врівноваженні. Цифрові фазометри прямого перетворення за своїми структурами більш різноманітні.

Методи побудови ЦФ прямого перетворення можна розділити на методи з перетворенням "фазовий зсув (ФС) – напруга–цифровий код", "ФС – інтервали часу – цифровий код", а також кореляційні і ортогональні. Найбільш широке розповсюдження в ЦФ отримали одно- і двухнапівперіодні перетворювачі ФС в інтервали часу. Перетворювачі (рис.1) включають в себе формувальні пристрої (ФП) і RS-тригери, які перетворюють входні гармонійні сигнали та імпульси, прив'язані до переходів входного сигналу через нульовий рівень: в однопівперіодних перетворювачах – до одного переходу, в двухпівперіодних – до двох переходів [2].

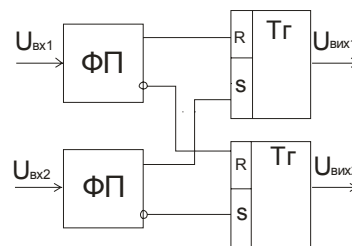


Рис. 1. Структурна схема перетворювача ФС в інтервали часу

Цифрові фазометри з перетворенням ФС-інтервали часу-код поділяються на ЦФ з вимірюванням за період і за час набагато більше періода. Дані фазометри будуються у двох варіантах: з вимірюванням за ціле число періодів і з постійним вимірювальним часом.

Цифровий фазометр з вимірюванням за ціле число періодів (рис. 2) складається з двохпівперіодного перетворювача ФС в інтервали часу (ПР), схеми співпадіння (СС1 – СС4), на перші входи яких подаються прямокутні імпульси, на другі входи – зсунуті на півперіод квантуючі імпульси від формувача імпульсів (Ф), генератора імпульсів (ГІ), схеми АБО, часозадаючого пристрою (ЧП), лічильників (Л1 і Л2) і мікропроцесорного обчислювального блоку (МОБ).

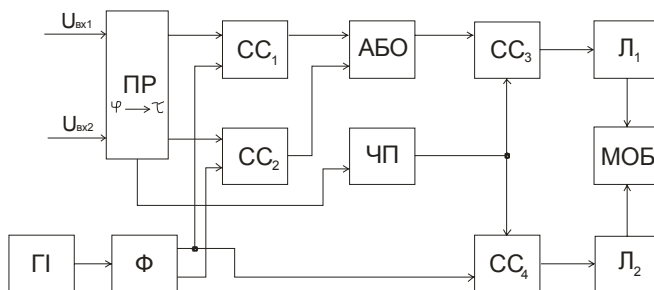


Рис. 2. Структурна схема цифрового фазометра з вимірюванням за ціле число періодів

До недоліків ЦФ з вимірюванням за ціле число періодів відноситься необхідність виконання арифметичних операцій. До появи мікропроцесорів даний недолік стримував розвиток даних ЦФ.

Цифрові фазометри з постійним вимірювальним часом (рис. 3).

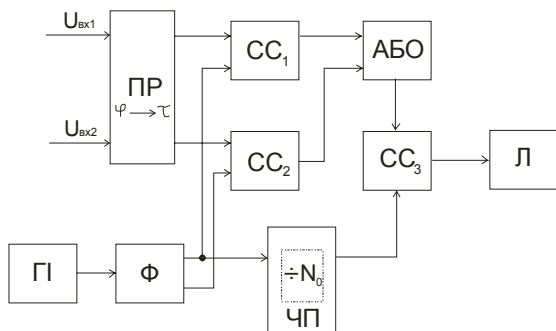


Рис. 3. Структурна схема цифрових фазометрів з постійним вимірювальним часом

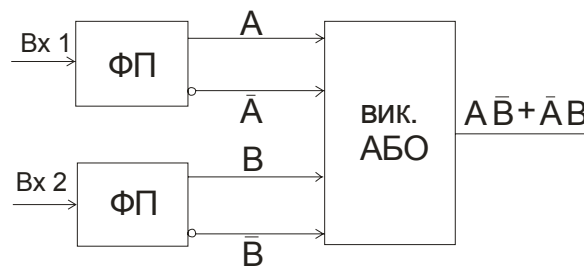


Рис. 4. Структурна схема кореляційних фазометрів

Кореляційні фазометри (рис. 4) реалізуються з допомогою перетворення входних сигналів формуючими пристроями (ФП) в прямокутні імпульси.

Недолік кореляційних фазометрів пов'язаний з появою систематичних похибок у випадку вимірювання ФС сигналів при наявності шумів. Другим недоліком кореляційних фазометрів є суттєва залежність показів від рівня нелінійних спотворень сигналів. Також суттєвим недоліком кореляційних фазометрів є нелінійний характер шкали. При вимірюванні ФС зашумлених сигналів кореляційними фазометрами з обмеженими сигналами також виникають систематичні похибки. Кореляційні фазометри мають велику систематичну похибку, яка залежить від відношення сигнал–шум. Кращою заводохищеністю володіють компенсаційні фазометри, які побудовані за принципом послідовного пошуку максимуму функції правдоподібності, але вони мають недолік пов'язаний з обмеженням частотного діапазону вимірювального сигналу. Частотний діапазон можна розширити шляхом використання перетворювача частоти. Узагальнена структурна схема компенсаційних фазометрів (рис. 5) складається з фазового дискримінатора (ФД), фазообертача (ФО_у), для встановлення нуля, градуйованого фазообертача (ФО_г).

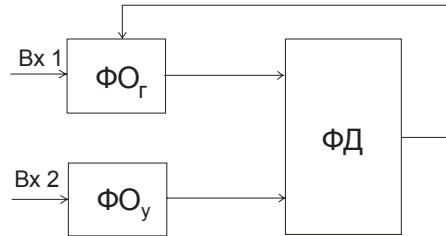


Рис. 5. Структурна схема компенсаційних цифрових фазометрів

Але, як показали дослідження, похибка компенсаційних ЦФ з фазовими дискримінаторами перевищує похибку оптимальних ЦФ в декілька разів. Також існує ортогональний метод вимірювання фазового зсуву (рис. 6), який реалізується двома шляхами. Структурна схема включає генератор опорних сигналів (ГОС), два корелятори, два інтегратора і обчислювач фазових зсувів (ОФС).

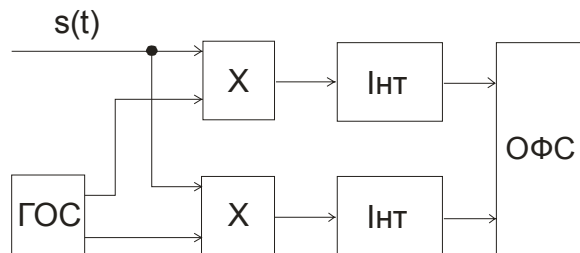


Рис. 6. Структурна схема фазометрів, які реалізують ортогональний метод вимірювання ФС

Перший заснований на використанні перемножувача сигналів в аналоговій формі і перетворення результатів множення в цифрову форму з допомогою АЦП з наступним виконанням арифметичних і тригонометричних операцій в цифровому вигляді. В другому випадку застосовується безпосереднє перетворення вимірювального й опорного сигналів в цифрову форму [2].

Основним недоліком першого методу являються великі інструментальні похибки, другий метод має більш високу точність, але виникає необхідність багаторазового аналого-цифрового перетворення сигналів і перемноження результатів АЦП протягом періоду. Це призводить до обмеження робочих частот зверху, яке пов'язане з кінцевим часом виконання операцій в АЦП і перемножувачах.

Розробка методу вимірювання фази на основі принципів коінциденції. В загальному випадку в класичній теорії фазочастотних вимірювань і перетворень радіосигналів (ФЧВ і ПР) фазовий зсув сигналів визначають:

$$\Delta\varphi = \frac{\tau}{T} \cdot 360^\circ = \tau \cdot \frac{1}{T} \cdot 360^\circ, \quad (1)$$

де τ – інтервал, на який зсунуті дві послідовності імпульсів; T – період сигналів.

В той же час можливо вимірювати фазові зсуви сигналів через частоту. Існує багато різних методів для вимірювання частоти. В [3] наведено метод вимірювання частоти на основі принципу коінциденції, ми пропонуємо використати цей метод для вимірювання фазових зсувів сигналів. Формула для вимірювання частоти методом коінциденції має наступний вигляд:

$$f_k = \frac{N_1}{N_2} \cdot f_{on}, \quad (2)$$

де N_1, N_2 – кількість квантуємих імпульсів, f_{on} – частота опорного коливання.

Частку від ділення одиниці на період T в формулі (1) можна замінити частотою f , яка вимірюється методом коінциденції за формулою (2). Зробивши таку заміну ми уникаємо операції ділення, на яку потрібно було б витратити багато машинного часу, що викликало б зниження параметрів точності, тому що операція ділення – це операція з плаваючою комою. В результаті заміни ми отримаємо наступну формулу:

$$\Delta\varphi = \frac{\tau}{T} \cdot 360^\circ = \tau \cdot \frac{1}{T} \cdot 360^\circ = \tau \cdot \frac{N_1}{N_2} \cdot f_{on} \cdot 360^\circ = \tau \cdot f_k \cdot 360^\circ. \quad (3)$$

В формулі (3) величини $(f, 360^\circ)$ нам відомі крім τ – інтервалу на який зсунуті синфазні точки послідовностей імпульсів. Отже, для того, щоб виміряти фазу запропонованим нам методом, потрібно лише визначити τ .

На (рис. 7) представлено структурну схему вимірювання часового інтервалу τ , тобто фазового зсуву методом коінцидентії [1], яка складається з формувачів імпульсів (ФІ), схем співпадіння (СС1 – СС2), лічильників (Л1 – Л4), мікропроцесорного обчислювального блоку (МОБ).

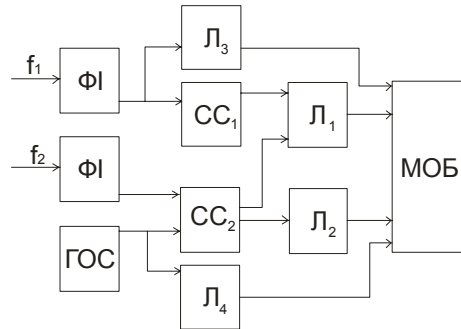


Рис. 7. Структурна схема вимірювання ФС методом коінцидентії

Висновки. 1. В результаті проведеного порівняльного аналізу класичних методів побудови цифрових фазометрів виявлено, що існуючі методи вимірювання фазових зсувів сигналів мають суттєві недоліки, які пов'язані з появою систематичних методичних похибок у випадку вимірювання ФС та з обмеженням часу доступу до вимірювального сигналу.

2. На основі аналізу літературних джерел запропоновано метод вимірювання фазових зсувів сигналів, суть якого полягає в пошуку співпадіннь взірцевих сигналів з сигналами опорного генератора, який відноситься до використання принципу коінцидентії.

3. Розроблена структурна схема вимірювання ФС методом коінцидентії, яка дозволяє одночасно підвищити точність і швидкість вимірювання фазових зсувів сигналів, при простій апаратній реалізації.

Література

1. Орнатский П.П. Автоматические измерения и приборы (аналоговые и цифровые) / Орнатский П.П. ; [5-е изд., перераб. и доп.]. – К. : Главное изд-во, 1986. – 604 с.
2. Чмых М.К. Цифровая фазометрия / Чмых М.К. – М. : Радио и Связь, 1993. – 184 с.
3. Троцишина Л. Характеристики та потенційні можливості вимірювання частоти за методом збігу / Л. Троцишина, О. Войтюк, І. Троцишин // Матеріали III міжнародної науково-технічної конференції. Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування (СПРТП-2007). – Вінниця, 2007.
4. Сапельников В.М. Проблемы воспроизведения смещаемых во времени электрических сигналов и их метрологическое обеспечение / Сапельников В.М., Кравченко С.А., Чмых М.К. – Уфа : Изд-е Башкирск. гос. ун-та. 1999. – 200 с.

Надійшла 27.9.2011 р.

Ю.Ю. КОЗИНА, А.А. КОЗИН
 Одеський національний ПУ
 Л.О. КОМАРОВА
 Військовий інститут КНУ
 Є.В. СТЬОПН
 НА образотворчих мистецтв

ПРИМЕНЕНИЕ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ ПРИ ОБРАБОТКЕ КОНТУРОВ ИЗОБРАЖЕНИЙ ШАБЛОНОВ

В цілях забезпечення завадостійкості на етапі отримання контурного препарату зображень шаблонів запропоновано застосувати морфологічні операції та комбінований обхід по контуру. Проведені експерименти, що підтверджують перевагу запропонованої методики отримання контуру в порівнянні з існуючими.

The morphological operations and combined round to contoured for providing of noise stability stage of receipt of contour preparation of images of templates is suggested. Experiments confirmative advantage of the offered method, are conducted, as compared to known.

Ключові слова: шаблони, реперні знаки, морфологічні операції.

При производстве изделий микроэлектроники одной из важнейших технологических операций является контроль качества шаблонов – носителей информации о размерах и конфигурации изделий. Эта задача решается с помощью программно-аппаратных комплексов (ПАК), включающих подсистемы формирования, регистрации и распознавания изображений. При этом используются сложные и дорогостоящие осветительно-фокусирующие устройства (ОФУ), телевизионные датчики (ТД) высокого разрешения и устройства точной механики, обеспечивающие высокие производительность и достоверность контроля качества шаблонов. Стоимость таких комплексов составляет в среднем сто тыс. у.е. за единицу, и их применение обосновано в случае крупносерийного производства изделий. Однако, в последние годы все чаще возникает потребность в производстве мелких и средних партий, предназначенных для использования в аппаратуре специального назначения. В этом случае применение существующих ПАК приводит к неоправданному росту стоимости контроля качества шаблонов. Такое противоречие может быть разрешено снижением требований к техническим параметрам ОФУ, ТД и устройствам точной механики, что в свою очередь, приводит к появлению нежелательных мультипликативных и аддитивных помех на изображениях шаблонов. Таким образом, возникает необходимость в разработке помехоустойчивых методов обработки изображений шаблонов. В работе [1] предложен помехоустойчивый метод локализации реперных знаков (объектов известной формы, наносимых на поверхность шаблонов). В данной работе разработана методика получения контурного препарата изображений шаблонов на основе морфологических операций, позволяющая выделить и проследить контур реперных знаков в условиях помех.

Постановка задачи обработки контуров изображений. При выделении и коррекции контура объекта широко используются методы математической морфологии. Так, например, в методе Канни производится [2]:

- сглаживание изображения с помощью гауссовского фильтра с целью уменьшения аддитивных флуктуационных помех;
- оценка градиента как квадратного корня из суммы квадратов производных по двум ортогональным направлениям с целью подчеркивания перепадов интенсивности изображения;
- пороговая обработка оценки градиента изображения, которая включает немаксимальное подавление скачков интенсивности изображения – величина скачка интенсивности в каждой точке контура полагается равной нулю, если она не превышает величину скачка интенсивности в двух соседних точках по направлению градиента изображения;
- морфологическая обработка контура изображения (с помощью дилатации), при которой задаются два порога на значения интенсивности изображения; к точкам, значение интенсивности в которых превышает верхний порог, присоединяются только соседние с ними точки, значение интенсивности в которых превышает нижний порог.

Морфологическая операция наращивания точек контура – дилатация, применяющаяся также для устранения его разрывов, состоит в следующем [3]. Пусть множество A – множество точек изображения, к которому применяется морфологический оператор и множество B – структурный элемент (примитив), т.е. произвольное множество точек изображения, определяющее морфологическое расстояние. Дилатация множества A по примитиву B определяется так:

$$A \oplus B = \{z \mid (\hat{B})_z \cap A \neq \emptyset\}. \quad (1)$$

где \hat{B} – центральное отражение множества B .

Целесообразность использования морфологических операций при обработке контура. Использование морфологической операции в сочетании с немаксимальным подавлением скачков интенсивности изображения улучшает помехоустойчивость метода Канни. Однако, на результат

применения этого метода влияют предварительное сглаживание изображения и подчеркивание перепадов его интенсивности путем оценки градиента. В работе [1] для подчеркивания перепадов интенсивности использовано гиперболическое вейвлет-преобразование (ГВП), а для поиска точек экстремума функции интенсивности вместо пороговой обработки использован субградиентный итеративный алгоритм поиска экстремумов в пространстве ГВП. Применение ГВП на этих этапах позволило повысить помехоустойчивость выделения контура объекта. Было выявлено, что полученный контур содержит дефекты, такие как разрыв контура; расширенные области границ толщиной более чем один пиксель; пиксели, образующие ошибочные ветки контура. Данные дефекты изображения контура мешают корректно проводить обработку на последующих этапах. Потребность в устранении таких дефектов привела к необходимости использования морфологических операций дилатации, замыкания, утончения и усечения.

Описание предложенной методики. С помощью использования дилатации (рис.1) устраняются разрывы в изображении контура путем их перекрытия. На рис. 1, а представлено изображение контура реперного знака с дефектами в виде разрывов. Благодаря применению дилатации по данному контуру с помощью примитива, получили перекрытие разрывов контура.

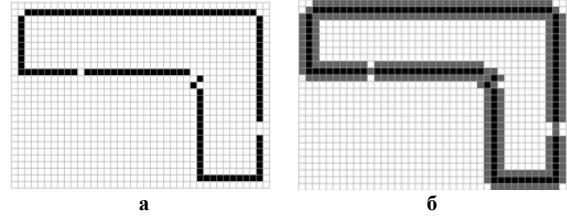


Рис. 1. Пример применения дилатации: контур объекта с дефектом – разрыв (а); перекрытие разрыва с помощью дилатации (б)

Для сглаживания участков контура предложено использовать операцию замыкания [3].

При проведении замыкания контура изменяется его толщина с одного пикселя до размера маски. Для нормирования толщины контура к размеру в один пиксель необходимо провести утончение на основе эрозии. Эрозия множества A по примитиву B определяется как:

$$A - B = \{z \mid (B)_z \subseteq A\}. \quad (2)$$

При утончении множества A по примитиву B используется выражение [3]:

$$A \otimes B = A \setminus (A - B) = A \cap (A - B)^C. \quad (3)$$

В результате операции эрозии, при утончении множества A по примитиву B , появляются дефекты в виде ошибочных веток, вызванные неоднородностью линий, из которых состоит контур. Данные дефекты мешают при следующей операции обработки контура – прослеживании. Как правило, все ошибочные ветки приводят к обрыву, в результате чего прослеживание контура останавливается. Для устранения данного дефекта, предложено провести усечение ошибочной ветки путем последовательного удаления ее конечной точки. Усечение достигается на основе утончения (2) с применением последовательности примитивов, структура которых позволяет выявлять только конечные точки.

Определяющим фактором для помехоустойчивости алгоритмов анализа контуров остается операция прослеживания. Результатом действия алгоритмов прослеживания является упорядоченный массив координат точек контура. Эта операция носит эвристический характер и в значительной степени зависит от содержания обрабатываемых изображений. Поэтому для заданных объектов, как правило, разрабатывают свою эвристическую процедуру прослеживания контуров.

В данной работе алгоритм прослеживания реализован на основе рекурсивного поиска. Он представляет собой процедуру, исходными данными для которой являются координаты текущего пикселя $p_i(x_i, y_i)$. Получив его координаты, начинаем проверку всех соседей данного пикселя на соответствие каждому из них единицы в заданном окне. Если соседний пиксель прошел проверку, то он становится текущим $p_{i+1}(x_{i+1}, y_{i+1})$ и для него рекурсивно запускается процедура поиска. Критерием ее остановки является обрыв контура или условие $p_0(x_0, y_0) = p_n(x_n, y_n)$. Соседние пиксели могут выбираться по принципу четырехсвязного или восьми-связного пути [3] (рис. 2).

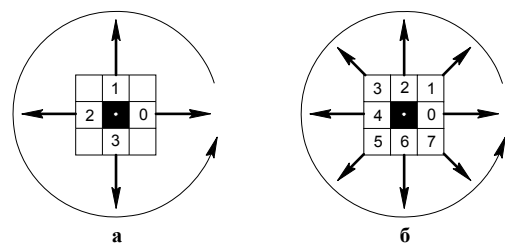


Рис. 2. Принцип выбора пикселей при прослеживании контура: окно для получения четырехсвязного контура (а); восьмисвязного контура (б)

Четырехсвязный обход по контуру имеет недостаток, в результате чего выполнение обхода по контуру прекращается (рис. 3, а). При использовании в данном случае восьмисвязного обхода по контуру прослеживание проходит без остановки (рис. 3, б).

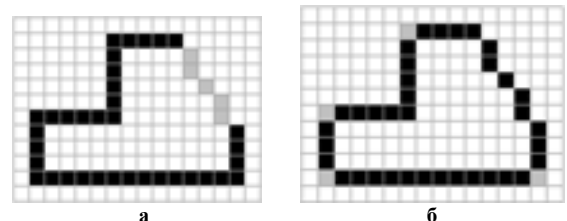


Рис. 3. Варианты обхода по контуру: четырехсвязный (а); восьмисвязный (б)

При прослеживании контура с использованием восьмисвязного обхода получаем дефект, который заключается в пропуске угловых пикселей контура. Поэтому в работе предложено использовать комбинированный обход по контуру, который имеет преимущество обоих выше приведенных вариантов

(рис. 4). При этом такая последовательность выбора пикселей (рис. 4, а) позволила устранить перечисленные выше дефекты прослеживания контура (рис. 4, б).

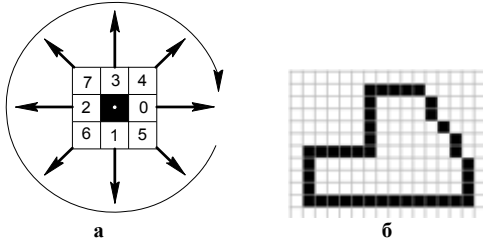


Рис. 4. Применение комбинированного обхода по контуру: последовательность выбора пикселей (а); результат прослеживания контура (б)

позволило получить контурный препарат в условиях помех. Это позволит снизить требования к техническим параметрам ОФУ, ТД и устройствам точной механики и разрешить выявленное противоречие.

Эксперименты. Обработано 50 изображений шаблонов в условиях аддитивных и мультипликативных помех. Предложенная методика позволила получить контурный препарат изображений шаблонов в диапазоне отношения сигнал/шум 7..10 (по мощности), что свидетельствует о ее высокой помехоустойчивости.

Выводы. Эксперименты показали, что применение морфологических операций при обработке контуров изображений шаблонов

Литература

1. Крылов В.Н. Позиционирование изображений фотошаблонов в системах автоматизированного оптического контроля / В.Н. Крылов, Г.Ю. Щербакова, Ю.Ю. Козина // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. — 2007. — № 3(69). — С. 61–64.
2. Canny J.E. A computational approach to edge detection / J.E. Canny // IEEE Trans Pattern Analysis and Machine Intelligence. — 1986. — № 8. — P. 679 – 698.
3. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. — М. : Техносфера, 2005. — 1072 с.

Надійшла 22.9.2011 р.

УДК 004.932; 537.523.9

Й.Й. БЛИНСЬКИЙ, О.А. ПАВЛЮК, О.М. СУХОЦЬКИЙ
Вінницький національний технічний університет

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ СТРИМЕРА, ОТРИМАНОГО МЕТОДОМ ГАЗОРОЗРЯДНОЇ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ РІДИННОФАЗНОГО ОБ'ЄКТА

Запропоновано математичну модель стримера, отриманого методом газорозрядної візуалізації, отримані характеристики довжини стримера, встановлено емпіричну модель опису яскравості стримера.

A mathematical model of streamer, obtained by gas-discharge visualization obtained characteristics of streamer length, established empirical model describing the brightness of streamer.

Ключові слова: газорозрядна візуалізація, стример, математична модель, довжина, переріз яскравості.

Вступ. Аналіз рідиннофазних об'єктів на сьогодні успішно проводиться за допомогою спектрального аналізу, титрометричного, потенціометричного та інших методів. Ці методи є тривалими і ресурсоемними. Тому останнім часом робляться спроби щодо можливості використання для цих цілей методу газорозрядної візуалізації (ГРВ), оскільки відсутній етап підготовки проби, а аналіз триває декілька секунд.

На сьогодні немає єдиних підходів як на дослідження рідиннофазних об'єктів методом ГРВ, так і на обробку отриманих зображень. В дослідженнях Короткова К. Г. та Коломійця Р.О. проводився аналіз всього газового розряду, що не завжди виправдано. Більш доцільно аналізувати окремі елементи розряду – стримери (суперпозиція в часі електронних лавин, що виникають на півперіодах прикладеної напруги). Стримери характеризуються такими параметрами: довжина, кількість, яскравість, степінь розгалуження. Ці параметри залежать від хімічного складу рідиннофазного об'єкта, тому розробивши їхню математичну модель, можливо чистоту та склад рідиннофазного об'єкта або провести його експрес-діагностику аналізуючи зображення [1, 2].

Метою роботи є розробка математична моделі стримера, яка дає змогу описати чистоту рідиннофазного об'єкта при ГРВ та проведення експериментальних досліджень, які підтверджують даний математичний опис.

Основна частина. Світіння газового розряду навколо рідиннофазного об'єкта, що знаходиться між електродами, виникає, коли на електроди подана високовольтна, високочастотна напруга (частотою понад 1 кГц та напруженістю близько 20–25 кВ/см). При подачі різниці потенціалів на електроди між ними виникає електричне поле, під дією якого в системі починає протікати електричний струм, який тече через рідиннофазний об'єкт між електродами та вздовж поверхні діелектрика, яким покрито один з електродів. Щільність струму визначається за формулою:

$$j_{p\phi o} = nev, \quad (1)$$

де n – кількість носіїв заряду; e – елементарний заряд; \bar{v} – середня швидкість упорядкованого руху носіїв заряду.

Носіями заряду в водних розчинах є іони. В природних водах це, наприклад, іони Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- . Саме вони і забезпечують електропровідність природних вод. Присутність інших іонів, наприклад: Fe^{3+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} , Al^{3+} , NO_3^- , HPO_4^- , H_2PO_4^- , практично не впливає на електропровідність, якщо ці іони не містяться в воді у великій кількості. Кількість іонів залежить від температури. За звичайних умов (при температурі 20°C) кількість іонів розчинної речовини визначається за допомогою ступеня дисоціації [3, 4].

Ступінь дисоціації – величина, що характеризує стан рівноваги в реакції дисоціації в гомогенних (однорідних) системах [5]. Ступінь дисоціації α визначається за формулою:

$$\alpha = \frac{n_o}{n_o + N_{no}}, \quad (2)$$

де n_o – кількість молекул, що продисоціювали; N_{no} – кількість молекул, що не продисоціювали на іони.

В такому випадку кількість іонів, що міститься в рідиннофазному об'єкті буде визначатись за формулою:

$$n \cong \left(\frac{a_1 m_1}{M_1} + \frac{a_2 m_2}{M_2} + \dots + \frac{a_k m_k}{M_k} \right) N_a = N_a \sum_{i=1}^k \frac{a_i m_i}{M_i}, \quad (3)$$

де α_i – ступінь дисоціації i -ї речовини, що входить до складу рідиннофазного об'єкту; m_i – маса i -ї речовини, що входить до складу рідиннофазного об'єкту; M_i – молярна маса i -ї речовини, що входить до складу рідини; $N_a = 6,022 \cdot 10^{23}$ – число Авогадро.

Використовуючи формули (3) і (1), знаходимо середню швидкість упорядкованого руху носіїв заряду:

$$\bar{v} = \frac{j_{p\phi o}}{ne} = \frac{j_{p\phi o}}{e N_a \sum_{i=1}^k \frac{a_i m_i}{M_i}} \quad (4)$$

Більшість струму протікає через край краплі і утворює ковзний розряд (рис. 1), тому густину струму можна записати:

$$j_{p\phi o} = \frac{U\sigma}{2\pi r h}, \quad (5)$$

де параметри краплі: r – радіус; σ – провідність; h – висота краю, з якого утворюються стримери.

Якщо середня кінетична енергія електронів перевищує роботу виходу їх з речовини, то виникає електронна лавина в газовому міжелектродному проміжку, яка супроводжується іонізацією газу та його світінням. Утворюється розрядний стример [1, 6]. Приблизна траєкторія розряду може бути представлена у вигляді:

$$\bar{l} = \bar{v}t + \frac{\partial \bar{v}}{\partial t} t^2, \quad (6)$$

де t – середній час життя електронної лавини, згідно він становить приблизно $10^{-8} \dots 10^{-6}$ с; \bar{l} – середня відстань пробігу електронної лавини, яка рівна довжині стримера. В загальному випадку напруга $U = U(t)$ при синусоїдальному законі зміни описується:

$$\frac{\partial U}{\partial t} = U_{\max} \omega \cos(\omega t), \quad (7)$$

де U_{\max} – максимальне значення напруги. Врахувавши, що діюче значення та максимальне значення напруги для синусоїдального сигналу пов'язані формулою $U_{\max} = \sqrt{2}U$ [7], то довжину стримера можна описати:

$$\bar{l} = \frac{U\sigma}{2\pi r_k h e N_a \sum_{i=1}^k \frac{a_i m_i}{M_i}} t \left(1 + \frac{\omega \cos(\omega t)}{\sqrt{2}} \right). \quad (8)$$

Під час руху легкі електрони стикаються з важкими іонами, яким вони поступово передають свій імпульс і таким чином втрачають швидкість. Це резерфордівське розсіювання електронів на іонах змінює напрямок руху електрона й саме воно відповідальне за викривлення траєкторії розряду [8]. Проте цей процес є цілком імовірнісним, його неможливо врахувати аналітично, тому у виразі (8) траєкторія розряду вважається прямолінійною.

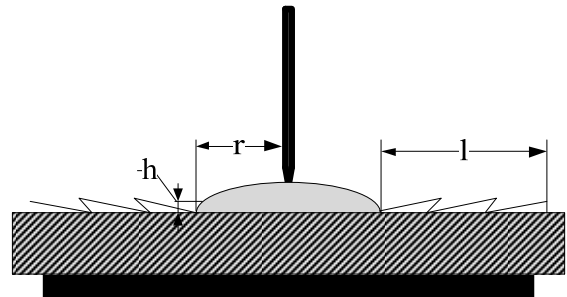


Рис. 1. Схематичне зображення рідиннофазного об'єкта та стримерів, що утворюються внаслідок ГРВ

На рис. 2–4 представлені характеристики моделі довжини стримера від прикладеної величини напруги, її частоти та молярної концентрації домішок.

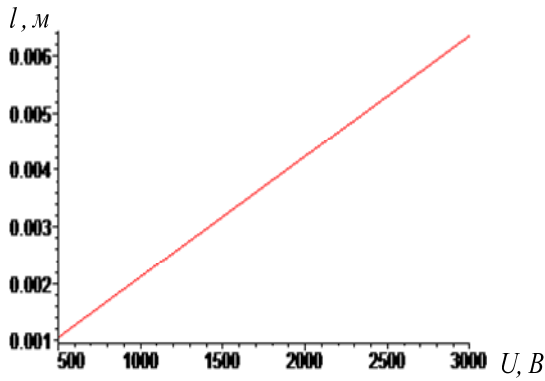


Рис. 2. Залежність довжини стримера краплі дистильованої води від напруги

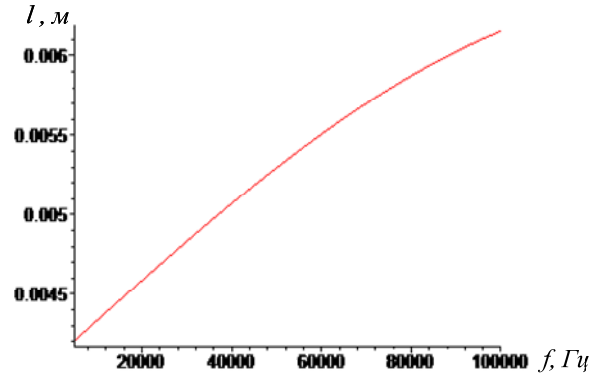


Рис. 3. Залежність довжини стримера краплі дистильованої води від частоти

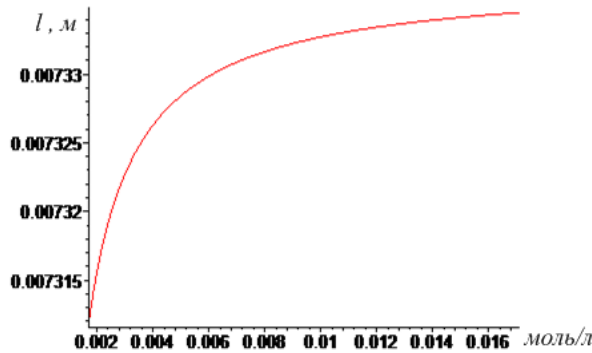


Рис. 4. Залежність довжини стримера краплі дистильованої води від молярної концентрації домішок

З графіків видно, що залежність довжини стримера напруги та частоти є лінійною, а залежність від молярної концентрації домішок лінійна при малих концентраціях. Тому метод ГРВ доцільно використовувати для визначення малих концентрацій домішок у рідиннофазних об'єктах.

На основі проведених експериментальних досліджень запропоновано емпіричну модель опису яскравості стримера

$$I = \frac{166455 \cdot B}{x^3 \left(\exp\left(\frac{1439}{xA}\right) - 1 \right)}, \quad (9)$$

де I – яскравість пікселя; x – номер пікселя від краю стримера; A, B – коефіцієнти яскравості стримера, які визначаються в результаті його апроксимації. Всі параметри визначаються в перерізі, проведеному через вісь симетрії з пікселем максимальної яскравості.

На рис. 5 наведені характеристики яскравості в перерізі декількох стримерів і їх апроксимовані криві, отримані при дослідженні води «Моршинської» та «Еко».

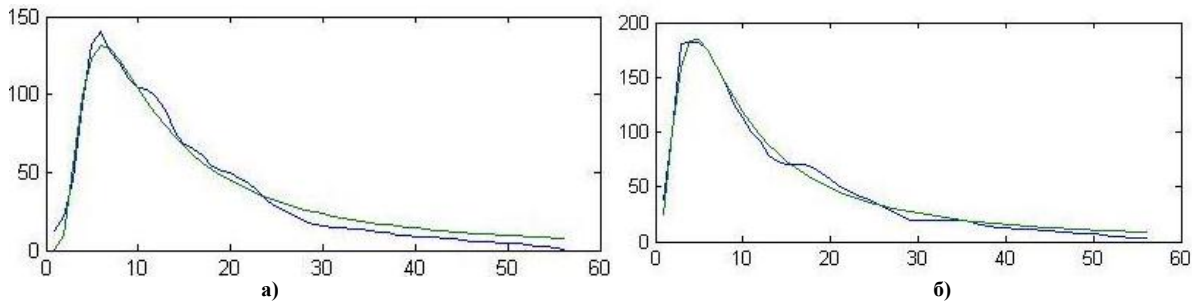


Рис. 5. Переріз за яскравістю стримерів і їх апроксимована характеристика: а – вода «Моршинська»; б – «Еко»

Висновки. Розроблено математичну модель стримера, отриманого методом газорозрядної візуалізації рідиннофазних об'єктів. Проведено дослідження залежності довжини стримера від прикладеної величини напруги, її частоти, та молярної концентрації домішок. Визначені характеристики запропонованої моделі збігаються з експериментальними дослідженнями. Запропоновано емпіричну модель опису

яскравості стримера, що відображає залежність яскравості стримера від його координат.

Література

1. Коломієць Р.О. Виділення фрактального спектра кірліан-зображень / Р.О. Коломієць // ВІСНИК ЖДТУ. – 2010. – № 1. – 109–114 С.
2. Коротков К. Основы ГРВ-биоэлектрографии / Коротков К. – СПб. : СПбГИТМО (ТУ), 2001. – 360 с.
3. Измерение электропроводимости и солёности воды кондуктометрическим методом [Электронный ресурс] / Мосин О.В. – Режим доступа : http://www.o8ode.ru/article/answer/method/izmerenie_elektroprovodimosti_i_colenosti_vody_konduktometri4eckim_metodom.htm.
4. Пономарев О.А. Свойства жидкой воды в электрических и магнитных полях / О.А. Пономарев, Е.Е. Фесенко // Биофизика, 2000. – Т. 45. – № 3. – С. 389–398.
5. Третьяков Ю.Д. Неорганическая химия / Третьяков Ю.Д. М. : Академия, 2005. – 380 с.
6. Грановский В.Л. Электрический ток в газах / Грановский В.Л. – М. : Наука, 1971. – 560 с.
7. Буссонов Л. А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи / Л. А. Буссонов. М: Высшая школа, 1998. – 640 с.
8. Арцимович Л.А. Движение заряженных частиц в электрическом и магнитном полях / Л. А. Арцимович, С. Ю. Лукьянов. М. : Наука, 1978. – 224 с.

Надійшла 22.9.2011 р.

УДК 004.414.3

О.С. САВЕНКО, Ю.П. КЛЬОЦ, В.С. ШЕВЦОВ

Хмельницький національний університет

МЕТОДИ ЛЕКСИЧНОГО АНАЛІЗУ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ НА РОЗРОБКУ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

В статті проведено порівняння методів лексичного аналізу тексту технічного завдання на розробку програмного забезпечення або програмно-технічного комплексу. Показані основні недоліки відомих методів лексичного аналізу, і шляхи їх вирішення.

The article compared the methods of lexical analysis of text specification for software development or software-technical complex. Showing the major shortcomings of existing methods of lexical analysis, and solutions.

Ключові слова: лексичний аналіз, методи лексичного аналізу, технічне завдання на розробку ПЗ, програмне забезпечення, граматики Хомського, link граматика.

Вступ. Щороку кількість програмних продуктів стрімко зростає. Це зумовлено великим попитом на комп'ютерну техніку та інші пристрої, де використовуються спеціалізовані програми та утиліти, також зростає складність самих програм та програмно-технічних пристроїв (комплексів). Чим складніше програмне забезпечення (ПЗ), тим важче перевірити повноту та несуперечливість вимог технічного завдання на його розробку. Процес розробки технічного завдання детально описано в практичних рекомендаціях зі специфікації програмного забезпечення [1]. В процесі розробки технічного завдання часто допускаються помилки при формуванні функційних та нефункційних вимог.

Функційні вимоги – це вимоги, що описують дії, які мають виконувати компоненти системи або система в цілому [2, 4]. Нефункційні вимоги – це всі інші вимоги, що не мають відношення до функційних вимог [3, 4].

Невчасне виявлення помилок технічного завдання на етапі проектування ПЗ може призвести до збоїв ПЗ і як наслідок – до можливого виходу з ладу обладнання та техногенних аварій. Для розв'язання задачі виявлення помилок на етапі складання технічного завдання на розробку ПЗ необхідно перевіряти коректність функційних та нефункційних вимог до розроблюваного ПЗ та відповідність їх стандартам технічної області застосування [5–7]. Перевірку технічного завдання на розробку програмного забезпечення можна проводити групі експертів або лексичним аналізатором.

Аналіз технічного завдання за допомогою групи експертів, під час якого кожен експерт аналізує свою частину технічного завдання і робить висновок. Аналіз малих за об'ємом технічних завдань на повноту та несуперечливість виконується швидко та з малими фінансовими затратами, проте для великих за обсягом технічних завдань характерні різке сповільнення праці експертів та великі фінансові витрати на оплату праці. При великих об'ємах тексту людині властиво з часом пропускати (ігнорувати) деякі слова або речення, які можуть бути важливими.

Аналіз технічного завдання за допомогою лексичного аналізатора дозволяє усунути недоліки першого методу, для нього не є критичним обсяг технічного завдання, але критичною є складність мовних конструкцій технічного завдання. Також лексичні аналізатори проводять лексичний аналіз набагато швидше, ніж експерти.

Постановка задачі. Для розв'язання задачі перевірки технічного завдання на розробку програмного

забезпечення чи програмно-технічного комплексу на повноту, несуперечливість, відповідність вимогам та стандартам предметної галузі необхідно провести аналіз відомих методів лексичного аналізу та розробити метод лексичного аналізу, що дозволяє проводити аналіз технічного завдання на розробку ПЗ з урахуванням функційних та нефункційних вимог.

Методи лексичного аналізу. Для складання технічних завдань використовуються різні мови світу, які групуються за своїм походженням та часом розвитку, наприклад: германська, слов'янська та ін. Мови, що входять до однієї групи не завжди мають однакові граматики. Розглянемо германську групу мов, до якої належать німецька та англійська мови. У граматиці англійської мови значення слів в реченнях визначаються їх розташуванням, тобто залежно від розташування, слово може бути іменником, прикметником чи дієсловом. В англійській мові визначений прямий порядок слів, зміна якого призведе до зміни змісту речення. В німецькій мові є можливість зміни порядку слів у реченні, при цьому речення не втрачає свого інформаційного змісту. Отже, описати групу мов однією грамакою [8] неможливо, тому що англійська мова є контекстозалежною, німецька мова – контекстновільною.

Існує велика кількість лексичних аналізаторів та методів лексичного аналізу, але доцільно розглядати методи, що дозволяють описати мову якою буде складатися технічне завдання. Виділимо наступні методи лексичного аналізу, які задовольняють нашим вимогам:

- 1) метод лексичного аналізу, що використовує формальні граматики Хомського [8];
- 2) метод лексичного аналізу, що базується на link граматиці [9].

Лексичний аналіз з використанням формальних грамастик Хомського. Розглянемо формальні граматики та методи їх опису. З класичного визначення граматики слідує, що граMATика – це математична система, яка визначає мову [8].

Грамакою називається множина $G=(N,\Sigma,P,S)$, де:

- N – множина не термінальних символів, або не терміналів;
- Σ – множина термінальних символів або терміналів, яка не перетинається з N , $\Sigma \cap N = \emptyset$;
- P – підмножина множини $(N \cup \Sigma)^* N (N \cup \Sigma)^* x (N \cup \Sigma)^*$ елемент (α, β) множини P називається

правилом, і записується у вигляді $\alpha \rightarrow \beta$;

- S – виділений символ з множини N , який називається початковим символом.

Граматики класифікуються за своїми правилами [8]. Нехай $G=(N,\Sigma,P,S)$ – граMATика, тоді граMATика G називається:

1) правосторонньою, якщо кожне правило з множини P має вигляд $A \rightarrow xB$, або $A \rightarrow x$, де $A, B \in N$, $x \in \Sigma^*$, наприклад: $G=(\{\langle \text{цифра} \rangle\}, \{0, \dots, 9\}, \{\langle \text{цифра} \rangle \rightarrow 0, \dots, 9\}, \{\langle \text{цифра} \rangle\})$, під $\langle \text{цифра} \rangle$ слід розуміти, як єдиний не термінальний символ;

2) контекстновільною (безконтекстною) називається граMATика, в якій кожне правило з P має вигляд: $A \rightarrow \alpha$, де $A \in N$, $\alpha \in (N \cup \Sigma)$, наприклад: $G=(\{E,T,F\}, \{a,+,*\}, P,E)$, де P складається з правил: $E \rightarrow E+T \mid T \quad T \rightarrow T*F \mid F, T \rightarrow (E) \mid a$;

3) контекстнозалежною називається граMATика, де кожне правило з P має вигляд: $\alpha \rightarrow \beta$, де $|\alpha| \leq |\beta|$, в контекстозалежній граматиці недопустимими є правила типу $A \rightarrow e$, оскільки вона має гарантувати рекурсивність створюваної нею мови;

4) граMATика, яка не відповідає жодному з вище наведених правил, називається грамакою загального вигляду.

Розглянемо методи проведення лексичного аналізу на основі цих грамастик. Існують наступні методи лексичного аналізу: непрямий і прямий лексичний аналіз [8].

Непрямий лексичний аналіз або лексичний аналіз з поверненнями полягає в послідовній перевірці версій про класи лексем [8]. Якщо перевірка поточної версії не підтверджується, то відбувається повернення назад по ланцюжку символів і здійснюється перевірка наступної версії. Аналіз чергової лексеми починається з запуску автомата, розташованого першим. Він читає перший символ a_i оброблюваного підланцюжка. Далі йде розпізнавання лексеми, у результаті чого читаються n символів. Поточним символом стає a_{i+n} . Якщо версія про лексему підтверджується, то сканер видає її і завершує роботу. Його наступний запуск починається з читання символу a_{i+n} , що знову передається першому автомату. Якщо ж автомат не може розпізнати лексему, то він видає сигнал відмови у блок управління та активізує наступний за пріоритетом автомат. Блок управління здійснює повернення до символу a_i і передає його новому активному автомату. Процес повернення здійснюється доти, поки лексема не буде розпізнана. Якщо жоден з автоматів не розпізнає лексему, то управління передається обробнику помилки, який видає лексему «помилка» і здійснює її нейтралізацію. У найпростішому випадку нейтралізація полягає у переході на наступний символ a_{i+1} перед повторним запуском лексичного аналізатора.

Прямий лексичний аналіз дозволяє визначити значення лексеми без повернень назад по ланцюжку символів [8]. Він будується на основі множини автоматів, поєднаних в один детермінований автомат, що розпізнає окремі лексеми. Такий автомат на кожному кроці читає один вхідний символ і переходить у наступний стан, що наближає його до розпізнавання поточної лексеми чи формування інформації про помилку. Для лексем, що мають однакові підланцюжки, автомат має спільні фрагменти, які реалізують

єдину множину станів.

На основі вище описаних методів лексичного аналізу працюють лексичні аналізатори Lex, Flex, Bison.

Лексичний аналіз з використанням link граматики. Link граматики належать до класу контекстновільних граматики [8–9]. Для опису мови граматиною використовуються зв'язки (link). На рис. 1 наведено приклад формування зв'язків між словами.

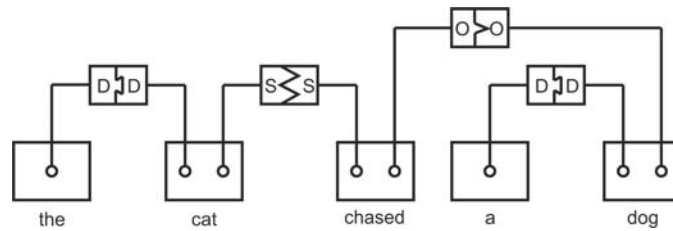


Рис. 1. Сполучення слів за змістовними зв'язками

Для link граматики характерні властивості [9]:

- 1) для кожного слова описуються зв'язки, за допомогою яких слова будуть сполучатися в речення;
- 2) після лексичного аналізу для кожного слова проставляються зв'язки з іншими словами з дотриманням лексичної та семантичної структури речення;
- 3) немає явного поділу на складові чи категорії.

В Link граматиці використовується словник, де для кожного слова визначенні всі можливі зв'язки, також вводиться поняття “з'єднувача” (connector), за допомогою з'єднувачів слова сполучаються за змістовними характеристиками.

Нижче наведені основні типи змістовних зв'язків [9]:

- 1) S використовується для сполучення іменника з дієсловом;
- 2) використовується для сполучення дієслова з об'єктом, який його характеризує;
- 3) A використовується для сполучення прикметника з іменником;

Важливим є порядок розміщення зв'язків між словами у реченні – рис. 2

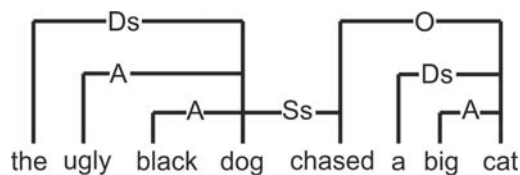


Рис. 2. Порядок сполучення слів у реченні

Метод лексичного аналізу з використанням link граматики використовує метод динамічного програмування, а саме знаходження оптимальної тріангуляції опуклого багатокутника [11, с. 320].

Нижче представлений псевдокод алгоритму лексичного аналізу з використанням link граматики [12]:

/*Функція PARSE виконує лексичний аналіз тексту з використанням link граматики.*/

PARSE

1. $t \leftarrow 0$
2. for each disjunct d of word 0
3. do if left[d] = NIL
4. then $t \leftarrow t + \text{COUNT}(0, N, \text{right}[d], \text{NIL})$
5. return t

/*Функція на вхід приймає два слова L і R , та два вказівника l та r . Вказівник l вказує на список слів праворуч від слова L , вказівник r вказує на список слів ліворуч від слова R . Функція COUNT повертає число зв'язків, які можна проставити між словами L та R .*/

COUNT (L, R, l, r)

1. if $L = R + 1$
2. then if $l = \text{NIL}$ and $r = \text{NIL}$
3. then return 1
4. else return 0
5. else total $\leftarrow 0$
6. for $W \leftarrow L + 1$ to $R - 1$
7. do for each disjunct d of word W
8. do if $l \neq \text{NIL}$ and left[d] $\neq \text{NIL}$ MATCH(l , left[d])
9. then leftcount $\leftarrow \text{COUNT}(L, W, \text{next}[l], \text{next}[\text{left}[d]])$
10. else leftcount $\leftarrow 0$

```

11. if right[d] ≠ NIL and r ≠ NIL and Match(right[d],r)
12.   then rightcount ← COUNT(W, R, next[right[d]], next[r])
13.   else rightcount ← 0
14. total ← total + leftcount * rightcount
15. if leftcount > 0
16.   then total ← total + leftcount * COUNT(W, R, right[d],r)
17. if rightcount > 0 and L = NIL
18.   then total ← total + rightcount * COUNT(L, W, l, left[d])
19. return total

```

Функція PARCE – виконує лексичний аналіз з використанням link граматики.

Функція COUNT – виконує підрахунок кількості зв'язків між словами, що знаходяться в межах $[L, \dots, R]$. В якості параметрів передаються індекси слів L та R (початок та кінець речення), та два списки із вказівниками l та r, де розміщені з'єднувачі для кожного слова, які повинні відповідати наступним вимогам [11]:

- 1) зв'язки не повинні перетинатися і мають задовольняти правилам, які визначені у словнику;
- 2) для кожного слова $[L, \dots, R]$ мають бути жорстко визначені зв'язки;
- 3) всі зв'язки та з'єднувачі для всіх слів з діапазону $[L, \dots, R]$ або $[L, \dots, M]$ і $[M+1, \dots, R]$ мають

відповідати правилу $L \leq M < R$.

Порівняння методів лексичного аналізу. Проведемо порівняння методів лексичного аналізу на предмет вирішення задачі перевірки технічного завдання на розробку програмного забезпечення чи програмно-технічного комплексу на повноту, несуперечливість, відповідність вимогам та стандартам предметної галузь. Лексичний аналізатор технічних завдань повинен відповідати наступним вимогам:

- проводити морфологічний аналіз слів;
- виділяти термінальні символи;
- проводити синтаксичний аналіз;
- ідентифікувати функційні та нефункційні вимоги.

Виділимо основні переваги та недоліки кожного з методів, які представимо у таблиці 1.

Таблиця 1

Порівняння методів лексичного аналізу

№	Характеристики	Лексичний аналіз з використанням граматики Хомського	Лексичний аналіз з використанням Link граматики
1	Морфологічний аналіз слів	Не підтримується	Підтримується
2	Поділ на термінальні та нетермінальні символи	Підтримується	Не підтримується
3	Синтаксичний аналіз	Підтримується	Підтримується
4	Ідентифікація функційних та нефункційних вимог	Не підтримується	Не підтримується
5	Правосторонні граматики	Підтримується	Підтримується
6	Контекстновільні граматики	Підтримується	Підтримується
7	Контекстнозалежні граматики	Підтримується	Не підтримується
8	Граматики загального виду	Підтримується	Не підтримується
9	Задання граматики регулярними виразами	Підтримується	Немає засобів
10	Використання детермінованих та недетермінованих автоматів з магазинною пам'яттю	Підтримується	Не підтримується
11	Дерева виводу	Підтримується	Немає засобів
12	Визначення зв'язків між словами	Немає засобів	Підтримується
13	Збір статистичної інформації по зв'язках між словами у тексті	Немає засобів	Підтримується
14	Словник з правилами сполучення слів	Не підтримується	Підтримується

Набір характеристик, представлений в табл. 1, не є вичерпним.

Описані вище методи лексичного аналізу дозволяють лише частково розв'язати задачу лексичного аналізу технічного завдання на розробку програмного забезпечення. Задача ідентифікації функційних та нефункційних вимог з подальшою перевіркою на відповідність нормативній базі залишається не вирішеною.

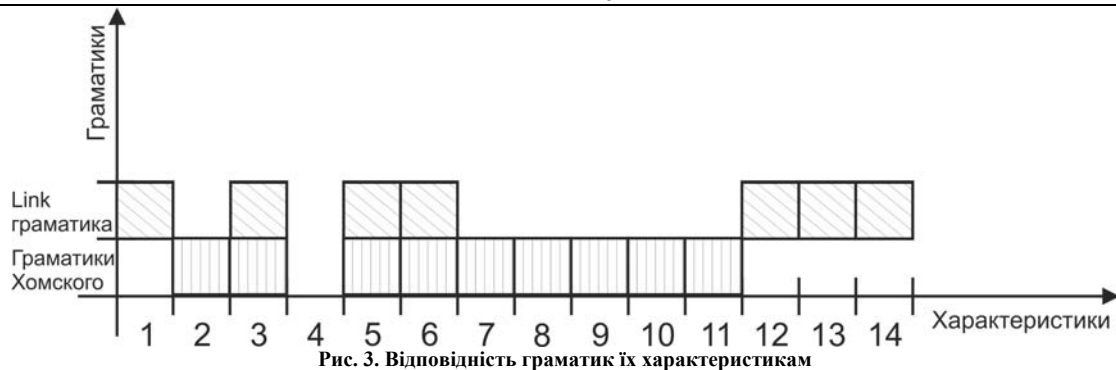


Рис. 3. Відповідність граматики їх характеристикам

Модифікований метод лексичного аналізу на основі правосторонньої граматики Хомського.

Для розв'язання задачі перевірки технічного завдання на розробку програмного забезпечення на повноту, несуперечливість, відповідність вимогам предметної області та стандартам необхідно розробити комбінований метод лексичного аналізу, який буде в себе включати Граматики Хомського, Link-граматику, оскільки кожен окремо взятий метод лексичного аналізу не дозволяє в повній мірі вирішити цю задачу. Використання граматики Хомського дозволяє чітко розмежувати слова на термінальні та нетермінальні символи, виконувати синтаксичний аналіз слів. Використання Link-граматики дозволяє відстежити зв'язки між словами, виконувати морфологічний аналіз слів. Тому доцільним є розроблення комбінованого методу лексичного аналізу з додаванням модуля ідентифікації функційних та нефункційних вимог до програмного забезпечення (рис.4). Такий підхід дозволить підвищити ефективність розв'язання задачі лексичного аналізу технічного завдання на розробку програмного забезпечення.



Рис. 4. Модифікований метод лексичного аналізу

Висновок. Аналіз відомих методів лексичного аналізу показав, що вони базуються на використанні граматики Хомського або Link-граматики. Використання окремо кожної з граматики не дозволяє проводити лексичний аналіз технічних завдань на розробку програмного забезпечення, оскільки кожна з цих граматики окремо не має повного набору відповідних характеристик.

З метою підвищення ефективності розв'язання задачі оцінки повноти, несуперечливості та відповідності технічного завдання стандартам, визначення дотримання вимог та правил з предметної галузі проектування ПЗ, чи в повній мірі та несуперечливо визначені функційні та нефункційні вимоги, доцільним є розроблення модифікованого методу лексичного аналізу, що базується на використанні граматики Хомського та Link-граматики.

Література

1. IEEE Std 830 – 1998 IEEE Recommended Practice for Software Requirements Specifications (Практичні рекомендації по специфікації програмного забезпечення).
2. IEEE Std. 610.12 – 1990 IEEE Standard Glossary of Software Engineering Terminology
3. Petter L. Quantification and Traceability of Requirements / Petter L. , H. Eide – TDT4735 Software Engineering Depth Study – Fall – 2005
4. Кльоц Ю.П. Лексичний аналізатор технічних завдань на розробку критичного програмного забезпечення / Ю.П. Кльоц, В.С. Шевцов. – Труды XII МНПК “Сучасні інформаційні та електронні технології” – 2011 – С. 109.
5. IEC 60880 Software for computers in the safety systems of nuclear power stations (Програмне забезпечення для ЕОМ систем забезпечення безпеки АЕС).
6. ECSS-Q-80-03 Software Dependability and Safety Methods and Techniques (Методи і методики безпеки та надійності програмного забезпечення).
7. IEC 61513 Nuclear power plants – Instrumentation and control systems important for safety – General requirements for systems (АЕС – Інформаційно-керуючі системи, важливі для безпеки – Загальні вимоги до систем).
8. Ахо А. Теория синтаксического анализа, перевода, компиляции / А. Ахо, Дж. Ульман. – М., 1978. – Т. 1. – 613 с.
9. Daniel D. Sleator Parsing English with a Link Grammar / Daniel D. Sleator, Davy Temperley
10. Maggie Johnson Lexical Analysis / Maggie Johnson, Julie Zelenski – CS143 – Handout03 – 2008
11. Thomas H. Cormen Introduction to Algorithms / Thomas H. Cormen, Charles E. Leiserson & Ronald

L. Rivest – 1990

12. Sleator, D. D., D. Temperley, "Parsing English with a Link Grammar", Technical report CMU-91-196, Carnegie Mellon University, School of Computer Science, October 1991.

Надійшла 19.9.2011 р.

УДК 004.056.5: 518

А.А. КОБОЗЄВА, В.А. МОКРИЦЬКИЙ

Одеський національний політехнічний університет

Р.Г.МЕЛКУМЯН

Київський національний університет

ОСНОВИ МЕХАНІЧНОЇ МОДЕЛІ СИСТЕМИ ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ

В роботі запропоновано основи принципово нової моделі захищеної інформаційної системи, заснованої на механічній інтерпретації системи лінійних алгебраїчних рівнянь із залученням теорії збурень, що ніколи не робилося раніше.

The paper presents fundamentals of a new model of secure information system based on the interpretation of the mechanical system of linear algebraic equations involving the perturbation that has never been done before.

Ключові слова: модель системи, захист інформації, система лінійних алгебраїчних рівнянь, теорія збурень.

Вступ. Широкомасштабне використання обчислювальної техніки й телекомунікаційних систем, перехід до безпаперової технології, збільшення об'ємів оброблюваної інформації й розширення кола користувачів сьогодні призводять до якісно нових можливостей несанкціонованого доступу до ресурсів і даних інформаційних систем, що спричиняє підвищення актуальності вимоги захищеності будь-якої інформаційної системи.

Проблеми побудови систем захисту інформації (СЗІ) дуже широко обговорюються в сучасних відкритих джерелах [1– 5]. Висновок про необхідність створення системного комплексного підходу до захисту інформації на основі єдиного наукового базису [1, 2] ні в кого не викликає сумнівів. Побудова такого наукового базису неможлива без наявності адекватної математичної моделі СЗІ. Існуючі проблеми при створенні таких моделей добре відомі [1– 8]. Основні з них – це складність і різноманітність інформаційних систем, більшість із яких погано формалізуються, вимагають адаптації безпосередньо в процесі функціонування й управління.

Метою роботи є створення основ принципово нової механічної моделі захищеної інформаційної системи.

Як основні математичні інструменти виступають обчислювальна лінійна алгебра, теорія матриць, теорія збурень.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати наступні задачі:

- обрати механічну інтерпретацію для СЗІ; встановити відповідність між елементами інформаційної системи й параметрами її механічної моделі;
- провести математичну формалізацію механічної моделі;
- формалізувати вимогу стійкості СЗІ стосовно передбачуваних атак у рамках механічної моделі;
- отримати формальні умови стійкості СЗІ до передбачуваного супротивника.

Формалізація системи захисту інформації. Як механічну модель захищеної інформаційної системи завдяки аналогіям, що наведені на рис. 1, логічно розглянути пружну статичну систему S , закріплену на краях [9], наприклад, стрижень.

Оберемо на пружному стрижні скінченну множину точок, кожна з яких буде відповідати конкретному засобу захисту, наявному в розпорядженні інформаційної системи, які для зручності занумеруємо в порядку зліва направо: $1, 2, \dots, n$. Будемо розглядати прогини b_1, b_2, \dots, b_n точок $1, 2, \dots, n$ системи S під впливом сил x_1, x_2, \dots, x_n , прикладених у цих точках. Тоді x_1, x_2, \dots, x_n інтерпретуються як атаки, спрямовані безпосередньо на засоби захисту $1, 2, \dots, n$, а b_1, b_2, \dots, b_n – результати впливу атак на засоби захисту.

Припустимо, що

сили, що впливають на стрижень, і переміщення (прогини) його складових перпендикулярні вхідному (недеформованому) положенню стрижня, тобто паралельні між собою, а тому повністю визначаються своїми алгебраїчними величинами (рис. 2);

має місце принцип лінійного накладення сил [9].

Нехай a_{ik} – прогин стрижня в точці i під впливом одиничної сили, прикладеної в точці k , або коефіцієнт впливу точки k на i , $i, k = \overline{1, n}$. При спільній дії довільних сил x_1, x_2, \dots, x_n на стрижень S

при зроблених вище припущеннях прогини будуть визначатися формулою:

$$\sum_{k=1}^n a_{ik} x_k = b_i, \quad i = \overline{1, n}. \quad (1)$$

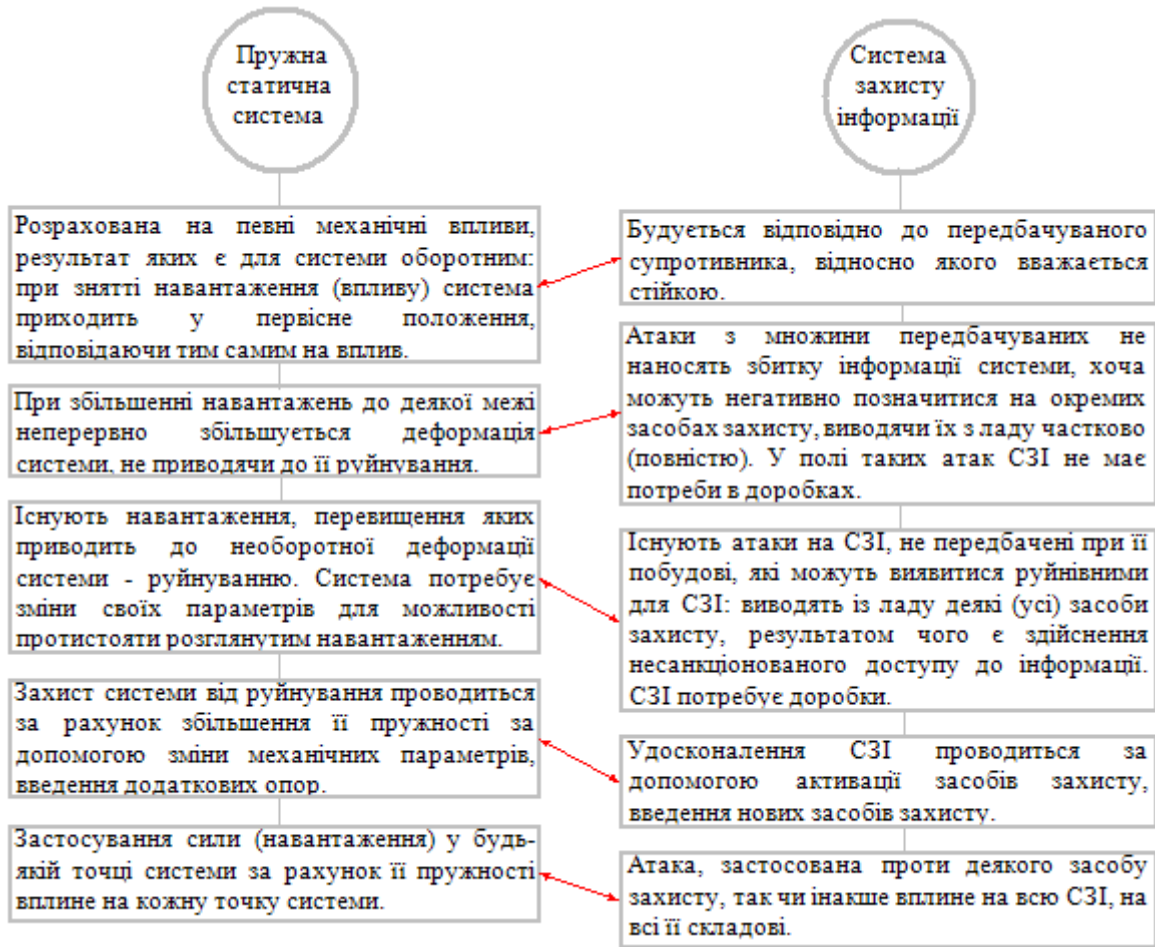


Рис. 1. Аналогії між властивостями пружної статичної системи й системи захисту інформації

Ці прогини b_1, b_2, \dots, b_n є формальною кількісною інтерпретацією підсумкового стану кожного засобу захисту після спільного проведення атак x_1, x_2, \dots, x_n на інформаційну систему.

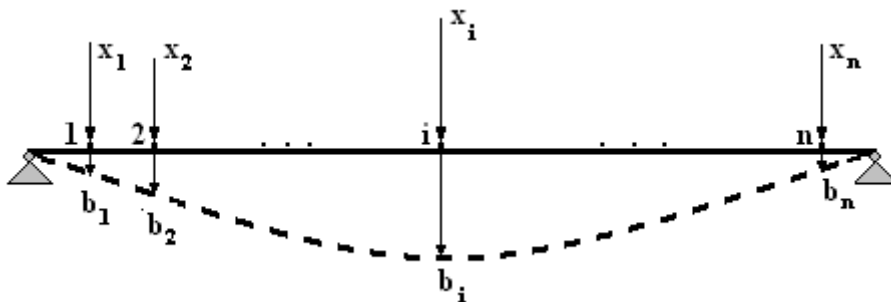


Рис. 2. Деформація пружного стрижня під впливом зовнішніх сил

Матричний вид співвідношення (1)

$$Ax = b, \quad (2)$$

де A – $n \times n$ – матриця з елементами $a_{ik}, i, k = \overline{1, n}$, x, b – вектори довжини n з елементами $x_i, b_i, i = \overline{1, n}$ відповідно.

Співвідношення (2) представляє в загальному випадку неоднорідну систему лінійних алгебраїчних рівнянь (СЛАР) щодо невідомих сил, які впливають на стрижень x_1, x_2, \dots, x_n при відомих прогинах

b_1, b_2, \dots, b_n . Припускаючи, що $\det(A) \neq 0$, маємо єдине рішення (2).

Система (2) є формальним представленням СЗІ при використанні пружного стрижня як її механічної інтерпретації. Мовою теорії інформаційного захисту задача про рішення СЛАР (2) може бути інтерпретована наступним чином: визначити кількісні характеристики прояву атак на захищену інформаційну систему, які призведуть до певного стану засобів захисту. В граничному варіанті: визначити максимально можливі прояви атак x_1, x_2, \dots, x_n , які ще не призведуть до руйнування СЗІ й безпосереднього доступу до інформації, що для задачі про деформацію пружного стрижня зведеться до визначення максимальних впливів, які може витримати стрижень, щоб результат цих впливів був оборотним.

Умови стійкості системи захисту інформації. СЗІ будемо називати стійкою стосовно проведеної атаки, якщо в результаті атаки несанкціонований доступ до збереженої інформації не відбувся.

Назвемо задачу, що визначається системою (2), прямою.

Механічною інтерпретацією стійкості СЗІ природно вважати малі пружні зміни в деформації стрижня при порівняно великому збільшенні значень зовнішніх сил, що впливають на стрижень, інакше кажучи, великі збурення x_1, x_2, \dots, x_n можуть виникати в результаті малих збурень вхідних даних b_1, b_2, \dots, b_n . Таким чином, формально вимога стійкості СЗІ буде відповідати вимозі чутливості [10] прямої задачі до збурних дій.

Мірою чутливості будь-якої задачі є її число обумовленості [11]. У випадку задачі про рішення СЛАР це число обумовленості може визначатися як

$$\text{cond}(A) = \|A\| \|A^{-1}\|. \quad (3)$$

Дійсно [12], нехай x – точне, \bar{x} – реально отримане, тобто наближене рішення СЛАР (2),

$$\delta x = \bar{x} - x, \quad \delta A, \quad \delta b$$

- збурення матриці A і вектора b відповідно. СЛАР (2) представляється у вигляді:

$$(A + \delta A)(x + \delta x) = b + \delta b. \quad (4)$$

Враховуючи, що $b = Ax$ і $\det(A) \neq 0$, з (4) випливає:

$$\delta x = A^{-1}(\delta b - \delta Ax),$$

звідки отримуємо:

$$\|\delta x\| \leq \|A^{-1}\| (\|\delta b\| + \|\delta A\| \|\bar{x}\|) = \|A^{-1}\| \|A\| \left(\frac{\|\delta b\|}{\|A\|} + \frac{\|\delta A\| \|\bar{x}\|}{\|A\|} \right).$$

Оскільки \bar{x} – це рішення неоднорідної системи, то $\|\bar{x}\| \neq 0$. Розділивши останню нерівність на $\|\bar{x}\|$, отримаємо:

$$\frac{\|\delta x\|}{\|\bar{x}\|} \leq \|A^{-1}\| \|A\| \left(\frac{\|\delta A\|}{\|A\|} + \frac{\|\delta b\|}{\|A\| \|\bar{x}\|} \right). \quad (5)$$

Тут відносна похибка результату порівнюється з відносною зміною вхідних даних через величину $\text{cond}(A)$, яка визначається відповідно до (3).

У силу специфіки отриманої СЛАР (2) будемо вважати, що $\delta A = 0$, а збурена система (4), для якої \bar{x} є точним рішенням, отримана лише завдяки збуренню вектора правої частини. Дійсно, коефіцієнти матриці A ніяк не залежать від змін в x, b , вони визначаються лише коефіцієнтом пружності стрижня (мірою пружності стрижня). Тоді співвідношення (5) стане:

$$\frac{\|\delta x\|}{\|\bar{x}\|} \leq \text{cond}(A) \frac{\|\delta b\|}{\|A\| \|\bar{x}\|},$$

звідки випливає, що малі зміни у векторі прогинів b можуть відповідати великим збуренням у векторі сил x у випадку значної величини $\text{cond}(A)$, що для моделюємої СЗІ буде говорити про її стійкість.

При побудові механічної моделі захищеної інформаційної системи природно вважати, що СЗІ буде тим більше стійкою до передбачуваних атак, чим менше будуть коефіцієнти впливу точок відповідного їй пружного стрижня одна на одну, тобто чим менше будуть коефіцієнти матриці системи, чим більше буде коефіцієнт пружності стрижня. Очевидно, при побудові механічної моделі гіпотетично ідеальним з погляду стійкості СЗІ буде варіант, коли $a_{ik} = 0$, $i, k = \overline{1, n}$, тоді всі прогини b_1, b_2, \dots, b_n будуть нульовими

незалежно від конкретного прояву сил. У цьому випадку $\text{cond}(A) = \infty$. Однак на практиці це очевидно є нереальним.

Якщо $A \neq 0$, але $\det(A) = 0$ ($\text{cond}(A) = \infty$), то нульовий вектор b у прямій задачі (2) може відповідати ненульовому вектору сил, які впливають на стрижень x , що говорить на користь адекватності запропонованої моделі СЗІ. Дійсно, згаданий випадок є інтерпретацією існування для СЗІ таких атак, вплив яких ніяк не позначиться на засобах захисту й, як наслідок, на самій інформації.

Однак у реальних умовах для стійкої СЗІ логічно припустити, що

$$a_{ik} \approx 0, \quad i, k = \overline{1, n}. \quad (6)$$

З великою ймовірністю при виконанні умов (6) елементи A будуть мало відрізнятися за значеннями. Тоді навіть, якщо $\det(A) \neq 0$, значення визначника може виявитися близьким до нуля. Дійсно, малі відмінності a_{ik} між собою приведуть до малої міри лінійної незалежності між векторами-стовпцями (векторами-рядками) матриці A – малим кутам між ними. Близькість визначника матриці до нуля призведе до великого значення числа обумовленості $\text{cond}(A)$, а тому до чутливості прямої задачі до збурних дій.

Твердження. Нехай СЗІ є стійкою до передбачуваних атак, тоді з великою ймовірністю відповідна їй СЛАР (2) буде чутливою до збурних дій.

З врахуванням вищесказаного має місце наступна теорема.

Теорема. Для того, щоб СЗІ при її формальному представленні у вигляді СЛАР (2) була стійкою до передбачуваних атак необхідно й достатньо, щоб пряма задача була чутливою до збурних дій, тобто щоб матриця СЛАР (2) була погано обумовлена: $\text{cond}(A) \gg 1$.

Висновки. Розгляд пружного стрижня як механічної моделі захищеної інформаційної системи є першим кроком на шляху побудови механічної моделі. Більш привабливим щодо цього є розгляд пружної пластини, для якої відповідна система рівнянь може бути отримана, наприклад, з залученням методу скінченних елементів, різних схем змішаного методу скінченних елементів.

На підставі проробленої роботи можна стверджувати, що запропонований новий підхід до питання моделювання СЗІ, заснований на аналогіях між пружною статичною системою й системою інформаційної безпеки, що використовує в якості математичних інструментів матричний аналіз, обчислювальну лінійну алгебру, теорію збурень, є надзвичайно перспективним.

Література

1. Хорошко В.А. Методы и средства защиты информации / В.А. Хорошко, А.А. Чекатков. – К. : Юниор, 2003. – 501 с.
2. Ленков С.В. Методы и средства защиты информации : в 2 т. / Ленков С.В., Перегудов Д.А., Хорошко В.А. – К. : Арий, 2008.
3. Домарев В.В. Безопасность информационных технологий. Методология создания систем защиты / Домарев В.В. – Изд-во : ТИД «ДС», 2001. – 688 с.
4. Домарев В.В. Безопасность информационных технологий. Системный подход / Домарев В.В. – Изд-во : ТИД «ДС», 2004. – 992 с.
5. Малюк А.А. Информационная безопасность: концептуальные и методологические основы защиты информации / Малюк А.А. — М. : Горячая линия – Телеком, 2004. – 280 с.
6. Кобозева А.А. Модель системы защиты информации, основанная на принципах естественной системы управления / А.А. Кобозева, В.А. Хорошко // Захист інформації. – 2007. – С. 56–62.
7. Кобозева А.А. Методика оценки адекватности системы защиты информации / А.А. Кобозева, В.А. Хорошко // Вісник ДУІКТ. – 2007. – № 5 (3). – С. 328–334.
8. Кобозева А.А. Векторная sign-чувствительность как основа геометрической модели системы защиты информации / А.А. Кобозева, В.А. Хорошко // Захист інформації. – 2008. – № 3 – С. 49–57.
9. Гантмахер Ф.Р. Теория матриц / Гантмахер Ф.Р. – М. : Наука, 1988. – 552 с.
10. Деммель Дж. Вычислительная линейная алгебра / Дж. Деммель ; [пер. с англ. Х.Д. Икрамова]. – М. : Мир, 2001. – 430 с.
11. Кобозева А.А. Общий подход к анализу состояния информационных объектов, основанный на теории возмущений / А.А. Кобозева // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. – 2008. – № 8 (126), Ч. 1. – С. 72–81.
12. Кобозева А.А. Стеганографический метод, основанный на решении системы линейных алгебраических уравнений / А.А. Кобозева, А.В. Коломийчук // Праці УНДІРТ. – 2006. – № 1 (45)–2 (46). – С. 104–109.

Надійшла 5.9.2011 р.

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ
ВАГОВИХ КОЕФІЦІЄНТІВ ВАЖЛИВОСТІ

В статті здійснено системний аналіз відомих методів визначення вагових коефіцієнтів важливості. Одна і та сама задача розв'язана методами Сааті, Уея, Когера і Ю. Фішбера, а також за допомогою принципу нечіткої більшості, що дало можливість зробити висновки і визначити ефективність методів для розв'язання поставленої задачі.

The article made characteristic of know methods for determining the importance weight. The same task is solved using next methods: Saati, Uey, Kohera and U, Fishbera, also using principle of fuzzy majority. The solving gave ability to make conclusions and determine the best method for solving the task.

Ключові слова: вагові коефіцієнти важливості, метод Сааті, спрощений метод Сааті, метод Уея, метод Когера і Ю, метод Фішбера, принцип нечіткої більшості.

Вступ. Задачі оцінювання властивостей об'єктів, що характеризуються неоднорідними параметрами (надалі – критеріями), зустрічаються досить часто. У більшості випадків таку оцінку людина робить інтуїтивно і при цьому часто і "грубо" помиляється. Для зменшення рівня помилок розроблено методи з використанням експертних оцінок.

Але в процесі інтегрального оцінювання об'єктів виникає необхідність враховувати додатково неоднакову важливість часткових критеріїв. Як правило, цю проблему вирішують методом введення вагових коефіцієнтів важливості (ВКВ) критеріїв, призначення яких – числова оцінка вкладу відповідного критерію в кінцевий результат. Для розрахунку вагових коефіцієнтів важливості використовуються різні підходи, в рамках яких розроблено декілька методів. Знайдені різними методами вектори вагових коефіцієнтів не завжди збігають за своїми значеннями, тому актуальними є задачі оцінювання похибки визначення вагових коефіцієнтів важливості; введення шкали допустимих значень під час їх визначення та ін.

Аналіз методів визначення вагових коефіцієнтів важливості. Одним із підходів щодо визначення вагових коефіцієнтів важливості m об'єктів, що порівнюються на основі матриці попарних порівнянь, є метод Сааті. Цей підхід оформився в цілий розділ теорії прийняття рішень за наявності одного критерію, а також декількох критеріїв і отримав найменування методу аналізу ієрархій, скорочено МАІ [1]. В даний час МАІ широко застосовується в теорії і практиці багатокритеріального вибору.

Для реалізації МАІ експертами формується матриця попарних порівнянь A , а шуканий вектор вагових коефіцієнтів $\omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_m)^T$ розраховується як власний вектор цієї матриці, що відповідає максимальному власному значенню [2]. Але часто на практиці такий спосіб визначення вагового вектору є некоректним через порушення властивості сумісності матриці парних порівнянь.

Тому розглянемо характеристики і можливості інших способів визначення вагових коефіцієнтів важливості [3].

1. Ранжування критеріїв. Цей підхід дещо спрощує роботу експертам, оскільки не вимагає контролю загальної суми вагових коефіцієнтів. Тут від експертів вимагається провести ранжування, тобто впорядкувати досліджувані критерії, які характеризують об'єкт, за ступенем проявлення в них властивостей в порядку їх зростання або спадання:

$$\left. \begin{array}{l} R_{11}, R_{21}, \dots, R_{n1} \\ R_{12}, R_{22}, \dots, R_{n2} \\ \dots \dots \dots \\ R_{1m}, R_{2m}, \dots, R_{nm} \end{array} \right\}$$

де R_{ij} – ранг (місце), присвоєний критерію K_i j -м експертом в ряду із n досліджуваних об'єктів, впорядкованих цим експертом за ступенем проявлення властивості, що аналізується. Допускається двом або більше критеріям присвоювати однаковий ранг, але тоді він буде дробовим. Зведені оцінки вагових коефіцієнтів можна отримати в результаті усереднення часткових рангів за стовпцями.

Перевага цього методу полягає в його відносній простоті, але це не той випадок, коли простота ефективна, оскільки усереднення рангів зумовлює до більш грубої оцінки вагових коефіцієнтів порівняно з іншими методами.

2. Розрахунок вектора вагових коефіцієнтів за основним методом Сааті. Згідно з алгоритмом методу Сааті, експертами складається квадратна матриця A :

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1m} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mm} \end{bmatrix} \quad (1)$$

За умови $A\omega = \lambda\omega$ при $\omega \neq 0$ число λ називається власним значенням матриці (визначник матриці), а ненульовий вектор ω – відповідний йому власний вектор.

Подамо задачу в наступному вигляді:

$$(A - \lambda E)\omega = 0, \quad \omega \neq 0$$

Тоді для існування нетривіального розв'язку попередньої задачі має виконуватися умова:

$$\det(A - \lambda E) = 0$$

Цей визначник являє собою многочлен m -го степеня від λ ; його називають характеристичним многочленом. Існує m власних значень – коренів цього многочлена. Згідно з методом Сааті, приймається найбільше зі знайдених власних значень.

Підставивши знайдене власне значення матриці в однорідну систему (1), отримуємо матрицю A' :

$$A' = \begin{bmatrix} a_{11} - \lambda & a_{12} & \dots & a_{1m} \\ a_{21} & a_{22} - \lambda & \dots & a_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mm} - \lambda \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a'_{11} & a'_{12} & \dots & a'_{1m} \\ a'_{21} & a'_{22} & \dots & a'_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a'_{m1} & a'_{m2} & \dots & a'_{mm} \end{bmatrix} \quad (2)$$

У розгорнутій формі задача (2) може бути записана наступним чином, власне звідки можна визначити відповідний власний вектор:

$$\begin{cases} a_{11}\omega_1 + a_{12}\omega_2 + \dots + a_{1m}\omega_m = 0 \\ a_{21}\omega_1 + a_{22}\omega_2 + \dots + a_{2m}\omega_m = 0 \\ \dots \\ a_{m1}\omega_1 + a_{m2}\omega_2 + \dots + a_{mm}\omega_m = 0 \end{cases}$$

За методом Сааті, одне з рівнянь замінюють умовою нормування $\sum_{j=1}^m \lambda_j = 1$.

При розв'язанні задачі знаходження розв'язку систем лінійних алгебраїчних рівнянь можна виділити два підходи: “точні” методи знаходження рішень і ітераційні методи. Слово “точні” пишемо в лапках, оскільки знаходження рішення можна здійснити цими методами за скінчене число операцій, однак серед цих операцій обов'язково є операції ділення, які не завжди можуть бути реалізовані точно.

Основним методом для прямого знаходження розв'язку системи лінійних алгебраїчних рівнянь є **метод Гауса**. Цей метод іноді називають методом виключення невідомих. Також широко вживаються і інші методи, серед яких метод Холецького, метод прогонки та ін.

Приклад. Визначимо вагові коефіцієнти важливості для сформованої за допомогою експертних оцінок матриці A :

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 7 & 1/5 & 1/3 & 2 & 2 \\ 1/7 & 1 & 1/5 & 1/7 & 1/5 & 1/7 \\ 5 & 5 & 1 & 2 & 6 & 4 \\ 3 & 7 & 1/2 & 1 & 4 & 5 \\ 1/2 & 5 & 1/6 & 1/4 & 1 & 2 \\ 1/2 & 7 & 1/4 & 1/5 & 1/2 & 1 \end{bmatrix} \quad (2')$$

Знаходимо власне значення матриці λ . Визначник матриці $A - \lambda E$ становить: $\lambda = 6,6498$

Значення визначника підставляємо в головну діагональ матриці, після чого складаємо систему рівнянь Сааті, замінивши одне з рівнянь умовою нормування $\sum_{j=1}^m \omega_j = 1$ (всі інші значення при невідомих беруться з матриці):

$$\begin{cases} -5,6498\omega_1 + 7\omega_2 + 0,2\omega_3 + 0,333\omega_4 + 2\omega_5 + 2\omega_6 = 0 \\ 0,14\omega_1 - 5,6498\omega_2 + 0,2\omega_3 + 0,14\omega_4 + 0,2\omega_5 + 0,14\omega_6 = 0 \\ 5\omega_1 + 5\omega_2 - 5,6498\omega_3 + 2\omega_4 + 6\omega_5 + 4\omega_6 = 0 \\ 3\omega_1 + 7\omega_2 + 0,5\omega_3 - 5,6498\omega_4 + 4\omega_5 + 5\omega_6 = 0 \\ 0,5\omega_1 + 5\omega_2 + 0,166\omega_3 + 0,25\omega_4 - 5,6498\omega_5 + 2\omega_6 = 0 \\ \omega_1 + \omega_2 + \omega_3 + \omega_4 + \omega_5 + \omega_6 = 1 \end{cases}$$

Ця система має єдиний розв'язок, який і є вектором вагових коефіцієнтів важливості критеріїв: $\omega_1 = 1,54404$; $\omega_2 = 0,354689$; $\omega_3 = 4,72835$; $\omega_4 = 3,33558$; $\omega_5 = 1,09161$; $\omega_6 = 1$.

Після нормалізації отримуємо: $\omega_1 = 0,12809072$; $\omega_2 = 0,029424$; $\omega_3 = 0,39225$; $\omega_4 = 0,276713$; $\omega_5 = 0,09055$; $\omega_6 = 0,082958$

3. Спрощений варіант МАІ. Вимоги до матриці попарних порівнянь. Нехай існує набір m об'єктів A_1, A_2, \dots, A_m і задача полягає у визначенні вагових коефіцієнтів ефективності кожного з цих об'єктів, тобто в знаходженні відповідних їм чисел $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_m$.

Згідно з МАІ, матриця попарних порівнянь повинна володіти наступними властивостями:

1) Всі елементи матриці A додатні: $a_{ij} > 0$ для всіх номерів $i, j = 1, 2, \dots, m$.

2) Матриця A обернено симетрична $a_{ij} = 1/a_{ji}$ для всіх номерів $i, j = 1, 2, \dots, m$. Зокрема $a_{ii} = 1$, $i = 1, 2, \dots, m$.

3) Матриця A сумісна, тобто рівність $a_{ij} = a_{ik} a_{kj}$ має місце для всіх номерів $i, j, k = 1, 2, \dots, m$.

4) Число m є максимальним власним значенням матриці A і для деякого єдиного (нормованого) вектор-стовпця $\omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_m)^T$ з додатніми компонентами виконується рівність $A\omega = m\omega$.

Побудова матриці попарних порівнянь на основі елементів першої стрічки. Розглянемо метод побудови матриці попарних порівнянь, яка задовольняє перші три властивості, що перелічені вище. Відповідно до перших двох властивостей діагональні елементи матриці – це одиниці. Далі експерту пропонують порівняти вагу першого об'єкта з вагою другого об'єкта і вказати додатне число, що відображає у скільки разів вага першого об'єкта більша за вагу другого об'єкта. У результаті виконання такого порівняння експерт назначає деяке додатне число a_{12} . Далі для порівняння з першим об'єктом розглядається третій об'єкт і в результаті порівняння експертом вказується число a_{13} і т.д. Після виконання порівнянь першого об'єкта з всіма іншими будуть назначені додатні числа $a_{12}, a_{13}, \dots, a_{1m}$. Таким чином буде побудовано перший рядок матриці A . Описаний спосіб визначення елементів першого рядка матриці A можна назвати “схемою порівняння за взірцем”, у ролі якого виступає перший об'єкт.

Всі інші елементи матриці попарних порівнянь можна розрахувати на основі властивостей 2 і 3 матриці попарних порівнянь. Завдяки цим властивостям виконуються рівності:

$$a_{ij} = a_{i1} a_{1j} = \frac{a_{1j}}{a_{1i}}, \quad i = 2, \dots, m; \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (3)$$

з допомогою яких однозначно розраховуються елементи інших рядків матриці A [2].

Знаходження вагових коефіцієнтів. Після того, як матриця $A = (a_{ij})_{m \times m}$ за допомогою залежності (3) сформована, можна знайти вектор вагових коефіцієнтів важливості $\omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_m)^T$. Його компоненти визначають залежністю:

$$\omega_i = \frac{a_{1m}}{a_{1i}}, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (4)$$

Вектор вагових коефіцієнтів важливості, визначений за допомогою (4), не задовольняє вимогу нормалізації, так як його остання компонента рівна одиниці. Якщо необхідно, щоб він був нормований, кожен його компоненту слід розділити на суму всіх компонент, тобто на величину $\omega_1 + \omega_2 + \dots + \omega_{m-1} + 1$, де всі доданки ω_i , $i = 1, 2, \dots, m-1$, знайдені за залежністю (4).

Здійснимо експертне порівняння першого критерію зі всіма іншими (для умови задачі 2'): $a_{12} = 7$, $a_{13} = \frac{1}{5}$, $a_{14} = \frac{1}{3}$, $a_{15} = 2$, $a_{16} = 2$. З використанням залежності (3) матриця попарних порівнянь буде мати вигляд:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 7 & 1/5 & 1/3 & 2 & 2 \\ 1/7 & 1 & 1/35 & 1/21 & 2/7 & 2/7 \\ 5 & 35 & 1 & 5/3 & 10 & 10 \\ 3 & 21 & 3/5 & 1 & 6 & 6 \\ 1/2 & 7/2 & 1/10 & 1/6 & 1 & 1 \\ 1/2 & 7/2 & 1/10 & 1/6 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

Для знаходження вектора вагових коефіцієнтів потрібні лише елементи останнього стовпця: $\omega_1 = 2$, $\omega_2 = 2/7$, $\omega_3 = 10$, $\omega_4 = 6$, $\omega_5 = 1$, $\omega_6 = 1$. Після нормування отримаємо кінцевий результат: $\omega_1 = 0,0986$, $\omega_2 = 0,014$, $\omega_3 = 0,4931$, $\omega_4 = 0,2958$, $\omega_5 = 0,0493$, $\omega_6 = 0,0493$.

4. Розрахунок вектора вагових коефіцієнтів за методом Уея. Метод власних векторів Уея базується на даних матриці попарних порівнянь: $A = \|a_{ij}\|$, $a_{ij} \in \{-1, 0, 1\}$ де $a_{ij} = -1$ означає перевагу параметра x_j над параметром x_i , $a_{ij} = 0$ – рівноцінність x_j і x_i , а $a_{ij} = 1$ – перевагу параметра x_i над x_j .

Через незручність працювати з від'ємними числами матрицю попарних порівнянь можна

перетворити в додатню матрицю:

$$A^+ = \|a_{ij}^+\|, a_{ij} = \{0,1,2\}$$

Додавши числа в кожному рядку матриці, будемо мати числові характеристики важливості параметрів, а розділивши їх на загальну суму отримаємо вагові коефіцієнти важливості критеріїв:

$$\omega_{ii} = \frac{\sum_{j=1}^m a_{ij}^+}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m a_{ij}^+}$$

Приклад. Складаємо матрицю A на підставі експертних оцінок (2'):

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 \\ -1 & 0 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & 0 & 1 & 1 \\ -1 & 1 & -1 & -1 & 0 & 1 \\ -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

Виконуємо перетворення матриці A у додатну матрицю за допомогою таких перетворень $A^+ = \|a_{ij}^+\|, a_{ij} = \{0,1,2\}; a_{ij}^+ = a_{ij} + 1$ (тобто додаємо до кожного елемента матриці число 1) [4]:

$$A^+ = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 0 & 0 & 2 & 2 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & 2 & 1 & 2 & 2 & 2 \\ 2 & 2 & 0 & 1 & 2 & 2 \\ 0 & 2 & 0 & 0 & 1 & 2 \\ 0 & 2 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Визначаємо вагові коефіцієнти важливості критеріїв:

$$\omega_1 = 0,1944, \omega_2 = 0,0277, \omega_3 = 0,3055, \omega_4 = 0,25, \omega_5 = 0,1388, \omega_6 = 0,0833.$$

5. Розрахунок вектора вагових коефіцієнтів методом Коггера і Ю. За матрицю A експертних оцінок приймаємо (2').

Перетворюємо матрицю A у матрицю T за таким правилом [4]:

$$T = \|t_{ij}\|, \text{ якщо } j \geq i; T = 0, \text{ якщо } j < i.$$

Отримуємо перетворену матрицю T , у якій всі елементи вище діагоналі залишаються незмінними, а елементи, що розташовані нижче діагоналі, отримують значення "0".

$$T = \begin{bmatrix} 1 & 7 & 1/5 & 1/3 & 2 & 2 \\ 0 & 1 & 1/5 & 1/7 & 1/5 & 1/7 \\ 0 & 0 & 1 & 2 & 6 & 4 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 4 & 5 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Визначаємо матрицю D за допомогою таких правил:

$$D = \|d_j\|, \text{ де } d_j = m - j + 1, \text{ якщо } j = i; d_j = 0, \text{ якщо } j \neq i.$$

Тоді матриця D має вигляд:

$$D = \begin{bmatrix} 6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 5 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 4 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Для розрахунку вектора вагових коефіцієнтів скористаємось рівністю: $D^{-1}T\bar{\Lambda} = \bar{\Lambda}$

$$D^{-1} = \begin{bmatrix} 1/6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1/5 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1/4 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1/2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/1 \end{bmatrix}; D^{-1}T = \begin{bmatrix} 0.166 & 1.166 & 0.033 & 0.055 & 0.333 & 0.333 \\ 0 & 0.2 & 0.04 & 0.028 & 0.04 & 0.028 \\ 0 & 0 & 0.25 & 0.5 & 1.5 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0.333 & 1.333 & 1.66 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.5 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Після віднімання одиниці від головної діагоналі, складемо систему рівнянь, в якій останнє рівняння замінимо умовою нормування $\sum_{j=1}^m \lambda_j = 1$ та розв'яжемо його відносно вектора $\bar{\lambda}$.

$$\begin{cases} -0,834\omega_1 + 1,166\omega_2 + 0,033\omega_3 + 0,055\omega_4 + 0,333\omega_5 + 0,333\omega_6 = 0 \\ -0,8\omega_2 + 0,04\omega_3 + 0,028\omega_4 + 0,04\omega_5 + 0,028\omega_6 = 0 \\ -0,75\omega_3 + 0,5\omega_4 + 1,5\omega_5 + 1\omega_6 = 0 \\ -0,666\omega_4 + 1,333\omega_5 + 1,66\omega_6 = 0 \\ -0,5\omega_5 + 1\omega_6 = 0 \\ \omega_1 + \omega_2 + \omega_3 + \omega_4 + \omega_5 + \omega_6 = 1 \end{cases}$$

Ця система має єдиний розв'язок, який $\bar{\lambda}$ є вектором вагових коефіцієнтів важливості критеріїв: $\omega_1 = 1$; $\omega_2 = 0,2649$; $\omega_3 = 3,02807$; $\omega_4 = 2,03516$, $\omega_5 = 0,6266$, $\omega_6 = 0,3133$. Після нормалізації отримуємо: $\omega_1 = 0,13758$, $\omega_2 = 0,03$, $\omega_3 = 0,41662$, $\omega_4 = 0,28001$, $\omega_5 = 0,08621$, $\omega_6 = 0,0431$.

Перевагою методу є те, що він менш трудомісткий в обчислювальному відношенні аніж метод Сааті.

6. Визначення вагових коефіцієнтів важливості за допомогою шкали Фішберна. Згідно з методикою Фішберна, всі критерії ранжуються за спаданням їх значимості $K_1 \succ K_2 \succ K_3 \succ \dots \succ K_m$.

Значення вагових коефіцієнтів важливості визначаються за допомогою рівності:

$$\omega_i = \frac{2 \cdot (m - i + 1)}{m \cdot (m + 1)}$$

Для нашого прикладу (2') маємо таке ранжування критеріїв: $K_3 \succ K_4 \succ K_1 \succ K_5 \succ K_6 \succ K_2$. Для шістьох часткових критеріїв вагові коефіцієнти важливості будуть мати значення: $\omega_3 = 0,2857$; $\omega_4 = 0,238$; $\omega_1 = 0,1904$; $\omega_5 = 0,1428$, $\omega_6 = 0,0952$, $\omega_2 = 0,04761$.

Якщо для побудови системи вагових коефіцієнтів важливості опитані три експерти. Підсумковий ваговий коефіцієнт обчислюється як середнє арифметичне вагових коефіцієнтів, які визначені експертами. Наприклад, для часткового критерію K_3 (перший і другий експерти поставили на третє місце, а третій – на четверте):

$$\bar{\omega}_3 = \frac{\omega_3 + \omega_3 + \omega_4}{3} = \frac{0,2 + 0,2 + 0,1}{3} = 0,166$$

де $\bar{\omega}_i$ – це середнє арифметичне вагових коефіцієнтів важливості для i -го часткового критерію.

7. Принцип нечіткої більшості. Якщо функція $\varphi: [0,1] \rightarrow [0,1]$, така, що задовольняє умови $\varphi(0) = 0$ і $\varphi(1) = 1$. Тоді вагові коефіцієнти важливості визначають залежністю $\omega_i = \varphi\left(\frac{i}{m}\right) - \varphi\left(\frac{i-1}{m}\right)$, $i = \overline{1, m}$. Вибір функції $\varphi(x)$ залишається за дослідником.

В нашому прикладі (2') маємо:

$$\begin{cases} \omega_3 = \varphi(1/6), \\ \omega_4 = \varphi(1/3) - \varphi(1/6), \\ \omega_1 = \varphi(1/2) - \varphi(1/3), \\ \omega_5 = \varphi(2/3) - \varphi(1/2), \\ \omega_6 = \varphi(5/6) - \varphi(2/3) \\ \omega_2 = \varphi(6/6) - \varphi(5/6). \end{cases}$$

Функцію $\varphi(x)$ можна вибрати будь-яку, тому якщо виконується ще одна умова $\varphi(1/6) = 2/7$. Розглянемо функцію $\varphi(x)$ як поліном другого степеня $\varphi(x) = ax^2 + bx + c$. Оскільки $\varphi(0) = 0$, то $c = 0$.

$$\text{Маємо } \begin{cases} \varphi(1/6) = a \cdot (1/6)^2 + b \cdot (1/6) = a/36 + b/6 = 2/7 \\ \varphi(1) = a + b = 1 \end{cases}$$

Звідки знаходимо: $a = -0,85714$; $b = 1,85714$. Таким чином, $\varphi(x) = -0,85714x^2 + 1,85714x$

Тому, $\omega_3 = \varphi(1/6) = 2/7 = -0,0238 + 0,30952 = 0,2857$. Розрахуємо вагові коефіцієнти для інших критеріїв:

$$\begin{aligned}\omega_4 &= \varphi(1/3) - \varphi(1/6) = -0,85714(1/3)^2 + 1,85714(1/3) - 0,2857 = 0,238116, \\ \omega_1 &= \varphi(1/2) - \varphi(1/3) = -0,85714(1/2)^2 + 1,85714(1/2) - 0,52381 = 0,190475, \\ \omega_5 &= \varphi(2/3) - \varphi(1/2) = -0,85714(2/3)^2 + 1,85714(2/3) - 0,714285 = 0,142855, \\ \omega_6 &= \varphi(5/6) - \varphi(2/3) = -0,85714(5/6)^2 + 1,85714(5/6) - 0,142855 = 0,095234, \\ \omega_2 &= \varphi(6/6) - \varphi(5/6) = -0,85714(1)^2 + 1,85714(1) - 0,952374 = 0,047626\end{aligned}$$

Слід зауважити, що знайдені значення вагових коефіцієнтів важливості практично співпали з коефіцієнтами, розрахованими за допомогою шкали Фішберна.

8. Інші методи визначення вагових коефіцієнтів важливості. Інколи для визначення вагових коефіцієнтів важливості застосовують метод найменших квадратів. В цьому методі вагові коефіцієнти визначаються шляхом розв'язання оптимізаційного рівняння.

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \left(a_{ij} - \frac{\omega_i}{\omega_j} \right)^2 \rightarrow \min$$

Також відомі методи Юшманова, методи апроксимації рангів монотонної функції та ін.

Результати застосування різних методів знаходження вагових коефіцієнтів важливості наведено у таблиці 1, а також у графічному вигляді.

Таблиця 1

Результати розрахунку вагових коефіцієнтів важливості

Метод	ω_1	ω_2	ω_3	ω_4	ω_5	ω_6
Сааті повний	0,128091	0,029424	0,39225	0,276713	0,09055	0,082958
Сааті спрощений	0,0986	0,014	0,4931	0,2958	0,0493	0,0493
Уея	0,1944	0,0277	0,3055	0,25	0,1388	0,0833
Когера і Ю	0,13758	0,03	0,41662	0,28001	0,08621	0,0431
Фішбера	0,1904	0,04761	0,2857	0,238	0,1428	0,0952
Принцип нечіткої більшості	0,190475	0,047626	0,2857	0,238116	0,142855	0,095234

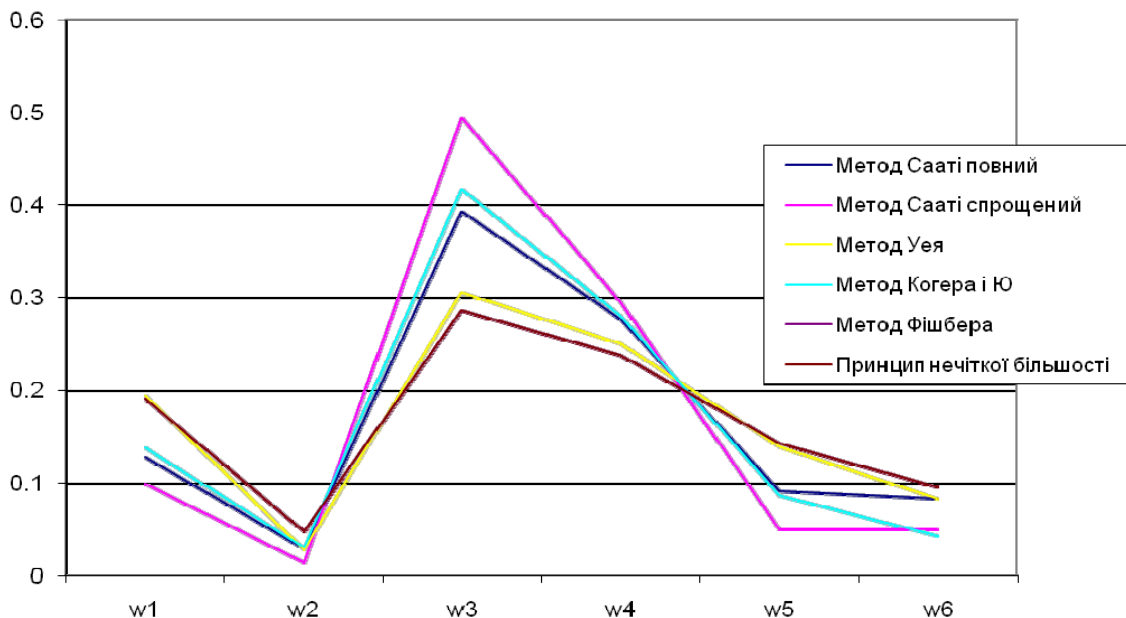


Рис. 1. Результати розрахунку вагових коефіцієнтів важливості

Висновки. В статті проведено критичний аналіз методів визначення вагових коефіцієнтів важливості при розв'язанні задач багатокритеріального аналізу методами попарного порівняння.

Одна і та ж сама задача розв'язана методами Сааті, Уея, Когера і Ю, Фішбера, а також за допомогою принципу нечіткої більшості, що покладено в основу досліджування ефективності кожного з методів. Аналіз отриманих результатів дає можливість зробити такі висновки:

1. Найбільше поле розсіяння знайдених вагових коефіцієнтів важливості рівне $R = 0,2074$;

матсподівання і дисперсія рівна: $M_{\omega_1} = 0,156591$, $D_{\omega_1} = 0,001375$, $M_{\omega_2} = 0,03272$, $D_{\omega_2} = 0,000147$,
 $M_{\omega_3} = 0,363145$, $D_{\omega_3} = 0,005969$, $M_{\omega_4} = 0,2631$, $D_{\omega_4} = 0,000495$, $M_{\omega_5} = 0,1084$, $D_{\omega_5} = 0,00126$,
 $M_{\omega_6} = 0,0748$, $D_{\omega_6} = 0,00434$. $D_{\omega_i} = \sum_{i=1}^m \frac{(M_i - \omega_i)^2}{m}$

Середньоквадратичне відхилення $\sigma_{\omega_i} = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (\omega_i - M)^2}$ рівне $\sigma_{\omega_1} = 0,0370$, $\sigma_{\omega_2} = 0,0212$,
 $\sigma_{\omega_3} = 0,0331$, $\sigma_{\omega_4} = 0,0154$, $\sigma_{\omega_5} = 0,0292$, $\sigma_{\omega_6} = 0,0177$.

2. За умов розв'язуваної задачі встановлено домінування окремого параметра (ω_3) об'єкту над іншими, що дає можливість уточнити умову задачі та підвищити ефективність застосування розглянутих методів.

3. Формулювання задачі і проведення окремих досліджень з розробленням (застосування відомих) способів усереднення значень кожного коефіцієнта є недоцільним, оскільки метод Сааті теоретично і за результатами розрахунку виконує ці функції.

Отже, найефективнішим із розглянутих методів для розв'язання поставленої задачі є метод Сааті, який не потребує тривалого часу спілкування з експертами та має високий ступінь узгодженості оцінок для різних експертів. Також згідно з наданим графіком (рис. 1), даний метод "усереднює" значення вагових коефіцієнтів, які знайдені іншими методами.

Література

1. Саати Т.Л. Принятие решений при зависимостях и обратных связях / Саати Т.Л. ; [науч. ред. А.В. Андрейчиков, О. Н. Андрейчикова]. – М. : Издательство ЛКИ, 2008. – 360 с.
2. Ногин В.Д. Упрощенный вариант метода анализа иерархий на основе нелинейной свертки критериев / Ногин В.Д. – СПб, ПМ-ПУ, СПбГУ, 2004. – С. 1.
3. Черноруцкий И.Г. Методы принятия решений / Черноруцкий И.Г. – СПб. : БХВ-Петербург, 2005. – 416 с.
4. Літвінов В.В. Використання методів попарного порівняння для визначення пріоритетності способів забезпечення статичної стійкості асинхронних двигунів в умовах багатокритеріального вибору / В.В. Літвінов, М.В. Костерев, П.Л. Денисюк // Наукові вісті НТУУ "КПІ". – 2010. – № 2 (143). – С. 24–29.

Надійшла 16.9.2011 р.

УДК 681.5.01

О.І. ЛИТВИНЕНКО, А.І. СБИТНСВ

Військовий інститут Київського національного університету імені Тараса Шевченка

АНАЛІТИЧНЕ ПОДАННЯ ГРАФІВ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ РОЗРАХУНКІВ НА ЕЛЕКТРОННО-ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ МАШИНАХ

Значна кількість військово-технічних задач розв'язується методами теорії графів. В статті досліджується питання подання графів в аналітичному вигляді. Це надасть можливість використовувати рішення, що отримані завдяки застосуванню теорії графів, в техніці сучасного управління, що базується на електронно-обчислювальних машинах.

Lot of military-technical tasks decides the methods of theory of the graphs. In the article the question of presentation of graphs in analytical kind is probed. It will give possibility to use decisions, those are got due to application of the theory of the graphs, in the technique of modern management which is based on computers.

Keywords: graph models, top points of graphs, tuples.

Вступ. Вхідження України в суспільство інформаційної цивілізації пов'язане з впровадженням нових інформаційних технологій у діяльність всіх інститутів держави, зокрема, її Збройних Сил. Це стає особливо важливим у даний час в умовах різкого скорочення чисельності війська і необхідності вирішення проблеми збереження бойового потенціалу на необхідному рівні на основі комплексної автоматизації управлінської діяльності всіх ланок: від органів керівництва до мінімального рівня ієрархії – відділення.

Вирішення цього питання пов'язане з розвитком методів проектування комплексів засобів автоматизації управління, інформаційно-розрахункових систем і, насамперед, їх найважливішої складової частини – прикладного програмного забезпечення [1]. Багато військово-технічних завдань вищезгаданих напрямків вирішуються методами теорії графів.

Постановка завдання. Аналіз робіт [1, 2] показав, що безліч рішень, отриманих завдяки використанню теорії графів, не можна реалізувати на практиці через несумісність графічного подання, в якому отримується рішення, з технікою сучасного управління, в основі якої лежить використання

електронно-обчислювальних машин (ЕОМ).

Тому дана робота присвячена питанню розроблення ефективного подання задач теорії графів в аналітичному вигляді, тобто такому, що є однаково легко сприйнятливим і для людини, і для комп'ютера.

Результати дослідження. Найбільш звичним є зображення графа за допомогою розташованої на площині картинки у вигляді точок і ліній, що з'єднують деякі з цих точок. Відомо, що не завжди можна зробити так, щоб лінії при цьому не перетиналися у своїх внутрішніх точках, тому, на відміну від поняття геометричної реалізації, такі картинки називаються діаграмами графа. Коли це не буде призводити до непорозуміння, під графом будемо розуміти його діаграму.

Крім геометричної реалізації, існують й інші способи подання графа.

Орієнтованим графом називається і через $L=(X,F)$ позначається пара множин, в якій $X=\{x_i\}$, $i \in I=\{1,2,\dots, n\}$ — множина вершин графа; $F=\{\langle x_i,x_j \rangle, \langle x_i,x_j \rangle \in X^2$ — множина дуг, причому x_i — початок, а x_j — кінець дуги.

Таке подання називається теоретично-множинним. Інші способи подання (за допомогою матриці суміжності і графічний) розглянемо на прикладі.

Приклад 1. Нехай є граф $\varphi = (X_1, F_1)$, у якого:

$$X_1 = \{x_1, x_2, x_3, x_4\};$$

$$F_1 = \{\langle x_1,x_2 \rangle, \langle x_1,x_4 \rangle, \langle x_3,x_4 \rangle, \langle x_3,x_2 \rangle, \langle x_4,x_2 \rangle\}.$$

На рис. 1 показаний даний граф і його матриця суміжності M_φ .

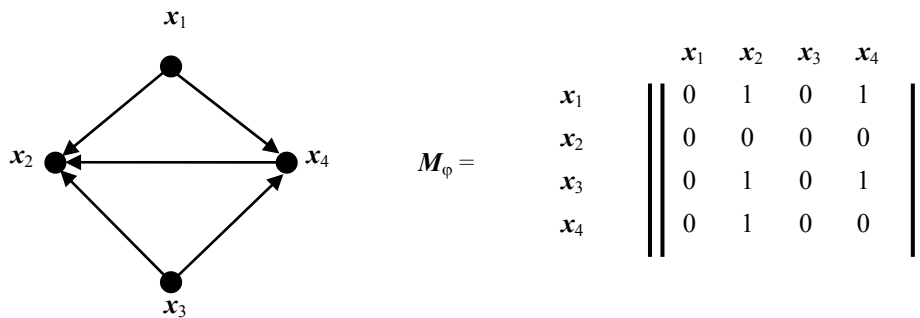


Рис. 1. Ілюстрація до прикладу 1

Розглянемо основні теоретично-множинні операції над графами.

Нехай $\varphi = (X_1, F_1)$ і $\psi = (X_2, F_2)$ — довільні графи, які визначені на одних і тих самих множинах вершин і дуг, $X_1 \subseteq X, X_2 \subseteq X, F_1 \subseteq F, F_2 \subseteq F$, а $M_\varphi = \| a_{ij} \|, M_\psi = \| b_{ij} \|$ — відповідно їх матриці суміжності.

Об'єднанням графів φ і ψ називають граф $\Phi(X_\Phi, F_\Phi) = \varphi \cup \psi$, такий, що $X_\Phi = X_1 \cup X_2, F_\Phi = F_1 \cup F_2$.

Матриця суміжності $M_\Phi = \| m_{ij} \|$ графа Φ має вигляд $M_\Phi = M_\varphi \cup M_\psi$, причому $m_{ij} = a_{ij} \vee b_{ij}$.

Перетином графів φ і ψ називають граф $\eta(X_\eta, F_\eta) = \varphi \cap \psi$, такий, що $X_\eta = X_1 \cap X_2; F_\eta = F_1 \cap F_2$.

Матриця суміжності $M_\eta = \| m_{ij} \|$ графа η має вигляд $M_\eta = M_\varphi \cap M_\psi, m_{ij} = a_{ij} \& b_{ij}$.

Доповненням графа φ називається граф $\bar{\varphi} = (X_1, \bar{F}_1)$, такий, що $\bar{F} = X \cdot X - F_\varphi$.

У матриці суміжності $M_{\bar{\varphi}} = \| m_{ij} \|$ графа $\bar{\varphi}$ елементи визначаються як $m_{ij} = 1 - a_{ij}$.

Інверсією графа φ називається граф $\varphi^{-1} = (X_1, F^{-1}_1)$, такий, що F^{-1}_1 є інверсією множини дуг, тобто орієнтація дуг змінюється на протилежну, зберігаючи при цьому значення ступенів належності, матриця інверсного графа дорівнює транспонованій матриці початкового графа. На рис. 2 показані графи, що одержані в результаті застосування наведених операцій до графів φ і ψ .

Завдання графів за допомогою матриць суміжності (інцидентності) і плексів (багатозв'язаних списків з використанням покажчиків) при їх поданні в пам'яті ЕОМ є суттєво надмірним, оскільки при застосуванні першого з них має місце велика розрідженість матриць, а другий спосіб вимагає використання спеціальних програмних засобів. Тому потрібні теоретичні пророблення, спрямовані на пошук методів опису графів, що вільні від перелічених недоліків.

Подання графів у вигляді околів і меж вершин. Одним з можливих підходів є завдання графів у вигляді околів і меж вершин [2]. Введемо поняття околів і меж вершин для графів вигляду $L=(X, F)$.

Визначення 1. Першим околком S_i^1 вершини x_i називається множина кінцевих вершин для дуг, інцидентних x_i , і сама вершина x_i .

Для такої множини істинним є вираз:

$$\forall x_j \in X \{x_j \in S_i^1 \leftrightarrow \exists \langle x_i, x_j \rangle [(\langle x_i, x_j \rangle \in F \langle x_i, x_j \rangle) \vee (x_i = x_j)]\},$$

$$i \in I = \{1, 2, \dots, n\}, j \in J = \{1, 2, \dots, m\}.$$

Тоді n -й околк вершини x_i за індукцією визначається:

$$S_i^n = \bigcup_{x_j \in S_i^{n-1}} S_j^1. \tag{1}$$

Це означає, що n -й околк вершини x_i може бути отриманий шляхом додавання до $n-1$ -го околу множини сусідства, тобто кінцевих вершин дуг, інцидентних з S_i^{n-1} . При цьому

$$S_i^1 \subseteq S_i^2 \subseteq \dots \subseteq S_i^n \tag{2}$$

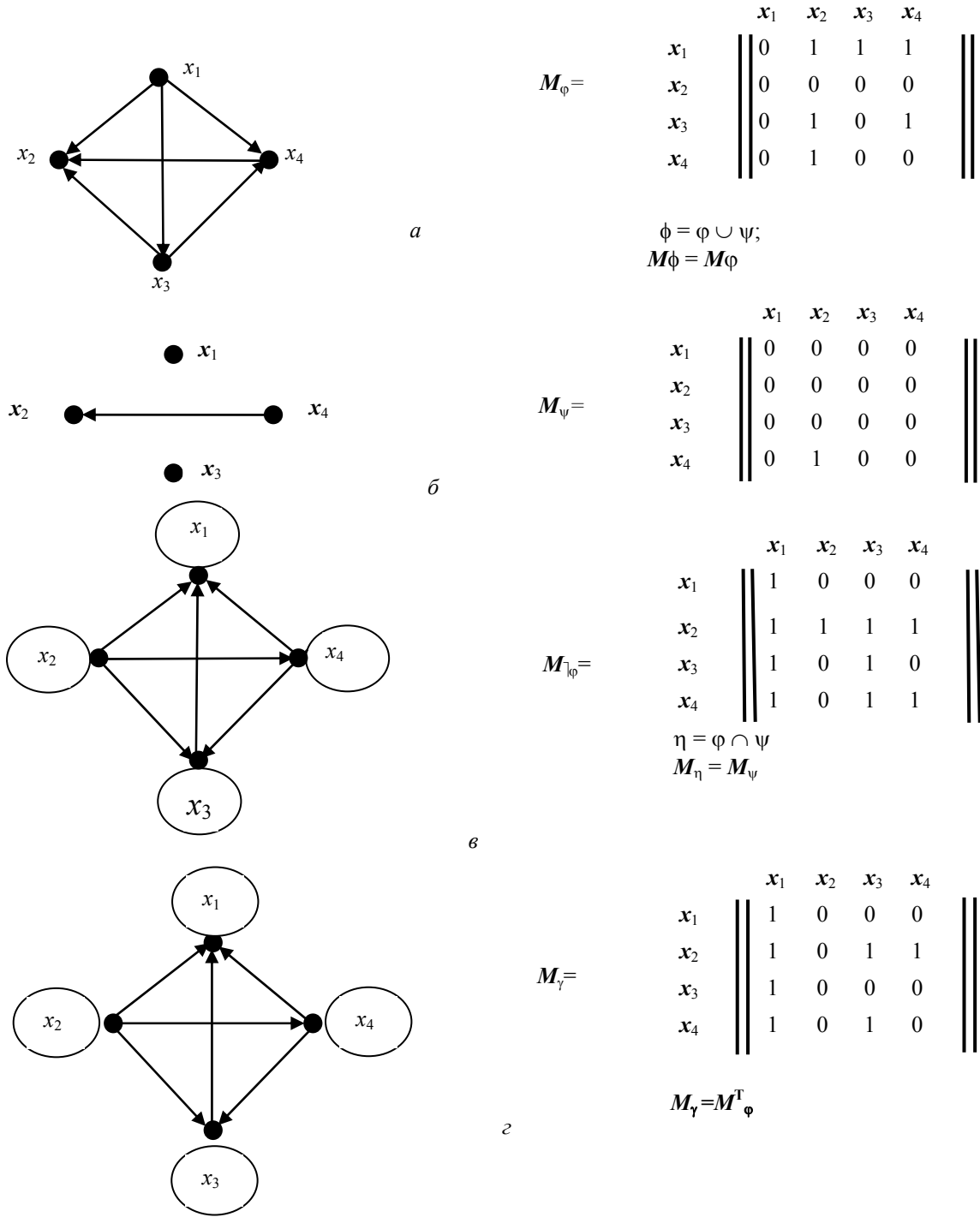


Рис. 2. Ілюстрація до основних теоретично-множинних операцій над графами: а –граф ϕ ; б – граф ψ ; в – граф γ_ϕ ; г – граф $\gamma = \phi^{-1}$

Визначення 2. Межею n -го околу або n -ю межею i -ї вершини називається множина $B_i^n = S_i^n \setminus S_i^{n-1} = S_i^n \cap \bar{S}_i^{n-1}$, (3)

де \bar{S} – доповнення до множини S .

Доведемо лему. Лема 1.

$B_i^k \cap B_i^l = \emptyset$, при $k \neq l$, що означає: межі різних порядків однієї і тієї самої вершини не збігаються.

Доведення.

Нехай $k < l$. Тоді у відповідності до виразів (2) і (3) маємо:

$$\begin{aligned} B_i^k &= S_i^k \cap \bar{S}_i^{k-1}, \\ B_i^l &= S_i^l \cap \bar{S}_i^{l-1}, \\ S_i^k \subseteq S_i^l &\rightarrow S_i^k \cap S_i^l = S_i^k, \\ \bar{S}_i^{l-1} \subseteq \bar{S}_i^{k-1} &\rightarrow \bar{S}_i^{l-1} \cap \bar{S}_i^{k-1} = \bar{S}_i^{l-1}. \end{aligned}$$

Представимо S_i^{l-1} через $S_i^{l-1} = S_i^k \cup S_i^{l-1-k}$ (множина S_i^{l-1-k} може бути і пустою).

Використовуючи дані перетворення і деякі властивості операцій над множинами, остаточно одержимо:

$$B_{x_i}^k \cap B_{x_i}^l = (S_{x_i}^k \cap \bar{S}_{x_i}^{k-1}) \cap (S_{x_i}^l \cap \bar{S}_{x_i}^{l-1}) = S_{x_i}^k \cap \bar{S}_{x_i}^{l-1} = S_{x_i}^k \cap \bar{S}_{x_i}^k \cup S_{x_i}^k \cap \bar{S}_{x_i}^{l-1-k} = S_{x_i}^k \cap \bar{S}_{x_i}^k \cap \bar{S}_{x_i}^{l-1-k} = \emptyset \cap \bar{S}_{x_i}^{l-1-k} = \emptyset.$$

Справедлива така теорема.

Теорема 2. Для графів

$$B_i^n = \bigcup_{x_i \in B_i^{n-1}} S_i^1 \setminus (B_i^{n-1} \cup B_i^{n-2}). \tag{4}$$

Доведення.

Перетворимо праву частину виразу (4) з урахуванням основних властивостей операцій над множинами і справедливості таких співвідношень:

$$\begin{aligned} B_i^{n-1} &= S_i^{n-1} \setminus S_i^{n-2} = S_i^{n-1} \cap \bar{S}_i^{n-2}, \\ B_i^{n-2} &= S_i^{n-2} \setminus S_i^{n-3} = S_i^{n-2} \cap \bar{S}_i^{n-3}, \\ S_i^{n-3} &\subseteq S_i^{n-2} \subseteq S_i^{n-1}, \\ \bar{S}_i^{n-1} \cap \bar{S}_i^{n-2} &= \bar{S}_i^{n-1}, \\ S_i^{n-2} \cap S_i^{n-3} &= S_i^{n-3}. \end{aligned}$$

З урахуванням цього маємо

$$\begin{aligned} \bigcup_{x_i \in B_i^{n-1}} S_i^1 \setminus (B_i^{n-1} \cup B_i^{n-2}) &= \bigcup_{x_i \in B_i^{n-1}} S_i^1 \cap [(S_i^{n-1} \cap \bar{S}_i^{n-2}) \cup (S_i^{n-2} \cap \bar{S}_i^{n-3})] = \\ &= \bigcup_{x_i \in B_i^{n-1}} S_i^1 \cap [(\bar{S}_i^{n-1} \cap \bar{S}_i^{n-2}) \cup (\bar{S}_i^{n-1} \cap S_i^{n-3}) \cup (S_i^{n-2} \cap \bar{S}_i^{n-2}) \cup (S_i^{n-2} \cap S_i^{n-3})] = \\ &= \bigcup_{x_i \in B_i^{n-1}} S_i^1 \cap [\bar{S}_i^{n-1} \cup (\bar{S}_i^{n-1} \cap S_i^{n-3}) \cup \emptyset \cup S_i^{n-3}] = \\ &= \bigcup_{x_i \in B_i^{n-1}} S_i^1 \cap [(\bar{S}_i^{n-1} \cup S_i^{n-3}) \cap (\bar{S}_i^{n-1} \cup S_i^{n-3}) \cup S_i^{n-3}] = \\ &= \bigcup_{x_i \in B_i^{n-1}} S_i^1 \cap (\bar{S}_i^{n-1} \cup S_i^{n-3}) = \bigcup_{x_i \in B_i^{n-1}} (S_i^1 \cap \bar{S}_i^{n-1}). \end{aligned}$$

Тут враховано, що

$$\bigcup_{x_i \in B_i^{n-1}} (S_i^1 \cap S_i^{n-3}) = \emptyset$$

Виразимо B_i^n з використанням формул (1) і (3). З формули (3) випливає $S_i^{n-1} = B_i^{n-1} \cup S_i^{n-2}$.

Виходячи з цього, формулу (1) можна записати так:

$$S_i^n = \bigcup_{x_j \in S_i^{n-1}} S_j^1 = \bigcup_{x_j \in (B_i^{n-1} \cup S_i^{n-2})} S_j^1 = (\bigcup_{x_i \in B_i^{n-1}} S_j^1) \cup (\bigcup_{x_j \in S_i^{n-2}} S_j^1).$$

Але, виходячи з формули (1),

$$\bigcup_{x_j \in S_i^{n-2}} S_j^1 = S_i^{n-1}.$$

Тому

$$S_i^n = (\bigcup_{x_i \in B_i^{n-1}} S_j^1) \cup S_i^{n-1}.$$

Тоді

$$B_i^n = S_i^n \cap \bar{S}_i^{n-1} = [(\bigcup_{x_i \in B_i^{n-1}} S_j^1) \cup S_i^{n-1}] \cap \bar{S}_i^{n-1} = \bigcup_{x_i \in B_i^{n-1}} (S_j^1 \cap \bar{S}_i^{n-1}) \tag{5}$$

Права частина виразу (5) збігається з перетвореною правою частиною виразу (4), що і доводить теорему.

Використання теореми дозволяє рекурентно обчислювати межі вершин графів, не обчислюючи околів порядку вище першого.

Аналітичне завдання графів у вигляді околів і меж вершин. Подання графа $L=(X, F)$ зробимо через перерахування перших околів його вершин:

$$\begin{aligned} L=(X, F) &= \{S_i^1 \mid x_i \in X\}, \\ S_i^1 &= \{x_j\}, i \in I = \{1, 2, \dots, n\}, j \in J = \{1, 2, \dots, m\}. \end{aligned}$$

Тоді графи ϕ і ψ , показані на рис. 2 і 3, подаються у вигляді:

$$\begin{aligned} S_1^1(\phi) &= \{x_1, x_2, x_4\}, \\ S_2^1(\phi) &= \{x_2\}, \\ S_3^1(\phi) &= \{x_3, x_2, x_4\}, \\ S_4^1(\phi) &= \{x_4, x_2\}. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_1^1(\psi) &= \{x_1, x_3\}, \\ S_2^1(\psi) &= \{x_2\}, \\ S_3^1(\psi) &= \{x_3\}, \\ S_4^1(\psi) &= \{x_4, x_2\}. \end{aligned}$$

Тут позначення $S_i^1(\varphi)$ означає не функціональну залежність, а те, що перерахування околів здійснюється стосовно графа φ .

Подання об'єднання графів φ і ψ робиться згідно із залежностями:

$$S_i^1(\Phi) = S_i^1(\varphi) \cup S_i^1(\psi),$$

В результаті одержуємо:

$$\begin{aligned} S_1^1(\Phi) &= \{x_1, x_2, x_4\} \cup \{x_1, x_3\} = \{x_1, x_2, x_3, x_4\}, \\ S_2^1(\Phi) &= \{x_2\}, \\ S_3^1(\Phi) &= \{x_3, x_2, x_4\}, \\ S_4^1(\Phi) &= \{x_4, x_2\}. \end{aligned}$$

Для подання перетину графів φ і ψ використовуються залежності:

$$S_i^1(\Phi) = S_i^1(\varphi) \cap S_i^1(\psi),$$

Маємо:

$$\begin{aligned} S_1^1(\Phi) &= \{x_1, x_2, x_4\} \cap \{x_1, x_3\} = \{x_1\}, \\ S_2^1(\Phi) &= \{x_2\}, \\ S_3^1(\Phi) &= \{x_3\}, \\ S_4^1(\Phi) &= \{x_4, x_2\}. \end{aligned}$$

Доповнення $\bar{\varphi}$ до графа Φ подається за допомогою співвідношень:

Для графа, показаного на рис. 3в, одержимо:

$$\begin{aligned} S_1^1(\bar{\varphi}) &= \{x_1, x_2, x_3, x_4\}, \\ S_2^1(\bar{\varphi}) &= \{x_2, x_1, x_3, x_4\}, \\ S_3^1(\bar{\varphi}) &= \{x_3, x_2, x_4, x_1\}, \\ S_4^1(\bar{\varphi}) &= \{x_4, x_2, x_1, x_3\}. \end{aligned}$$

Для визначення меж вершин графа необхідно задати їх околи порядку вище першого. Розглянемо граф, показаний на рис. 4.

Для цього графа одержимо:

$$\begin{aligned} S_1^1 &= \{x_1, x_2, x_3\}, \\ S_2^1 &= \{x_2, x_4\}, \\ S_3^1 &= \{x_3, x_5\}, \\ S_4^1 &= \{x_4, x_6\}, \\ S_5^1 &= \{x_5, x_6\}, \\ S_6^1 &= \{x_6, x_7\}, \\ S_7^1 &= \{x_7\}. \end{aligned}$$

Для вершини x_3 згідно з виразом (1) маємо:

$$S_3^2 = S_3^1 \bigcup_5 S_5^1 = \{x_3, x_5, x_6\},$$

$$S_3^3 = S_3^2 \cup S_6^1 = \{x_3, x_5, x_6, x_7\}.$$

З використанням (3) третя межа третьої вершини визначається як:

$$B_3^3 = S_3^3 \setminus S_3^2 = \{x_3, x_5, x_6, x_7\} \setminus \{x_3, x_5, x_6\} = \{x_7\}.$$

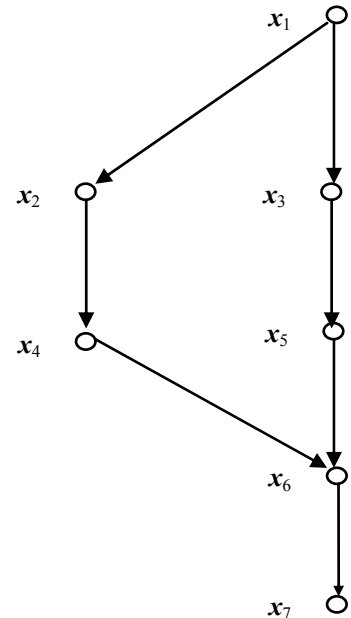


Рис. 4. До визначення меж вершин графа

Подання графів через багатокомпонентні кортежі. Викладений спосіб завдання нечітких графів у вигляді околів і меж вершин відповідає поданню околів вершин через трикомпонентні кортежі. Так, кортеж вершини x_i має вигляд

$$\alpha_i = \langle x_i, |B_i^1|, B_i^1 \rangle. \quad (6)$$

При розв'язанні різноманітних задач на графах зручно користуватися деякими операціями над кортежами. Це надає алгоритмам компактність і спрощує їх реалізацію.

Відомо [2], що проекцією кортежу на l -у вісь називається l -а компонента кортежу:

$$\text{пр}_1 \alpha_i = x_i, \quad \text{пр}_2 \alpha_i = |B_i^1|, \quad \text{пр}_3 \alpha_i = B_i^1. \quad (7)$$

Тобто першою проекцією кортежу (6) є однокомпонентна множина, яка складається з вершини, для якої побудований кортеж.

Друга проекція являє собою потужність (кількість елементів) межі.

Третя проекція являє собою межу першого порядку даної вершини.

Алгебра кортежів. Побудуємо алгебру для кортежів, що розглядаються:

$$(\alpha, \oplus, \theta, \otimes).$$

Носієм алгебри є множина кортежів α . Сигнатура алгебри – сукупність операцій додавання, віднімання і множення кортежів. Операції алгебри n -арні.

Перелічені операції виконуються покомпонентно.

А. Операція додавання кортежів (\oplus).

$$\alpha_k = \alpha_i \oplus \alpha_j,$$

$$\text{пр}_1 \alpha_k = \text{пр}_1 \alpha_i, \text{пр}_3 \alpha_k = \text{пр}_2 \alpha_i \cup \text{пр}_3 \alpha_j, \text{пр}_2 \alpha_k = | \text{пр}_3 \alpha_i \cup \text{пр}_3 \alpha_j |,$$

Дана операція не комутативна, тому що результуючий кортеж приписується вершині x_i .

За допомогою даної операції можуть будуватися околи більш високого порядку. Кортеж

$$\alpha_i^2 = \alpha_i \oplus \alpha_{i1} \oplus \dots \oplus \alpha_{ij} \oplus \dots \oplus \alpha_{ir},$$

де всі α_{ij} задовольняють вимозі

$$\text{пр}_1 \alpha_{ij} \in \text{пр}_3 \alpha_i,$$

описує другий окіл вершини x_i .

Дії у такому ланцюжку виконуються зліва направо.

Б. Операція віднімання кортежів (\ominus).

Кортеж $\alpha_k = \alpha_i \ominus \alpha_j$ будується за такими правилами

$$\text{пр}_1 \alpha_k = \text{пр}_1 \alpha_i,$$

тобто результуючий кортеж приписується до вершини x_i ,

$$\text{пр}_3 \alpha_k = \text{пр}_3 \alpha_i \setminus (\text{пр}_3 \alpha_i \cap \text{пр}_3 \alpha_j),$$

$$\text{пр}_2 \alpha_k = | \text{пр}_3 \alpha_i \setminus (\text{пр}_3 \alpha_i \cap \text{пр}_3 \alpha_j) |.$$

За допомогою операції віднімання кортежів можуть бути побудовані межі вершин більш високих порядків, наприклад

$$B_i^2 = \text{пр}_3(\alpha_i^2 \ominus \alpha_i).$$

В. Операція множення кортежів (\otimes). Кортеж $\alpha_k = \alpha_i \otimes \alpha_j$ будується таким чином:

$$\text{пр}_1 \alpha_k = \text{пр}_1 \alpha_i,$$

$$\text{пр}_3 \alpha_k = \text{пр}_3 \alpha_i \cap \text{пр}_3 \alpha_j,$$

$$\text{пр}_2 \alpha_k = | \text{пр}_3 \alpha_i \cap \text{пр}_3 \alpha_j |.$$

Приклад 4. Для графа, показаного на рис. 4, подання через множину кортежів має вигляд:

$$\alpha_1 = \langle x_1, 2, \{x_2, x_3\} \rangle,$$

$$\alpha_2 = \langle x_2, 1, \{x_4\} \rangle,$$

$$\alpha_3 = \langle x_3, 1, \{x_5\} \rangle,$$

$$\alpha_4 = \langle x_4, 1, \{x_6\} \rangle,$$

$$\alpha_5 = \langle x_5, 1, \{x_6\} \rangle,$$

$$\alpha_6 = \langle x_6, 1, \{x_7\} \rangle,$$

$$\alpha_7 = \langle x_7, 0, \{\emptyset\} \rangle.$$

Операція знаходження проєкцій:

$$\text{пр}_1 \alpha_1 = \{x_1\}; \text{пр}_3 \alpha_1 = \{x_2, x_3\}, \text{пр}_2 \alpha_1 = 2;$$

$$\text{пр}_1 \alpha_2 = \{x_2\}; \text{пр}_3 \alpha_2 = \{x_4\}, \text{пр}_2 \alpha_2 = 1;$$

$$\text{пр}_1 \alpha_3 = \{x_3\}; \text{пр}_3 \alpha_3 = \{x_5\}, \text{пр}_2 \alpha_3 = 1;$$

$$\text{пр}_1 \alpha_4 = \{x_4\}; \text{пр}_3 \alpha_4 = \{x_6\}, \text{пр}_2 \alpha_4 = 1;$$

$$\text{пр}_1 \alpha_5 = \{x_5\}, \text{пр}_3 \alpha_5 = \{x_6\}, \text{пр}_2 \alpha_5 = 1;$$

$$\text{пр}_1 \alpha_6 = \{x_6\}, \text{пр}_3 \alpha_6 = \{x_7\}, \text{пр}_2 \alpha_6 = 1;$$

$$\text{пр}_1 \alpha_7 = \{x_7\}, \text{пр}_3 \alpha_7 = \{\emptyset\}, \text{пр}_2 \alpha_7 = 0.$$

Операції над кортежами:

$$\alpha_1 \oplus \alpha_2 = \langle x_1, 2, \{x_2, x_3\} \rangle,$$

$$\alpha_1 \ominus \alpha_2 = \langle x_2, 0, \{\emptyset\} \rangle,$$

$$\alpha_1 \otimes \alpha_2 = \langle x_1, 0, \{\emptyset\} \rangle.$$

Конструктивні операції над множинами кортежів. Оскільки графи можуть бути подані через множину багатокомпонентних кортежів, має сенс розглянути деякі конструктивні операції над цими множинами.

А. Операція U з'єднання множини кортежів.

Порядок знаходження множини $\alpha_k = \alpha_i \cup \alpha_j$ такий: множина $\alpha_i \cup \alpha_j$ розбивається на класи еквівалентності за відношенням $\text{пр}_1 \alpha_i = \text{пр}_1 \alpha_j$, після цього у кожному класі будується характеристичний кортеж $k\alpha_i = \alpha_i \oplus \dots \oplus \alpha_j$ за усіма кортежами даного класу (в межах класу операція \oplus комутативна й асоціативна). Одержана множина характеристичних кортежів і буде шуканою множиною $\alpha_k = \{k\alpha_i\}$.

Б. Операція знаходження кортежу з номером i у множині кортежів A ($\alpha_i = F(A, i)$) полягає в виділенні у даній множині кортежу, перша проєкція якого дорівнює i : $\text{пр}_1 \alpha_i = i$.

В. Операція знаходження проєкції множини кортежів A на кортеж α_i^* , тобто $A_i = Pr(A, \alpha_i^*)$, здійснюється таким чином. У множині A виділяється підмножина кортежів, що приписані тій самій вершині, що і α_i^* , або до вершини, що входить до її межі B_i^{1*} , тобто підмножина кортежів $A' = \{\alpha_j\}$, для яких:

$$\alpha_j \in A' \leftrightarrow (\text{пр}_1 \alpha_j = \text{пр}_1 \alpha_i^*) \vee (\text{пр}_1 \alpha_j \in \text{пр}_3 \alpha_i^*).$$

Після цього реалізується операція множення кожного елемента цієї множини на α_i^* . Одержані кортежі утворюють шукану множину

$$A_i = \{\alpha_z = \alpha_j \otimes \alpha_i^* \mid \alpha_j \in A'\}.$$

Г. Операція виділення підмножини кортежів A_c з множини A за заданим параметром C .

$$A_{(\geq C)} = Pr_{(\geq C)}(A), A_{(>C)} = Pr_{(>C)}(A), A_{(<C)} = Pr_{(<C)}(A).$$

У множині A_c залишаються кортежі α_i , для яких $pr_2\alpha_i \geq C$, $pr_2\alpha_i > C$, $pr_2\alpha_i < C$ відповідно.

Чарунки пам'яті ЕОМ



Рис. 5. До представлення графа в пам'яті ЕОМ

Д. Операція вилучення кортежу α_i з множини A ($A_i = D(A, \alpha_i)$) здійснюється таким чином:

1. Будується $A' = A \setminus \alpha_i$.

2. Будується допоміжний кортеж α_i^* :

$$pr_1\alpha_i^* = pr_1\alpha_i, pr_2\alpha_i^* = 1, pr_3\alpha_i^* = pr_3\alpha_i.$$

3. Для кожного $\alpha_j \in A'$ здійснюється операція

$$\alpha_z = \alpha_j \theta \alpha_i^*, A_i = \{\alpha_z\}.$$

Завдання графів у вигляді багатокомпонентних кортежів дозволяє подати їх в пам'яті ЕОМ у вигляді лінійних одновимірних масивів. При цьому усувається надмірність, притаманна традиційним засобам подання графів.

На рис. 5 показано лінійне зображення графа (рис. 4) у вигляді одновимірного масиву.

У першому осередку записаний номер першої вершини, після цього послідовно номери вершин, що входять до першої нечіткої межі (з їх ступенями належності). У наступному осередку запам'ятовується номер другої вершини і т. ін. Таке подання дозволяє однозначно виділити будь-яку нечітку вершину та її межу.

Пошарове проектування алгоритмів аналізу і синтезу із застосуванням теорії графів.

Використання графових моделей для формалізованого подання їх у розрахункових задачах військового призначення дозволяє реалізувати пошарову схему їх проектування (рис. 6).

Алгоритми аналізу і синтезу формують верхній шар. В них використовуються операції, що реалізуються у нижніх шарах:

- алгоритми теорії графів, виражені у вигляді околів і меж вершин;
- операції над кортежами і конструктивні операції над множинами кортежів;
- теоретично-множинні операції;
- структурні оператори.

Наступний шар утворюють алгоритми, що використовують операції 3-го, 2-го і 1-го шарів.

Така схема дозволяє реалізувати будь-який алгоритм будь-якого рівня після необхідних підстановок з нижніх шарів у вигляді цілісної програми, що забезпечує спрощення практичної реалізації засобів моделей і алгоритмів, що пропонуються.

Висновки

Як апарат формалізованого вирішення багатьох військово-технічних задач пропонується використовувати графові моделі.

Реалізація запропонованих моделей вимагає використання інструментальних програмних засобів, які дозволяють автоматизувати процес проектування. Це, у свою чергу, вимагає розроблення відповідних способів аналітичного подання графів.

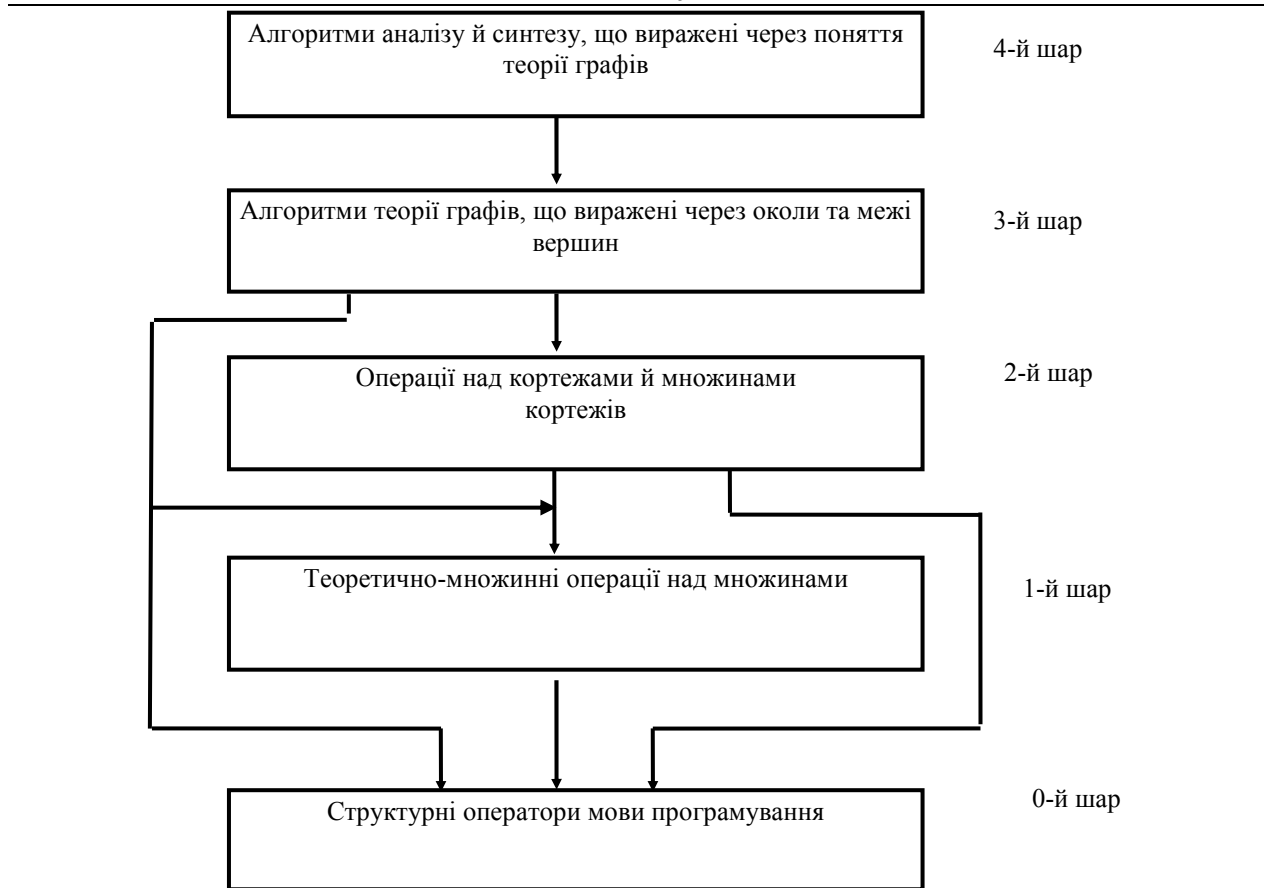


Рис. 6. Пошарове проектування алгоритмів аналізу і синтезу ППЗ

Розвинутий у статті підхід до завдання графів через околи і межі вершин дозволив вирішити цю задачу, уникнувши при цьому надмірності, притаманній традиційним способам подання. Доведені у роботі теореми показують обґрунтованість такого підходу.

Для спрощення фізичної реалізації одержаних рішень запропоновано подання околів вершин графів через багатокомпонентні кортежі. Це дозволило інтерпретувати подання графів у пам'яті ЕОМ у вигляді лінійних структур даних і, в наслідок цього, суттєво скоротити необхідний обсяг пам'яті у порівнянні з традиційними способами подання. Аналіз алгоритмів теорії графів дозволив визначити основні типові і конструктивні операції над кортежами і множинами кортежів.

Алгебра кортежів, яка наведена у роботі, дозволяє реалізувати пошарову схему розроблення програмних інструментальних засобів, яка складається з таких шарів:

- алгоритми аналізу і синтезу ППЗ, які виражені через поняття теорії графів;
- алгоритми теорії графів, які виражені у вигляді околів і меж вершин;
- операції над кортежами і конструктивні операції над множинами кортежів;
- теоретично-множинні операції;
- структурні оператори.

Література

1. Толубко В.Б. Методологічні основи проектування прикладного програмного забезпечення для АСУ воєнного призначення : [монографія] / Толубко В. Б., Сбитнев А. І., Пермяков О. Ю. – К. : НАОУ, 2004. – 249 с.
2. Сбитнев А.И. Структурная организация и проектирование математического обеспечения АСУ ТП : дис. ... д-ра техн. наук : 05.13.11, 05.13.06 / Сбитнев А.И. – К., 1989. – 447 с.
3. Шиханович Ю.А. Введение в современную математику / Шиханович Ю.А. – М. : Наука, 1965. – 376 с.

Надійшла 18.9.2011 р.

АЛГОРИТМЫ РАСЧЕТА КОРРЕКТИРУЮЩИХ КОНСТАНТ ПРИ ТАБЛИЧНО-АЛГОРИТМИЧЕСКИХ МЕТОДАХ АППАРАТУРНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ

Предложены алгоритмы расчета корректирующих констант для таблично-аддитивного и таблично-логического методов аппаратной реализации функциональных зависимостей, позволяющих на этапе проектирования сократить время подготовки базы данных при заполнении числового блока памяти. Преимуществом алгоритмов является отсутствие необходимости разработки специальной программы. Это уменьшает стоимость микропроцессорных систем и расширяет рынок сбыта.

The algorithms calculate the correction constants for table-additive and table-logical methods of hardware implementation of functional dependencies, allowing, at the design stage to reduce the time of preparation of the database at filling of a numerical memory unit. The advantage of the algorithms is the lack of need for special software. This reduces the cost of microprocessor systems and expanding market.

Ключевые слова: алгоритмы, база данных, числовой блок памяти, корректирующая константа.

Постоянно растущая сложность задач, решаемых вычислительными устройствами в лазерных технологических комплексах (ЛТК) для управления траекторией лазерного луча, повышает требования к:

- точности;
- малому времени задержки сигнала при обработке информации;
- достоверности результатов решения;
- простоте программирования;
- удобству обслуживания;
- ограничению на габаритные размеры, вес;
- низкой стоимости устройств и к другим параметрам, тесным образом связанных с проблемой

для повышения эффективности работы современных микропроцессорных структур ЛТК.

Этим требованиям отвечает аппаратная реализация заданной функциональной зависимости, построенная классическим табличным методом [1–4, 7].

Однако объем таблиц растет с увеличением точности вычисления, например, при погрешности равной или меньшей чем $\pm \delta = 0,5 \cdot 2^{-32}$ составит порядка $32 \cdot 2^{32}$. Это приводит к низкому проценту выхода годных кристаллов с пластины и, как следствие, к высокой стоимости СБИС.

Изыскание методов аппаратной реализации функциональных зависимостей привели к таблично-алгоритмическим методам (ТАМ), которые включают таблично-аддитивный и таблично-логический методы.

Суть ТАМ заключается в представлении n -разрядного аргумента в виде m кортежей a_i , по r разрядам в каждом. Воспроизведение n -разрядного кода значений функции $f(x)$ выполняется корректировкой кортежа a_i , в соответствующий кортеж кода функции b_i с помощью таблицы соответствующих корректирующих констант Δ_i . Причем для таблично-аддитивного метода корректирующие константы имеют соответствующий знак ($\pm \Delta$) [1].

Таблично-логический метод отличается от предыдущего тем, что корректирующая константа не имеет отрицательного знака [3, 6–7].

Пусть n -значимое число воспроизводимой функции $f_i(x)$ изображается, как кортеж переменных

$$b_{m-1}, \dots, b_i, \dots, b_2, b_1, b_0, \quad (1)$$

а значения входной независимой переменной (x) как кортеж переменных

$$a_{m-1}, \dots, a_i, \dots, a_2, a_1, a_0, \quad (2)$$

причем каждая переменная a_i , b_i , в свою очередь, изображается r -значимым числом, тогда вычисление значения соответствующей корректирующей константы Δ_i определяется – как сумма по mod 2 соответствующих кортежей зависимой переменной и независимой переменной:

$$\begin{aligned} (b_0 \oplus a_0) &= \Delta_0; \\ (b_1 \oplus a_1) &= \Delta_1; \\ (b_2 \oplus a_2) &= \Delta_2; \\ &\vdots \\ (b_i \oplus a_i) &= \Delta_i; \\ &\vdots \\ (b_m \oplus a_m) &= \Delta_m, \end{aligned} \quad (3)$$

где зависимая переменная имеет вид:

$$b_i = f_i S_i \dots h_i = f_i g^{(n-1)-ri} + S_i g^{(n-2)-ri} + \dots + h_i g^{(n-r)-ri}, \quad (4)$$

а независимая переменная –

$$a_i = c_i d_i \dots l_i = c_i g^{(n-1)-ri} + d_i g^{(n-2)-ri} + \dots + l_i g^{(n-r)-ri}. \quad (5)$$

Тогда корректирующая константа записывается следующим образом:

$$\Delta_i = (f_i \oplus c_i) g^{(n-1)-ri} + (S_i \oplus d_i) g^{(n-2)-ri} + \dots + (h_i \oplus l_i) g^{(n-r)-ri} = F_i N_i Z_i. \quad (6)$$

При этом соответствующее значение функции примет вид:

$$\begin{aligned} f_i(x) &= f_i g^{(n-1)-ri} + S_i g^{(n-2)-ri} + \dots + h_i g^{(n-r)-ri} = \\ &= (F_i \oplus c_i) g^{(n-1)-ri} + (N_i \oplus d_i) g^{(n-2)-ri} + \dots + (Z_i \oplus l_i) g^{(n-r)-ri}, \end{aligned} \quad (7)$$

где $F_i = f_i \oplus c_i$;

$N_i = S_i \oplus d_i$;

$Z_i = h_i \oplus l_i$.

Таким образом, формирование кода значения функции можно записать следующим образом:

$$f(x) = f_i S_i \dots h_i = \{c_i d_i \dots l_i\} \oplus \{F_i N_i \dots Z_i\}. \quad (8)$$

Основными общими действиями методики воспроизведения значения функции в этих методах на этапе проектирования является:

- предварительное представление в виде кортежей кодовых последовательностей аргумента и соответствующих функциональной зависимости цифровых кодов заданной функции;
- определение значений корректирующих констант для каждой пары кортежей соответствующих массивам заданных последовательностей аргумента и функции.

Воспроизведение функции осуществляется с помощью соответствующей корректирующей константы. Поэтому разработка алгоритмов для расчета значений корректирующих констант на этапе проектирования функционального цифрового преобразователя является задачей первоочередной и особенно актуальной для специализированных сложных функций.

Пример [5] обобщенной цифровой модели аппаратной реализации заданной функциональной зависимости $f(x)$ и построенной на базе таблично-логического метода аппаратной реализации представлен на рис. 1.

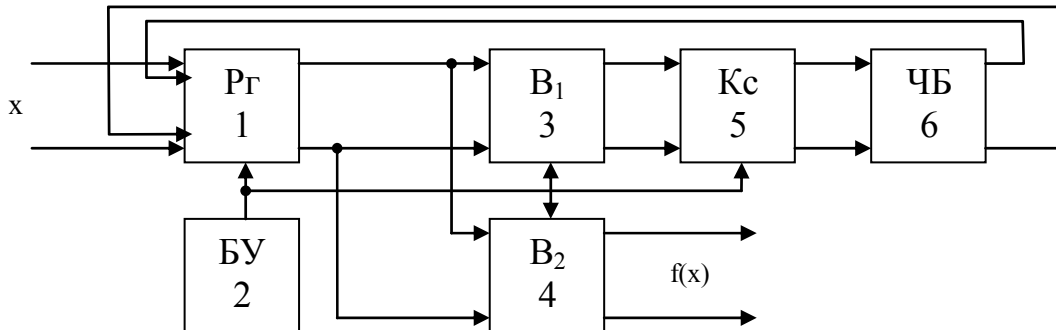


Рис. 1. Образно-знаковая модель преобразователя реализованного на базе таблично-логического метода для $m=1$: 1 – входной регистр; 2 – блок управления; 3, 4 – блоки вентиляей; 5 – комбинационная схема адреса; 6 – числовой блок памяти

Особенностью модели является наличие обратной связи, по которой единицы с выхода числового блока памяти преобразуют кодовую последовательность аргумента в соответствующую кодовую последовательность значения $f(x)$, без длительных операций и выходного регистра [7].

Алгоритм расчета корректирующих констант строится на соотношениях между известными значениями входных кодов аргумента и соответствующими значениями выходных кодов специализированной функции. С целью сокращения объема памяти создается база данных соответствующих значений корректирующих констант как разность между ними.

Для таблично-логического метода аппаратной реализации эта разница определяется как сумма по $\text{mod } 2$. Алгоритм расчета корректирующих констант для этого метода имеет следующий вид (рис. 2) и содержит следующие операции:

1. Начало.
2. Ввод данных

$$(X_{l_z}, Y_{l_z}, \text{при } l = \overline{1, 2^r}, z = \overline{1, n}).$$

3. Вычисление количества кортежей

$$(m := n/r).$$

4. Начало цикла по строкам

$$(j := 1, \dots, 2^r);$$

5. Начало цикла по кортежам текущей строки

$$(i := 0, m - 1).$$

6. Вычисление значения корректирующей константы для данного кортежа

$$(\Delta_{ij} := X_{ij} \oplus Y_{ij}).$$

7. Запись значения корректирующей константы в память

$$(\Delta_{ij}).$$

8. Если есть в строке еще кортежи перейти к следующему кортежу и выполнить шаг 6, иначе перейти к шагу 9.

9. Если есть еще строки перейти к следующей строке и выполнить шаг 5, иначе перейти к шагу 10.

10. Конец.

Из алгоритма (рис. 2) и перечня операций для таблично-логического метода аппаратурной реализации видно, что использование операции суммирования по mod 2 для соответствующих кортежей a_i , b_i при получении значений корректирующих констант Δ_i , не требует разработки специальной программы и этим значительно сокращается время на этапе проектирования.

Для таблично-аддитивного метода аппаратурной реализации разница между a_i , b_i определяется как арифметическая сумма. Этот метод целесообразен при необходимости иметь сумматор в вычислительном устройстве.

Алгоритм расчета корректирующих констант для таблично-аддитивного метода аппаратурной реализации представлен на рис. 3 и содержит такие основные операции:

1. Начало.

2. Ввод данных

$$(X_{l,z}, Y_{l,z}, \text{при } l = \overline{1, 2^r}, z = \overline{1, n}).$$

3. Вычисление количества кортежей

$$(m := n / r).$$

4. Начало цикла по строкам

$$(j := 1, 2^r).$$

5. Начало цикла по кортежам текущей строки $(i := 0, m - 1)$.

6. Обнуление значения переноса $(c := 0)$.

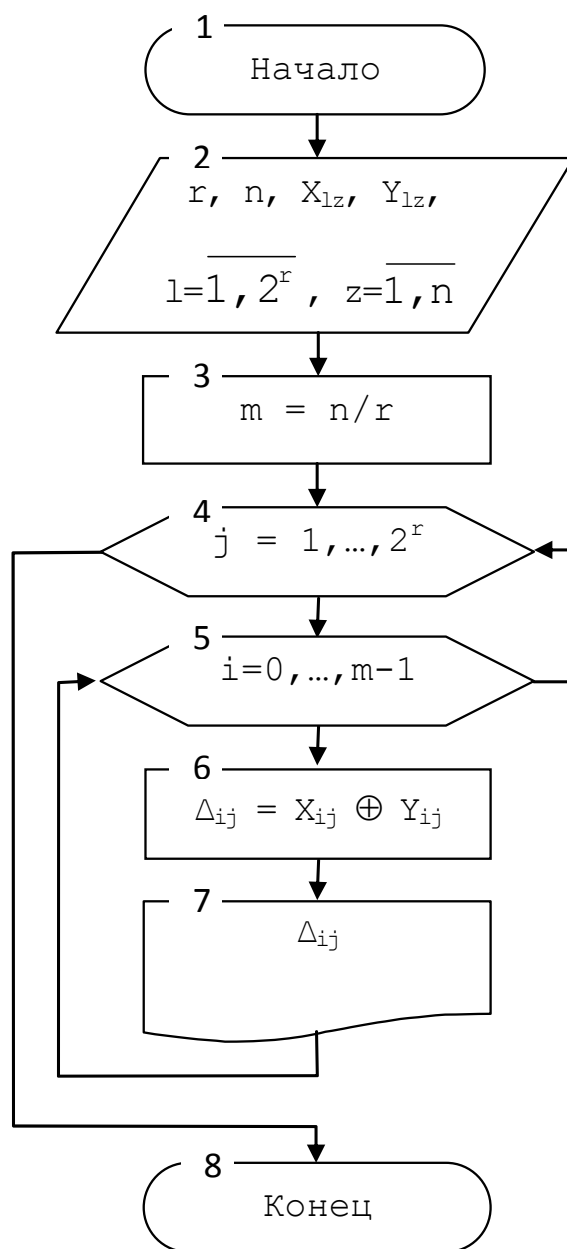


Рис. 2. Алгоритм расчета кортежей корректирующей константы для таблично-логического метода аппаратурной реализации

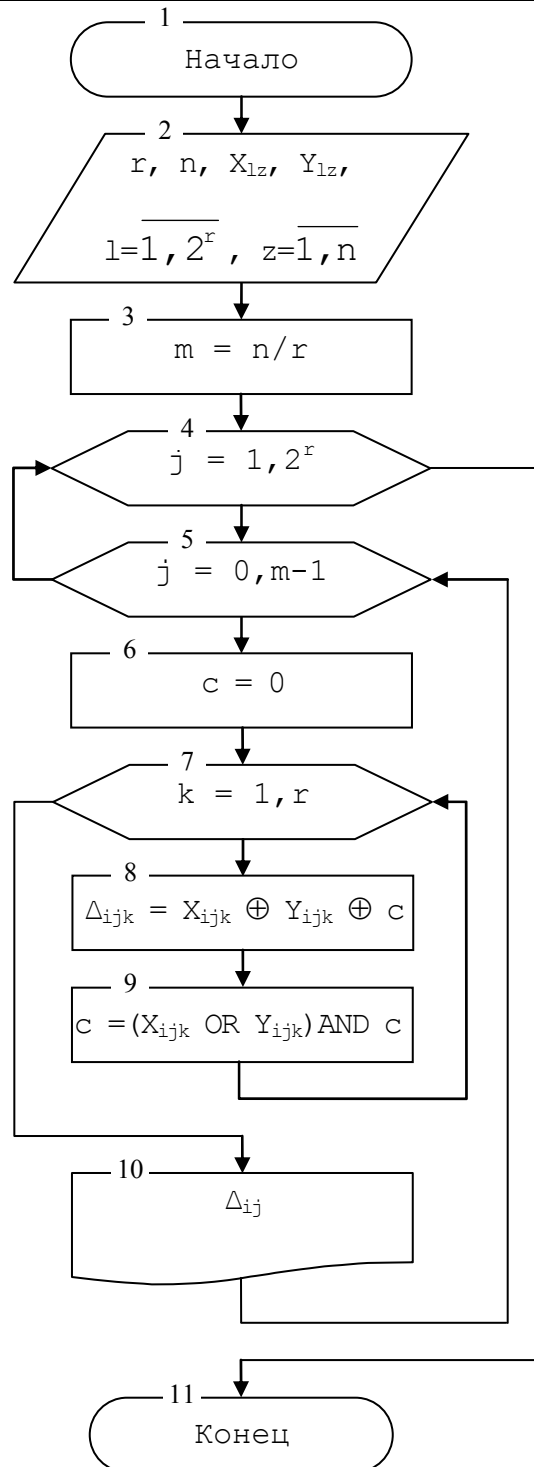


Рис. 3. Алгоритм расчета кортежей корректирующей константы для таблично-аддитивного метода аппаратной реализации

1. Начало цикла по разрядам текущего кортежа ($k := 1, r$).
2. Вычисление значения корректирующей константы для данного кортежа

$$(\Delta_{ijk} := X_{ijk} \oplus Y_{ijk} \oplus c).$$
3. Вычисление переноса в старший разряд

$$(c := (X_{ijk} \text{ OR } Y_{ijk}) \text{ AND } c).$$
4. Если есть в кортеже еще разряды, то перейти к следующему разряду и выполнить шаг 8, иначе перейти к шагу 11.
5. Запись значения корректирующей константы в память (Δ_{ij}).
6. Если есть в строке еще кортежи перейти к следующему кортежу и выполнить шаг 6, иначе перейти к шагу 13.
7. Если есть еще строки перейти к следующей строке и выполнить шаг 5, иначе перейти к шагу 14.

8. Конец.

Выводы. Предложены алгоритмы расчета корректирующих констант для таблично-аддитивного и таблично-логического методов аппаратурной реализации функциональных зависимостей.

Практическая значимость алгоритмов заключается в том, что позволяет сократить время подготовки базы данных при заполнении числового блока памяти. Преимуществом этих алгоритмов является отсутствие необходимости разработки специальной программы и, как следствие, уменьшение стоимости микропроцессорных систем.

Дальнейшее исследование целесообразно проводить в направлении разработки алгоритма расчета управляющих и корректирующих констант для полуаддитивного таблично-логического метода, который является одним из видов таблично-алгоритмических методов.

Литература

1. Лукашенко В.М. Огляд і аналіз функціонально орієнтованих пристроїв з таблично-адитивними методами перетворення інформації / В.М. Лукашенко // Вісник ЧІТІ. – 1998. – № 2. – С. 136–144.
2. Лукашенко А.Г. Напівадитивний таблично-логічний метод перетворювання коду Грея в двійково-десятковий код / А.Г. Лукашенко, Я.В. Корпань, В.М. Лукашенко, В.Д. Шелягін // Інтегровані комп'ютерні технології в машинобудуванні (ІКТМ-2003): Тр. III міжнар. наук.-техн. конф. – Х. : Нац. аерокосмічний ун-т "ХАІ", 2003. – С. 100.
3. Лукашенко В.М. Логико-математическая модель для преобразования кодовой информации / В.М. Лукашенко, М.Г. Лукашенко, Д.А. Лукашенко, Я.В. Корпань, Б.А. Шеховцов // Современные информационные и электронные технологии 2003 (СИЭТ-2003): Тр. IV междунар. науч.-практ. конф. – Одесса : ОНПУ, 2003. – С. 155.
4. Корпань Я.В. Алгоритм подготовки массива данных для автоматизированных технологических процессов / Я.В. Корпань, А.Г. Лукашенко, В.М. Лукашенко // Тр. науч.-техн. конф., «Прогрессивные направления развития машино-приборостроительных отраслей и транспорта». – Севастополь : СевНТУ, 2004. – Т. 2 – С. 71–72.
5. Лукашенко В.М. Высокоскоростной функционально ориентированный преобразователь / В.М. Лукашенко // Вісник ЧІТІ. – 1999. – № 1. – С. 19–21.
6. Лукашенко В.М. Огляд і аналіз функціонально орієнтованих пристроїв з таблично-логічними методами перетворення інформації / В.М. Лукашенко // Вісник ЧІТІ. – 1998. – № 2. – С. 145–153.
7. Пат. 35014 А Україна, МПК G06G07/26. Цифровий пристрій для обчислення функцій / В.М. Лукашенко, С.В. Ротте, М.І. Гладченко, А.Г. Лукашенко. – №99074386 ; заявл. 29.07.1999 ; опубл. 15.03.2001, Бюл. № 2.

Надійшла 6.9.2011 р.

УДК 389:638.011.54

В.Т. КОНДРАТОВ

Институт кибернетики им. В.М. Глушкова НАН Украины

МЕТОДОЛОГИЯ ИЗБЫТОЧНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

У статті розглянута тонка структура методології надлишкових вимірювань, докладно описані етапи проведення наукових досліджень.

In work the thin structure of methodology of redundant measurements is considered, stages of carrying out of scientific researches are in detail described.

Ключові слова: тонка структура, методологія, надлишкові вимірювання, етапи досліджень.

Введение. Фундаментальная метрология совершенствует существующие, создает и развивает новые методы измерения свойств и параметров исследуемых объектов, физических явлений и процессов, обеспечивающие заданную точность и достоверность измерений, осуществляет связь теории и практики на философском уровне, на уровне познания математических моделей методов измерений и соответствующих технических решений (структур) средств измерений и т.д.

В настоящей статье рассматривается методология избыточных измерений величин разной физической природы.

Объект исследований – процесс организации научно-практической профессиональной деятельности ученых в области измерений.

Предмет исследований – методология избыточных измерений величин разной физической природы.

Целью работы является ознакомление ученых и специалистов со всей совокупностью подходов, вопросов и проблем, с которыми приходится сталкиваться при создании методов и средств избыточных измерений и осуществлении метрологической деятельности человека в данном направлении.

Результаты исследований**1. Общие понятия и определения методологии**

Определение 1 (общее)

Методология – это учение об организации и построении научно-практической деятельности людей (научной, практической и другой профессиональной деятельности).

Определение 2

Методология – система базисных принципов, методов, методик, способов организации и построении научно-практической, в частности метрологической, деятельности людей [1].

Определение 3

Методология – это система всеобщих, общих и частных методов научного исследования [2].

Определение 4

Методология – система принципов и способов организации теоретической и практической деятельности, а также учение об этой системе [3].

Определение 1 (частное)

Методология науки, в традиционном понимании, – это учение о методах и процедурах профессиональной научной деятельности человека, а также раздел общей теории познания, в особенности теории научного познания (эпистемологии) и философии науки [4].

Определение 2

Методология, в прикладном смысле, – это система принципов и подходов исследовательской деятельности, на которые опирается исследователь (ученый) в ходе получения и разработки знаний в рамках конкретной дисциплины: физике, химии, биологии, информатики и других разделах науки [4].

Определение (следуя [2])

Методология избыточных измерений – это учение об основных законах, категориях, положениях, формах, методах, принципах научного исследования и организации новой стратегии измерений величин разной физической природы.

Методологическое обоснование качества избыточных измерений (ИИ) охватывает две подсистемы знаний:

- 1) теорию организации процесса ИИ;
- 2) вопросы научного обоснования этого процесса.

Предметом методологии является организация и построение человеческой деятельности.

Организовать деятельность – это значит упорядочить ее в целостную систему с четко определенными характеристиками, логической структурой и процессом ее осуществления – временной структурой [5].

Рассмотрим тонкую структуру методологии ИИ.

2. Тонкая структура методологии избыточных измерений

Основу избыточных измерений составляет общенаучная методология системного подхода и информативной избыточности. В этой связи и создание тонкой структуры методологии ИИ должна осуществляться с позиции системного подхода при широком использовании философских основ теории избыточных измерений (ТИИ) (принципов, категорий, основных понятий и определений и т.д.). В ней должны быть учтены особенности, принципы, условия и нормы метрологической деятельности человека, а также логическая и временная структура этой деятельности. Это позволит выявить причинно-следственные связи между параметрами и характеристиками математической модели (ММ) измерительной системы (ИС) «Объект измерений – Средство избыточных измерений» («ОИ – СИИ»), прогнозировать эффекты, достигаемые при изменении тех или иных параметров ФП ФВ.

Отметим, что логическая структура метрологической деятельности предполагает учет существующих норм профессиональной деятельности ученого, учет объекта и предмета исследований, полученные промежуточные и конечные результаты метрологической деятельности. При этом логическая структура указанной деятельности сопровождается временными рамками и имеет свои фазы, стадии и этапы.

Ниже рассматривается методология ИИ величин разной физической природы, с учетом указанных выше требований, при решении измерительных задач.

Тонкая структура методологии ИИ приведена на рис. 1.

Весь процесс решения измерительной задачи и осуществления процедуры создания методов избыточных измерений (МИИ) состоит из нескольких этапов, каждый из которых имеет, в свою очередь, свои стадии и фазы.

1. Прежде всего, осуществляется анализ поставленной технической задачи, системы конечных целей и сущности объекта измерений (ОИ), как категории. В результате анализа может быть установлено, что ОИ является пассивным или активным. Затем ОИ рассматривается с точки зрения классов объектов измерений: приписана ли ОИ ММ или не приписана. В этом случае общая процедура анализа разделяется на две самостоятельные ветви рис. 1).

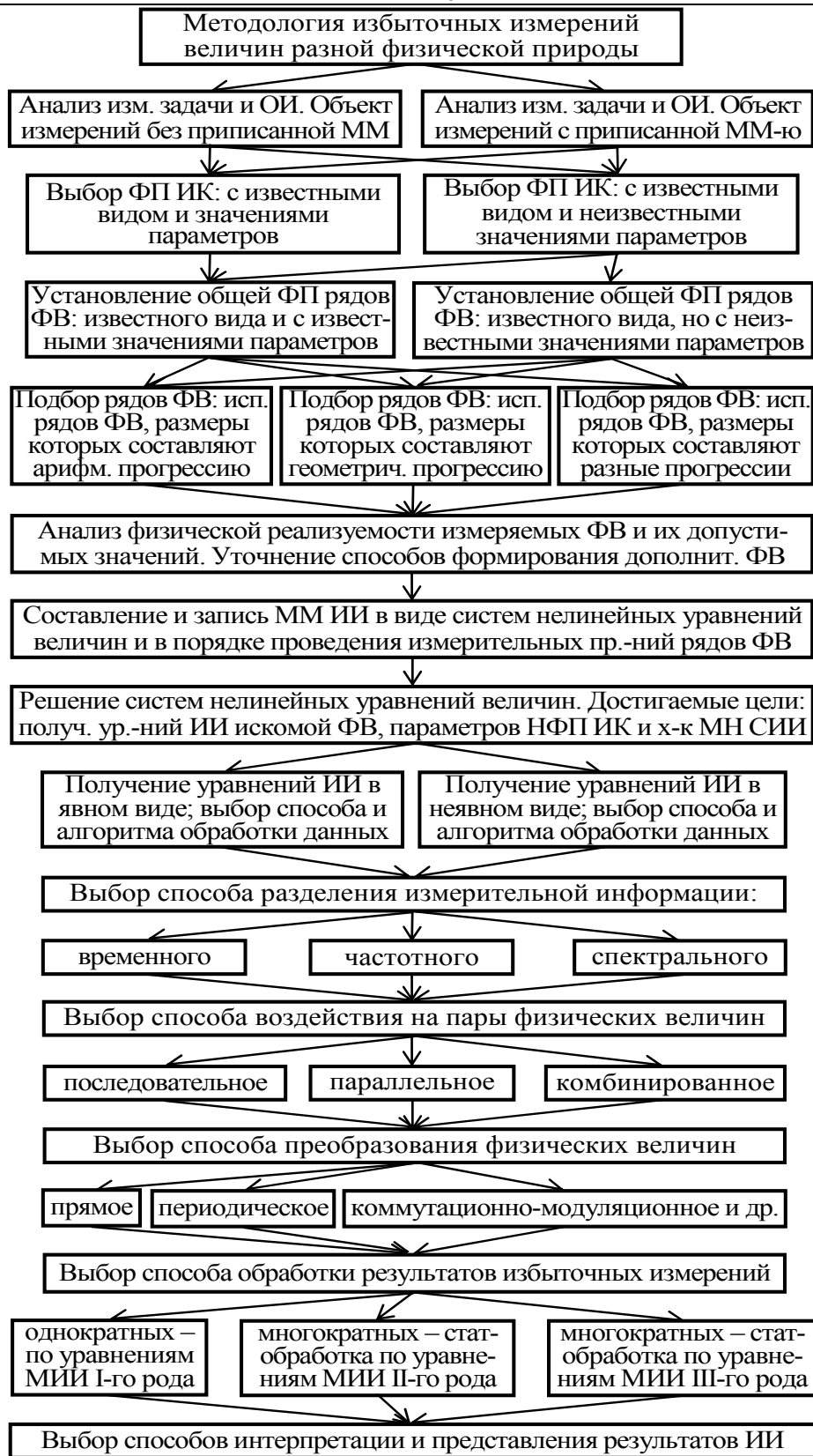


Рис. 1. Тонкая структура методологии избыточных измерений

2. Следующим этапом является выбор функции преобразования (ФП) измерительного канала (ИК). Здесь возможны два случая: 1) ФП ИК является функцией известного вида и с известными значениями параметров; 2) вид ФП ИК известен, но неизвестны значения ее параметров. Поскольку избыточные измерения инвариантны к изменениям значений параметров ФП ИК, то, с экономической точки зрения, предпочтение следует отдать второму случаю. Он не требует калибровки ФП ИК.

3. На третьем этапе выясняется или устанавливается вид ФП рядов физических величин (ФВ). Определение вида зависит от ФП ИК и ММ ОИ. Для ФП ИК известного вида и с известными значениями ее параметров приписываемая ОИ ММ должна быть известной по виду и по значениям параметров. В противном

случае необходимы дополнительные усилия по определению параметров ММ ОИ. В результате возникает дилемма, что и как необходимо определять.

При ИИ и любом виде ФП ИК предпочтительно выбирать ОИ с приписанной ему ММ и априори известными или неизвестными значениями ее параметров и показателей, характеризующих данную ММ.

Четвертым этапом решения измерительной задачи является подбор рядов измеряемых ФВ.

Кроме искомой ФВ и образцовой, воспроизводимой мерой или стандартным образцом (СО) состава и свойств веществ и материалов, необходимо сформировать еще несколько ФВ. От этого зависит получение в ограниченном или в полном объеме дополнительной (избыточной) информации о состоянии ИС «ОИ – СИИ» в дискретные моменты времени измерений.

Выбор числа измеряемых ФВ соответствует числу n неизвестных параметров ФП этих ФВ или на единицу больше, т.е. числу $n + 1$. Последнее обусловлено невозможностью физической реализации нулевого значения искомой ФВ и сложностью ФП ФВ.

Изменение во времени состояния ИС «ОИ – СИИ» осуществляется при воздействиях на вход ИС измеряемых (основных и дополнительных) ФВ в определенной последовательности и в дискретные моменты времени с последующим получением соответствующей реакции системы на данные воздействия.

При этом, независимо от вида ФП ФВ, размеры дополнительно формируемых рядов ФВ должны быть связаны между собой по законам: 1) арифметической прогрессии; 2) геометрической прогрессии и 3) их сочетанием (часть ФВ связана между собой по закону арифметической прогрессии, а остальная часть – по закону геометрической прогрессии). Только в этом случае возможно решение систем ММ процесса ИИ при нелинейной ФП ФВ. Причем, ряды ФВ формируются «привязанными» к искомой ФВ x_i и/или к образцовой ФВ x_0 .

5. Следующим этапом рассматриваемой методологии является анализ физической реализуемости измеряемых ФВ и их допустимых значений. Это очень важный этап научных исследований при решении измерительных задач. Без обеспечения физической реализуемости рядов ФВ невозможна практическая реализация ИИ. Так например, невозможно создать СО, например, листьев растений с нормированной по значению нулевой концентрацией хлорофилла, но не сложно создать два СО того же растения с нормированными по значению концентрациями хлорофилла; невозможно создать СО наноматериала с нулевым значением диэлектрической проницаемости; весьма трудно уменьшить до нуля скорость вращения подвижного ОИ и т.д., и т.п.

При этом необходимо учитывать также практическую реализуемость операций сложения, вычитания, умножения и деления ФВ. Так, например, невозможно сложить две температуры таким образом, чтобы значение результирующей температуры было равным сумме или разности значений составляющих температур или уменьшить или увеличить в нормируемое число раз температуру удаленного или труднодоступного ОИ.

Для практической реализации указанных арифметических операций в ИИ используют по меньшей мере три физических эффекта:

1) первый эффект связан с нормированным изменением значения чувствительности линейной составляющей ФП первичного измерительного преобразователя (ПИП) (сенсора, биосенсора, фотосенсора, видеосенсора и т.д.), что соответствует нормированному изменению в тоже число раз размера измеряемой ФВ;

2) второй эффект связан с последовательным использованием реакции ИК СИИ на входные воздействия.

Например, при решении задачи ИИ влажности бумаги оптическими методами стоит задача определения затухания потока оптического излучения, прошедшего через образец с влажностью, равной по размеру сумме значений влажностей стандартного и исследуемого образцов бумаги. Для решения данной задачи в одном из тактов измерений сначала определяют коэффициент затухания нормированного по значению мощности потока оптического излучения, прошедшего через СО бумаги с нормированной по значению влажностью. Затем в полученное число раз уменьшают мощность входного нормированного по значению потока оптического излучения и этим потоком воздействуют уже на исследуемый образец бумаги с неизвестным значением влажности. Полученный результат ослабления мощности потока оптического излучения будет соответствовать потоку ослабленного оптического излучения, прошедшего через образец бумаги с влажностью, равной по размеру сумме значений влажностей стандартного и исследуемого образцов бумаги;

3) третий эффект, применяемый, чаще всего, при измерениях пассивных неэлектрических величин, предполагает не разновременное, а одновременное воздействие потоком оптического излучения «параллельно» на оба образца, например, бумаги или листьев растений.

В ИИ измерениям могут подлежать ФВ, размер которой равен сумме размеров образцовой и искомой ФВ, поэтому необходимо выбирать диапазон измерения ФВ большим, чем предполагалось, на значение ФВ, воспроизводимой мерой или СО, т.е. примерно в 1,1 – 1,5(2) раза.

В заключение данного этапа осуществляется уточнение способов формирования дополнительных ФВ.

Из выбранных способов формирования дополнительных ФВ наиболее перспективным является способ, основанный на нормированном изменении значений параметров ФП ИК, предпочтительно ПИП-я. Поэтому нами постоянно ставится вопрос о создании как высокочувствительных (полупроводниковых) информативно-избыточных сенсоров, биосенсоров, фотосенсоров, видеосенсоров и т.д. с дискретно управляемыми параметрами,

так и нормированных по значениям мощности, частоты, ширины спектра и т.д. источников зондирующих (или тестовых) воздействий на ОИ.

6. Шестым этапом рассматриваемой методологии ИИ является составление и запись ММ ИИ в виде систем нелинейных уравнений величин, причем в последовательности, соответствующей порядку проведения измерительных преобразований рядов ФВ. Каждое нелинейное уравнение величин системы должно быть адекватным ФП ФВ и описывать процесс измерительного преобразования в соответствующие моменты времени. В идеале нелинейные уравнения величин составленной системы должны быть идентичными между собой, т.е. должен осуществляться «принцип симметрии» направленных на ИС воздействий. Данный этап заканчивается созданием мыслеобразов или базовых структурных схем ИС «ОИ – СИИ» исходя из полученной системы нелинейных уравнений величин или ММ. Все традиционно используемые элементы структуры СИ или СИИ и связи между ними дополняются новыми структурными элементами и связями. Использование системного подхода позволяет прогнозировать эффекты, достигаемые при изменении структурно-функциональных параметров ИС «ОИ – СИИ».

7. После установления ММ и базовой структуры ИС «ОИ – СИИ» осуществляется анализ системы нелинейных уравнений величин с целью ее решения самым простым способом относительно неизвестных величин и параметров ФП ФВ. Выбираемый способ решения должен быть оптимальным по числу выполняемых алгебраических операций, по степени сложности и реализации (желательно без выполнения операции извлечения квадратного корня или корней более высокой степени, без выполнения тригонометрических операций и др.) и обеспечивать получение уравнений ИИ преимущественно в явном виде. Неявный вид уравнения ИИ также приемлем. Он также обеспечивает высокоточное определение результатов ИИ. В то же время для его реализации требуются большие затраты времени на выполнение алгебраических операций и осуществление перебора значений искомой ФВ или параметра ФП в диапазоне их значений. Это необходимо для определения объема и сложности работ по программно-алгоритмическому обеспечению процесса ИИ. При решении системы нелинейных уравнений величин обязательно учитываются достигаемые цели ИИ: получение только уравнения ИИ искомой ФВ, дополнительное получение уравнений ИИ всех параметров ФП ФВ и, наконец, дополнительное определение характеристик метрологической надежности (МН) СИИ. Следует отметить, что от выбранного способа достижения целей ИИ зависит оперативность создаваемого СИИ.

8. В процессе разработки методологии ИИ возникает необходимость и в выборе способа разделения измерительной информации, – с временным, частотным или спектральным разделением ИК (см. рисунок). Каждый из этих способов имеет свою специфику и соответствующее математическое описание процесса измерительного преобразования рядов ФВ. По результатам выбора способа разделения измерительной информации вносятся необходимые изменения или дополнения в систему нелинейных уравнений величин. В ФП ФВ появляются дополнительные влияющие или неинформативные параметры, которые необходимо учитывать при создании ММ ИС «ОИ – СИИ».

9. Данный этап связан с выбором способа воздействия на пары ФВ. ИИ отличаются от прямых методов тем, что измерение активных ФВ или воздействие на пассивные ФВ характеризуются более разнообразными подходами и способами. В частности, например, при ИИ можно осуществить последовательное во времени измерение или воздействие на выбранные пары ФВ или на все ФВ сформированных рядов, параллельное во времени воздействие на искомую и образцовую ФВ, а также комбинированное воздействие или измерение. В качестве примера можно привести сочетание параллельного воздействия потоком оптического излучения на образцы листьев растений с неизвестной и нормированной по значению концентрацией хлорофилла с последующим измерением суммарной мощности ослабленных (отраженных или проходящих) потоков оптического излучения. Изменение способа измерения и/или воздействия обуславливает изменение и уточнение: а) вида и значений параметров ФП ФВ и б) вида ММ ИС «ОИ – СИИ» в целом. Это необходимо учитывать при решении измерительных задач и создании ММ процесса ИИ. Данный этап методологии помогает раскрыть внутреннюю структуру и количество ИК СИИ.

10. Наряду с изменением способа воздействия на ФВ важным этапом является выбор способа преобразования рядов ФВ при ИИ. При наличии ИК со стабильными параметрами ФП чаще всего используется прямое измерительное преобразование ФВ. При больших значениях дрейфа нуля ФП ИК, при смещенной ФП ФВ, при необходимости автоматического исключения аддитивной составляющей погрешности измерительного преобразования ФВ, но чаще всего – при уменьшении числа выполняемых операций используется периодическое преобразование определенных пар ФВ. Пары ФВ выбираются исходя из вида полученного (но не скорректированного) уравнения избыточных измерений. При ИИ ФВ коммутационно-модуляционное преобразование чаще всего используется при асимметрии ФП ИК, при введении в ИК разных обратных связей, реализации процессов уравнивания ФВ, выделении сигналов, характеризующих воздействие внешних дестабилизирующих факторов и т.д. После выбора способа преобразования ФВ уточняется ММ и структура ИС «ОИ – СИИ» в целом.

11. Важным этапом методологии ИИ является выбор способа обработки результатов избыточных измерений (см. рисунок). При прецизионных измерениях, когда значение случайной составляющей весьма мало, или осуществляется аналоговая, дискретно-аналоговая, аналого-цифровая или цифровая фильтрация или усреднение результатов измерительного преобразования ФВ, используется однократное измерительное преобразование рядов ФВ и их обработка по уравнениям ИИ, характеризующим методы ИИ I-го рода. При наличии стационарных эргодических случайных помех, воздействующих на ИК и приводящих к

стационарным случайным изменениям параметров ФП ИК, используются многократные (от 3-х до 34-х или от 35-и до 50(100 и даже более)) измерительные преобразования рядов ФВ. Обработка полученных результатов осуществляется по уравнениям ИИ, характеризующим методы ИИ II-го рода. И, наконец, при задании жестких условий работы разрабатываемого СИИ (в условиях воздействия электрических, магнитных и электромагнитных помех и наводок) или установлении, что на процесс измерительного преобразования будут воздействовать дестабилизирующие факторы, приводящие к нестационарным случайным изменениям значений параметров ФП ИК, осуществляется организация дополнительных, многократно (от 3-х до 34-х или от 35-и до 50(100 и даже более)) повторяющихся циклов измерительного преобразования результатов ИИ, полученных для методов ИИ II-го рода. Это соответствует двойному усреднению результатов ИИ и требует, естественно, знания периода помехи или характера действия дестабилизирующего фактора и условий или критериев определения их минимальных значений. Последнее осуществляется путем введения дополнительных признаков или способов выделения из преобразуемых сигналов информации о параметрах дестабилизирующих факторов. Данный этап заканчивается созданием базовых блок-схем алгоритмов и программ работы создаваемой ИС «ОИ – СИИ».

12. Последним, заключительным этапом организации деятельности человека по решению измерительных задач является выбор способов интерпретации и представления результатов исследований процедуры ИИ.

Определение

Интерпретация — это индивидуальная трактовка исследователем результата (продукта) его творческой деятельности.

В ТИИ под интерпретацией сущности ИИ понимается процесс описания сущности созданного метода ИИ, который состоит:

- из конечной совокупности последовательно выполняемых этапов научных исследований с разъяснением, толкованием и осмысливанием их особенностей и используемых принципов с позиции теории ИИ и теории познания;

- из совокупности метрологического понятий, терминов, специальных (нормативных и осмысленных) технических выражений (уравнение ИИ, уравнение величин, ряды ФВ, СО и т.д.), символов, ММ, ФП, принципов, условий и ограничений;

- из норм метрологической деятельности человека и преемственности профессиональных и общечеловеческих знаний;

- из совокупности достигаемых целей или целевых функций как по качеству измерений, так и по заданным условиям проектирования и эксплуатации создаваемого СИИ, и т.д.

На данном этапе творческая деятельность человека заканчивается созданием новой реальности, т.е. рядов ФВ, систем ММ процесса ИИ, в том числе и уравнений ИИ, а также созданием ММ и структур ИС «ОИ – СИИ», описываемых структурными и функциональными схемами. В целом эта деятельность опирается на ту часть теории ИИ, которая направлена на создание и совершенствование методов и средств ИИ и параметров ФП ФВ.

В заключение изложения методологии ИИ ФВ рассмотрим способы представления результатов измерений.

Информация или данные результатов любых измерений являются недостоверными, если рядом с ними не указаны значения показателей достоверности. В качестве показателей достоверности в теории измерений используются: а) среднее значение относительной (или приведенной) погрешности, б) среднее квадратическое отклонение (СКО) погрешности полученного результата измерений; в) верхнее и нижнее (асимметричные) значения полосы неопределенности или пределы допускаемых погрешностей; г) значение неопределенности или рассеяние результата измерений.

При прямых измерениях таким показателем служил класс точности СИ. Класс точности – обобщенная характеристика средств измерения (СИ), определяемая пределами допускаемых основной и дополнительной погрешностей, а также рядом других свойств, влияющих на точность результата измерений [6]. Класс точности представляет некоторое усредненное или возможное отклонение результата измерений, определенное для некоторого множества СИ одной группы и одного вида.

Классы точности регламентируются стандартами на отдельные виды СИ с использованием метрологических характеристик (МХ) и способов их нормирования. Однако, ГОСТ 8.401–80, например, не распространяется на СИ, для которых предусматриваются отдельные нормы на систематическую и случайные составляющие. Данный стандарт не распространяется на СИ, для которых нормированы номинальные функции влияния, а измерения проводятся без введения поправок на влияющие величины. Классы точности не устанавливаются и на СИ, для которых существенное значение имеет динамическая погрешность [6].

Поскольку класс точности характеризует не метрологическую, а техническую характеристику СИ, то он не является непосредственным показателем точности результатов измерений, выполняемых с помощью данного средства.

Развитие теории ИИ направлено на одновременное высокоточное определение не только результата измерений, но и значения показателя достоверности. Только представление результата ИИ совместно со средним значением относительной (или приведенной) погрешности, значением среднего квадратического

отклонения (СКО) погрешности, верхним и нижним (асимметричными) значениями полосы неопределенности (пределами допускаемых погрешностей), значением неопределенности или рассеяния результата измерений характеризует точность и достоверность измерений.

На последнем этапе методологии ИИ подробно описываются также пути и методы определения показателя достоверности результатов ИИ.

При ИИ I-го рода достоверность полученных результатов определяется, по меньшей мере, верхним и нижним (асимметричными) значениями полосы неопределенности или пределов допускаемых погрешностей, присущих образцовой ФВ, воспроизводимой мерой или СО, значением неопределенности или рассеяния результата воспроизведения образцовой ФВ мерой или СО, взятые с определенными значениями коэффициента охвата (– в пределах от 1,1 до 1,8).

При ИИ II-го рода достоверность полученных результатов определяется аналогичным способом, но значение коэффициента охвата вычисляется путем обработки результатов промежуточных измерений согласно уравнению избыточных измерений.

При ИИ III-го рода достоверность полученных результатов также определяется верхним и нижним (асимметричными) значениями полосы неопределенности, пределами допускаемых погрешностей, присущих образцовой ФВ, воспроизводимой мерой или СО, или значением неопределенности, увеличенных на значение коэффициента охвата, отличное от значения коэффициента охвата, полученного для ИИ II-го рода. В этом случае определение коэффициента охвата является более сложной задачей, связанной со статистической обработкой данных ИИ II-го и III-го родов.

Данный этап заканчивается окончательной (чистой) интерпретацией как метода, так и базовой структуры ИС «ОИ – СИИ», т.е. полным раскрытием смысла и сущности процедуры ИИ ФВ.

Следующим этапом профессиональной деятельности исследователя является разработка принципиальных схем СИИ по функциональной схеме и проектирование его физической модели. Практическая деятельность исследователя по системному проектированию, направленная на создание непосредственно ИС «ОИ – СИИ», описывается другой методологией.

Выводы. Впервые изложена методология ИИ с позиций системного подхода и преемственности знаний.

Приведено несколько классических понятий и определений методологии, показаны этапы научной деятельности человека в области измерений величин разной физической природы.

Установлено, что методология науки – это учение о методах и процедуре профессиональной научной деятельности человека, а методология избыточных измерений – это учение об основных законах, категориях, положениях, формах, методах, принципах научного исследования и организации новой стратегии измерений величин разной физической природы.

Рассмотрена тонкая структура методологии избыточных измерений, что позволило выявить специфику избыточных измерений и изложить ее в виде стройной системы последовательно выполняемых способов, путей и методов научной деятельности человека в данной области знаний.

Представлено авторское видение процесса интерпретации сущности ИИ как многоэтапного итерационного процесса решения поставленной технической задачи по созданию методов ИИ величин разной физической природы.

Показано, что заключительный этап методологии ИИ должен завершаться рассмотрением способов представления результатов измерений. Только знание значения показателя достоверности результатов измерений, в том числе и ИИ, дает достоверную и исчерпывающую информацию о свойствах исследуемого объекта измерений.

Описанная методология ИИ даст возможность корректно решать поставленные перед исследователем метрологические задачи.

Литература

1. Методология [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://ru.wikipedia.org/wiki/Методология>
2. Вопросы методологии педагогических измерений [Электронный ресурс] / Аванесов В.С. – Режим доступа : <http://testolog.narod.ru/EdMeasmt3.html> .
3. Загвязинский В.И. Методология и методика дидактического исследования / Загвязинский В.И. – М. : Педагогика, 1982 – 159 с.
4. Методология науки [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://ru.wikipedia.org/wiki/Методология_науки.
5. О методологии [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.methodolog.ru>.
6. Федоров А.М. Метрологическое обеспечение электронных средств измерений электрических величин : [справочная книга] / Федоров А.М., Цыган Н.Я., Мичурин В.И. – Л. : Энергоатомиздат, Ленинград. отд-ние. – 1988. – 208 с.

Надійшла 14.9.2011 р.

ЩОДО ЗАДАЧ ОПЕРАТИВНОГО ОЦІНЮВАННЯ СТАНУ ВІЙСЬКОВОЇ БЕЗПЕКИ ДЕРЖАВИ

Розглянуто забезпечення підвищення ефективності оцінювання стану військової безпеки держави.

Providing of increase of efficiency of evaluation of the state of military safety of the state is considered.

Ключові слова: оперативне оцінювання, безпека держави, математичний аналіз даних.

Одним зі шляхів підвищення ефективності оперативного оцінювання стану військової безпеки держави є забезпечення умови своєчасної підготовки та проведення останніх. В цьому разі дуже значущою виявляється умова своєчасності виявлення змін у стані безпеки держави та здатності своєчасно враховувати вплив нових загроз, прояв яких до цього не спостерігався. Тому, така задача як оцінка стану державної безпеки на основі поточного моніторингу переліку та рівнів загроз безпеці в умовах обмежених вибірок даних поточного спостереження є актуальною.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми.

До сьогодні проблема державного кордону України не є остаточно врегульованою. Незабезпечення необхідного рівня безпеки державних кордонів несе загрозу національній безпеці, сприяє зростанню міжнародної злочинності, контрабанди, нелегальної еміграції.

Відомі методичні підходи до аналізу і оцінки рівня національної безпеки та її складових використовують схожі методики багатовимірного порівняльного аналізу, які в основному ґрунтуються на методах таксономії з елементами факторного аналізу, як це викладено, наприклад, в [1].

Наведений приклад також може слугувати і для встановлення «вузьких» місць даного сімейства методик. Так, методика побудована на основі ієрархічної схеми об'єктів (аспектів) – показників (властивостей), що змушує дослідника складати не вектор, а матрицю вхідних даних. Рекомендації щодо оцінки чисельних значень елементів матриці виходять за межі методики. Ще одним «вузьким» місцем є використання нечітких понять, як наприклад «найбільша відстань між показниками, що розташовані поблизу один одного». Величина «поблизу» є вербальною змінною, тому порядок її врахування в методиці здатен значно вплинути на результат розрахунків. Такі місця привносять до методики помітну частку суб'єктивізму, чим збільшують залежність результатів застосування методики від кваліфікації виконавця.

Для зменшення обсягу вхідних даних для оцінки рівня національної безпеки та підвищення об'єктивності і оперативності пропонується наступний апарат оцінки рівня безпеки.

Формулювання цілей статті. Метою даної статті є визначення порядку математичного аналізу вхідних даних, якими виступають оцінки рівнів загроз державної безпеки, з ціллю встановлення рівня безпеки державного кордону в цілому. При цьому математичний апарат оцінки повинен бути гнучким до переліку загроз безпеці кордону за умови забезпечення оперативної оцінки поточного стану рівня державної безпеки. За таких умов важливою є вимога забезпечення працездатності формальних методів за короткими обмеженими вибірками даних спостереження.

Виклад основного матеріалу. Змістовна постановка задачі, базуючись на результатах роботи [2, 3], полягає у навчанні розпізнаванню образів та здійснюється наступним чином. Є деяка множина спостережень, які відносяться до p різних класів. Необхідно, використовуючи інформацію про спостереження та їх класифікацію, знайти таке правило, за допомогою якого можна було б з мінімальним числом помилок класифікувати нові спостереження.

З практичної сторони питання, класами спостережень можуть бути ситуації стану безпеки державного кордону. Так, наприклад, для двох класів: стан безпеки державного кордону погіршується; стан безпеки державного кордону покращується. Приклад для трьох класів: стан безпеки державного кордону погіршується; стан безпеки державного кордону залишається без змін; стан безпеки державного кордону покращується. Очевидно, що кількість класів може бути довільною та визначатися умовою однозначної класифікації поточної ситуації.

Будемо вважати, що спостереження задається вектором X , а його класифікація – числом ω (ω може приймати p значень: $0, 1, \dots, p-1$). Практично вектором спостережень буде вектор, компонентами якого виступатимуть чисельні оцінки рівнів загроз безпеці державного кордону. Розмірність вектора відповідатиме кількості загроз, що подаються до розгляду.

Таким чином, необхідно, маючи послідовність із l спостережень та класифікацій

$$x_1, \omega_1; \dots; x_l, \omega_l,$$

побудувати таке правило $\omega = F(x)$, яке з можливо найменшим числом помилок класифікувало б нові спостереження.

Для формалізації слова «помилка» вважається, що існує (хоча воно є невідомим) деяке правило Φ , що визначає для кожного вектора x класифікацію $\omega = \Phi(x)$, яку називають «істинною». Помилкою класифікації вектора x за допомогою правила $F(x)$ назвемо таку класифікацію, за якої $F(x)$ та $\Phi(x)$ не співпадають.

Щоб мати можливість використовувати математичний аналіз, будемо вважати, що правило $F(x)$ є однією із функцій деякої заданої множини функцій $\{F(x)\}$, а правило класифікації $\Phi(x)$ визначається умовною імовірністю $P(\omega|x)$.

Наступний, найбільш важливий крок у постановці задачі, спрямований на те, щоб придати точний зміст тому, як обираються спостереження, за якими будується правило для класифікації, та як обираються спостереження, за якими визначається якість побудованого правила.

Прийнято вважати, що на просторі векторів x існує невідома нам імовірнісна міра (в подальшому будемо позначати її щільністю $P(x)$). У відповідності до $P(x)$ випадково і незалежно з'являються ситуації x , які класифікуються за допомогою правила $P(\omega|x)$. Таким чином, визначається навчальна послідовність

$$x_1, \omega_1; \dots; x_l, \omega_l. \quad (1)$$

Для будь-якого правила $F(x)$ визначимо якість як імовірність різної класифікації за допомогою правила $F(x)$ та правила $P(\omega|x)$. Чим менша ця імовірність, тим вища якість. Формально якість вирішуючого правила можна записати у вигляді:

$$I(F) = \sum_{i=0}^{p-1} \int \Theta(F(x) - \omega_i) P(\omega_i|x) P(x) dx, \quad (2)$$

де

$$\Theta(z) = \begin{cases} 0, & z = 0 \\ 1, & z \neq 0 \end{cases}.$$

Зауважимо, що безпосередньо обчислити імовірність безпомилкової класифікації ми не можемо для жодного правила $F(x)$, так як щільності $P(x)$ та $P(\omega|x)$ нам не відомі.

Тим не менш, проблема полягає в тому, щоб, використовуючи вибірку (1), знайти у класі $\{F(x)\}$ таке правило, яке мінімізує функціонал (2).

Для зручності, в подальшому будемо вважати, що:

1) змінна ω приймає тільки два значення: 0 та 1 (тобто ситуація X належить одному з двох класів); це обмеження не є принциповим, так як послідовним розділенням на два класи можна отримати розділення на будь-яке скінчене число класів;

2) клас індикаторних функцій $\{F(x)\}$, тобто функцій, що приймають два значення: 0 та 1, є параметричним $\{F(x, \alpha)\}$ (тут α – параметр, що належить множині Λ , конкретне значення якого $\alpha = \alpha^*$ визначає конкретну функцію $F(x, \alpha^*)$ класу $F(x, \alpha)$; знайти потрібну функцію у класі – значить встановити потрібне значення параметра в класі; вивчення лише параметричного класу функцій ніяк не знижує загальності у заданні класу функцій, так як множина Λ довільна: вона може бути множиною скалярних величин, множиною векторів чи множиною абстрактних елементів);

3) функціонал (2) запишемо у вигляді

$$I(\alpha) = \int (\omega - F(x, \alpha))^2 P(x, \omega) dx d\omega, \quad (3)$$

де функцію $P(x, \omega) = P(\omega|x)P(x)$ будемо називати сумісною щільністю пар x, ω , заданою на просторі X, Ω .

Таким чином, задача навчання розпізнаванню образів полягає у тому, щоб у класі індикаторних функцій $F(x, \alpha)$ відшукати таку, яка б мінімізувала функціонал (3) в умовах, коли сумісна щільність $P(x, \omega)$ невідома, але задана імовірна і незалежна вибірка пар, отриманих відповідно до цієї щільності.

В основу алгоритмів навчання розпізнаванню образів, що розглядаються, покладено спеціальний метод відшукування вирішуючого правила, який базується на побудові розділяючої гіперплощини – метод узагальненого портрету.

Дві скінчених множини векторів: множина

$$X = x_1, \dots, x_a$$

та множина

$$\bar{X} = \bar{x}_1, \dots, \bar{x}_b$$

є розділеними орієнтованою гіперплощиною, якщо для деякого $k < 1$ існує такий вектор φ , що виконуються нерівності

$$x_i^T \varphi \geq 1, \quad i = \overline{1, a}, \quad \bar{x}_j^T \varphi \leq k, \quad j = \overline{1, b}. \quad (4)$$

Вочевидь, якщо існує вектор φ , для якого виконується нерівність (4), то існує і множина векторів φ , що задовольняють (4). Будемо шукати серед них мінімальний за модулем. Цей вектор був названий узагальненим портретом [4].

Серед однопараметричного (за параметром $k < 1$) сімейства векторів узагальненого портрету існує вектор φ_0 , що визначає такий напрямок, на якому проекції множин X та \bar{X} найбільше стоять одна від одної:

$$\varphi_0 = \arg \max_{\varphi} \left[\min_{x_i \in X} x_i^T \varphi - \max_{\bar{x}_j \in \bar{X}} \bar{x}_j^T \varphi \right].$$

Цей вектор φ_0 ми будемо називати оптимальним, а отриману з його допомогою роздільну гіперплощину

$$x\varphi_0 = c_0,$$

де

$$c_0 = \frac{\min_{x_i \in X} x_i^T \varphi_0 + \max_{\bar{x}_j \in \bar{X}} \bar{x}_j^T \varphi_0}{2},$$

- оптимальною роздільною гіперплощиною. Оптимальна гіперплощина відділяє точки множини X (для цих точок $x\varphi_0 > c_0$) від точок множини \bar{X} (для цих точок $\bar{x}\varphi_0 < c_0$) та найбільш віддалена від елементів об'єднаної величини $X \cup \bar{X}$. Метою задачі є відшукування направляючого вектора φ_0 .

Порядок відшукування вектора наведено в [3], де задача побудови гіперплощини, що розділяє дві множини векторів, зводиться до відшукування максимуму виведеної квадратичної форми в додатному квадранті. Одним з найбільш ефективних алгоритмів максимізації недодатно визначеної квадратичної форми є метод спряжених градієнтів.

Висновки та перспективи подальших досліджень у даному напрямку. Таким чином, запропонована постановка задачі може знайти реалізацію за допомогою алгоритмів, побудованих з використанням чітких математичних методів, розглянутих при викладенні основного матеріалу. Реалізація даних алгоритмів за допомогою сучасних обчислювальних засобів дозволить оперативно враховувати зміни рівнів загроз державної безпеки кордону, вводити до розгляду додаткові загрози, що виникають наново, а також в результаті отримувати поточні оцінки стану безпеки державного кордону в цілому. Оперативне врахування зазначених змін повинно надати додатковий час на підготовку, планування та проведення заходів щодо реагування на загрози з метою посилення безпеки державного кордону.

Література

1. Косевцов В.О. Методичний підхід до аналізу і оцінки рівня національної безпеки та її складових / В.О. Косевцов, І.Ф. Зінько, О.М. Матвієвський // Наука і оборона. – 1995. – № 1. – С. 74–78.
2. Алгоритмы и программы восстановления зависимостей / [под ред. В.Н. Вапника]. – М. : Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1984. – 816 с.
3. Лантвойт О.Б. Інформаційне забезпечення комплексного керування захистом складних систем управління / О.Б. Лантвойт, С.П. Гришин, Я.Я. Винярський // Журнал «Сучасна спеціальна техніка». – К., 2011. – №2(25). – С. 112 – 117.
4. Вапник В.Н. Теорія розпознавання образів / В.Н. Вапник, А.Я. Червоненкіс. – М. : Наука, 1974.

Надійшла 22.9.2011 р.

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ОПОРНОГО РЕБРИСТОГО ІЗОЛЯТОРА

Запропонована математична модель опорного ребристого ізолятора з врахуванням механічних і теплових чинників.

The mathematical model of the supporting ribbed insulator is offered taking into account mechanical and thermal factors.

Ключові слова: математична модель опорного ребристого ізолятора, коаксіальна система чугун-цемент-фарфор, концентратори механічних напруг.

Опорні ізолятори із внутрішньою арматурою використовуються в комплектних екранованих струмопроводах для з'єднання генератора і трансформатора в єдиний блок електричних станцій.

Пропонується математична модель опорного ізолятора із внутрішньою арматурою, яка аналогічна наведеної в [1]. При посадці одного циліндра в інший з натягом коліві напруги в внутрішньому циліндрі є стискаючими, а в зовнішньому – розтягуючими. Епюри розподілу механічних напруг, які виникають після посадки, представлені на рис. 1.

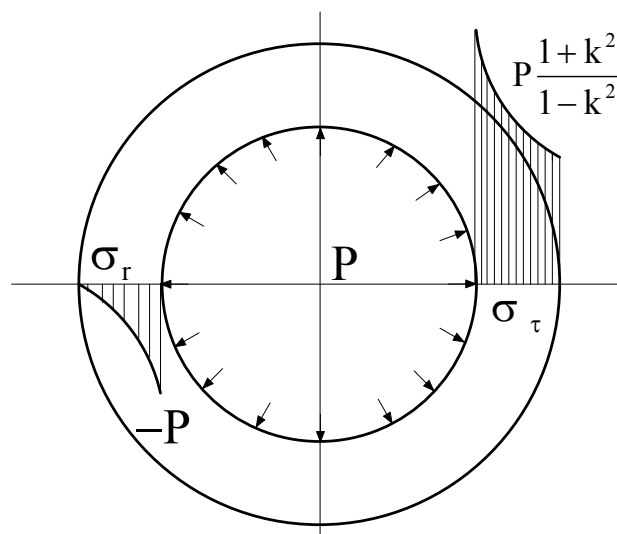


Рис. 1 Епюри розподілу механічних напруг в ізоляторі ІОР

Опорний ізолятор, як складний циліндр при зміні температури внутрішнього чавунного циліндру внаслідок теплових втрат від струму короткого замикання ОКЗ в струмопроводі створює в зовнішньому фарфоровому циліндрі додаткові розтягуючі коліві і стискаючі радіальні напруги (див. рис. 1). Ці напруги описуються за формулами:

$$\sigma_r = \frac{r_1^2}{r_2^2 - r_1^2} \left(1 - \frac{r_2^2}{r^2} \right) p, \quad (1)$$

$$\sigma_\tau = \frac{r_1^2}{r_2^2 - r_1^2} \left(1 + \frac{r_2^2}{r^2} \right) p, \quad (2)$$

$$u = \frac{1-\mu}{E} \cdot \frac{r_1^2 p}{r_2^2 - r_1^2} r + \frac{1+\mu}{E} \cdot \frac{r_1^2 r_2^2}{r_2^2 - r_1^2} p \cdot \frac{1}{r}. \quad (3)$$

Напруга σ_r всюди стискаюча, а σ_τ – розтягуюча. Найбільші величини σ_r і σ_τ будуть біля внутрішньої поверхні циліндра при $r = r_1$:

$$\sigma_{r(r=r_1)} = -p; \quad (4)$$

$$\sigma_{\tau(r=r_1)} = \frac{1+k^2}{1-k^2} \cdot p, \quad (5)$$

де $k = r_1 / r_2$.

Радіальний зсув біля внутрішньої поверхні фарфору (збільшення внутрішнього радіуса)

$$u = \frac{r_1}{E} \cdot \left(\frac{1+k^2}{1-k^2} + \mu \right) \cdot p. \quad (6)$$

Відомо [1], що фарфоровий циліндр з товстою стінкою не витримує внутрішнього тиску більшого за величину $[\sigma] / 2$. Підстановка цього критерію в формулу (5) дає величину співвідношення

$$\sigma_{\tau_{\text{крит}}}(r=r_1) = \frac{1+k^2}{1-k^2} \cdot \frac{\sigma_{\tau_{\text{крит}}}}{2},$$

або $\frac{1+k^2}{1-k^2} \leq 2$, а $k \leq 0,57731$.

Напруги і зсуви біля зовнішньої поверхні циліндра при $r = r_2$:

$$\sigma_{r(r=r_2)} = 0; \quad (7)$$

$$\sigma_{\tau(r=r_2)} = \frac{2k^2}{1-k^2} \cdot p; \quad (8)$$

$$u_{r=r_2} = \frac{r_2}{E} \cdot \frac{2k^2}{1-k^2} \cdot p. \quad (9)$$

Епюри механічних напруг, наведені на рис. 1, змінюються за гіперболічним законом. Найнебезпечнішою для руйнування є точка, яка знаходиться біля внутрішньої поверхні фарфорового циліндра.

Колові напруги від внутрішнього тиску будуть складатись з напругами від посадки у фарфорі і відніматись від них у внутрішньому чавунному циліндрі. Радіальні напруги від внутрішнього тиску і тиску посадки складаються в обох циліндрах.

Сумарні епюри напруг після прикладання тиску мають вигляд, представлений на рис. 1. Характерним тут є стрибок в епюрі σ_{τ} і перелом в епюрі σ_r на радіусі контакту циліндрів. Відомо [2], що фарфор має значно меншу міцність на розтягування, ніж на стискування, тому радіально - аксіальні тріщини виникають від внутрішнього тиску

$$p \leq \frac{|\sigma_{\tau}|}{2},$$

як це показано в [2].

Аналіз формули (5) показує, що конструктивний параметр $\Omega = \frac{1+k^2}{1-k^2}$ є визначальним для умов руйнування фарфорового тіла опорного ребристого ізолятора із внутрішньою арматурою.

Для визначення діапазону змін цього параметра в реально існуючих ізоляторах були виміряні відповідні геометричні розміри r_1, r_2, r_3 .

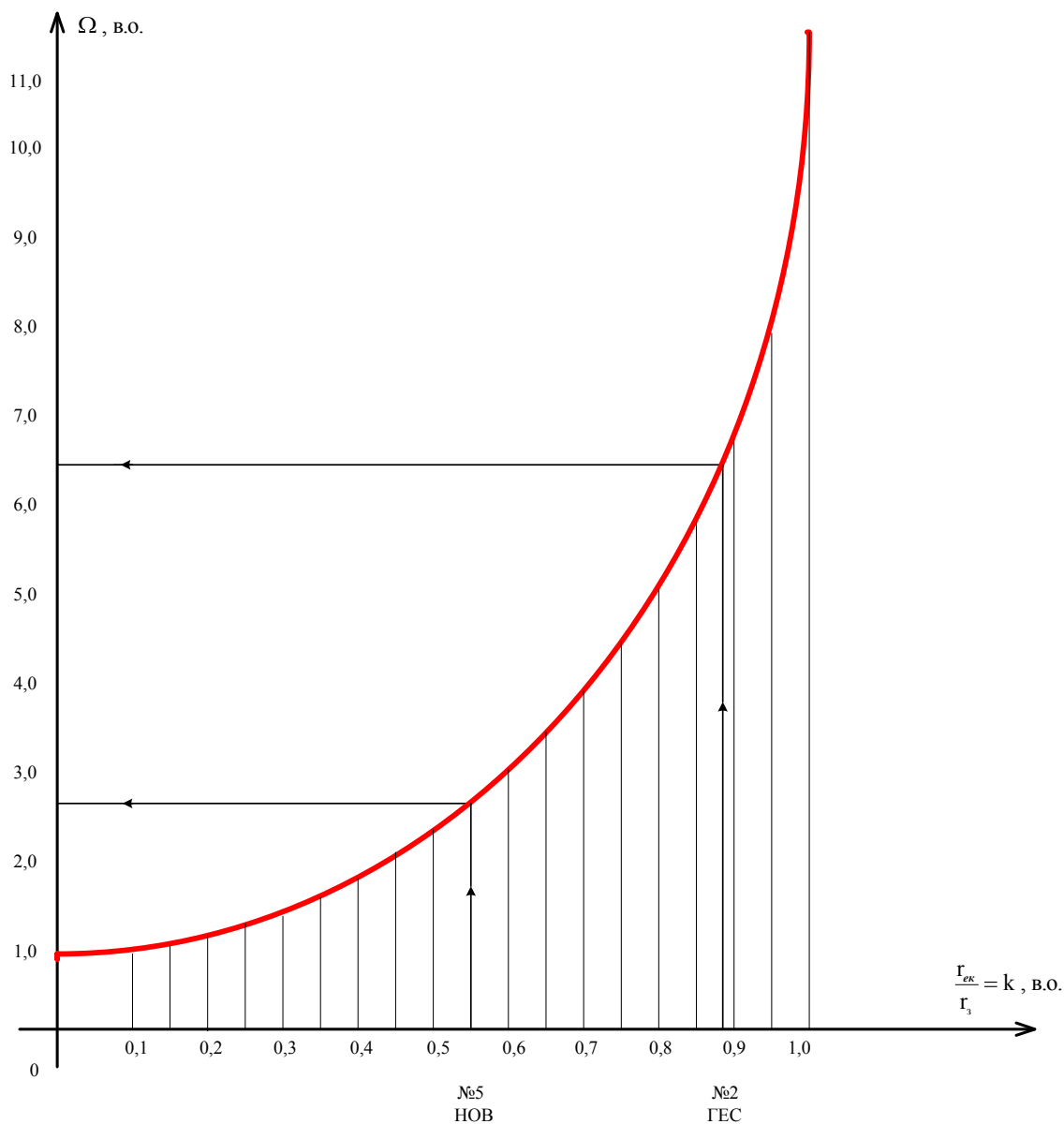
Величини TK_1 [2] для сірого чавуну (сталі) $TK_{11} = 12 \cdot 10^{-6} \text{ 1/град}$, цементної зв'язки $TK_{12} = 12 \cdot 10^{-6} \text{ 1/град}$ дозволяють дійти висновку, що чавун і цементна зв'язка є однорідним матеріалом за цим параметром. Для умов нашої задачі це дозволяє перейти до двоциліндрової моделі опорного ізолятора, у якого внутрішній циліндр має радіус $r_{\text{екв}} = r_1 + r_2$, а зовнішній відповідно r_3 .

Для такої моделі визначені експериментально величини $k = r_{\text{екв}} / r_3$ і побудована залежність $\Omega = f(k)$, яка представлена графічно на рис. 2 і в таблиці 1.

Таблиця 1

Дані для побудови залежності $\Omega = f(k)$

k	0,95	0,9	0,85	0,8	0,75	0,7	0,65	0,6	0,55
Ω	19,5	9,5	6,2	4,55	3,57	2,9	2,46	2,12	1,86

Рис. 2 Залежність $\Omega = f(k)$

Внутрішній тиск в ізоляторі виникає внаслідок «теплого удару», який відповідає умовам проходження по струмопроводу струму короткого замикання.

Відомо [3], що температура алюмінієвих і мідних шин може зрости в цьому процесі до 200°C і 300°C відповідно.

В експериментальних дослідженнях до внутрішньої арматури ізолятора короткочасно прикладався нагрівальний пристрій з температурою поверхні 200°C .

Звичайно, температурне поле в циліндрах осесиметричне і постійне аксіально. За цих умов можна вважати, що поперечні перерізи залишаються плоскими і деформація $\sigma_z = const$. При нагріванні ізоляторів типу ИОР – 10 – 750 III УХЛ2 з внутрішнім діаметром $2r_1 = 75\text{мм}$ і зовнішнім $2r_2 = 90\text{мм}$ до температури внутрішньої поверхні $T_1 = 200^{\circ}\text{C}$, а зовнішньої $T_2 = 20^{\circ}\text{C}$ температурні напруги в фарфорі можна визначити вважаючи, що по товщині стінки температура змінюється за лінійним законом. В розрахунках приймаємо такі характеристики фарфору:

$$E = 0,5 \cdot 10^6 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2} \text{ – модуль пружності;}$$

$$\alpha = 4,5 \cdot 10^{-6} \text{ – температурний коефіцієнт лінійного розширення;}$$

$$\mu = 0,3 \text{ – коефіцієнт Пуассона.}$$

Перевищення температури внутрішньої поверхні над зовнішньою становить 180°C .

Визначимо тангенціальну і аксіальну напруги біля внутрішньої поверхні фарфорового циліндра за формулою

$$\sigma_{\tau(r=r_1)} = \sigma_{z(r=r_1)} = \frac{E \alpha T}{3(1-\mu)(r_2 - r_1)} \left[3r_1 - \frac{2(r_2^3 - r_1^3)}{r_2^2 - r_1^2} \right] \quad (10)$$

Для ізолятора типу ИОР – 10 – 750 III УХЛ2 $\sigma_{\tau} = \sigma_z = -684 \frac{\text{кз}}{\text{см}^2}$.

Результати експериментів двох типів ізоляторів наведені в таблиці 1.

Всі ізолятори типу ИОР – 10 – 750 III УХЛ2 з Г1 – Т1 і Г2 – Т2 Новодністровської ГАЕС розкололись тепловим ударом з утворенням аксиально радіальної тріщини по всій висоті ізоляторів. Ізолятори другого типу ИОР – 10 – 750 витримали тепловий удар без руйнування.

Таким чином експериментально встановлено, що параметр подібності конструкції ізоляторів Ω еквівалентний коефіцієнту підсилення тангенціальних напруг σ_{τ} на внутрішній поверхні фарфорового циліндра і може бути критерієм для вибору надійного типу ізоляторів для КЕТ.

1. Встановлена аналогія конструкції опорного ребристого ізолятора з товстостінними коаксіальними циліндрами, які з натягом посаджені один в другий.

2. Побудована математична модель ізолятора ИОР, яка дозволила запропонувати критерій для геометричних співвідношень конструкції $\Omega \leq 2$, або $k = \frac{r_1}{r_2} \leq 0,6$ з урахуванням ОДЗ $p \leq \frac{|\sigma|}{2}$.

Накладання на криву $\Omega = f(k)$ величин $k_1 = 0,6$ і $k_2 = 0,8$ показує, що ізолятори другого типу ИОР – 10 – 750 I УХЛ2 не повинні лопати при теплофізичних випробуваннях нових ізоляторів, що і підтверджено експериментально.

Література

1. Писаренко Г.С. Сопротивление материалов. – Киев: ГИТЛ УССР, 1963. – 790с.
2. Собчук В. С. Импульсный метод профилактических испытаний штыревых изоляторов. Автореферат диссертации, Киев, 1983. – 16с.
3. Собчук В. С. Пашенко В.Н. Координация параметров изоляции электрообладнання і пристроїв технічної діагностики Вісник ВПІ, 1995, №3, с. 41 – 43.

Надійшла 21.9.2011 р.

УДК 621.322

І.В. ТРОЦИШИН, О.П. ВОЙТЮК
Хмельницький національний університет

ЦАП І АЦП НОВОГО ПОКОЛІННЯ НА ПРИНЦИПАХ КВАНТОВОЇ ТЕОРІЇ ВИМІРЮВАЛЬНОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ: ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТА ПОРІВНЯННЯ

В статті розглянуто методологію побудови ЦАП і АЦП на принципах Квантової теорії вимірювань (вимірювального перетворення), які відкривають принципові нові можливості одночасного збільшення роздільної здатності вимірювальних шкал та досягнення максимальної швидкодії. Вперше наглядно показано на прикладі ієрархічної структури, що використовуювані у сучасній техніці ЦАП і АЦП двійкового типу, мають найгірші показники кількості поділок на шкалі від кількості зразкових елементів (подільників). Приведено результати досягнення покращення роздільної здатності за однакової кількості однакових резисторів у 10-100 разів, у порівнянні із класичними двійковими.

In the article the methodology of the DAC and ADC on the principles of quantum theory of measurement (measuring conversion), which open new opportunities for fundamental simultaneous increase in the resolution of measurement scales and maximize performance. For the first time vividly illustrated by the hierarchical structures used in modern technology DAC and ADC binary type, have the worst number of divisions on the scale of the number of model elements (dividers). The results of achieving better resolution for the same number of identical resistors of 10-100 times compared to classical binary.

Ключові слова: Квантова теорія вимірювань, ЦАП, АЦП, Атенюатор-подільник Троцишина, методологія покращення характеристик перетворення.

Вступ

Ефективність будь-якого виробництва, особливо в приладобудуванні, значною мірою визначається якістю вимірювальних приладів. Особливо важливим це питання є у військовій та космічній галузях, нанотехнологіях, де вказані параметри визначають кінцевий результат. Якщо ще до середини ХХ ст. превалювали механічні вимірювальні прилади із візуальним відліком результату вимірювання, то в даний час у вимірювальній техніці використовуються переважно електронні прилади. Вимірювальну інформацію такі прилади отримують від первинних перетворювачів датчиків, заснованих на різних фізичних принципах

роботи. Це дозволяє отримувати вимірювальну інформацію у вигляді цифрового коду і автоматично обробляти її на ЕОМ або мікроконтролерах.

Розвиток інформаційно вимірювальних систем дозволяє оперативно обробляти великі масиви інформації без втручання оператора, тобто практично виключається суб'єктивний фактор. Однак розвиток засобів обробки інформації пред'являє жорсткі вимоги як до єдності форми представлення вимірювальної інформації, так і до окремих параметрів. Серед останніх найбільш важливими є точність вимірювань, надійність роботи вимірювальних приладів та їх швидкодія. Параметри точності та швидкодії є визначальними для ефективного розв'язання поставлених перед вимірювальною системою завдань.

Жорстка конкуренція на світовому ринку засобів вимірювання та накладає певні вимоги на конструкції вимірювальних приладів. Вони повинні бути дешевими, а отже, конструктивно простими, мати достатньо великий термін напрацювання на відмову і забезпечувати необхідну точність вимірювань. На перший погляд ці вимоги суперечливі, якщо точність і надійність засобів вимірювання забезпечувати конструктивними методами.

Однак, як при конструюванні приладів, отриманні первинної вимірювальної інформації, так і на рівні її обробки, широке поширення одержали різні методи підвищення точності вимірювань, серед яких слід виділити так звану структурну компенсацію основних похибок вимірювань [1,2].

Під структурною компенсацією похибки автори розуміють розробку і реалізацію методу отримання і перетворення вимірювальної інформації, при якому конструкція приладу (чутливого елемента) або вимірювальної схеми виявляється практично нечутливою до впливу того чи іншого фактора, наприклад, температури, непрямолінійності напрямних, зміни зазору у вузлі чутливого елемента і т.п. Це, в свою чергу, дозволяє знизити вимоги до точності обробки елементів конструкції, виключити регульовальні і юстувальні пристрої, забезпечити більш жорсткі умови експлуатації [1-4].

Важливим етапом розробки конструкції засобів вимірювання є раціональна елементна база. Це однаковою мірою стосується як технологічних параметрів механічної частини приладів (ступінь стандартизації і уніфікації, використання спеціалізованого або стандартного устаткування, складності складального процесу і т.д.), так і елементної бази сучасної електроніки.

Розвиток мікроелектроніки дозволив створити не тільки широку елементну базу з практично необмеженими можливостями, але й забезпечити високі експлуатаційні параметри приладів на їх основі. Якщо транзисторна схемотехніка вимагала від розробника хороших професійних якостей в галузі електроніки з обов'язковим макетуванням окремих вузлів, то для сучасних розробок потрібні знання основ прикладної математики та навички складання схем з жорсткою або програмованою логікою. Питання макетування, при необхідності, можуть бути реалізовані віртуальними засобами з мінімальними фінансовими і часовими витратами (прикладні пакети електронного моделювання).

Сучасний стан та проблеми вимірювального перетворення.

Широке використання засобів обчислювальної техніки для обробки аналогових вимірювальних сигналів пов'язано, перш за все, з розвитком елементної бази і пристроїв, що забезпечують взаємний перехід від аналогової інформації до цифрової (А - Ц) і навпаки (Ц - А). Тому вони використовуються для сполучення пристроїв цифрової обробки сигналів з пристроями, що представляють вимірювальну інформацію у вигляді безперервного (аналогового) електричного сигналу. Крім того, ряд периферійних пристроїв вимагають для свого управління електричний сигнал в аналоговій формі, наприклад, для управління електричними, гідравлічними, пневматичними та іншими машинами.

Цифро-аналогові (ЦАП) і аналого-цифрові (АЦП) перетворювачі застосовуються для введення в ЦОМ та вимірювання аналогових даних, для виведення інформації з ЦОМ в аналоговій формі і передачі її на виконавчі пристрої. Розвиток даного класу перетворювачів пов'язано із відомими перевагами обробки та зберігання цифрової вимірювальної інформації, що дозволяє організувати управління складними інформаційними процесами в реальному масштабі часу. Слід зауважити, що зберігання вимірювальної інформації в аналоговій формі може бути забезпечено якісно лише в обмеженому проміжку часу, зі впливом якого ця інформація або втрачається, або істотно спотворюється. Важливим є також ряд прикладних задач для телеметричних систем, для систем цифрового моделювання аналогових функцій, наприклад, в цифрових вольтметрах, для пристроїв наочного відображення на дисплеї процесів, що відбуваються в обчислювальній машині, і інформації, що знаходиться в її пам'яті [1]. Важливим призначенням перетворювачів є також реалізація кодового управління в синтезаторах напруги і генераторах складних функцій, у пристроях порівняння цифрових величин з аналоговими.

Для реалізації АЦП і ЦАП промисловістю випускається широка номенклатура інтегральних мікросхем. За сукупністю параметрів перетворювачі умовно можна розділити на три основні групи: перетворювачі загального застосування (середньої точності), прецизійні (похибка перетворення менше 0,1%) і швидкодіючі (час встановлення менше за 10нс). Звідси головна особливість інтегральних мікросхем розглянутого виду, незалежно від типу логіки і конструктивного виконання, - дуже висока точність виготовлення інтегральних елементів, що досягає десятих і сотих часток відсотка. При цьому вихідні параметри перетворювачів і їх компонент повинні бути сумісні зі стандартними лінійними і цифровими мікросхемами. Зазначені особливості розглянутого класу інтегральних мікросхем накладають специфічні вимоги до технології їх виготовлення. Так, якщо стандартні перетворювачі загального застосування (8-

10разрядів) виготовляються на основі біполярних і уніполярних структур за традиційною технологією, то надшвидкісні і прецизійні - за спеціальною технологією, що забезпечує комплексний схемотехнічний і конструктивний підхід [1].

Більшість АЦП і ЦАП є двійковими. Їх розрядність вибирається таким чином, щоб похибка перетворення не перевищувала одиниці молодшого значущого розряду. Тому роздільну здатність перетворювачів прийнято оцінювати величиною $1/2^n$, тобто зворотного кількості кодових комбінацій (градацій). У деяких випадках зручніше представляти роздільну здатність у відсотках або в абсолютних одиницях. Наприклад, десятирозрядний перетворювач з діапазоном шкали 10В має роздільну здатність $1/1024 \sim 1/1000 = 0,1\%$, що відповідає абсолютним значенням похибки в межах 10 мВ. Просте збільшення розрядності перетворювача не завжди може привести до збільшення роздільної здатності. Якщо збільшити розрядність, наприклад, з 10 до 12 [1], то роздільна здатність в абсолютних одиницях виявиться рівною 2,5 мВ, що порівняно з рівнем власних шумів елементів, наведень та різного виду завод і перешкод. Якщо не вжити спеціальних заходів щодо зниження рівня шумів, то подальше підвищення розрядності перетворювача не призведе до підвищення точності перетворення.

Таким чином, підводячи попередні підсумки можливо, сказати що питання покращення характеристик ЦАП і АЦП, особливо за суперечливим параметром точність (роздільна здатність) і швидкодія є визначальними, при цьому необхідно не забувати, що нижній рівень роздільної здатності (чутливості) визначають шуми, як власні так і зовнішні, тому саме на вирішення цих питань буде направлена основна увага [1].

Постановка задачі.

Метою є наглядно і детально показати практичні можливості досягнення збільшення кількості поділок Квантової шкали вимірювальних перетворень (КШВП), які при тій же кількості зразкових елементів дозволяють у 10-100 разів збільшити роздільну здатність, у порівнянні із використанням сучасних класичних двійкових шкал та класичних методів вимірювання.

Викладення основного матеріалу.

В наш час тотального інформаційного суспільства, коли всі потоки інформації утворюють цифрові сигнали, які базуються на принципах двійкової арифметики, і всі вхідні АЦП та вихідні ЦАП будь якої інформаційної системи є саме пристроями двійкового аналогово-цифрового (АЦП), або цифро-аналогового (ЦАП) перетворень, ніхто не замислюється, а чи дійсно ми використовуємо всі можливості таких перетворень? Яскравим підтвердженням, що не всі можливі (квантові) значення вимірювальних шкал використовуються, є використання шкали відношень (методу коінциденції), який показує, що класична шкала є лише частковим випадком шкали коінциденції [1,2].

В той же час, Квантова теорія вимірювань (КТВ) [2] не обмежуються досягнутим, і вказує, що можливими є всі точки які є квантовими значення відповідної вимірювальної шкали перетворення. В даній статті у популярній та наглядній формі будуть наведені результати, які не мають аналогів у світі, і вказують, що дійсно, КТВ та застосування її принципів та методології дозволяє відкрити принципово нові можливості для утворення вимірювальних шкал перетворення (КШВП) ЦАП і АЦП із багатократним збільшенням роздільної здатності.

Для початку поставимо декілька конкретних завдань, які на перший погляд виглядають фантастично, а в кінці дослідження зробимо висновок, чи дійсно їх вдалося досягнути.

Для прикладу візьмемо класичних ланцюжок із 8-ми однакових резисторів, і ввімкнувши його за схемою подільника Кельвіна, покажемо, що така кількість резисторів, дозволить отримати шкалу вимірювального перетворення не з 8 поділками (класична), а із 22 (коінциденції). Більше того використання принципу коінциденції до Атенуатора-подільника Троцишина 8 (АПТ_8), дозволить отримати в тому ж діапазоні перетворення уже 166 поділок (супер_8), а використання сумарно-різницевої обробки двох АПТ_8, відповідно дає аж 169 квантованих значень вимірювальної шкали перетворення (дельта-сігма_8).

Ну і на завершення, використання одночасно (комбі_8), яка є раціональним об'єднанням множин значень останніх двох шкал, дасть для використання квантовану вимірювальну шкалу у 247 точок перетворення, в тому ж самому діапазоні, при розрядності подільника всього у 8 резисторів. Як вже говорив, сучасна техніка ЦАП і АЦП для вказаної кількості резисторів (однакового номіналу) забезпечує всього 8 точок квантування [5].

Нове покоління ЦАП і АЦП на основі використання аттенуатора-подільника Троцишина (АПТ) і його модифікацій.

Всі сучасні ЦАП і АЦП реалізуються на принципах двійкового підходу і мають принципові обмеження, які не дозволяють ОДНОЧАСНО ЗБІЛЬШУВАТИ І ТОЧНІСТЬ (роздільну здатність) і швидкодію перетворень.

Крім цього «фундаментального обмеження» існують і інші:

1. Використання ДК (дільника Кельвіна) у ЦАП і АЦП паралельної дії обмежено збільшенням кількості резисторів, що різко зростає і принципово рівне кількості рівнів квантування???

2. Використання матриць R-2R при роботі більш ніж 16 розрядів принципово обмежені

технологічним розкидом параметрів та рівнем шумів (при діленні сигналу на 2^{15});

3. Неможливо одночасно підвищувати і точність і швидкість перетворення шляхом збільшення кількості резисторів дільника, збільшуються шуми;

4. Неможливо проводити адаптацію ЦАП і АЦП шляхом формування характеристики перетворення до процесу перетворення.

А чи справді все так має бути?

Викладення матеріалу розпочнемо із визначення позначень та запису математичних моделей у формалізованому вигляді (таблиця.1).

Таблиця 1

Класичний двійковий ЦАП (АЦП) $N_classik$	$n_{classik} = \frac{A_i}{2^N}$, де $A_i \in (1 \div 2^N - 1)$, де N – разрядність двійкового коду
Шкала коінциденції $N_coinciden$	$n_{coinciden} = \frac{A_i}{B_j}$, де $A_i, B_j \in (1 \div 2^N)$, де N – кількість значень подільника
Шкала подвійної коінциденції N_super	$n_{super} = \frac{A_i}{B_j} / \frac{C_k}{D_l}$, де $A_i, B_j, C_k, D_l \in (1 \div 2^N)$, N – кількість значень подільника
Шкала сумарно-різницева N_D_S	$n_{D_S} = \frac{A_i}{B_j} \pm \frac{C_k}{D_l}$, де $A_i, B_j, C_k, D_l \in (1 \div 2^N)$, N – кількість значень подільника
Шкала комбінованого перетворення N_comby	$n_{comby} = \frac{A_i}{B_j} \pm \frac{C_k}{D_l} \cup \frac{A_i}{B_j} / \frac{C_k}{D_l}$ де $A_i, B_j, C_k, D_l \in (1 \div 2^N)$, N – кількість значень подільника

Для підтвердження першого висловлювання про збільшення квантових точок для АПТ_8 із 8 до 22 наведемо порівняльні графіки, для відповідних випадків рис.1.

Принцип утворення нових квантова них позначок на вимірювальній шкалі пояснюють рис.3 та таблиця.2, де розглянуто варіант методу коінциденції на двох подільника на 8 для А (горизонтальна лінійка) і В (вертикальна лінійка). В таблиці приведено квантові значення точок КШВП для конкретних значень А і В, виділено кольором саме ті значення і коди, які використовуються зараз у світі.

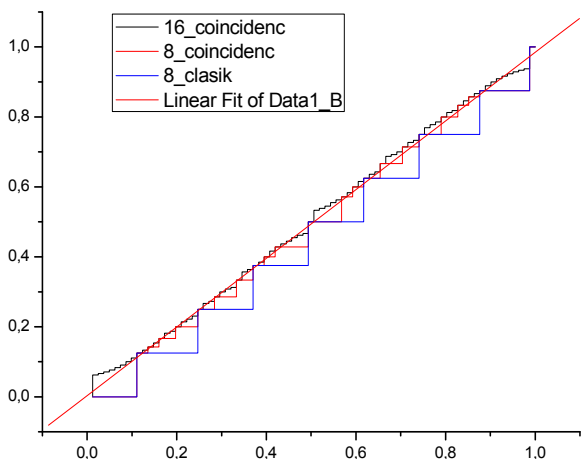


Рис.1 – Порівняння у відносних нормованих одиницях квантованих вимірювальних шкал: 16-коінциденція (В), 8-коінциденція (С), 1/8-двійкова (D) (класична)

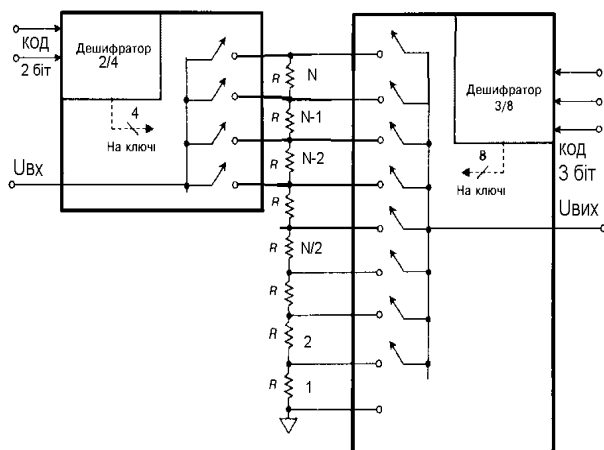


Рис.2. Схема Атенюатора-подільника Троцишина для 8R

Зона повторів є елементом надлишковості перетворення і може не використовуватися, якщо не стоїть питання самокалібрування та коригування параметрів та характеристик перетворення.

Номери у комірках таблиці коінциденції (А/В) показують порядковий номер на шкалі, звідки видно, що класична шкала (верхній рядок) є лише частковим випадком більш загального випадку шкали коінциденції, яка має 22 точки квантованого перетворення (таблиця.2), в тому числі і включає точки класичної шкали (зелений колір). Таким чином, 22 точки перетворення отримано, і характеристика перетворення має очевидні переваги за кроком квантування та роздільною здатністю.

	8	7	6	5	4	3	2	1	
8	22 1,000	21 0,875	17 0,750	14 0,625	11 0,500	8 0,375	5 0,250	1 0,125	
7	1,143	1,000	20 0,857	16 0,714	12 0,571	10 0,429	6 0,286	2 0,143	
6	1,333	1,167	1,000	19 0,833	15 0,667	0,500	7 0,333	3 0,167	
5	1,600	1,400	1,200	1,000	18 0,800	13 0,600	9 0,400	4 0,200	
4	2,000	1,750	1,500	1,250	1,000	0,750	0,500	0,250	П О В Т О Р И
3	2,667	2,333	2,000	1,667	1,333	1,000	0,667	0,333	
2	4,000	3,500	3,000	2,500	2,000	1,500	1,000	0,500	
1	8,000	7,000	6,000	5,000	4,000	3,000	2,000	1,000	
	ПОВТОРИ								

Рис.3. Принцип утворення шкали коінциденції

Таблиця.2

Точки КШВП			
п- порядк.	Шкала- 8_соен- сіденс	i	j
1	0.0000		
2	0.1250	A= 1	B= 8
3	0.1428	A= 1	B= 7
4	0.1666	A= 1	B= 6
5	0.2000	A= 1	B= 5
6	0.2500	A= 1	B= 4
7	0.2857	A= 2	B= 7
8	0.3333	A= 1	B= 3
9	0.3750	A= 3	B= 8
10	0.4000	A= 2	B= 5
11	0.4285	A= 3	B= 7
12	0.5000	A= 1	B= 2
13	0.5714	A= 4	B= 7
14	0.6000	A= 3	B= 5
15	0.6250	A= 5	B= 8
16	0.6666	A= 2	B= 3
17	0.7142	A= 5	B= 7
18	0.7500	A= 3	B= 4
19	0.8000	A= 4	B= 5
20	0.8333	A= 5	B= 6
21	0.8571	A= 6	B= 7
22	0.8750	A= 7	B= 8
23	1.0000	A= 1	B= 1

Порівняльна залежність кількості збільшення квантових точок перетворення АПТ і подільника Кельвіна в залежності від кількості резисторів приведено в таблиці 3.

Таблиця 3

Кількість резисторів NR (N АП Кельвіна)	2	4	8	16	32	64	128	256	1024
Кількість квантових точок шкали АДТ	2	6	22	80	324	1260	5022	19948	318964
Приріст квантових значень	0	2	14	64	292	1196	4894	19692	317940
Виграш у роздільній здатності	1	1,5	2,75	5	10,125	19,69	39,08	77,92	311,5

Тепер, коли питання отримання не 8-ми, а 22-ох точок квантової шкали вимірювального перетворення (КШВП) всього на 8-ми послідовно ввімкнених резисторах досягнуто, але не за класичною схемою (подільника Кельвіна) а АПТ_8, настав час перейти до вирішення задачі отримання 166 точок!

Оскільки, метод коінциденції для використання двох Кельвін_8, дав нам АПТ_8, то використаємо його ще раз, замінивши класичні подільники на два АПТ_8, які будуть давати $n_{super} = \frac{A_i}{B_j} / \frac{C_k}{D_l}$.

На рис. 4. та рис.5 відповідно приведено характеристику перетворення КШВП super_8, та її відхилення від лінійного закону.

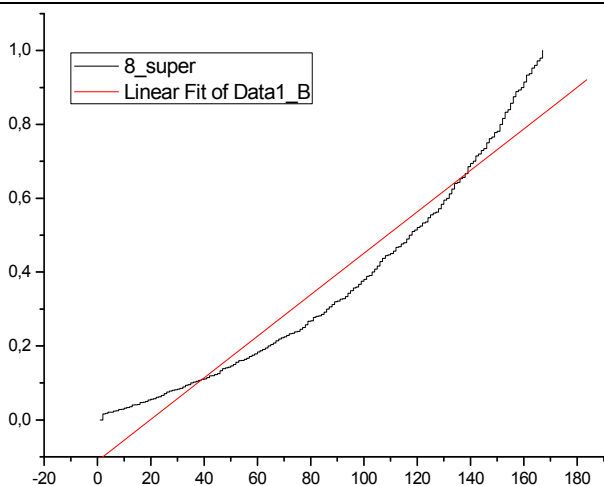


Рис. 4. Квантова шкала вимірювального перетворення super_8

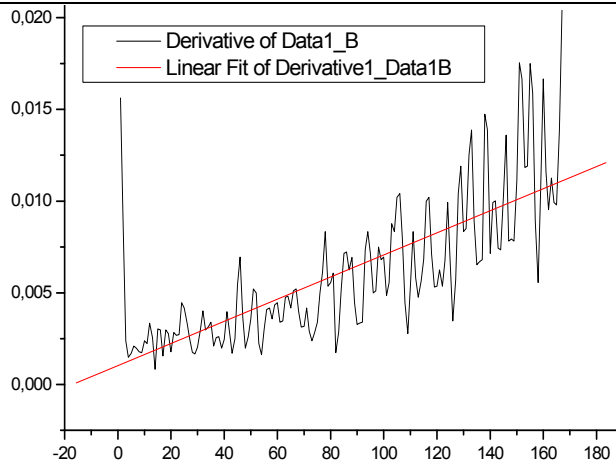


Рис. 5. Деталізація значень відхилення від от лінійного закону КШВП super_8 в діапазоні 0.000-1.000

Необхідно відзначити, що КШВП super_8 у вказаному діапазоні перетворення 0.000-1.000 має вже 166 квантованих точок, при використанні двох АПТ_8, які реалізують відповідно А/В і D/С. Повна КШВП super_8, в діапазоні 0.000-64.000, має 331 поділку!, і вигляд рис.6, а її відхилення - рис.7.

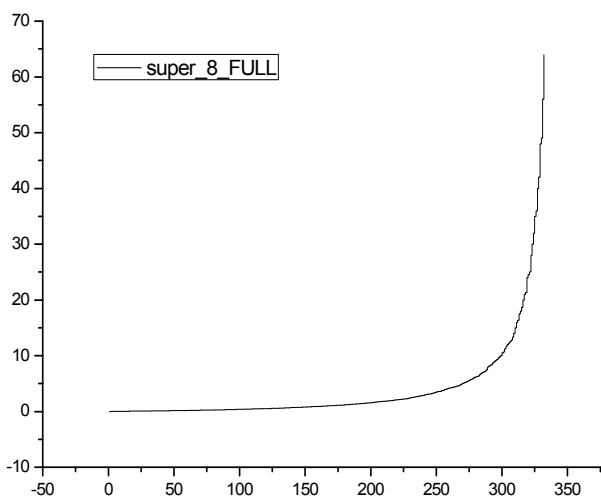


Рис.6. Повна КШВП super_8, в діапазоні 0.000-64.000

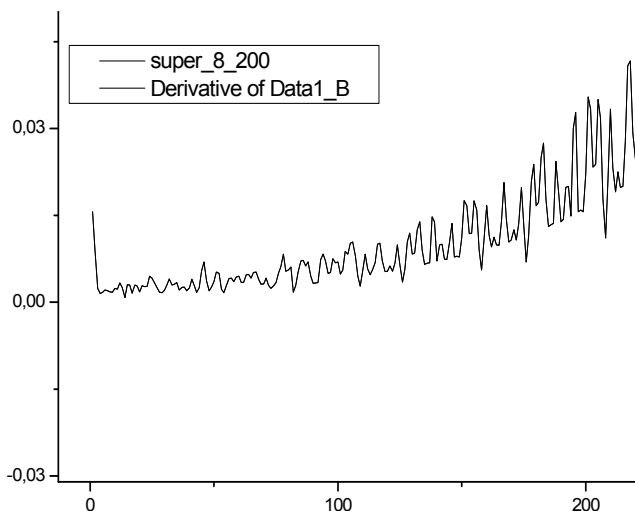


Рис.7. Відхилення повної КШВП super_8, в діапазоні 0.000-64.000

Повна КШВП super_8, в діапазоні 0.000-64.000 є цікавою тим, що має чітко виражений логарифмічний закон зміни, тому для перетворення у {Децибелах} вона буде лінійною, і в діапазоні до 200 точок, відхилення менше ніж 0,03, і це все при діленні сигналів, максимум на 8, які відповідають відхиленню у 0,125. Таким чином, ми досягли вказаних 166 точок КШВП super_8, в діапазоні 0.000-1.000,

але питання лінійності викликають деякі запитання, відповіді на які дає $n_{D-S} = \frac{A_i}{B_j} \pm \frac{C_k}{D_l}$ - сумарно

різницеve перетворення на двох АПТ_8, при цьому вигляд КШВП D_S_8 показано на рис.8, а відхилення від лінійного закону на рис.9.

Очевидним тут є практично лінійна характеристика КШВП D_S_8, в діапазоні 0.000-1.000, яка має 169 точок!, а рівень відхилення лежить в межах характерних для 7 бітного класичного перетворювача (1/128 ~0,0078). Тому, хочимо нагадати, що вказані результати отримано лише при використанні двох АПТ_8, виходи яких підключено до схем додавання та віднімання. На рис.10 приведена схема модуля перетворювача D_S_8.

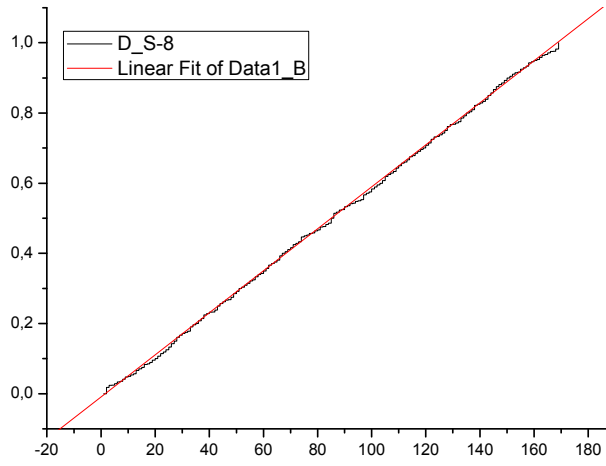


Рис.8. Характеристика КШВП D_S_8, в діапазоні 0.000-1.000

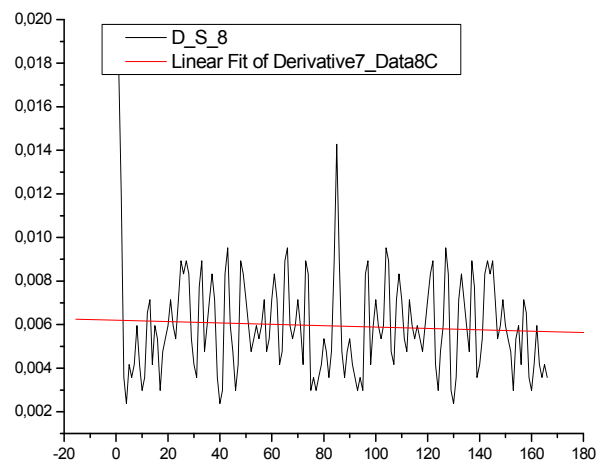


Рис.9. Відхилення КШВП D_S_8, в діапазоні 0.000-1.000

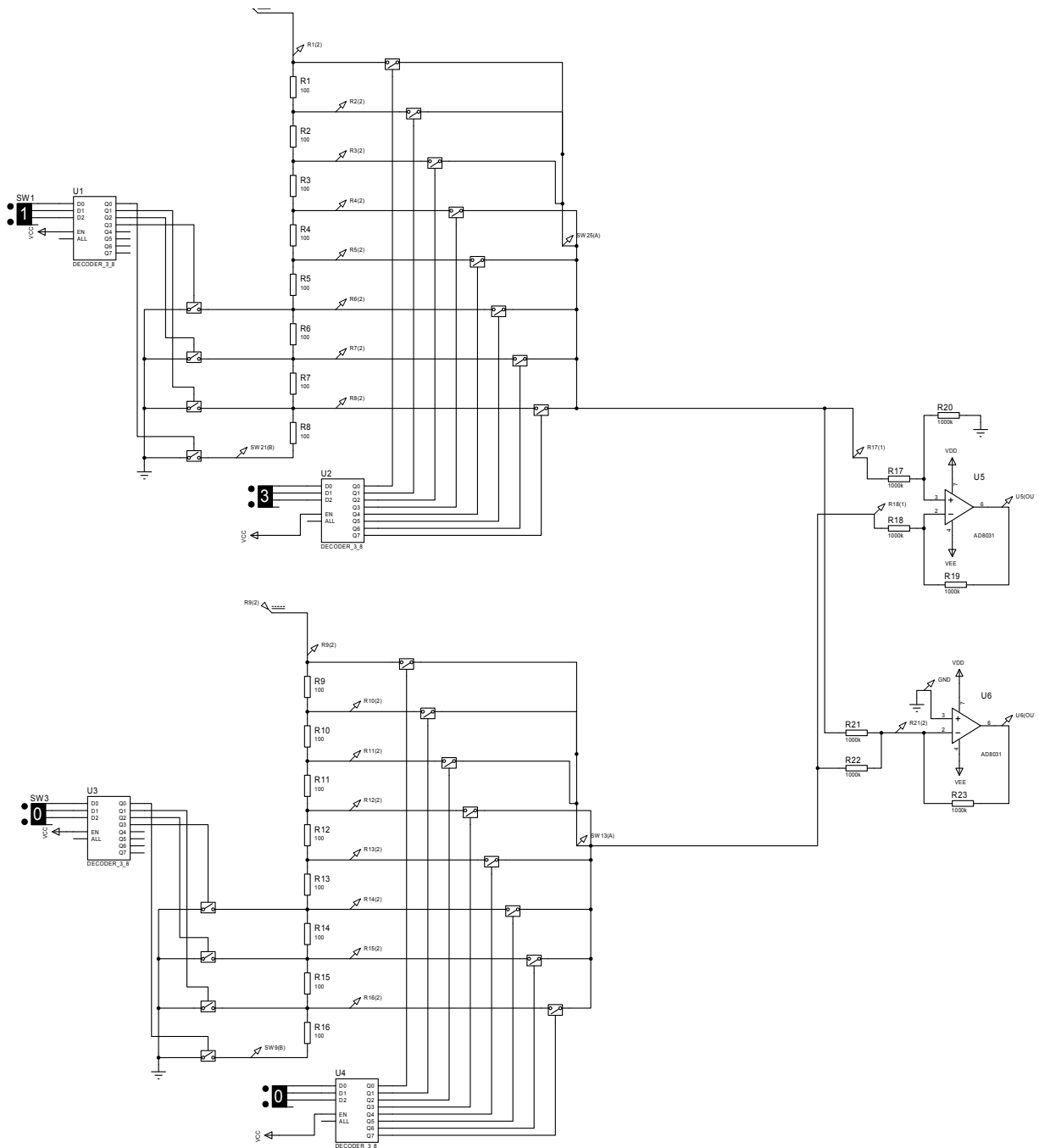


Рис.10. Практична схема модуля перетворювача D_S_8

В таблиці 4 приведено дані КШВП для схеми рис.10, причому шкала ЦАП В - має не монотонність

(помилка комутації) яку було виправлено - шкала ЦАП С. Одночасно було збалансовано операційні підсилювачі сумарно-різницевої обробки, які давали похибки диференційної нелінійності, рис. 11,12.

Таблиця 4

Шкала ЦАП С	Шкала ЦАП В	D_S_8 Розрах. С	A	B	C	D
0,00007	0	0	A= 1	B= 1	C= 1	D= 1
0,02113	0,0191	0,01786	A= 1	B= 7	C= 1	D= 8
0,0378	0,0367	0,03571	A= 1	B= 4	C= 2	D= 7
0,054	0,0543	0,05357	A= 3	B= 7	C= 3	D= 8
0,0716	0,0679	0,07143	A= 1	B= 2	C= 3	D= 7
0,090	0,0854	0,08929	A= 2	B= 7	C= 3	D= 8
0,109	0,1035	0,10714	A= 1	B= 4	C= 1	D= 7
0,125	0,1298	0,125	A= 1	B= 1	C= 7	D= 8
0,1428	0,145	0,14286	A= 1	B= 1	C= 6	D= 7
0,1626	0,159	0,16071	A= 1	B= 8	C= 2	D= 7
0,1792	0,1768	0,17857	A= 1	B= 4	C= 3	D= 7
0,1963	0,1911	0,19643	A= 3	B= 7	C= 5	D= 8
0,2143	0,207	0,21429	A= 1	B= 2	C= 2	D= 7
0,2338	0,225	0,23214	A= 1	B= 7	C= 3	D= 8
0,2499	0,255	0,25	A= 1	B= 1	C= 3	D= 4
0,269	0,235	0,26786	A= 1	B= 7	C= 1	D= 8
0,2856	0,280	0,28571	A= 1	B= 1	C= 5	D= 7
0,304	0,308	0,30357	A= 1	B= 8	C= 3	D= 7
0,3213	0,326	0,32143	A= 1	B= 4	C= 4	D= 7
0,3390	0,334	0,33929	A= 2	B= 7	C= 5	D= 8
0,3571	0,351	0,35714	A= 1	B= 2	C= 1	D= 7
0,3748	0,379	0,375	A= 1	B= 1	C= 5	D= 8
0,3941	0,360	0,39286	A= 1	B= 4	C= 1	D= 7
0,4119	0,378	0,41071	A= 1	B= 8	C= 2	D= 7
0,4283	0,423	0,42857	A= 1	B= 1	C= 4	D= 7
0,4461	0,4507	0,44643	A= 1	B= 8	C= 4	D= 7
0,4639	0,468	0,46429	A= 1	B= 4	C= 5	D= 7
0,4817	0,4767	0,48214	A= 1	B= 7	C= 5	D= 8
0,4997	0,504	0,5	A= 1	B= 1	C= 1	D= 2

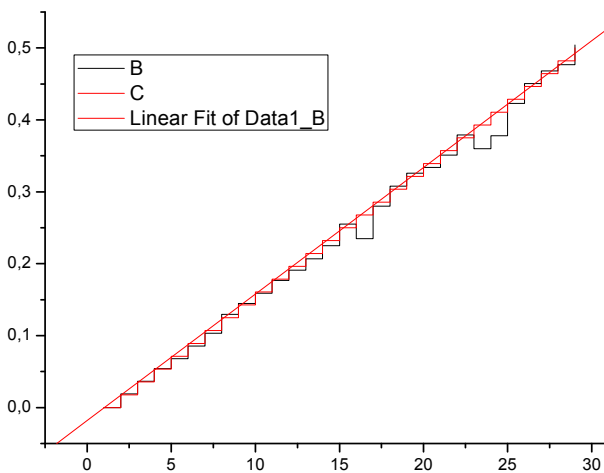


Рис. 11. Ділянки шкали ЦАП 8 ;характеристики відхилення характеристики лінійності (при збії номерів точок)

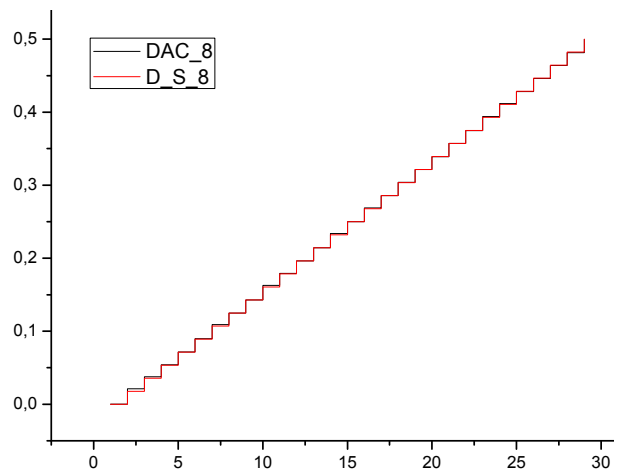


Рис.12. Порівняння ділянок шкали ЦАП 8 із розрахунковим відхиленням лінійності (при послідовних номерах точок)

Очевидним є факт, що помилковий код дає порушення диференційної нелінійності і утворює розрив характеристики, (рис.11), в той же час додаткове балансування операційних підсилювачів дозволило практично наблизити реальну характеристику (DAC_8) до розрахункової (D_S_8), із мінімальними значеннями диференційної не лінійності в межах 10-15% величини кванта (рис.12). До речі, при вказаному алгоритмі комутації шкала має ідеальний вигляд «сходинок», довжина і кількість значень яких визначається вибраними значеннями B=7, D= 8, або D=7, B = 8 (табл.4), і може складати 113 точок.

Питання отримання 247 точок перетворення $n_{comby} = \frac{A_i}{B_j} \pm \frac{C_k}{D_l} \cup \frac{A_i}{B_j} / \frac{C_k}{D_l}$ визначається об'єднанням результатів обох КШВП D_S_8 і super_8, які дають збільшення загальної кількості точок на КШВП komby_8, що відображено у таблиці 5.

Таблиця 5

NR	n-шкали N_D_S	n-шкали N_Super	n-шкали N_D_S + N_Super	n-шкали N_comby	n-шкали N_comby /n-шкали N_D_S (прирiст. значень)
2	3	3	6	4	1,333
4	13	17	30	22	1,69
6	45	56	101	76	1,68
7	117	128	245	176	1,50
8	169	166	335	247	1,46
10	325	276	601	460	1,415
12	725	568	1293	965	1,33
14	1445	1097	2542	1868	1,292
15	1749	1275	3024	2270	1,297
16	2141	1461	3602	2728	1,274
20	6029	3946	9975	7302	1,211
24	11525	7190	18715	13847	1,201
32	39413	21678	61091	44919	1,139
64	568295	270594	838889	630857	1,11

Очевидним є те, що використання 8-16R у вигляді двох АПТ_nR, дозволить перекрити розрядність ЦАП АЦП (паралельного типу) від 8 до 12 двійкових розрядів. Використання АПТ_64R, забезпечить динамічний діапазон КШВП у 18-20 двійкових розрядів, що краще за всі відомі методи, за такої ж кількості резисторів.

На завершення приведемо, запропоновану нами, узагальнену схему ієрархії методів утворення КШВП (рис.13) та їх множини значень, які взаємо пересікаються (рис.14).



Рис.13. Узагальнена ієрархія методів утворення КШВП

Підведемо коротко підсумки розгляду.

Нове покоління ЦАП і АЦП істотно перевищує всі відомі і ІСНУЮЧІ методи та апаратуру перетворення. Використання Базових АПТ дозволяє створювати програмувальні за структурою та перетворення ЦАП (АЦП) з адаптуються і програмованими параметрами на одному кристалі. В основі пропонованого напрямку лежать принципи і методологія Квантової теорії вимірювань (КТВ), суть якої в тому, що вимірювальне перетворення МОЖЕ І МАЄ ВИКОРИСТОВУВАТИ ВСІ КВАНТОВІ СТАНИ РІВНЯННЯ вимірювального перетворення, а не тільки «зручні (наявні) класичні методи» [2-4].

Пропонуються такі види ЦАП і АЦП побудовані з використанням принципів і методів коінцидентції і сумарно-різницевого опрацювання:

1. Коінцидентції (N_coincidenc);
2. Подвійної коінцидентції (N_super);
3. Сумарно-різницева (дельта-сигма) (N_D_S);
4. Комбінована 2 і 3 (N_comby).

Як породжувач функціонального вузла застосовується атенуатор-подільник Троцишина (замість подільника Кельвіна) [5].

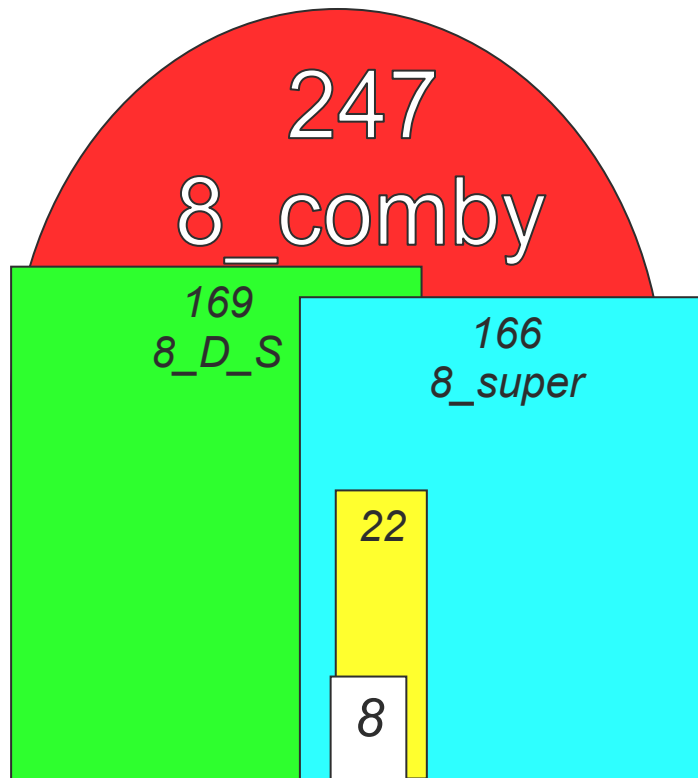


Рис.14. Числові співвідношення кількості точок кожної із КШВП (рис.13) та їх множини значень, які взаємно пересікаються

Як, видно, із рис.13-14, дійсно, поставлені на початку статті завдання отримати 22, 166, 169, і навіть 247 точок КШВП досягнуто шляхом використання всього лише ланцюжка (або двох ланцюжків) із 8 однакових резисторів, які включено по схемі атенуатора-подільника Троцишина [5], коли використання класичних двійкових підходів (подільник Кельвіна) дасть всі ті ж 8 квантованих поділок (класична шкала).

Висновки.

1. Нове покоління ЦАП і АЦП істотно перевищує всі відомі і ІСНУЮЧІ методи та апаратуру перетворення за потужністю КШВП за кількістю точок досягла 247 замість 8.
2. Використання Базових АПТ дозволяє створювати програмовані за структурою та перетворення ЦАП (АЦП) з адаптованими і програмованими параметрами на одному кристалі.
3. Конкретизація пропозицій до впровадження становить:
 - Розробка і виготовлення ЦАП нового покоління на основі АПТ;
 - Розробка і виготовлення АЦП паралельного типу з підвищеною роздільною здатністю і швидкодією і мінімізацією шумів;
 - Розробка АЦП з високою роздільною здатністю послідовного наближення з розрядністю 19-20, всього на 64 резисторних АПТ;
4. Розробка і освоєння масового випуску універсального програмованого ЦАП (АЦП) кристалу для широкого класу задач цифрової обробки з програмованими структурою, типом перетворення, видом характеристики, і програмованими параметрами перетворення.

1. Кестер У. Аналого-цифровое преобразование / У. Кестер. – М: Техносфера, 2007. – 1019 с.
2. Троцишин І.В. Шляхи підвищення роздільної здатності шкали вимірювального перетворення ЦАП і АЦП / І.В.Троцишин, О.П.Войтюк, Н.І.Троцишина // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах...- 2010.- №2.- С236-242.
3. Троцишин І.В. Реалізація принципів квантової теорії вимірювань амплітудних параметрів сигналів на прикладі Атенуатора-подільника Троцишина / І.В.Троцишин // Вісник ХНУ.- 2011.- №2.- Технічні науки.- С.213-223.
4. Троцишин І.В. Квантова теорія вимірювального перетворення – принципово нові можливості в методології побудови ЦАП і АЦП / І.В.Троцишин, О.П.Войтюк // Вісник ХНУ.- 2011.- №4.- Технічні науки.- С.264-271.
5. Заявка на патент України, №а 2011 026672, пріоритет: 09.03.2011. Атенуатор-подільник Троцишина.

Надійшла 24.9.2011 р.

УДК 621.396.367

О.Н. ШИНКАРУК

Хмельницький національний університет

Е.С. ЛЕНКОВ, К. М. СЕМИБАЛАМУТ

Военный институт Киевского национального университета имени Тараса Шевченко

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОБНАРУЖИТЕЛЯ НА ОСНОВЕ АЛГОРИТМА КЕЙПОНА ПРИ МНОГОКАНАЛЬНОМ ПРИЁМЕ СИГНАЛОВ БОЛЬШОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ

Получено соотношение, позволяющее определить вероятность обнаружения сигнала со случайной начальной фазой в обнаружителе на основе одного из известных алгоритмов высокого разрешения. Оцениваются потери в отношении сигнал/помеха.

A relation that indicates the probability of detecting a signal from a random initial phase detector based on a well-known algorithms for high resolution. Estimated losses in the signal / noise ratio.

Ключевые слова: алгоритм Кейпона, сигнал/помеха, корреляция.

Постановка задачи

Определить показатели качества обнаружения сигнала со случайной начальной фазой в активных РЛС и шумоподобного сигнала в устройствах пеленгации с цифровой линейной антенной решёткой (ЦЛАР) при условии, что для объединения выходных сигналов приёмных каналов ЦЛАР используется алгоритм Кейпона.

Объект, методы и основные результаты исследований

Объектом исследования является РЛС и пеленгационные каналы обнаружения с сигналом, длительность которого соизмерима с временем оценки корреляционной матрицы выходных сигналов приёмных каналов ЦЛАР. Для решения поставленной задачи использовался аппарат теории вероятностей, математической статистики и статистического моделирования.

Если частотные характеристики приёмных каналов ЦЛАР согласованы с частотным спектром сигнала от цели, то алгоритм оптимального обнаружения сигнала при многоканальном приёме может быть представлен в виде [1]:

$$z_o = \left| \mathbf{K}_o^H \mathbf{Y} \right| \geq h_o, \quad (1)$$

где z_o – модульное значение выходного сигнала ЦЛАР, представляющего собой результат взвешенного объединения выходных сигналов приёмных каналов ЦЛАР; h_o – порог обнаружения, определяемый заданным значением вероятности ложной тревоги; \mathbf{K}_o – N -мерный вектор-столбец весовых коэффициентов (N – число приёмных каналов ЦЛАР); \mathbf{Y} – вектор-столбец выходных сигналов приёмных каналов ЦЛАР; H – знак эрмитового сопряжения.

Знак модуля в (1) означает, что при обнаружении сигнала со случайной начальной фазой с порогом сравнивается значение огибающей выходного сигнала ЦЛАР.

Вектор весовых коэффициентов, обеспечивающий максимизацию отношения сигнал/помеха на выходе ЦЛАР, определяется соотношением [2]:

$$\mathbf{K}_o = \mathbf{R}_n^{-1} \mathbf{v}_c, \quad (2)$$

где \mathbf{R}_n – корреляционная матрица помеховых сигналов на выходах приёмных каналов ЦЛАР; \mathbf{v}_c – вектор, описывающий амплитудно-фазовое распределение поля в антенне (АФР) в ожидаемом направлении прихода сигнала (полезного сигнала);

При выполнении условия (2), устройство, обеспечивающее вычисление функции под знаком модуля, в (1), принято называть оптимальным пространственным фильтром [3].

Трудность практической реализации алгоритма (1) заключается, прежде всего, в том, что на выходах приёмных каналов ЦЛАР имеет место неразделимая смесь полезного сигнала и сигнала помехи, поэтому вычислить \mathbf{R}_f не представляется возможным. Использование же для вычисления \mathbf{K}_o корреляционной матрицы выходных сигналов приёмных каналов ЦЛАР \mathbf{R}_o , включающей в себя как помеховые, так и полезные сигналы, может привести к существенному снижению качества обнаружения при многоканальном адаптивном приёме сигналов [2]. В связи с этим возникла необходимость постановки сформулированной выше задачи.

Алгоритм Кейпона, упоминаемый в литературе часто, как один из алгоритмов высокого разрешения [3], при обнаружении сигнала, направление прихода которого совпадает с угловым положением максимума антенного луча РЛС, предусматривает вычисление функции вида:

$$z = \frac{1}{\mathbf{v}_{\tilde{n}}^H (\mathbf{R}_o^*)^{-1} \mathbf{v}_{\tilde{n}}}, \quad (3)$$

где $\mathbf{R}_i^* = n_o^{-1} \sum_{i=1}^{n_o} \mathbf{Y}_i \mathbf{Y}_i^H$ – оценочная КМ размера $N \times N$ сигналов на выходах приёмных каналов

ЦЛАР; \mathbf{Y}_i – i -я дискретная выборка N -мерного вектора-столбца выходных сигналов приёмных каналов ЦЛАР, взятая по теореме Котельникова, $i \in \overline{1, n_o}$; $n_o > N$ – число дискретных выборок выходных сигналов приёмных каналов, используемых для оценки КМ сигналов на выходах приёмных каналов ЦЛАР. μ -й элемент вектора $\mathbf{v}_{\tilde{n}}$ для ЦЛАР с расстоянием между приёмными элементами, равным половине длины рабочей волны РЛС, определяется как $v_c^{(\mu)} = \exp(\mu-1) \pi \sin \theta_\mu$, $\mu \in \overline{1, N}$, $\theta_\mu \in [\theta_{\min}, \theta_{\max}]$; θ_{\min} , θ_{\max} – границы зоны обзора по азимуту или углу места, θ_μ – угловая координата цели (источника полезного сигнала). С учётом (3) алгоритм обнаружения в обнаружителе на основе алгоритма Кейпона представляется следующим образом:

$$z = \frac{1}{\mathbf{v}_c^H (\mathbf{R}_o^*)^{-1} \mathbf{v}_c} \geq h_K \quad (4)$$

Функцию, определяемую выражением (3), в дальнейшем, для сокращения объёма записей будем называть функцией Кейпона.

Для обнаружителя на основе алгоритма Кейпона можно ввести понятие отношение сигнал/помеха q_K , определив его следующим образом:

$$q_K = \frac{z_{(c \neq 0)}}{z_{(c=0)}}, \quad (5)$$

где обозначено: $z_{(c \neq 0)}$ – значение функции Кейпона при наличии сигнала цели на выходах приёмных каналов ЦЛАР; $z_{(c=0)}$ – значение функции Кейпона при отсутствии сигнала цели на выходах приёмных каналов ЦЛАР.

Оценим предельное значение (5), полагая, что время оценки КМ выходных сигналов приёмных каналов достаточно для замены оценочной КМ на статистическую. После простейших матричных преобразований [4] получим:

$$z_{(c \neq 0)} = P_{c1} \cdot (1 + q_o^{-1}); \quad z_{(c=0)} = (\mathbf{v}_o^H \mathbf{R}_n^{-1} \mathbf{v}_o)^{-1} \quad (6)$$

где P_{c1} – мощность сигнала цели на выходе приёмного канала ЦЛАР; $q_o = P_{c1} \mathbf{v}_o^H \mathbf{R}_n^{-1} \mathbf{v}_o$ – отношение сигнал/помеха (в классическом понимании этого термина) на выходе оптимального пространственного фильтра [5].

Учитывая, что для случаев, представляющих практический интерес, $q_o \gg 1$, после подстановки (6) в (5), получим:

$$q_K = q_o. \quad (7)$$

Из (7) следует, что предельное численное значение отношения сигнал/помеха для алгоритма Кейпона, определяемое соотношением (5), совпадает с предельным значением отношения сигнал/помеха на выходе оптимального пространственного фильтра.

Представим порог обнаружения в алгоритме (4) в виде:

$$h_K = \frac{h}{\mathbf{v}_c^H \mathbf{R}_o^{-1} \mathbf{v}_c}, \quad (8)$$

где h – коэффициент, значение которого выбирается из условия обеспечения заданного значения вероятности ложной тревоги при реализации алгоритма (4). С учётом (8), алгоритм (4) можно заменить равноценным, с точки зрения качества обнаружения, алгоритмом:

$$z = \frac{\mathbf{v}_c^H \mathbf{R}_o^{-1} \mathbf{v}_c}{\mathbf{v}_{\tilde{n}}^H (\mathbf{R}_o^*)^{-1} \mathbf{v}_{\tilde{n}}} \geq h. \quad (9)$$

Полагая, что собственные шумы приемных каналов ЦЛАР и сигналы внешних источников являются гауссовыми, можно утверждать [5], что левая часть выражения (6) имеет χ^2 распределение с $m = n_o - N + 1$ степенями свободы. При этом, если среднее значение (усреднение по ансамблю реализаций) элементов вектора Y_i равно нулю, то z подчиняется центральному распределению χ^2 , в противном случае z подчиняется не центральному распределению χ^2 .

В случае обнаружения сигналов цели имеет место второе условие (средние значения элементов вектора Y_i не равны нулю), поэтому для рассматриваемого в статье случая, плотность распределения вероятностей Z определяется соотношением [5]:

$$p(z) = \frac{z^{\frac{m}{2}-1} \exp[-(z+g)/2]}{2^{\frac{k}{2}} \sqrt{\pi}} \sum_{r=0}^{\infty} \frac{g^r z^r \Gamma(1/2+r)}{\Gamma(2r+1) \Gamma(1/2m+r)}, \quad (10)$$

где g – параметр не центральности, $\Gamma(\dot{a})$ – гамма-функция.

С учётом результатов, полученных в [6], параметр не центральности для рассматриваемого случая равен

$$g = m \cdot q_1, \quad (11)$$

где q_1 – отношение сигнал/помеха на выходе оптимального пространственного фильтра.

Выражение (8) получено с учётом результатов, приведенных в [7].

Полагая, что число выборок, используемых для оценки КМ, совпадает с числом выборок полезного сигнала, с учётом (10), получаем формулу для расчёта вероятности правильного обнаружения квазидетерминированного сигнала при многоканальном приёме, когда используется обнаружитель на основе алгоритма Кейпона:

$$P_{\text{обнК}} = \exp(-g/2) \sum_{r=0}^{\infty} \frac{(g/2)^r \Gamma[h/2, (m/2+r)]}{r! \Gamma(m/2+r)}, \quad (11)$$

где $\Gamma(z, b)$ —неполная гамма-функция;

значение порога обнаружения h , входящее в (9), определяется из выражения (9) для вероятности ложной тревоги, которое может быть получено с учётом(10), если положить в нём: $g = 0$.

$$P_{\text{лт}} = \frac{\Gamma(m/2, n_o/2 \cdot h)}{\Gamma(m/2)}, \quad (12)$$

Достоверность и правомочность использования формулы (11) подтверждена методом Монте-Карло. Результаты статистического моделирования обнаружителя на основе алгоритма Кейпона при большом числе независимых испытаний (порядка 500) хорошо согласуются с результатами расчёта по упомянутой выше формуле (рис. 1).

Зависимости на рис.1 соответствуют следующим исходным данным: число приёмных каналов ЦЛАР – $N = 10$; число выборок, используемых для оценки КМ – $n_o = 50$; число независимых испытаний при статистическом моделировании – $m_o = 10^3$. Отношение сигнал/помеха на рис.1 определено как $q = n_o q_1$ (здесь q_1 – отношение сигнал/помеха на выходе приёмного канала ЦЛАР).

Вероятность правильного обнаружения для алгоритма обнаружения (1) рассчитывалась по формуле для интегрального обобщенного закона Релея [6]:

$$P_{\text{обн1}} = 1 - \exp(-n_o q_o) \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(n_o q_o)^k}{(m!)^2} \frac{1}{m!} \Gamma\left(\frac{h_o^2}{2}, (m+1)\right), \quad (13)$$

где $\Gamma(x, a)$ – неполная гамма-функция [7].

Результаты расчёта вероятностей обнаружения по формулам (11) и (13) представлены на рис. 1.

Кривая 1 соответствует оптимальному алгоритму обнаружения сигнала со случайной начальной фазой при многоканальном приёме, а кривая 2 соответствует обнаружителю на основе алгоритма Кейпона. Графики на рис.1 построены для следующих исходных данных: $N = 10$, $n_o = 50$.

Результаты расчёта вероятности обнаружения цели по формуле (7) полностью совпадают с результатами, приведенными в виде графиков кривых обнаружения, в [8].

Сравнение кривых обнаружения на рис. 1 позволяет сделать вывод, что при многоканальном приёме замена оптимального алгоритма объединения выходных сигналов приёмных каналов ЦЛАР на алгоритм Кейпона приводит к возникновению потерь в отношении сигнал/помеха. На рис.2 представлен график, иллюстрирующий зависимость этих потерь от отношения n_o/N при вероятности ложной тревоги $P_{лт} = 10^{-4}$ и вероятности правильного обнаружения $P_{обн} = 0,8$.

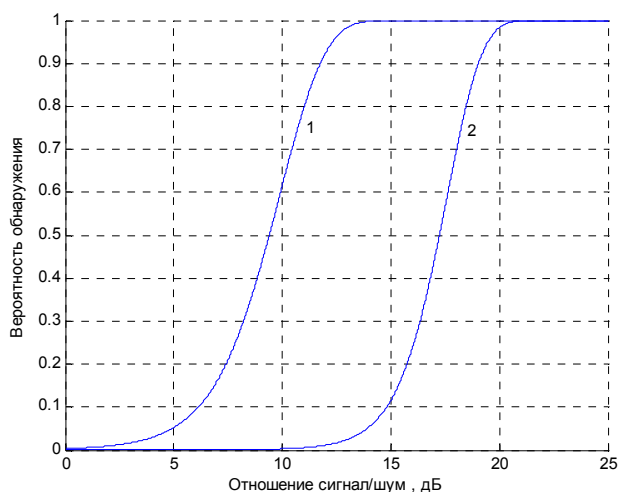


Рис. 1. Вероятность обнаружения

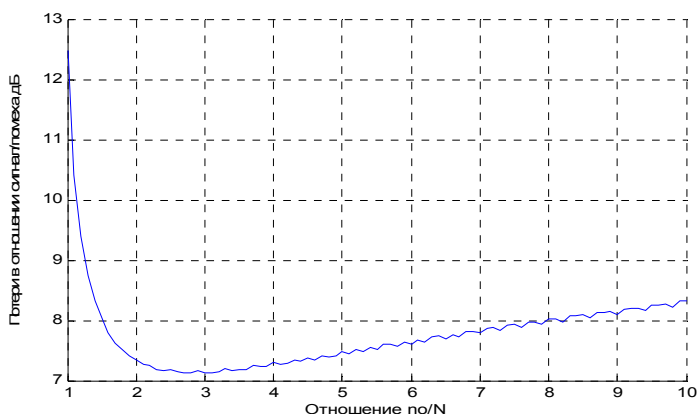


Рис. 2. Зависимость потерь

Резкое увеличение потерь в отношении сигнал/помеха при $n_o < 3N$ обусловлено, плохой обусловленностью оценочной КМ в (3). Об этом наглядно свидетельствует зависимость числа обусловленности гипотетической оценочной КМ от относительного объёма выборки, используемой для оценки последней, представленная на рис. 3. КМ от относительного объёма выборки

Число обусловленности оценочной КМ $cond(\mathbf{R}^*)$ на рис.3 определено как отношение

$$cond(\mathbf{R}^*) = \lambda_{\max} / \lambda_{\min},$$

где λ_{\max} , λ_{\min} – максимальное и минимальное собственные числа КМ соответственно.

Зависимость, обозначенная цифрой 1, на рис. 3 соответствует отношению сигнал/помеха на выходе приёмного канала ЦЛАР, равном 20 дБ, а зависимость 1, отношению сигнал/помеха, равном 10дБ.

На рис. 4 представлены зависимости, иллюстрирующие величину потерь в отношении сигнал/помеха для участка графика на рис.2, соответствующего удовлетворительной обусловленности оценочной КМ. Зависимость,

обозначенная цифрой 1, соответствует $P_{обн} = 0.8$, а цифрой 2 – $P_{обн} = 0.5$.

Выводы

1. В обнаружителе на основе алгоритма Кейпона полезным сигналом является значение функции Кейпона при совпадении амплитудно-фазового распределения, создаваемого источником сигнала большой

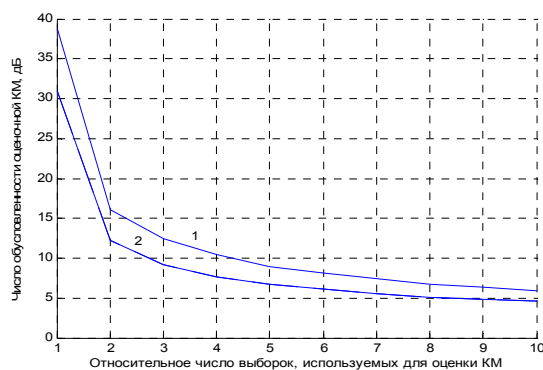


Рис. 3. Зависимость числа обусловленности гипотетической оценочной

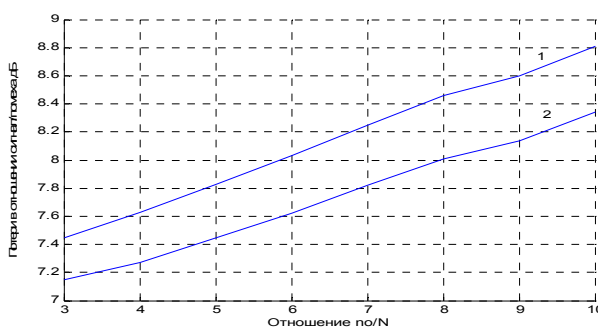


Рис. 4. Зависимость потерь в отношении сигнал/помеха

длительности, на выходах приёмных каналов ЦЛАР с ожидаемым амплитудно-фазовым распределением, на которое “настроен” обнаружитель. При этом значение функции Кейпона с точностью до величины, обратной к отношению сигнал/помеха на выходе оптимального пространственного фильтра равно мощности сигнала упомянутого выше источника на выходе приёмного канала ЦЛАР.

2. Мешающим сигналом (помехой) в обнаружителе на основе алгоритма Кейпона является значение функции Кейпона при отсутствии источника сигнала на контролируемом направлении.

3. Отношение амплитуды полезного сигнала к амплитуде мешающего сигнала в обнаружителе на основе алгоритма Кейпона совпадает с предельно достижимым отношением сигнал/помеха на выходе оптимального пространственного фильтра. Это означает, что обнаружитель Кейпона максимизирует отношение значения функции Кейпона, обусловленного наличием источника сигнала на контролируемом направлении к значению этой же функции при отсутствии выше упомянутого источника.

4. При использовании алгоритма Кейпона для объединения выходных сигналов приёмных каналов ЦЛАР отпадает необходимость в разделении КМ помех и сигналов цели, однако, при этом возникают потери в отношении сигнал/помеха. Величина этих потерь зависит от заданного значения вероятности правильного обнаружения $P_{обн}$ и отношения n_o / N .

5. При использовании алгоритма Кейпона минимальные потери в отношении сигнал/помеха имеют место при $n_o = 3N$;

6. Причиной резкого увеличения потерь при $n_o < 3$ является ухудшение обусловленности оценочной КМ, при $n_o > 3$ потери увеличиваются за счёт замены когерентного накопления $n_o \cdot N$ выборок полезного сигнала, имеющего место в случае оптимального алгоритма объединения выходных сигналов приёмных каналов ЦЛАР, на не когерентное, в случае использования алгоритма Кейпона.

Литература

1. Ширман Я. Д. Теория и техника обработки радиолокационной информации на фоне помех / Я. Д. Ширман, В. Н. Манжос. – М. : Радио и Связь, 1981. – 416 с.
2. Бондаренко Б. Ф. Защита информационной системы с цифровой антенной решёткой и рабочим сигналом большой длительности от активных помех, создаваемых внешними источниками / Б. Ф. Бондаренко, К. М. Семибаламут // Радиоэлектроника.
3. Кейпон Дж. Пространственно-временной спектральный анализ с высоким разрешением / Дж. Кейпон // ТИИЭР. – 1978. – Т. 66. – № 1. – С. 60–96.
4. Монзинго Р. А. Адаптивные антенные решётки / Р. А. Монзинго, Т. У. Миллер. – М. : Радио и связь, 1986. – 448 с.
5. Рао С. Р. Линейные статистические методы и их применения / Рао С. Р. – М. : Наука, 1968. – 548 с.
6. Янке Е. Специальные функции / Е. Янке, Ф. Энде, Ф. Лёш. – М. : Наука, 1964. – 344 с.
7. Бартон Д. Радиолокационные системы / Бартон Д. – М. : МО СССР, 1967. – 480 с.
8. Заездный А. М. Основы расчётов по статистической радиотехнике Заездный А. М. – М. : Связь, 1969. – 447 с.
9. Хорн Р. Матричный анализ / Р. Хорн, Ч. Джонсон. – М. : Мир, 1989. – 655 с.
10. Рао С. Р. Линейные статистические методы и их применения / Рао С. Р. – М. : Наука, 1968. – 548 с.
11. Бондаренко Б. Ф. Сравнительная оценка эффективности обнаружителей шумовых сигналов на основе алгоритма Кейпона и оптимального алгоритма / Б. Ф. Бондаренко, И. Н. Сашук, В. Ю. Тымчук // Радиоэлектроника. – 2004. – № 3. – С. 35–41.

Надійшла 18.9.2011 р.

УДК 621.785.532

Ю.І. ШАЛАПКО

Хмельницький національний університет

Ю.І. ПАВЛИШЕН

Хмельницька обласна клінічна лікарня

Я. ЦВАНЕК

Департамент реабілітації, Жешувська Політехніка, Польща

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ МАТЕРІАЛІВ ЕНДОПРОТЕЗІВ

В статті досліджено питання зносостійкості матеріалів для ендопротезів.

The article explored the issue of wear resistance of materials for endoprotheses.

Ключові слова: медична апаратура і технології, відновлювальна медицина, травматологія.

Вступ

Проблема міцності імплантованих матеріалів й відповідних конструкцій об'єднані в широке коле

наукових, інженерних медичних задач які мають вагомі відмінності від звичайних інженерних рішень. Зазначимо деякі з них:

- імплантовані матеріали мають відрізнятися не тільки експлуатаційною міцністю, але й біологічною сумісністю і інертністю;
- імплантовані матеріали та спряження повинні зберігати свої високі функціональні якості на протязі 10-15 і більше років;
- продукти контактної взаємодії і тертя між складовими частинами імплантів не повинні приводити до зниження захисних функцій імунної системи організму;
- індивідуальне для кожної людини природне зниження мінеральної густини кістки (МПКТ), приводе до непередбачених патологічних наслідків.

Імплантація, або ендопротезування є основною областю біомедичної інженерії, в якій достатньо важливим є проблеми зносостійкості матеріалів.

1.Обладнання для дослідження мікропереміщень і фретингостійкості.

Установка для дослідження матеріалів та покриттів в умовах номінальної нерухомості та фретинг-процесів має дві пари тертя та два вузла навантаження: на лівому зразкотримачі – вузол постійного навантаження, за допомогою важільної системи, на правому зразкотримачі – вузол змінного навантаження, за допомогою пружних елементів різної жорсткості, і на обох зразкотримачах закріплені роз'ємні камери для різних робочих середовищ. Це дає можливість об'єктивного порівняння та більш детального вивчення параметрів протікання фретинг-процесів.

На рис. 1 та 2 зображений загальний вид та кінематична схема установки. Всі параметри процесу фретинг-зношування передаються до ЕОМ для статичної обробки.

Установка для дослідження матеріалів та покриттів в умовах фретингу (рис. 1) містить основу 20, на якій закріплено вал 1, на якому розміщені направляючі 2 рухомого повзуна 4 та гвинтова пара 3, вал 5, гвинти 6, шатун 8, що з'єднаний із кулісою 9. Також на ній закріплені рухомий зразкотримач 10 та нерухомий зразкотримач 11 в затискачах 12, колони 19, направляючі 18 вертикального переміщення затискачів, головка 17, вал зразкотримача 13, важіль навантаження 15 та індуктивний датчик нормальних переміщень 14, головка 17, жорсткий пружний елемент 21 із гвинтовою парою 22. Крім того, на правому та лівому зразкотримачах передбачено роз'ємну камеру 16. На основі 20 розташований механізм перетворення обертового руху в зворотно-поступальний і комбінована система навантаження зразків. Спільний привід для обох пар здійснюється двигуном постійного струму на вал 1, на якому закріплені направляючі 2 рухомого повзуна 4.



Рис. 1 Установка для дослідження матеріалів та покриттів в умовах фретинг - процесів

Вибір матеріалів для дослідження

Група металічних біоматеріалів складається з:

- сталі системи Cr-Ni-Mo;
- титан та його сплави;
- сплави на основі кобальту;
- тантал, ніобій та їх сплави.

Синтетичні полімерні біоматеріали:

- силікони (SI);
- політетрафторетілен (PTFE);
- поліетилен (PP);

- політерэфтален (PET).
- Вимоги до біоматеріалів:
 - хімічні властивості: відсутність небажаних хімічних реакцій з тканиною та міжтканинною рідиною. Відсутність корозії або розчинення зі швидкістю яка контролюється.
 - Механічні властивості: міцність, тріщиностійкість, опір втоми, зносостійкість.
 - Біологічні властивості: біосумісність, зрощування з кістковою тканиною, стимулювання остеосинтезу.

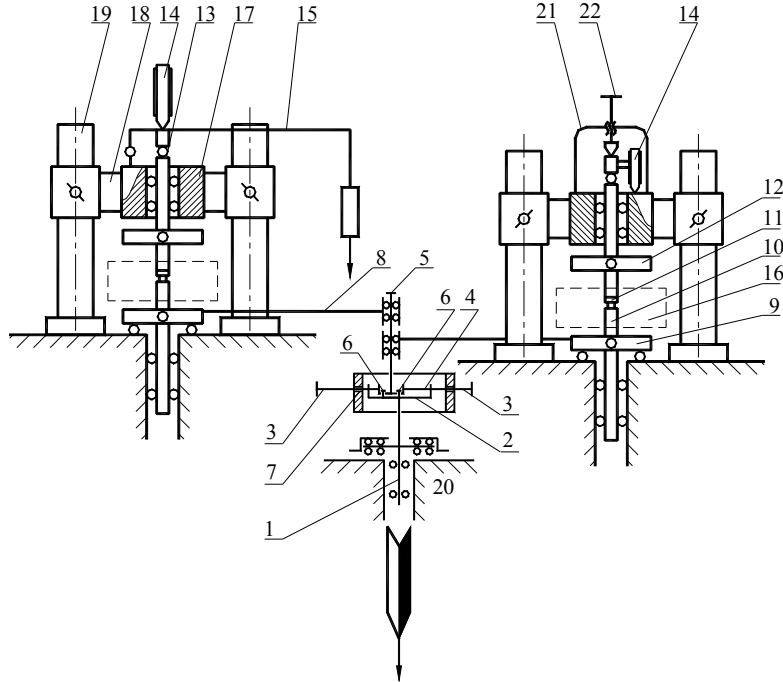


Рис.2 Кінематична схема установки

Механічні та структурні властивості матеріалів, що досліджуються.

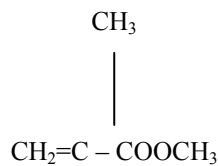
В табл. 1 наведені основні механічні властивості матеріалів ендопротезу, які використовувались для чисельного моделювання.

Таблиця 1

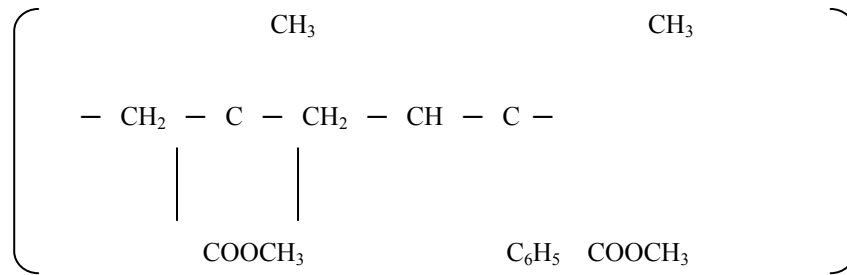
Механічні властивості матеріалів, які досліджуються

Характеристика	Густина, г/см ³	Модуль Юнга, МПа	Коефіцієнт Пуасона	Міцність при розтязі, МПа
Високомолекулярний поліетилен (UHMWPE)	0,94	1,1·10 ³	0,3	4..38
Кістковий цемент	0,9..1,1	2,2·10 ³	0,335	30..50
Хромонікелева сталь X2CrNiMo18-14-3	7,8	2,1·10 ³	0,3	100...800
Кістка	1,4...2,1	(1,4..1,7) ·10 ³	0,32	89...114

Зразки виготовлялись з цементу фірми OSTEOBOND при змішуванні пудри метіл – метакрилату та поліісополімеру. Формула першого компоненту:



другого компоненту



Хімічний склад сталі X2CrNiMo18-14-3:

C ≤ 0,03%; Si ≤ 1%; Mn ≤ 2%; Cr = 17...19%; Mo=2,3...3,5%; Ni=13...15 %; Cu ≤ 0,5.

На рис. 3 показана мікроструктура сталі X2CrNiMo18-14-3.

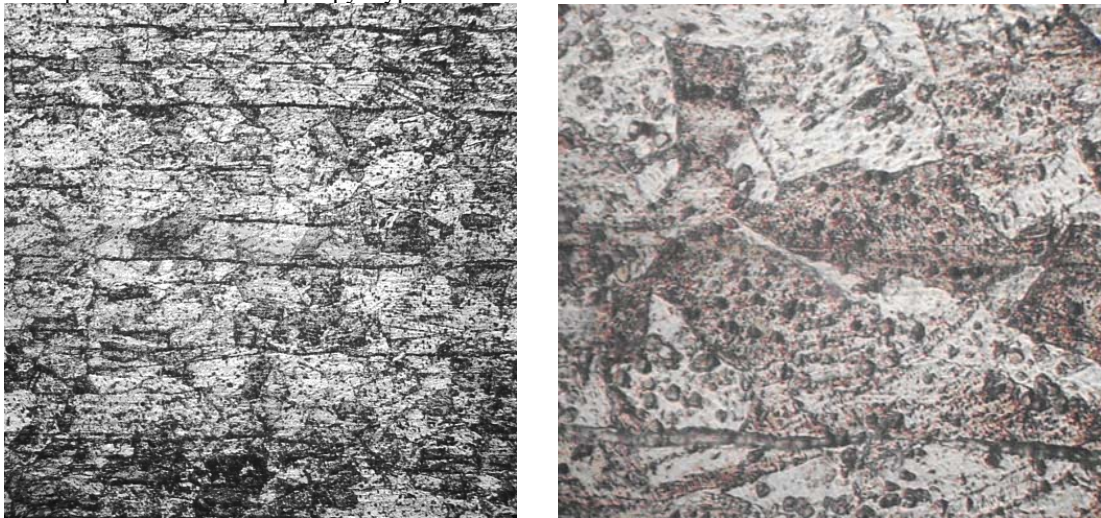


Рис.3 Мікроструктура сталі X2CrNiMo18-14-3:

2. Відносна рухомість і зносостійкість матеріалів ендопротезів.

2.1 Дослідження системи цемент-метал.

Зразки з метил – металокрігату виготовились за допомогою спеціальних форм. Час полімеризації 8-10 хв. На рис. 4 показані зразки до випробувань по схемі площина – площина.

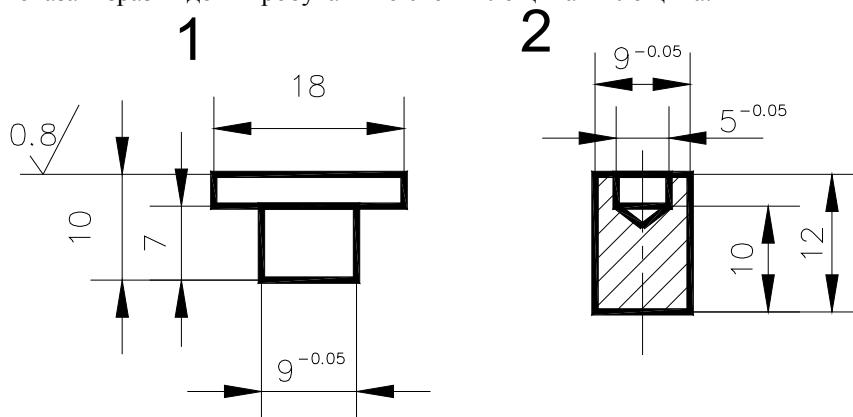


Рис. 4. Зразки до випробування на відносну рухомість та фретингостійкість. 1 – цемент, 2 – сталь

Умови досліджень імітували тангенціальні циклічні навантаження на стиснуті зразки. Амплітуда рухомого зразка змінювалась по кроках 5, 20, 50, 100. Тангенціальна жорсткість нерухомого зразка $1,4 \cdot 10^7$ Н/м. Вважаючи, що амплітуда рухомого зразка в середньому стала, визначимо як змінюється амплітуда відносного проковзування з часом. Нормальна жорсткість $8 \cdot 10^5$ Н/м. Початкове стикання поверхонь зразків встановлювалось на рівні 0,2 МПа. Відносна амплітуда проковзування визначалась за формулою:

$$a = \frac{A_1 \cdot A_2}{A_1} \cdot 100\%$$

де A_1 – амплітуда коливань номінально нерухомого зразка, μm ;
 A_2 – вимушуючи амплітуда коливань, μm .

Перерахунок числа циклів навантаження в час експлуатації ендопротеза ведемо з розрахунку 200 метрів ходьби людини за добу з кроком 0,21 м за цикл, тобто 160 циклів за добу. Частота коливань для дослідної пари 10 Гц. На рис. 5 представлені гістограми відносної амплітуди проковзування для різних вимушуючих амплітуд.

Як видно з діаграм, найбільший приріст проковзування з часом починається з 20...50 мкм. Це пояснюється зменшенням впливу тангенціальної жорсткості номінально-нерухомого зразка на величину періоду зчеплення (відносної нерухомості) по зрівнянню з достатньо великим періодом проковзування. Таким чином, необхідно обмежити початкову деформацію інтерфейсу системи цемент-сталь до 20 мкм або стабілізувати її на цьому рівні. Зменшення нормального тиску в інтерфейсі можна з деякими припущеннями ідентифікувати як інтегрально-лінійне зношування даної пари (рис. 6).

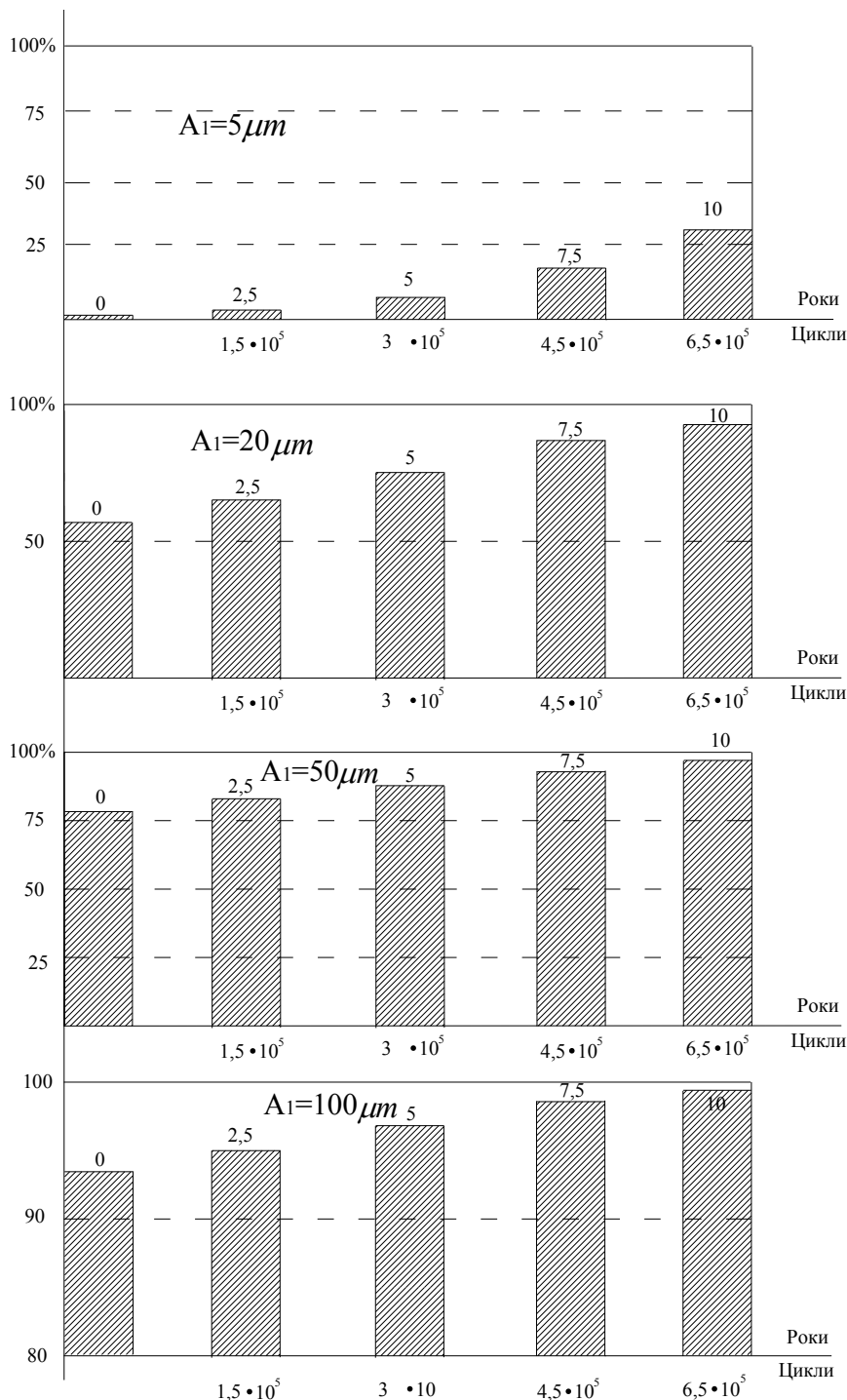


Рис. 5. Порівняльна характеристика впливу початкової вимушуючої амплітуди коливань на відносне проковзування системи цемент-сталь. Початкове нормальне навантаження на зразки $P_n=100$ Н (0,2 МПа).

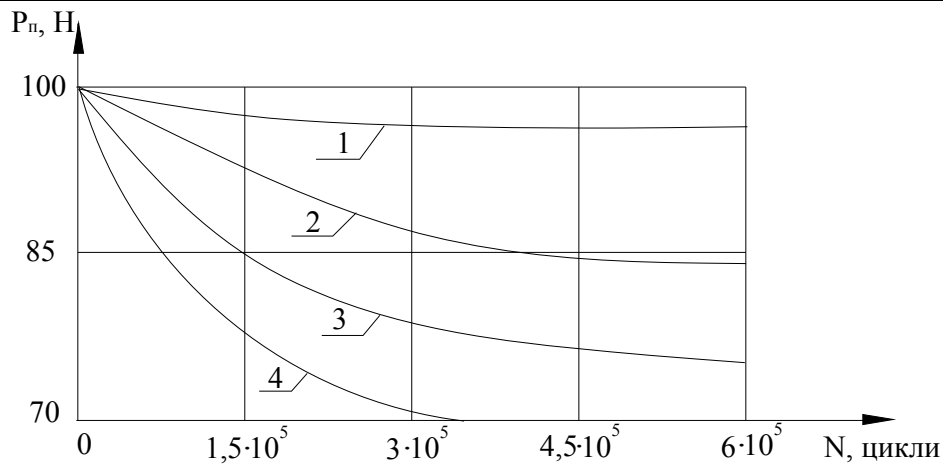


Рис. 6 Падіння нормального тиску в контакті цемент-сталь в залежності від кількості циклів та вимушуючої амплітуди. 1 – вимушуюча амплітуда 5 мкм, 2 – 20 мкм, 3 – 50 мкм, 4 – 100 мкм.

Поведінка нормального тиску зразків характеризується певною сталістю в залежності від вимушуючої амплітуди. Для амплітуди 5 мкм сталість настає після 150 000 циклів, а для $A_1=50$ мкм після 500 000 циклів. Сталість пояснюється утворенням тіл кочення з фрагментів цементу. В залежності від амплітуди визначається їх стійкість до руйнування і тим самим їх несуча властивість. При амплітуді 100 мкм тіла кочення не утворюються, а якщо і утворюються то швидко руйнуються. На рис. 7 показаний інтерфейс двох контактуючих поверхонь системи цемент – сталь в результаті циклічних навантажень.

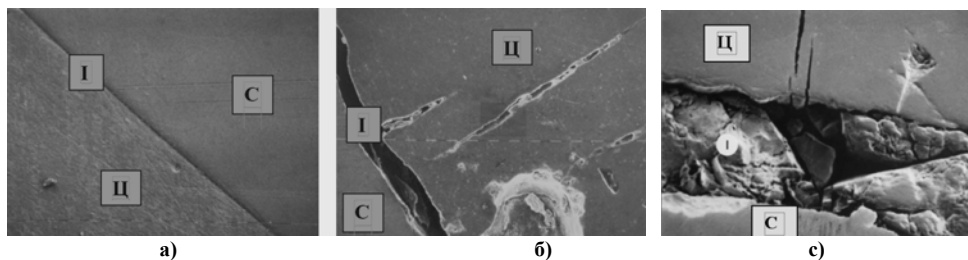


Рис. 7. Елемент руйнування інтерфейсів системи цемент–стержень в результаті знакозмінного тангенціального навантаження [9]. а) – початковий стан, б) – 50 000 циклів, в) – 250 000 циклів.

На рис. 8 показана поверхня цементного зразка в результаті динамічного контактного навантаження з амплітудою 50 мкм.

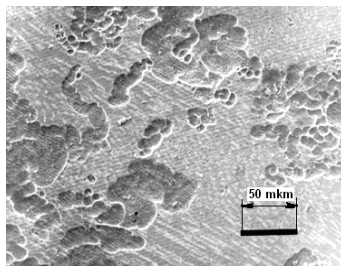


Рис. 8. Поверхня метилметалоакрилату в результаті контактування з амплітудою 50 мкм.

Зрозуміло, що поверхня руйнується дискретно. Більша частина поверхні є несучою, по якій власне відбувається ковзання. На іншій частині створюється елемент викришування, створення третіх тіл які грають роль тіл кочення в інтерфейсі.

2.2. Система полімер – сталь.

Однією з важливих причин передчасного виходу з ладу ендопротезу та його вивиху є зношення чашки з високополімерного полімеру та сталльної головки стержня. Полімерний зразок безпосередньо вирізався з ацетабулярної чашки і кріпився з зразкотримачем.

Випробування на знос велися по схемі площина – площина. Зразок зі сталі також вирізався з головки стержня та кріпився до зразкотримача (рис. 9).

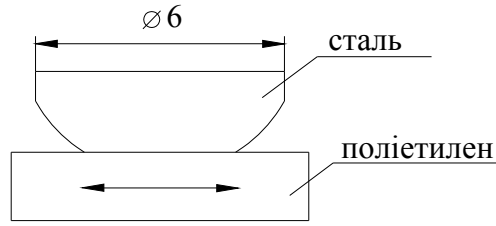


Рис. 9. Схема контактування при випробуваннях по схемі сталь-поліетилен.

Амплітуда рухомого зразка призначалась максимально можливою для даного обладнання і була 1 мм. На рисунках 10...13 представлені результати досліджень.

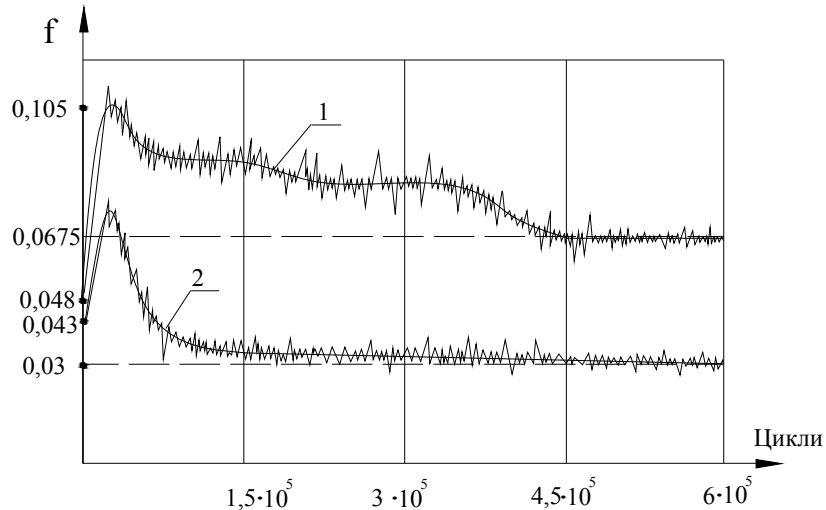


Рис. 10. Залежність коефіцієнта тертя в парі поліетилен – сталь від числа циклів навантаження. 1 – на суходо, 2 – в середовищі заміниці синовіальної рідини.

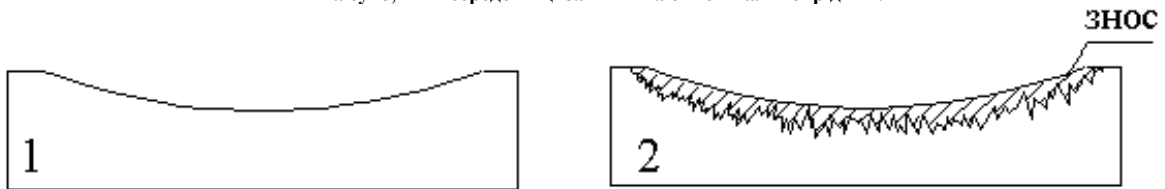


Рис. 11. Початковий стан зразка (1) і його профілограма в процесі тертя

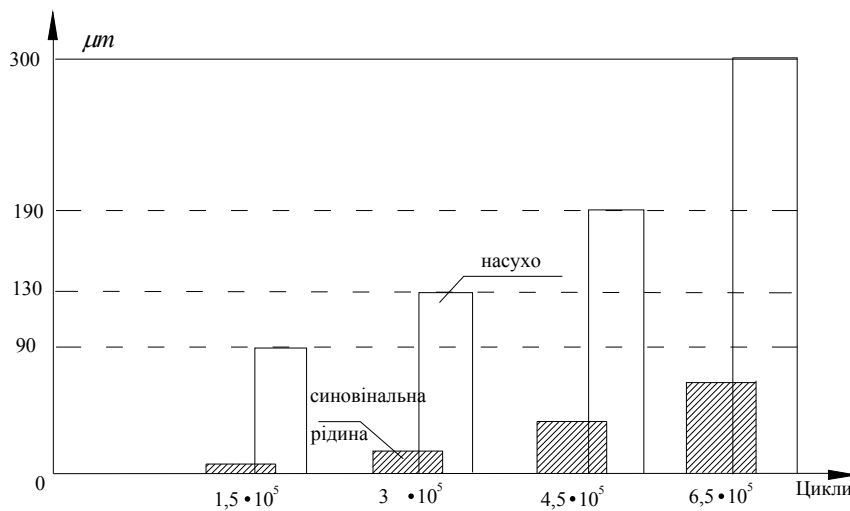


Рис. 12. Діаграма лінійного зношування трибологічної пари поліетилен-сталь.

Малий коефіцієнт тертя між металом та поліетиленом – одне з вагомих причин використання останнього в ендопротезуванні. Короткочасне збільшення сили тертя (рис. 10) пов'язано з періодом припрацювання. Зношення вимірювалось як лінійне з врахуванням пластичної початкової деформації поліетилену. Деформацію вимірювали після 5...10 секунд роботи машини тертя за допомогою профілометра – профілографа (рис. 11).

На рисунку 13 показані поверхні тертя зразків.

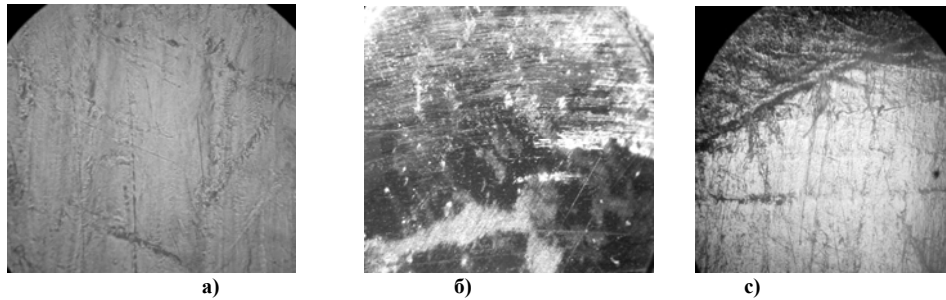


Рис. 13. Поверхні тертя поліетиленового (а), металевого зразка (б) і границя розділу зони тертя та вихідної поверхні поліетиленового зразка(с).

Висновки

1. Механізми та кінетика руйнування матеріалів що використовуються у ендопротезуванні при малих відносних зміщеннях пов'язані із збільшенням амплітуди відносного проковзування поверхонь зразків.
2. Збільшення амплітуди відбувається за рахунок фрикційного зношування та зменшення номінального тиску. Існує відповідне значення амплітуди для переходу до макроковзування, яке залежить від геометрії контакту та поверхневих властивостей.
3. При контактуванні м'якого матеріалу з твердим відносно зміщення поверхонь відбувається по всій контактній площині.
4. Кінетика зношування при середніх амплітудах проковзування (30-50 мкм) має дві стадії. На протязі першої можливе утворення „третього тіла” між цементною мантією та металевим стержнем кульшового ендопротезу

Література

1. С. А. Ягников, В. Н. Митин, Н. С. Гаврюшенко // Исследование пары трения эндопротезов тазобедренного сустава для собак, представленных на отечественном рынке. – Режим доступу: <http://www.biocontrol.ru/issledovanie-pary-treniya-endoprotezov-tazobedrennogo-sustava-dlya-sobak-predstavlennykh-na-otchestvennom-rynke.html>.
2. Дорожкин С. В. Биоматериалы: обзор рынка / С. В. Дорожкин, Симеон Агатопоулус // Химия и жизнь. – 2002. – № 2. – С. 8– 10.
3. М.В. Полулях // Эндопротезирование тазобедренного сустава. – Режим доступу: <http://rheumatology.com.ua/blog/articles/735>.
4. Травматология и ортопедия: [в 3 т.] / под ред. Ю. Г. Шапошника. – М.: Медицина, 1997. – (Руководство для врачей).
5. Федірко В. М. Азотування титану та його сплавів / В. М. Федірко, І.М. Погрелюк. – К.: Наукова думка, 1995. – 220 с.
6. Белый А. В. Структура и триботехнические свойства субмикроструктурного титана, модифицированного ионами азота / А. В. Белый, В. А. Кукареко, А. Г. Кононов [и др.] // Трение и износ. – 2008. – т. 29. – № 6. – С. 571-577.

Надійшла 1.10.2011 р.

За зміст повідомлень редакція відповідальності не несе

Повні вимоги до оформлення рукопису <http://visniktup.narod.ru/rules/>

Рекомендовано до друку рішенням вченої ради Хмельницького національного університету,
протокол № 3 від 26.10.2011 р.

Підп. до друку 27.10.2011 р. Ум.друк.арк. 18,26 Обл.-вид.арк. 22,65
Формат 30x42/4, папір офсетний. Друк різнографією.
Наклад 100, зам. № _____

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