ISSN 2307-5732

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ **4.2015**

ВІСНИК

Хмельницького національного університету

Технічні науки
Technical sciences

SCIENTIFIC JOURNAL
HERALD OF KHMELNYTSKYI NATIONAL UNIVERSITY

2015, Issue 4, Volume 227

Хмельницький

ВІСНИК
ХМЕЛЬНИЦЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
серія: Технічні науки

Затверджений як фахове видання
Наказ МОН 04.07.2014 №793

Засновано в липні** 1997 **р. ***Виходить** 6 **разів на рік***

Хмельницький, 2015, № 4 (227)

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

Включено до наукометричних баз:

РИНЦ	http://elibrary.ru/title_about.asp?id=37650
Google Scholar	http://scholar.google.com.ua/citations?hl=uk&user=aIUP9OYAAAAJ
Index Copernicus	http://jml2012.indexcopernicus.com/passport.php?id=4538&id_lang=3
Polish Scholarly Bibliography	https://pbn.nauka.gov.pl/journals/46221

Головний редактор	**Скиба М. Є.**, заслужений працівник народної освіти України, член-кореспондент Національної академії педагогічних наук України, д.т.н., професор, ректор Хмельницького національного університету
Заступник головного редактора	**Параска Г. Б.**, д.т.н., професор, проректор з наукової роботи Хмельницького національного університету
Відповідальний секретар	**Гуляєва В. О.**, завідувач відділом інтелектуальної власності і трансферу технологій Хмельницького національного університету

Ч л е н и р е д к о л е г і ї

Технічні науки

Березненко М.П., д.т.н., Бубулис Алгимантас, д.т.н. (Литва), Гордєєв А.І., д.т.н., Грабко В.В., д.т.н., Диха О.В., д.т.н., Жултовський Б., д.т.н. (Польща), Зубков А.М., д.т.н., Камбург В.Г., д.т.н. (Росія), Каплун В.Г., д.т.н., Карван С.А., д.т.н., Карташов В.М., д.т.н., Кичак В.М., д.т.н., Кіницький Я.Т., д.т.н., Коновал В.П., д.т.н., Коробко Є.В., д.т.н. (Білорусія), Костогриз С.Г., д.т.н., Кофанов Ю.М., д.т.н. (Росія), Мазур М.П., д.т.н., Мандзюк І.А., д.т.н., Мельничук П.П., д.т.н., Мясіщев О.А., д.т.н., Натріашвілі Т.М., д.т.н. (Грузія), Нелін Є.А., д.т.н., Павлов С.В., д.т.н., Пастух І.М., д.т.н., Поморова О.В., д.т.н., Пановко Г.Я., д.т.н. (Росія), Попов В., доктор природничих наук (Німеччина), Прохорова І.А., д.т.н., Рогатинський Р.М., д.т.н., Ройзман В.П., д.т.н., Рудницький В.Б., д.фіз.-мат.н., Сарібеков Г.С., д.т.н., Сілін Р.І., д.т.н., Славінська А.Л., д.т.н., Сорокатий Р.В., д.т.н., Сурженко Є.Я., д.т.н. (Росія), Троцишин І.В., д.т.н., Шалапко Ю.І., д.т.н., Шинкарук О.М., д.т.н., Шклярський В.І., д.т.н., Щербань Ю.Ю., д.т.н., Юрков М.К., д.т.н. (Росія), Ясній П.В., д.т.н.

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 28.08.2015 р.

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

((038-22) 2-51-08 **web: http://journals.khnu.km.ua/vestnik**
e-mail: visnyk_khnu@rambler.ru **http://vestnik.ho.com.ua**
http://lib.khnu.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**

© Хмельницький національний університет, 2015
© Редакція журналу "Вісник Хмельницького національного університету", 2015

ЗМІСТ

МАШИНОЗНАВСТВО ТА ОБРОБКА МАТЕРІАЛІВ В МАШИНОБУДУВАННІ

І.М. ПАСТУХ, Г.М. СОКОЛОВА
КІНЕТИКА ВХОДЖЕННЯ ІОНІВ У ЗІТКНЕННЯ З ПОВЕРХНЕЮ В РОЗШИРЕНОМУ ЕНЕРГЕТИЧНОМУ ДІАПАЗОНІ 6

В.О. ХАРЖЕВСЬКИЙ
РОЗРОБКА ТА ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ КІНЕМАТИЧНОЇ ГЕОМЕТРІЇ ДЛЯ СИНТЕЗУ ВАЖІЛЬНИХ НАПРЯМНИХ МЕХАНІЗМІВ 10

В.В. КОВТУН, О.А. ДОРОФЄЄВ
ГРАНИЧНИЙ НАПРУЖЕНИЙ СТАН ДИСКРЕТНОГО СЕРЕДОВИЩА, ЩО ПРАЦЮЄ В УМОВАХ ПЛОСКОЇ ДЕФОРМАЦІЇ 16

Д.О. ЛОЗІНСЬКИЙ, І.О. СИВАК, Є.І. ШЕВЧУК, В.Г. ПИЛЯВЕЦЬ
РОТАЦІЙНА ВИТЯЖКА ОСЕСИМЕТРИЧНИХ ДЕТАЛЕЙ З ВИКОРИСТАННЯМ ПРОПОРЦІЙНОГО ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНОГО ПРИВОДУ 21

В.В. СЛАВІН
ВПЛИВ СИСТЕМИ ЖИВЛЕННЯ БЕНЗИНОВОГО ДВИГУНА НА ТЯГОВО-ШВИДКІСНІ ВЛАСТИВОСТІ ЛЕГКОВОГО АВТОМОБІЛЯ 25

В.А. СІВАК
ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ КРИТЕРІЇВ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ В УМОВАХ ЇХ ВИКОРИСТАННЯ В ПРОЦЕСІ ВИКОНАННЯ ЗАВДАНЬ З ОХОРОНИ ДЕРЖАВНОГО КОРДОНУ 30

О.Л. ШПАК
МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ОДНОФАЗОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА ЯК ГРУПОВОГО ЕЛЕМЕНТА В ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНІЙ СИСТЕМІ 34

Н.В. ФІЛІМОНОВА
ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРНО-МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ М’ЯСА ЯК ОБ'ЄКТА ПЕРЕРОБКИ У ВОВЧКУ 37

ТЕХНОЛОГІЇ ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

С.С. МАТВІЙЧУК
УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИЧНОЇ БАЗИ ПРОЕКТУВАННЯ СПОРТИВНОЇ ФОРМИ ДЛЯ БАСКЕТБОЛІСТІВ 41

К.Л. ПАШКЕВИЧ
ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ВЕЛИЧИНИ ЗБОРКИ ВУЗЛІВ ОДЯГУ ВІД ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТКАНИН 45

С.С. МАТВІЙЧУК, Н.І. БОКША
МОЖЛИВІСТЬ ОПТИМІЗАЦІЇ ТРУДОМІСТКОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ ТА ПРОДУКТИВНОСТІ ШВЕЙНОГО ВИРОБНИЦТВА ЗА РАХУНОК ТЕХНІЧНИХ ФАКТОРІВ ВПЛИВУ 50

Е.В. БАЗИЛЮК
АНАЛІЗ ПРОБЛЕМ СТИЛЕУТВОРЕННЯ В ДИЗАЙНІ ОДЯГУ 54

О.В. СКІДАН, Т.А. НАДОПТА, І.М. ПАСТУХ
ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ АНАЛІТИЧНОГО ПРОЕКТУВАННЯ ВЗУТТЯ 57

А.В. СЕЛЕЗНЬОВА, А.Б. ДОМБРОВСЬКИЙ
АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ СТВОРЕННЯ РАЦІОНАЛЬНОЇ КОНСТРУКЦІЇ ВЗУТТЯ ДЛЯ ДІТЕЙ-ШКОЛЯРІВ 62

О.В. КИРИЧЕНКО
ГЕОТЕКСТИЛЬ НЕТКАНИЙ: ВИБІР ПОКАЗНИКІВ ВЛАСТИВОСТЕЙ ДЛЯ ОЦІНКИ РІВНЯ ЯКОСТІ ТА ФОРМУВАННЯ АСОРТИМЕНТУ 67

М.О. КУЩЕВСЬКИЙ, Ю.В. КОШЕВКО
ДОСЛІДЖЕННЯ ФАКТОРІВ ГІДРОВІДЦЕНТРОВОГО СПОСОБУ ФОРМУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ ГОЛОВНИХ УБОРІВ 73

Д.Г. САРИБЕКОВА, А.Н. КУНИК, Л.А. ДРОЗД, Г.С. САРИБЕКОВ
КАТИОННЫЕ ПОЛИМЕРЫ – ИННОВАЦИЯ В КРАШЕНИИ ПРЯМЫМИ КРАСИТЕЛЯМИ 77

Н.П. ЛЯЛІНА, О.Ф. БОГДАНОВА
ДОСЛІДЖЕННЯ СПОЖИВЧИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТА ЕКСПЕРТНА ОЦІНКА ЯКОСТІ ЗМІШАНИХ КОНОПЛЯНИХ ТКАНИН 82

А.В. НІКОНОВА, О.А. АНДРЕЄВА, Л.А. МАЙСТРЕНКО
ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ДУБЛЕННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ СПОЛУК ТИТАНУ ТА ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ 86

Д.І. САПОЖНИК
МАСКУВАЛЬНІ ВЛАСТИВОСТІ ТКАНИН СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ З БАГАТОКОЛІРНИМ ЗАБАРВЛЕННЯМ 90

РАДІОТЕХНІКА, ЕЛЕКТРОНІКА ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ

Ю.М. БОЙКО, В. М. ТКАЧУК
РОЗРОБКА ТА АНАЛІЗ МОДИФІКОВАНИХ СХЕМ СИНХРОНІЗАЦІЇ БЛОКІВ ОБРОБЛЕННЯ СИГНАЛІВ ЗАСОБІВ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ 94

І.І. ЧЕСАНОВСЬКИЙ, Д.О. ЛЕВЧУНЕЦЬ, А.Л. ПЕТРЕНКО
ПОБУДОВА ЗАХИЩЕНИХ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ РАДІОМЕРЕЖ З МНОЖИННИМ ДОСТУПОМ 105

В.І. ЛУЖАНСЬКИЙ, Л.В. КАРПОВА, Б.С. ПОДГОРНИХ
МОДЕЛЮВАННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СТРУКТУР ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ З ДИНАМІЧНОЮ МАРШРУТИЗАЦІЄЮ ТА ЇХ ПОРІВНЯННЯ ЗА КРИТЕРІЄМ «ЕФЕКТИВНІСТЬ-ВАРТІСТЬ» 108

П.В. ГУМЕННИЙ
ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ОРГАНІЗАЦІЇ АСОЦІАТИВНОЇ ПАМ'ЯТІ КОЛЕКТИВНОГО КОРИСТУВАННЯ НА ОСНОВІ ВЕРТИКАЛЬНО-ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ 118

О.В. НЕЧИПОРЕНКО
ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МЕТОДІВ СТИСНЕННЯ ЗВУКОВИХ ДАНИХ 127

Л.Б. ЛІЩИНСЬКА
ІНФОРМАЦІЙНІ ПРИСТРОЇ І СИСТЕМИ НА УЗАГАЛЬНЕНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧАХ ІМІТАНСУ 132

С. М. БОЙКО, Д. А. МИХАЙЛИЧЕНКО, С. Я. ВИШНЕВСЬКИЙ
ЛАБОРАТОРНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ДИФЕРЕНЦІЙНОГО ЗАХИСТУ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА 135

В.В. МАРТЫНЮК, В.В. КОТЕНЕВ
АНАЛИЗ ПРИБОРОВ КОНТРОЛЯ ЗАЩИТНОГО ПОТЕНЦИАЛА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРЕВАТЕЛЕЙ ВОДЫ 139

В.В. ЯЦКІВ, Т.Г. ЦАВОЛИК
ДВОВИМІРНІ КОРЕКТУЮЧІ КОДИ НА ОСНОВІ МОДУЛЯРНОЇ АРИФМЕТИКИ 144

Т.О. САВЧУК, С.І. ПЕТРИШИН
КЛАСТЕРИЗАЦІЯ СТАНІВ КОМП'ЮТЕРНОЇ ТЕХНІКИ З ВИКОРИСТАННЯМ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ 149

І.В. СЛОБОДЯН
ПРИСТРІЙ ДЛЯ ЧИТАННЯ-ЗАПИСУ ІНФОРМАЦІЇ ЕНЕРГОНЕЗАЛЕЖНОЇ КОМІРКИ ПАМ'ЯТІ НА БАЗІ ХАЛЬКОГЕНІДНОГО СКЛОПОДІБНОГО НАПІВПРОВІДНИКА 153

С.В. ІВАСЬЄВ, Я.М. НИКОЛАЙЧУК, І.З. ЯКИМЕНКО, І.Р. КОЛІСНИК
ЗБІЖНІСТЬ ЕКСТРЕМУМІВ ЗАЛИШКОВОЇ ФУНКЦІЇ В ОКОЛІ РОЗВ'ЯЗКУ ЗАДАЧІ ФАКТОРИЗАЦІЇ 157

О.Є. РУБАНЕНКО, О.В. СІКОРСЬКА, В.О. КОМАР
ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ПОБУДОВИ ЕКВІВАЛЕНТІВ ЛОКАЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМ . 165

В.П. ХОРОЛЬСЬКИЙ, М.І. ШПАНЬКО
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯМ СТАЦІОНАРНИХ УСТАНОВОК ШАХТ 173

М.О. ГРАНІК, В.І. МЕСЮРА
МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ СХОЖОСТІ НОВИННИХ ТЕКСТІВ НА ОСНОВІ СТАТИСТИЧНОЇ МІРИ "TERM FREQUENCY-INVERCE DOCUMENT FREQUENCY" 180

О.О. МОРФІЯНЕЦЬ, В. І. МЕСЮРА
РОЗПІЗНАВАННЯ ВИРАЗУ ОБЛИЧЧЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ГЛИБОКОГО НАВЧАННЯ 183

Г.А. РІПКА, І.О. ЗАСОРНОВА, Є.О. МАЗНЄВ, А.А. МИЧКО
ЗАЛЕЖНІСТЬ КОНТРОЛЮЮЧИХ ПОКАЗНИКІВ ВІД РЕЖИМІВ ВИШИВАЛЬНОГО ПРОЦЕСУ 187

В.Р. ЛЮБЧИК, В.О. РИБІЙ, А.В. КЛЕПІКОВСЬКИЙ
МЕТОД УТОЧНЕННЯ ДАЛЬНОСТІ ОБ'ЄКТІВ ІЗ ВРАХУВАННЯМ ЕЛЕКТРОФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПІДПОВЕРХНЕВИХ СЕРЕДОВИЩ 193

С.Л. ГОРЯЩЕНКО
ПЕРЕДАЧАПОКРИТТЯ НА ПОВЕРХНЮ МАТЕРІАЛІВ ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ ПІСЛЯ РОЗПИЛЕННЯ 199

МАШИНОЗНАВСТВО ТА ОБРОБКА МАТЕРІАЛІВ В МАШИНОБУДУВАННІ

УДК 669.1:537.5

І.М. ПАСТУХ, Г.М. СОКОЛОВА
Хмельницький національний університет

КІНЕТИКА ВХОДЖЕННЯ ІОНІВ У ЗІТКНЕННЯ З ПОВЕРХНЕЮ В РОЗШИРЕНОМУ ЕНЕРГЕТИЧНОМУ ДІАПАЗОНІ

Викладено аналітичний апарат розрахунку кутів зіткнення іонів з частками поверхні, що становить основу енергетики передачі імпульсу при азотуванні у тліючому розряді (АТР), оскільки величина і напрямок силової дії іона впливають на характер та інтенсивність основних субпроцесів модифікації: утворення нітридів, дифузію азоту в глибину поверхневого шару, розпорошення поверхні. Запропоновані аналітичні вирази можуть застосовуватись у межах до 1200 В, що повністю перекриває енергетичний діапазон, реально використовуваний при АТР.

Ключові слова: азотування, тліючий розряд, іон, кут зіткнення з поверхнею.

I.M. PASTUKH, G.M. SOKOLOVA
Khmelnytsky National University

KINETICS OF ION ENTRY INTO COLLISION WITH THE SURFACE AT THE EXTENDED ENERGY RANGE

The article deals with *the analytical apparatus of the calculating of angles of ions collision with the particles of the surface, which is the basis of energy transmission of pulse when nitriding in glow discharge as the magnitude and direction of ion force affects the nature and intensity of the major modification subprocesses: formation of nitrides, nitrogen diffusion into the depth of the surface layer, surface spraying.*

The analytical dependences allow to calculate accurately the angle of entry of different types ions in the collision with the surface, which is crucial for energy transfer and thus for prediction the probability of various subprocesses of surface modification by nitriding in glow discharge. The proposed analytical expressions can be used within 1200 B, which completely covers the energy rang actually used in the process of nitriding in glow discharge.

Keywords: nitriding, glow discharge, ion, angle of collision with the surface.

Вступ

Величина енергії та напрямок силової дії іона при його зіткненні з часткою поверхні визначають не тільки відповідність переданої енергії режимам АТР, при яких можливий той чи інший субпроцес, але й подальший напрямок руху часток поверхні. Дійсно при малих кутах (відносно вектора поля) частка поверхні більш ймовірно буде розпорошуватись, і навпаки, при силовій дії в напрямку вектора поля (перпендикулярно до поверхні) будуть стимулюватися процеси дифузії часток в глибину поверхневого шару та утворення нітридів (рівно як і при енергії, що значно перевищує енергетичний поріг утворення нітридів, відбуватиметься розпад нітридів, що фактично стимулює дифузійні явища).

Аналіз джерел за темою дослідження

Наведений в [1] аналітичний апарат в аспекті тодішніх задач обмежувався міжелектродною напругою 500 В. У зв'язку з розробкою технологічних процесів з автономними енергетичними параметрами можливий рівень міжелектродної напруги може досягати 1000 В. У цьому випадку використання згаданого аналітичного апарату видає комплексне або від'ємне значення, що унеможливлює використання програмного забезпечення, розробленого на його основі. Крім того, як виявилося, структурна модель аналітичного апарату була надмірно ускладнена в плані точності визначення кута входу іонів у сутичку, що пов'язано з використанням практично всіх енергетичних параметрів, хоча не всі вони відіграють в однаковій мірі суттєву роль. Це насамперед стосується густини струму розряду, яка практично не впливає на характер зміни та абсолютну величину значення кута входження іона в зіткнення з поверхнею.

Постановка завдання

Метою роботи є розробка аналітичних залежностей та алгоритму визначення кутів входження іонів у зіткнення з поверхнею, які у свою чергу визначають величину частки енергії, яка і формуватиме характер взаємодії падаючого потоку з поверхнею.

Виклад основного матеріалу

Розрахунки кутів входження іонів різного типу (молекулярний та атомарний азот, атомарний аргон, молекулярний та атомарний водень) у зіткнення з поверхнею виконані з фіксацією значення кута напрямку руху іона в момент, коли шлях, пройдений іоном, дорівнює середній довжині вільного пробігу частки. Базовим середовищем вибрана газова суміш N75Ar25 (вміст за об'ємом азоту – 75 %, решта – аргон). У випадку використання інших складів газового середовища застосовується формула:

$$\frac{\overline{\beta}_{N75Ar25}}{\overline{\beta}_{W}} = \frac{\sigma_{vcW}}{\sigma_{vc_{N75Ar25}}},$$

де $\overline{\beta}_{N75Ar25}$, $\overline{\beta}_{W}$ – середні значення кута входження у зіткнення з поверхнею деякої частки, котра рухається відповідно в середовищі *N*75*Ar*25 і в довільному середовищі;

$\sigma_{vcN75Ar25}$, σ_{vcW} – приведені перетини сутичок для аналогічних умов.

Аналіз результатів проведених розрахунків вказує на те, що густина струму практично не впливає на величину кутів (рис. 1).

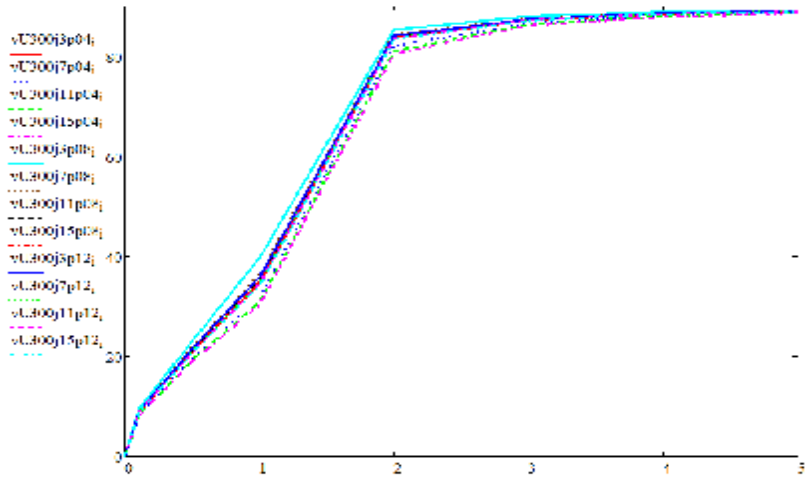


Рис. 1. Характер впливу густини струму на зміну кута входження іона у зіткнення з поверхнею

Наведені графіки залежності кутів входження іонів у зіткнення з поверхнею від аналогу швидкості свідчать про те, що згадані кути практично не відрізняються при зміні значення густини струму, тому в подальшому апроксимація проводилася для опосередкованого графіка, який об'єднував графіки при зміні густини струму в межах 3 – 15 А/м^2, що відповідає реальним даним технології азотування у тліючому розряді.

У роботі [1] криві, зображені на рис. 1, апроксимувались рівнянням:

$$\bar{\beta}(p, j, U, v) = 90(1 - a(p, j, U)^{-v}) - b(p, j, U)ve^{-0,1v^c}, \quad (1)$$

де a, b, c – константи;

v – аналог швидкості, $v = V \cdot 10^{-4}$ м/с.

Вплив збільшення коефіцієнтів a, b, c на форму кривої (рис. 1) показано на рис. 2.

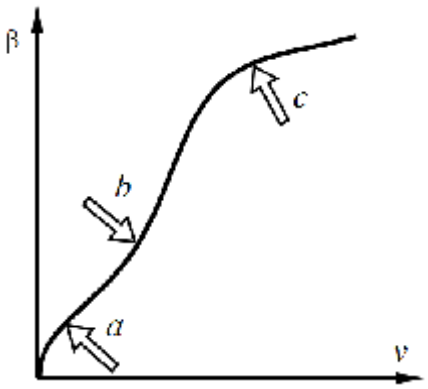


Рис. 2. Характер впливу збільшення коефіцієнтів рівняння (1) на форму кривої

Кращі результати апроксимації (кореляційне відношення між розрахунковими та апроксимаційними даними – 0,999) досягаються при використанні залежності виду:

$$\bar{\beta}(p, U, v) = 90(1 - a(p, U)^{-2av}) - b(p, U)ve^{-0,1v^c}.$$

Коефіцієнт a визначається за допомогою залежності:

$$a(U, p) = K_{a1}(p) + K_{a2}(p)U + K_{a3}(p)U^2 + K_{a4}(p)U^3.$$

Застосування переходу у вигляді полінома третього ступеня дозволяє абсолютно точно відобразити характер зміни розрахункових даних залежно від напруги між електродами на відміну від варіанта, наведеного в [1], де застосовано поліном другого степеня. Коефіцієнти $K_{a1}(p), K_{a2}(p), K_{a3}(p), K_{a4}(p)$ визначаються залежно від типу іона за методикою, наведеною в [2].

Для молекулярного іона азоту:

$$K_{a1}(p) = 1,445 + 0,2737p - 0,1344p^2;$$

$$K_{a2}(p) = -5,278 \cdot 10^{-4} + 3,595 \cdot 10^{-4} p - 1,694 \cdot 10^{-4} p^2;$$

$$K_{a3}(p) = -7,917 \cdot 10^{-7} - 7,639 \cdot 10^{-7} p + 3,472 \cdot 10^{-7} p^2;$$

$$K_{a4}(p) = -2,932 \cdot 10^{-10} + 2,894 \cdot 10^{-10} p - 1,447 \cdot 10^{-10} p^2.$$

Для атомарного іона азоту:

$$K_{a1}(p) = 0,14 + 3,0125p - 1,71875p^2;$$

$$K_{a2}(p) = 0,0061444445 - 0,014930556p - 0,00840277779p^2;$$

$$K_{a3}(p) = -8,8333333 \cdot 10^{-6} + 2,125 \cdot 10^{-5} p - 1,1805555 \cdot 10^{-5} p^2;$$

$$K_{a4}(p) = 3,7654321 \cdot 10^{-9} - 9,1049383 \cdot 10^{-9} p + 5,0154321 \cdot 10^{-9} p^2.$$

Для атомарного іона аргону:

$$K_{a1}(p) = 0{,}99 + 1{,}5875p - 0{,}90625p^2;$$

$$K_{a2}(p) = 1{,}8166667 \cdot 10^{-3} - 7{,}0069447 \cdot 10^{-3} p + 39409724 \cdot 10^{-3} p^2;$$

$$K_{a3}(p) = -2{,}4444444 \cdot 10^{-6} + 8{,}9583332 \cdot 10^{-6} p - 5{,}0347221 \cdot 10^{-6} p^2;$$

$$K_{a4}(p) = 9{,}2592594 \cdot 10^{-10} - 3{,}3950618 \cdot 10^{-9} p + 1{,}9290124 \cdot 10^{-9} p^2.$$

Слід звернути увагу на необхідність використання точних значень числових констант, оскільки будь-яке спрощення коефіцієнтів (скорочення, заокруглення) дуже сильно впливає на точність апроксимації.

Коефіцієнти b та c визначаються залежно від сталої a:

$$b = K_{ba} \cdot a, \quad c = K_{ca} \cdot a.$$

Значення коефіцієнтів пропорційності K_{ba}, K_{ca} розраховується за аналогічним алгоритмом:

$$K_{ba}(U, p) = K_{ba1}(p) + K_{ba2}(p)U + K_{ba3}(p)U^2 + K_{ba4}(p)U^3,$$

$$K_{ca}(U, p) = K_{ca1}(p) + K_{ca2}(p)U + K_{ca3}(p)U^2 + K_{ca4}(p)U^3,$$

де коефіцієнти $K_{ba1}(p), K_{ba2}(p), K_{ba3}(p), K_{ba4}(p)$ та $K_{ca1}(p), K_{ca2}(p), K_{ca3}(p), K_{ca4}(p)$ визначаються залежно від типу іона.

Для молекулярного іона азоту:

$$K_{ba1}(p) = 26{,}015786 - 5{,}0941125p + 2{,}6246188p^2;$$

$$K_{ba2}(p) = -0{,}0010503478 - 0{,}043442671p + 0{,}03008p^2;$$

$$K_{ba3}(p) = 8{,}391134 \cdot 10^{-6} + 6{,}3065109 \cdot 10^{-5} p - 4{,}6637828 \cdot 10^{-5} p^2;$$

$$K_{ba4}(p) = -2{,}3908664 \cdot 10^{-9} - 2{,}9746337 \cdot 10^{-8} p + 2{,}1564746 \cdot 10^{-8} p^2.$$

$$K_{ca1}(p) = 5{,}9519541 - 6{,}0670128p + 4{,}1910313p^2;$$

$$K_{ca2}(p) = -0{,}0048905104 + 0{,}028587466p - 0{,}020199979p^2;$$

$$K_{ca3}(p) = 2{,}5198767 \cdot 10^{-6} - 2{,}9554249 \cdot 10^{-5} p + 2{,}1526092 \cdot 10^{-5} p^2;$$

$$K_{ca4}(p) = -8{,}5591036 \cdot 10^{-10} + 1{,}009789 \cdot 10^{-8} p - 7{,}4560 \cdot 10^{-9} p^2.$$

Для атомарного іона азоту:

$$K_{ba1}(p) = 6{,}5489316 - 7{,}6529605p + 8{,}5418244p^2;$$

$$K_{ba2}(p) = -0{,}16776038 - 0{,}17817609p + 0{,}072082428p^2;$$

$$K_{ba3}(p) = -2{,}9280027 \cdot 10^{-4} + 4{,}2509329 \cdot 10^{-4} p - 1{,}9110135 \cdot 10^{-4} p^2;$$

$$K_{ba4}(p) = 1{,}3885574 \cdot 10^{-7} - 2{,}301671 \cdot 10^{-7} p + 1{,}0672018 \cdot 10^{-7} p^2.$$

$$K_{ca1}(p) = 2{,}9188738 - 1{,}5833844p + 1{,}4892403p^2;$$

$$K_{ca2}(p) = -0{,}005394058 + 0{,}011503148p - 0{,}0096121931p^2;$$

$$K_{ca3}(p) = 4{,}0593344 \cdot 10^{-6} - 1{,}1646138 \cdot 10^{-5} p + 1{,}0939438 \cdot 10^{-5} p^2;$$

$$K_{ca4}(p) = -7{,}2614204 \cdot 10^{-10} + 3{,}0189746 \cdot 10^{-9} p - 3{,}5309712 \cdot 10^{-9} p^2.$$

Для атомарного іона аргону:

$$K_{ba1}(p) = -34998606 + 116{,}48713p - 68{,}184353p^2;$$

$$K_{ba2}(p) = -0{,}27108479 - 0{,}74607721p + 0{,}452606p^2;$$

$$K_{ba3}(p) = -3{,}6527726 \cdot 10^{-4} + 1{,}1018098 \cdot 10^{-3} p - 6{,}8253615 \cdot 10^{-4} p^2;$$

$$K_{ba4}(p) = 1{,}5235244 \cdot 10^{-7} - 4{,}7696871 \cdot 10^{-7} p + 3{,}0014617 \cdot 10^{-7} p^2.$$

$$K_{ca1}(p) = 6{,}4778458 + 11{,}165162p - 16{,}270505p^2;$$

$$K_{ca2}(p) = -0{,}040189844 + 0{,}05032968p + 0{,}02667645p^2;$$

$$K_{ca3}(p) = 6{,}591998 \cdot 10^{-5} - 1{,}2631248 \cdot 10^{-4} p - 8{,}3856375 \cdot 10^{-6} p^2;$$

$$K_{ca4}(p) = -2{,}969926 \cdot 10^{-8} + 6{,}4146299 \cdot 10^{-8} p - 2{,}1767156 \cdot 10^{-9} p^2.$$

Характер зміни кута зіткнення з поверхнею залежно від аналога швидкості для іонів водню значно простіший. Форма кривої, що його описує, та вплив збільшення коефіцієнтів a та b показані на рис. 3.

Наведена крива описується формулою:

$$\bar{\beta}(p,U,v) = a(p,U)\cdot v^{b(p,U)}.$$

Алгоритм розв'язання задачі аналогічний викладеному вище для іонів азоту та аргону з тією різницею, що коефіцієнт b розраховується залежно від коефіцієнта a, а коефіцієнт c відсутній.

Для молекулярних іонів водню:

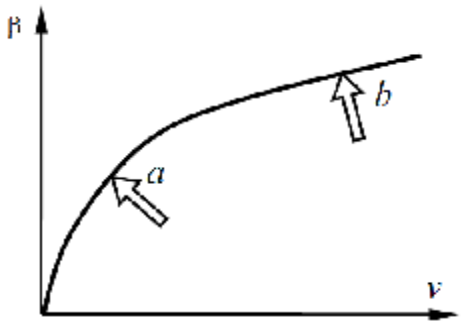


Рис. 3. Форма та характер зміни залежності кута входження іона водню у зіткнення з поверхнею від аналога швидкості

$$K_{a1}(p) = -2{,}1 + 55{,}875p - 29{,}6875p^2;$$

$$K_{a2}(p) = 0{,}059555558 - 0{,}22166667p + 0{,}11736112p^2;$$

$$K_{a3}(p) = -8{,}5000001\cdot 10^{-5} + 2{,}9166667\cdot 10^{-4}p - 1{,}5244448\cdot 10^{-4}p^2;$$

$$K_{a4}(p) = 3{,}6419752\cdot 10^{-8} - 1{,}2037037\cdot 10^{-7}p + 6{,}1728394\cdot 10^{-8}p^2.$$

$$K_{ba1}(p) = -0{,}11052979 - 0{,}15883205p + 0{,}053822988p^2;$$

$$K_{ba2}(p) = -2{,}3835916\cdot 10^{-4} + 6{,}2058061\cdot 10^{-4}p - 1{,}8911998\cdot 10^{-4}p^2;$$

$$K_{ba3}(p) = 2{,}9099801\cdot 10^{-7} - 7{,}6850142\cdot 10^{-7}p + 2{,}0255428\cdot 10^{-7}p^2;$$

$$K_{ba4}(p) = -1{,}2154138\cdot 10^{-10} + 3{,}160025\cdot 10^{-10}p - 6{,}8367523\cdot 10^{-11}p^2.$$

Для атомарних іонів водню:

$$K_{a1}(p) = 9{,}1 - 3{,}25p + 4{,}375p^2;$$

$$K_{a2}(p) = -4{,}1666667\cdot 10^{-3} - 0{,}032083333p - 0{,}029861111p^2;$$

$$K_{a3}(p) = -1{,}111111\cdot 10^{-6} - 3{,}75\cdot 10^{-5}p + 3{,}8194445\cdot 10^{-5}p^2;$$

$$K_{a4}(p) = 1{,}8518517\cdot 10^{-9} + 1{,}3888889\cdot 10^{-8}p - 1{,}5432099\cdot 10^{-8}p^2.$$

$$K_{ba1}(p) = 0{,}0911871715 + 0{,}080475806p - 0{,}085693859p^2;$$

$$K_{ba2}(p) = -1{,}2084277\cdot 10^{-4} - 3{,}813668\cdot 10^{-4}p + 4{,}0748942\cdot 10^{-4}p^2;$$

$$K_{ba3}(p) = 1{,}9953847\cdot 10^{-7} + 4{,}2667718\cdot 10^{-7}p - 5{,}2671946\cdot 10^{-7}p^2;$$

$$K_{ba4}(p) = -9{,}1394652\cdot 10^{-11} - 1{,}6507308\cdot 10^{-10}p + 2{,}2457303\cdot 10^{-10}p^2.$$

Висновки

Отримані аналітичні залежності дозволяють з високою точністю розраховувати кут входження іонів різних типів у зіткнення з поверхнею, що є визначальним для передачі енергії, а відтак для прогнозування ймовірності різних субпроцесів модифікації поверхні азотуванням у тліючому розряді.

Література

1. Пастух І. М. Кінетика прикатодних процесів як фактор формування енергетичного спектра падаючого потоку / І. М. Пастух // Вісник Технологічного університету Поділля. – 2004. – № 1. – С. 53–64.

2. Пастух І. М. Методика обробки даних багатофакторних моделей / І. М. Пастух // Вісник ТУП. – 2002. – № 6. – С. 42–46.

References

1. M. Pastukh, Kinetyka prykatodnyh protsesiv yak faktor formuvannia energetichnogo spektra padayuchego potoku, Visnyk Tekhnolohichnoho universytetu Podillia. 2004. Issue 1. S. 53–64.

2. M. Pastukh, Mertodyka obrobky danykh bagatofaktornykh modeley, Visnyk Tekhnolohichnoho universytetu Podillia, 2002. Issue 6. S. 42–46.

Рецензія/Peer review : 13.7.2015 р. Надрукована/Printed :28.6.2015 р.
Стаття рецензована редакційною колегією

УДК 621.01

В.О. ХАРЖЕВСЬКИЙ
Хмельницький національний університет

РОЗРОБКА ТА ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ КІНЕМАТИЧНОЇ ГЕОМЕТРІЇ ДЛЯ СИНТЕЗУ ВАЖІЛЬНИХ НАПРЯМНИХ МЕХАНІЗМІВ

В статті розглядаються питання розробки та вдосконалення методів кінематичної геометрії, що використовуються для синтезу важільних кругових та прямолінійно-напрямних механізмів. Виведено рівняння кривої, що є геометричним місцем точок, які забезпечують дотик не нижче 5-го порядку зі своїми дотичними колами, як в неявному, так і в параметричному вигляді, що дозволило вперше провести її побудову. Отримані результати можуть бути використані для розв'язання задач синтезу важільних напрямних механізмів.

Ключові слова: важільні механізми, прямолінійно-напрямні механізми, синтез, випадок Чебишева 5-го порядку, кінематична геометрія.

V.O. KHARZHEVSKYI
Khmelnytskyi National University

DEVELOPMENT AND IMPROVEMENT OF THE METHODS OF KINEMATIC GEOMETRY FOR THE SYNTHESIS OF THE LINKAGE PATH GENERATING MECHANISMS

Abstract – The article is dedicated to the development and improvement of the kinematic geometry synthesis methods of the linkage path generating mechanisms on the basis on four-bar linkage which coupler point could trace both symmetric and asymmetric coupler curves. These mechanisms have wide application in machine building due to their advantages in comparison with the other types of mechanisms.

For the synthesis of the linkage path generating mechanisms methods of kinematic geometry can be applied. It is known that for the synthesis of such mechanisms special coupler plane points can be found. The case of six infinitesimally close positions is considered (the 5-th order Chebyshev case). For that case, the equation of the curve which is the locus of points with 5^{th} order of tangency with their tangent circles is obtained both in implicit and parametric forms which makes it possible to plot that curve. The obtained results were verified by constructing the symmetrical linkage for the 5^{th} order Chebyshev case for which analytical solution is known. The results can be useful in further researches in the theory of synthesis of path generating linkage mechanisms.

Keywords: linkages, path generators, synthesis, 5^{th} order Chebyshev case, kinematic geometry.

При проектуванні сучасних машин часто виникає задача забезпечення заданої траєкторії виконавчих органів, зокрема забезпечення прямолінійно-напрямного руху [9, 10]. Для цього можуть використовуватись різні типи механізмів, зокрема кулачкові, але, як відомо [4, 17], важільні механізми мають ряд переваг, оскільки забезпечують більшу надійність, довговічність, навантажувальну здатність. Однак синтез таких механізмів представляє собою складну задачу, для розв'язання якої використовуються наступні методі: 1) алгебраїчні методи наближення функцій за Чебишевим, що полягають у пошуку найкращого наближення функцій: знаходження таких параметрів механізмів, які забезпечують мінімальне рівномірне відхилення з максимальною кількістю вузлів інтерполяції. Фундаментальні роботи в цьому напрямку належать, зокрема, Саркісяну [12], Кіницькому [4], Гассманну [9]; 2) методи кінематичної геометрії, що засновані представниками німецької школи синтезу механізмів: Бурместером [8], Мюллером [11], Ліхтенхельдтом [6], Бейером [2]. В цьому напрямку слід відмітити також дослідження Геронімуса [3], Черкудінова [1], Відосіча, Тесара [13], а також дослідження китайських вчених Іна, Хана [14–16] та Уанга [17].

Метою роботи є розробка та вдосконалення методів кінематичної геометрії, які б дозволили розробити нові аналітичні та аналітично-числові методи синтезу важільних механізмів, шатунні криві яких мали б ділянки наближено постійної кривизни. Для розв'язання поставленої задачі, в даній роботі будемо розглядати шість нескінченно близьких положень плоскої фігури (шатунної площини механізму).

На рис. 1 зображено шарнірний чотириланковий механізм, що характеризується довжиною кривошипа $r = l_{OA}$, шатуна $b = l_{AB}$, коромисла $c = l_{BC}$, а також положенням шатунної точки, що характеризується довжиною другого плеча шатуна $k = l_{BD}$ та кутом його злому Ω. Відстань між осями нерухомих шарнірів прийнята сталою та рівною одиниці $(d = 1)$, оскільки інші значення можна отримати масштабуванням всіх інших параметрів схеми. Розглянемо загальний випадок визначення точок шатунної площини цього механізму, що забезпечують дотик 5-го порядку зі своїм колом кривизни (шестикратний вузол інтерполяції).

Як відомо, при дослідженні механізмів рух точки у нерухомій системі координат xOy зручно представляти у параметричній формі:

$$x = x(\varphi_1); y = y(\varphi_1), \quad (1)$$

де φ_1 – параметр (узагальнена координата), що в даному випадку є кутом повороту кривошипа, який змінюється в межах від 0 до 2π. Оскільки нас цікавить форма шатунної кривої, яку описує точка D механізму, необхідно спочатку визначити координат цієї точки, що не представляє ускладнень та розглянуто, зокрема, у [5]. Точка D механізму описує деяку шатунну криву, яка в кожній точці має певну

кривизну, що, звичайно, змінюється зі зміною точкою D свого положення. В кожний момент часу, можна знайти іншу точку M, що є миттєвим центром кривизни шатунної кривої (рис. 1). Коло, проведене з цього центру до шатунної точки називається колом кривизни. Запишемо рівняння кола радіусом R з центром в точці M:

$$\left(x-x_M\right)^2+\left(y-y_M\right)^2=R^2. \tag{2}$$

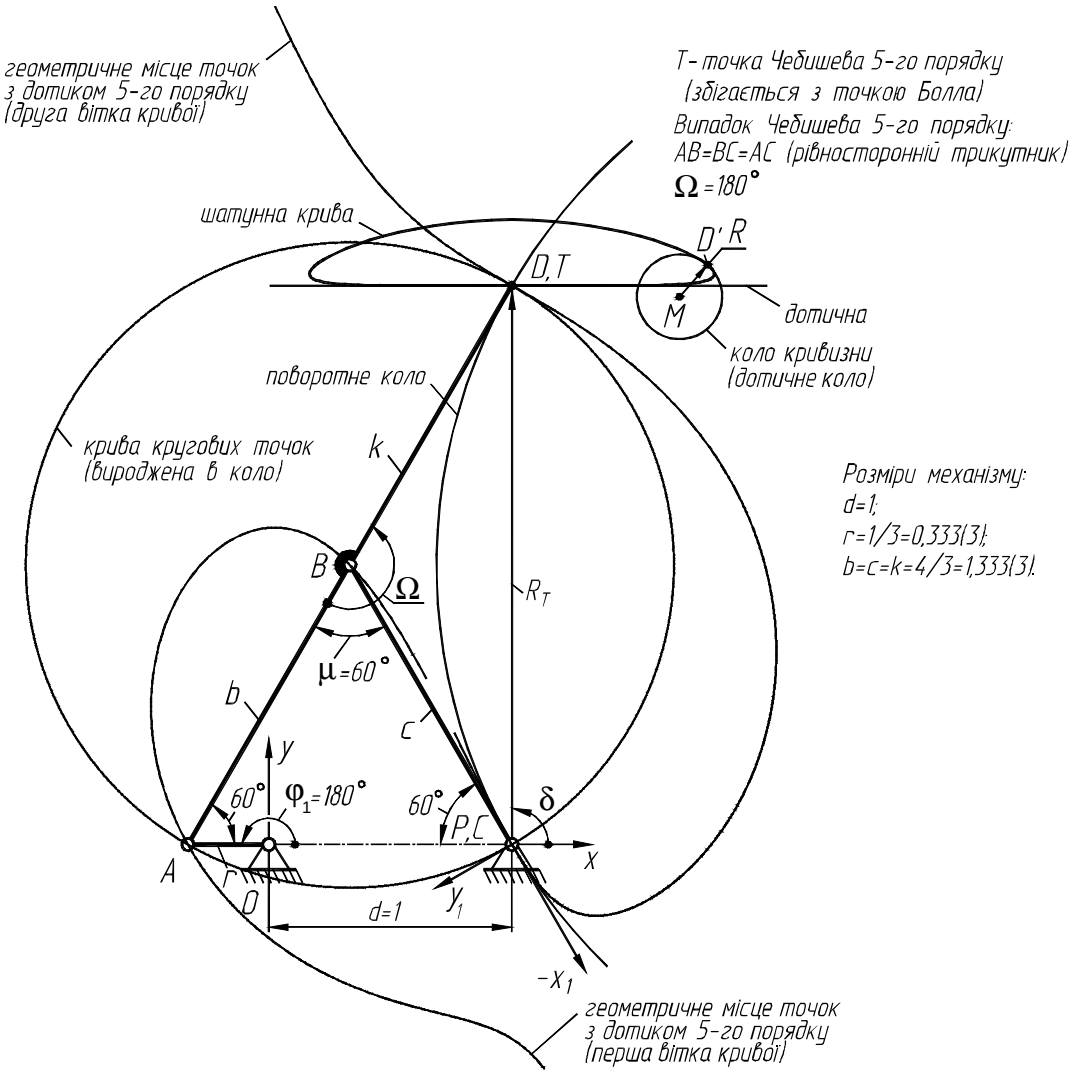


Рис. 1. Прямолінійно-напрямний шарнірний чотириланковий механізм, випадок Чебишева 5-го порядку (шатунна крива є симетричною)

Умова дотику цього кола до кривої (1) буде наступною:

$$x'_D\left(x_D-x_M\right)+y'_D\left(y_D-y_M\right)=0, \tag{3}$$

де $x'_D=\dfrac{dx_D}{d\varphi_1}; y'_D=\dfrac{dy_D}{d\varphi_1}$ – похідні від координат шатунної точки D механізму (аналог швидкостей точки D).

Для того, щоби довільне коло, що описується рівнянням (2) було колом кривизни кривої (1), повинна виконуватись ще наступна умова [1]:

$$x''_D\left(x_D-x_M\right)+y''_D\left(y_D-y_M\right)+x'^2_D+y'^2_D=0, \tag{4}$$

де $x''_D=\dfrac{d^2x_D}{d\varphi_1^2}; y''_D=\dfrac{d^2y_D}{d\varphi_1^2}$ – другі похідні від переміщення точки D механізму (аналог прискорення точки D).

З рівнянь (3) та (4) можна визначити співвідношення, що пов'язують координати шатунної точки D механізму та координати відповідного їй центра кривизни траєкторії M [1]:

$$x_D - x_M = \frac{y'_D\left(x'^2_D + y'^2_D\right)}{x'_D y''_D - x''_D y'_D};\ y_D - y_M = \frac{-x'_D\left(x'^2_D + y'^2_D\right)}{x'_D y''_D - x''_D y'_D}; \tag{5}$$

Диференціюючи тричі рівняння (5), отримаємо [1]:

$$x^V_D\left(x_D - x_M\right) + y^V_D\left(x_D - x_M\right) + 5\left(x'_D x^{IV}_D + y'_D y^{IV}_D\right) + 10\left(x''_D x'''_D + y''_D y'''_D\right) = 0, \tag{6}$$

де $x'''_D, y'''_D, x^{IV}_D, y^{IV}_D, x^V_D, y^V_D$ – похідні високих порядків від переміщення шатунної точки D механізму по узагальненій координаті φ_1. Аналітичні вирази для визначення перших чотирьох похідних для випадку шарнірного чотириланкового механізму наведено автором в роботі [7], розрахунок можна провести також чисельно, наприклад з використанням Mathcad [5]. Якщо підставити у рівняння (6) вирази (5), отримаємо рівняння геометричного місця точок, які мають дотик 5-го порядку зі своїми дотичними колами [1]:

$$\left(x'^2 + y'^2\right)\left(x^V y' - x' y^V\right) + \left[5\left(x' x^{IV} + y' y^{IV}\right) + 10\left(x'' x''' + y'' y'''\right)\right]\left(x' y'' - x'' y'\right) = 0, \tag{7}$$

де $x = x_D(t), y = y_D(t)$ – координати шатунної кривої, заданої параметрично. Причому слід відзначити, що рівняння (7) визначає геометричне місце точок з дотиком 5-го порядку, але цю властивість мають тільки ті точки, що, крім цього, мають відповідно рівність похідних зі своїм колом кривизни в цій точці до 4-го порядку включно. Таким чином, рівняння (7) є необхідною, але не достатньою умовою дотику 5-го порядку траєкторії деякої шатунної точки зі своїм кругом кривизни.

Як видно, рівняння (7) пов'язує в неявному вигляді похідні високих порядків від координат точок кривої, що задана в параметричному вигляді та, очевидно, не може бути використане для безпосереднього аналітичного розв'язання задач синтезу механізмів. Проте це рівняння може бути використано, зокрема, для перевірки: якщо шатунна точка D разом зі своїми похідними по узагальненій координаті φ_1 до 5-го порядку включно, задовольняють рівнянню (7), тобто належать відповідному геометричному місцю точок, то ця точка при виконанні додаткових вимог, зазначених вище, може забезпечити дотик 5-го порядку своєї рулетти (шатунної кривої, яку вона викреслює) з колом кривизни. Зокрема, як відомо, цій умові задовольняють точки Чебишева 5-го порядку, точки Бурместера 5-го порядку, а також рухомі шарніри шарнірного чотириланкового механізму [3]. Рівняння (7) будемо використовувати для подальшого виводу формул.

Розглянемо рух шатунної площини механізму та пов'язаної з нею рухомої системи координат $x_1 P y_1$ у нерухомій системі координат xOy, що пов'язана з механізмом (рис. 1). Позначимо x_0, y_0 – координати рухомого початку координат:

$$x_0 = x_0(\varphi), y_0 = y_0(\varphi), \tag{8}$$

де φ – задана функція часу. Нехай початок рухомої системи координат збігається в даний момент з полюсом P миттєвого обертання шатунної площини, тоді $x'_0 = 0, y'_0 = 0$. Вирази для обчислення похідних високих порядків, що входять у (7), можна представити у наступній формі [1]:

$$\begin{gathered} x' = -\omega y;\ x'' = x''_0 - \varepsilon y - \omega^2 x; \\ y' = \omega x; y'' = y''_0 + \varepsilon x - \omega^2 y. \end{gathered} \tag{9}$$

$$\begin{gathered} x''' = x'''_0 - \left(\eta - \omega^3\right) y - 3\omega\varepsilon x,\ x^{IV} = x^{IV}_0 - \left(\eta' - 6\omega^2\varepsilon\right) y + \left(\omega^4 - 4\omega\eta - 3\varepsilon^2\right) x; \\ y''' = y''' + \left(\eta - \omega^3\right) x - 3\omega\varepsilon y,\ y^{IV} = y^{IV}_0 + \left(\eta' - 6\omega^2\varepsilon\right) x + \left(\omega^4 - 4\omega\eta - 3\varepsilon^2\right) y. \end{gathered} \tag{10}$$

$$\begin{gathered} x^V = x^V_0 - \left(\eta'' - 15\omega\varepsilon^2 - 10\omega^2\eta + \omega^5\right) y - \left(5\omega\eta' - 10\omega^3\varepsilon + 10\varepsilon\eta\right) x; \\ y^V = y^V_0 - \left(\eta'' - 15\omega\varepsilon^2 - 10\omega^2\eta + \omega^5\right) x - \left(5\omega\eta' - 10\omega^3\varepsilon + 10\varepsilon\eta\right) y, \end{gathered} \tag{11}$$

де $\omega = d\varphi/dt$ – кутова швидкість плоскої фігури (в даному випадку – шатунної площини шарнірного чотириланкового механізму), рух якої ми розглядаємо в системі координат xOy. Для зручності запису, похідні за часом від координат позначаємо штрихами, а похідні від кутової швидкості – точками (ε, η, η' та η'').

Таким чином, щоби траєкторія деякої точки мала дотик 5-го порядку зі своїм колом кривизни, необхідною умовою є те, щоби ця точка лежала на кривій, рівняння якої ми отримаємо з рівняння (7) при підстановці в нього значень $x', x'', x''', x^{IV}, x^V$ та $y', y'', y''', y^{IV}, y^V$ з рівнянь (9)–(11). Далі розглянемо виведення рівняння цієї кривої. Для цього спочатку визначимо значення виразів, що входять у (7):

$$\left(x'^2 + y'^2\right) = \omega^2\left(x^2 + y^2\right); \tag{12}$$

$$\left(x^V y' - x' y^V\right) = \omega\left(x_0^V x + y_0^V y\right) - 5\omega\left(x^2 + y^2\right)\left(\omega\ddot{\omega} - 2\omega^3\dot{\omega} + 2\dot{\omega}\ddot{\omega}\right); \tag{13}$$

$$\left(x' x^{IV} + y' y^{IV}\right) = \omega\left(x_0^{IV} x + y_0^{IV} y\right) + \omega\left(x^2 + y^2\right)\left(\ddot{\omega} - 6\omega^2\dot{\omega}\right); \tag{14}$$

$$\begin{aligned}\left(x'' x''' + y'' y'''\right) = 3\omega^3\dot{\omega}^2\left(x^2 + y^2\right)\left(\ddot{\omega} - \omega^3\right) + \left[\left(\ddot{\omega} - \omega^3\right) y_0'' - 3\omega\dot{\omega} x_0'' + \dot{\omega} y_0''' - \omega^2 x_0'''\right] x - \\ - \left[\left(\ddot{\omega} - \omega^3\right) x_0'' + 3\omega\dot{\omega} y_0'' + \dot{\omega} x_0'' + \omega^2 y_0''\right] y + x_0'' x_0''' + y_0'' y_0'''; \end{aligned} \tag{15}$$

$$\left(x' y'' - x'' y'\right) = \omega^3\left(x^2 + y^2\right) - \omega\left(x_0'' x + y_0''\right). \tag{16}$$

Далі підставимо значення виразів (12)–(16) у рівняння (7). Не наводячи подальші проміжні перетворення та спрощення, запишемо рівняння кривої, що представляє собою геометричне місце точок, які забезпечують дотик 5-го порядку зі своїм кругом кривизни:

$$\begin{aligned}&\omega^3\left(x^2 + y^2\right)\left[x_0^V x + y_0^V y - 5\left(\omega\ddot{\omega} + 2\dot{\omega}\ddot{\omega} - 2\dot{\omega}\omega^3\right)\left(x^2 + y^2\right)\right] + \\ &+ \left[5\omega\left[\left(\ddot{\omega} - 6\omega^2\dot{\omega}\right)\left(x^2 + y^2\right) + \left(y_0^{IV} x - x_0^{IV} y\right)\right] + 10\left[n_3\left(x^2 + y^2\right) + n_1 x - n_2 y + n_4\right]\right] \times \\ &\times\left[\omega^3\left(x^2 + y^2\right) - \omega\left(x_0'' x + y_0'' y\right)\right] = 0,\end{aligned} \tag{17}$$

де коефіцієнти n_1, n_2, n_3 та n_4, що входять у (17) визначаються наступним чином:

$$\begin{aligned}&n_1 = \left(\ddot{\omega} - \omega^3\right) y_0'' - 3\omega\dot{\omega} x_0'' + \dot{\omega} y_0''' - \omega^2 x_0'''; \; n_3 = 3\omega^3\dot{\omega}^2\left(\ddot{\omega} - \omega^3\right); \\ &n_2 = \left(\ddot{\omega} - \omega^3\right) x_0'' + 3\omega\dot{\omega} y_0'' + \dot{\omega} x_0''' + \omega^2 y_0'''; \; n_4 = x_0'' x_0''' + y_0'' y_0'''.\end{aligned} \tag{18}$$

Для проведення подальших досліджень, доцільно провести деякі спрощення базових формул. Відповідно до рекомендацій [1], система координат $x_1 P y_1$ вибрана таким чином, що прискорення полюса миттєвого обертання шатунної площини буде змінюватись лише по осі y, тому $x_0'' = 0$, оскільки прискорення точки, що збігається з полюсом P, направлено по нормалі до полюсної дотичної, тобто по осі y_1. Крім того, відповідно до рекомендацій [1], в подальших дослідженнях доцільно приймати кутову швидкість ω шатунної площини сталою та рівною одиниці $(\omega = 1)$. Враховуючи вищезазначене, рівняння (17) можна записати наступним чином:

$$\left(x^2 + y^2\right)\left(x_0^V x + y_0^V y\right) + 5\left[\left(y_0^{IV} - 2x_0''' - 2y_0''\right) x - \left(x_0^{IV} + 2y_0'''\right) y + 2y_0'' y_0'''\right]\left(x^2 + y^2 - y_0'' y\right) = 0. \tag{19}$$

Таким чином, рівняння (19) може бути використано при проведенні синтезу кругових та прямолінійно-важільних напрямних механізмів методами кінематичної геометрії, відповідно до умови наявності дотику 5-го порядку шатунної кривої з колом кривизни (круговий напрямний механізм) або з дотичною прямою (прямолінійно-напрямний механізм).

Не дивлячись на те, що рівняння (19) може бути використане для проведення розрахунків, його не можна використати для графічної побудови даної кривої, оскільки воно записане в неявному вигляді. Для цього необхідно вивести її параметричне рівняння, що буде розглянуто нижче.

Використовуючи точку P (полюс миттєвого обертання шатунної площини) в якості початку системи координат, проведемо радіус-вектор R_T під кутом δ, який буде змінюватись в межах від 0 до 2π. Тоді будь-яка точка кривої геометричного місця точок, що забезпечують дотик 5-го порядку зі своїми дотичними колами, буде визначатись двома параметрами – радіус-вектором R_T та кутом δ (рис. 1), причому справедливою є наступна залежність:

$$y = x \operatorname{tg}\delta. \tag{20}$$

Для спрощення подальших розрахунків, введемо наступні позначення:

$$u_1 = y_0^{IV} - 2x_0''' - 2y_0''; \; u_2 = x_0^{IV} + 2y'''; \; u_3 = 2y_0'' y_0'''. \tag{21}$$

Якщо підставити рівняння (20) у (19), тоді рівняння (19), з врахуванням введених позначень (21) запишеться наступним чином:

$$x^3\left(1 + \operatorname{tg}^2\delta\right)\left(x_0^V + y_0^V \operatorname{tg}\delta\right) + 5\left(u_1 x - u_2 x \operatorname{tg}\delta + u_3\right)\left(x^2 + x^2 \operatorname{tg}^2\delta - y_0'' x \operatorname{tg}\delta\right) = 0. \tag{22}$$

Розкриємо дужки у (22) та згрупуємо коефіцієнти при x^3, x^2 та x. Упускаючи проміжні перетворення та проведені спрощення, рівняння (19) буде представлено в такому вигляді:

$$\frac{x^3}{\cos^2\delta}\left[\left(y_0^V-5u_2\right)\operatorname{tg}\delta+x_0^V+5u_1\right]+5x^2\left[\operatorname{tg}^2\delta\left(u_2y_0''+u_3\right)-u_1y_0''\operatorname{tg}\delta+u_3\right]-5xy_0''u_3\operatorname{tg}\delta=0. \quad (23)$$

Як видно, рівняння (23) представляє собою поліном 3-го степеня, у якого відсутній вільний член. Тоді очевидно, що одним з його коренів є $x=0$. Геометричний зміст цього кореня полягає у тому, що крива геометричного місця точок, що мають дотик 5-го порядку зі своїми дотичними колами, має проходити через полюс миттєвого обертання P шатунної площини механізму, оскільки він і є початком рухомої системи координат x_1Py_1. В цьому можна переконатись, підставивши значення координат цієї точки $(0;0)$ у рівняння цієї кривої, записане в неявному вигляді (17).

Скоротивши рівняння (23) на x, воно перетвориться на квадратне, розв'язки якого запишуться так:

$$x_{1,2}=\pm\frac{\sqrt{k_2^2+4k_1k_3}-k_2}{2k_1}, \quad (24)$$

де коефіцієнти k_1,k_2,k_3:

$$k_1=\frac{1}{\cos^2\delta}\left[\left(y_0^V-5u_2\right)\operatorname{tg}\delta+x_0^V+5u_1\right];\ k_2=5x^2\left[\operatorname{tg}^2\delta\left(u_2y_0''+u_3\right)-u_1y_0''\operatorname{tg}\delta+u_3\right];\ k_3=5xy_0''u_3. \quad (25)$$

Таким чином, рівняння (20), (24) та (25) визначають координати x та y кривої (19), яка представляє собою геометричне місце точок, що забезпечують дотик 5-го порядку зі своїми дотичними колами, залежно від параметра δ. Використовуючи параметричне представлення кривої (19) та змінюючи значення параметра δ від 0 до 2π, можна провести її графічну побудову. Проаналізувавши вирази (24), очевидно, що ця крива складається з двох віток, оскільки рівняння (23), крім кореня $x=0$, має 2 розв'язки.

Для перевірки правильності виведених формул та рівнянь, розглянемо відомий частковий випадок розв'язку задачі синтезу важільного прямолінійно-напрямного механізму з дотиком 5-го порядку, а саме – механізму з симетричною формою шатунної кривої [1], що характеризується певним співвідношенням між розмірами ланок (рис. 1). Теоретично, точка Чебишева 5-го порядку для цього механізму повинна визначитись як точка перетину кривої (19) з поворотним колом, що представляє собою геометричне місце точок перегинів (або розпрямлення) своїх рулетт, рівняння якого має наступним вигляд [1]:

$$\omega^2\left(x^2+y^2\right)-\left(x_0''x+y_0''y\right)=0; \quad (26)$$

Приклад побудови обох віток кривої (19) для такого механізму з використанням виведених в роботі рівнянь показано на рис. 1. Як і слід було очікувати, визначена крива геометричного місця точок з дотиком 5-го порядку проходить через точку T (положення якої визначалась аналітично відомими методами [1]), а також збігається в даному випадку з точкою Болла, яка визначається як перетин поворотного кола з кривою кругових точок, що є геометричним місцем точок, що забезпечують дотик не нижче 3-го порядку зі своїми дотичними колами. Тобто проведена перевірка підтверджує правильність розроблених в роботі теоретичних положень.

Таким чином, в роботі проведено розробку та вдосконалення методів кінематичної геометрії щодо визначення геометричного місця точок шатунної площини шарнірного чотириланкового механізму, які забезпечують дотик 5-го порядку зі своїми дотичними колами, причому як в неявному, так і в параметричному вигляді, що дозволило вперше провести побудову цієї кривої. Отримані результати підтверджуються відомим частковим розв'язком задачі синтезу симетричного прямолінійно-напрямного механізму для випадку Чебишева 5-го порядку та можуть бути використані для розв'язання інших задач синтезу в загальному вигляді як для прямолінійно-напрямних, так і для кругових напрямних механізмів, що планується продовжити в подальших дослідженнях.

Література

1. Артоболевский И. И. Синтез плоских механизмов / И. И. Артоболевский, Н. И Левитский, С. А. Черкудинов. – М. : Физматгиз, 1959. – 1084 с.

2. Бейер Р. Кинематический синтез механизмов. Основы теории метрического синтеза механизмов / Р. Бейер. – М. : Машгиз, 1959. – 318 с.

3. Геронимус Я. Л. Геометрический аппарат теории синтеза плоских механизмов / Я. Л. Геронимус. – М. : Гос. издательство физ.-мат. литературы, 1962. – 400 с.

4. Киницкий Я.Т. Шарнирные механизмы Чебышева с выстоем выходного звена / Я. Т. Киницкий. – К. : Вища школа, 1990. – 232 с.

5. Кіницький Я.Т. Теорія механізмів і машин в системі Mathcad : навч. посібник / Я.Т. Кіницький, В.О. Харжевський, М.В. Марченко. – Хмельницький : ХНУ, 2014. – 295 с.

6. Лихтенхельдт В. Синтез механизмов / В. Лихтенхельдт. – М. : Наука, 1964. – 228 с.

7. Харжевський В.О. Методика визначення особливих точок Чебишева для синтезу важільних прямолінійно-напрямних механізмів / В.О. Харжевський // Вісник Хмельницького національного

університету. – 2015. – № 3. – С. 34–41.

8. L. Burmester, Lehrbuch der Kinematik, Leipzig, 1888. 297 p.

9. V. Gassmann, Synthese von Geradführungen mit ebenen Viergelenkgetrieben, Hamburg, Universität der Bundeswehr Diss., 2000. 102 p.

10. J. McCarthy, G. Soh, Geometric Design of Linkages, 2nd edition, Springer-Verlag, New York, 2011, 448 p.

11. R. Müller, Beitäge zur Theorie des ebenen starren Gelenkvierecks, Festschrift Herzogl. Techn. Hochschule Carola Wilhelmina Braunshweig, 1897, S. 41–84.

12. Y.L. Sarkissyan, Approximations in Synthesis of Mechanisms, State Engineering University of Armenia Proceedings, series “Mechanics, Machine Science, Machine-building”, Issue 15, №2, 2012, pp. 9–21.

13. J. Vidosic, D. Tesar, Selection of four-bar mechanisms having required approximate straight-line outputs. Part I. The general case of the Ball-Burmester point, Journal of mechanisms, 2(1), 1967, pp. 23–44.

14. L. Yin, J. Han, Synthesis research of straight-line mechanisms by analyzing solution regions, Journal of University of Science and Technology, Beijing, 33(2), 2011, pp. 237–243.

15. L. Yin, J. Han, C. Mao, J. Huang, T. Yang, Synthesis method based on solution regions for planar four-bar straight-line linkages, Journal of Mechanical Science and Technology 26 (10), 2012, pp. 3159–3167.

16. L. Yin, J. Han, J. Huang, T. Yang, "A General Method for Synthesizing Straight-Line Linkage with Ball and Burmester Points", Applied Mechanics and Materials, Vols 215-216, 2012, pp. 138–141.

17. D. Wang, W. Wang, Kinematic Differential Geometry and Saddle Synthesis of Linkages, John Wiley & Sons Singapore Pte. Ltd., 2015. 450 p.

References

1. I. Artobolevskij, N. I Levitskij, S. A. Cherkudinov, Sintez ploskih mehanizmov, M.: Fizmatgiz, 1959. 1084 s.

2. R. Bejer, Kinematicheskij sintez mekhanizmov. Osnovy teorii metricheskogo sinteza mekhanizmov, M.: Mashgiz, 1959. 318 s.

3. Ja. L. Geronimus, Geometricheskij apparat teorii sinteza ploskih mehanizmov, M.: Gos. izdatel'stvo fiz.-mat. literatury, 1962. 400 s.

4. Ja.T. Kinickij, Sharnirnye mehanizmy Chebysheva s vystoem vyhodnogo zvena, K.: Vishha shkola, 1990. 232 s.

5. Ya.T. Kinytskyi, V.O. Kharzhevskyi, M.V. Marchenko, Teoriya mekhanizmiv i mashyn v systemi Mathcad: navch. posibnyk, Khmelnytskyi: KhNU, 2014. 295 s.

6. V. Likhtenkhel'dt, Sintez mekhanizmov, M.: Nauka, 1964. 228 s.

7. V.O. Kharzhevskyi, Metodyka vyznachennya osoblyvykh tochok Chebysheva dlya syntezu vazhilnykh pryamoliniyno-napryamnykh mekhanizmiv, Herald of Khmelnytsky National University, Technical sciences. 2015. Volume 224. Issue 3. pp. 34–41.

8. L. Burmester, Lehrbuch der Kinematik, Leipzig, 1888. 297 p.

9. V. Gassmann, Synthese von Geradführungen mit ebenen Viergelenkgetrieben, Hamburg, Universität der Bundeswehr Diss., 2000. 102 p.

10. J. McCarthy, G. Soh, Geometric Design of Linkages, 2nd edition, Springer-Verlag, New York, 2011, 448 p.

11. R. Müller, Beitäge zur Theorie des ebenen starren Gelenkvierecks, Festschrift Herzogl. Techn. Hochschule Carola Wilhelmina Braunshweig, 1897, S. 41–84.

12. Y.L. Sarkissyan, Approximations in Synthesis of Mechanisms, State Engineering University of Armenia Proceedings, series “Mechanics, Machine Science, Machine-building”, Issue 15, №2, 2012, pp. 9–21.

13. J. Vidosic, D. Tesar, Selection of four-bar mechanisms having required approximate straight-line outputs. Part I. The general case of the Ball-Burmester point, Journal of mechanisms, 2(1), 1967, pp. 23–44.

14. L. Yin, J. Han, Synthesis research of straight-line mechanisms by analyzing solution regions, Journal of University of Science and Technology, Beijing, 33(2), 2011, pp. 237–243.

15. L. Yin, J. Han, C. Mao, J. Huang, T. Yang, Synthesis method based on solution regions for planar four-bar straight-line linkages, Journal of Mechanical Science and Technology 26 (10), 2012, pp. 3159–3167.

16. L. Yin, J. Han, J. Huang, T. Yang, "A General Method for Synthesizing Straight-Line Linkage with Ball and Burmester Points", Applied Mechanics and Materials, Vols 215-216, 2012, pp. 138–141.

17. D. Wang, W. Wang, Kinematic Differential Geometry and Saddle Synthesis of Linkages, John Wiley & Sons Singapore Pte. Ltd., 2015. 450 p.

Рецензія/Peer review : 2.7.2015 р. Надрукована/Printed :28.6.2015 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Кіницький Я.Т.

УДК 624.13

В.В. КОВТУН, О.А. ДОРОФЄЄВ
Хмельницький національний університет

ГРАНИЧНИЙ НАПРУЖЕНИЙ СТАН ДИСКРЕТНОГО СЕРЕДОВИЩА, ЩО ПРАЦЮЄ В УМОВАХ ПЛОСКОЇ ДЕФОРМАЦІЇ

Розглянуто визначальні співвідношення для описання граничного напруженого стану в точці дискретного середовища, що працює в умовах плоскої деформації.

Ключові слова: дискретне середовище; внутрішнє кулонівське тертя; дилатансія.

V.V. KOVTUN, O.A. DOROFEYEV
Khmelnytskiy National University

BOUNDARY CONDITION OF THE DISCRETE MEDIUM, OPERATING UNDER PLANE STRAIN

Formulas to describe boundary condition at a point of the discrete medium that operates under plane strain are considered in the article. The formulas of plasticity theory can not be used to describe the limited state of the discrete medium through fundamental differences in laws of plastic deformation and digital materials. Most significantly the limited state of discrete medium for the conditions of flat deformation is described by the criterion of Mohr - Coulomb. It reflects the impact of internal Coulomb friction on the deformation process of discrete medium in the marginal stage. The obtained formulas are significantly different from those dependences of the classical theory of plasticity and can be used to create the rheological model of discrete medium.

Keywords: discrete environment, internal Coulomb friction; dilatation.

Вступ

В інженерній механіці найчастіше розглядають задачі, коли дискретне або сипке середовище працює в умовах плоско-деформованого напруженого стану – в умовах плоскої деформації. В таких умовах знаходиться дискретне середовище, що контактує з протяжними інженерними об'єктами: підпірними стінами, стрічковими фундаментами, дамбами, тунелями, трубопроводами та ін.

Важливим класом задач інженерної механіки в цьому випадку є задачі щодо знаходження граничних навантажень на розрахункову область дискретного середовища. Розв'язання цих задач потребує оцінки граничного напруженого стану в кожній точці середовища за відповідним критерієм.

Постановка задачі досліджень

Метою описаних у статті досліджень є одержання співвідношень, необхідних для описання граничного напруженого стану в точці дискретного середовища, що працює в умовах плоскої деформації.

Плоска деформація характеризується тим, що уздовж протяжної осі z залишаються незмінними обриси розрахункової області, характер розподілення зовнішнього навантаження, силові та кінематичні умови на контурі області. В цьому випадку поздовжні переміщення u_z, а також деформації $e_z = du_z/dt$ дорівнюють нулю, що суттєво спрощує описання напружено-деформованого стану.

Продемонструємо це на прикладі плоскої задачі теорії пластичності, апарат якої вважається найбільш раціональним щодо використання в механіці дискретних матеріалів.

Передусім, легко впевнитись, що напруження s_z для умов плоскої деформації не залежать від поздовжньої координати z. З узагальненого закону Гука за умови $e_z = 0$

$$e_z = \frac{1}{E}\left[s_z - n\left(s_x + s_y\right)\right] = 0, \qquad s_z = n\left(s_x + s_y\right). \tag{1}$$

Якщо деформування пластичного тіла відбувається без зміни об'єму (коефіцієнт Пуасона $n = 0{,}5$), то

$$s_z = 0{,}5\left(s_x + s_y\right). \tag{2}$$

Отже, граничний напружений стан середовища можна представити тільки через напруження в площині деформування x, y і використовувати відомі співвідношення плоскої задачі напруженого стану з урахуванням умов переходу середовища в пластичний або граничний стан.

Перехід плоскої області у граничний стан в теорії пластичності найчастіше оцінюють критерієм Сен-Венана, який можна записати через головні напруження $s_{\max}$, $s_{\min}$ в площині деформування x, y

$$t_{\max} = \frac{s_{\max} - s_{\min}}{2} = t_т, \tag{3}$$

або через напруження s_x, s_y, $t_{xy} = -t_{yx}$ по довільним, але ортогональним, площинкам з нормалями x, y –

$$t_{\max} = \left[\frac{\left(s_x - s_y\right)^2}{2} + t_{xy}^2\right]^{1/2} = 0{,}5\sqrt{\left(s_x - s_y\right)^2 + 4t_{xy}^2} = t_т, \tag{4}$$

де $t_т$ – границя текучості при чистому зсуві.

Як видно з наведених виразів (3), (4), перехід пластичного матеріалу у граничний стан визначається тільки величиною максимальних напружень t_{max} і не залежить від нормальних напружень $s = s_0 = 0{,}5(s_{max} + s_{min})$ на площинках, де діють граничні дотичні напруження $t_{max} = t_т$. Отже, існує безліч граничних напружених станів, які відрізняються тільки величиною s_0, і графічно можуть бути представлені сімейством граничних кругів Мора, що мають спільні обвідні, паралельні осі s, які обмежують зону пластичного деформування (рис. 1).

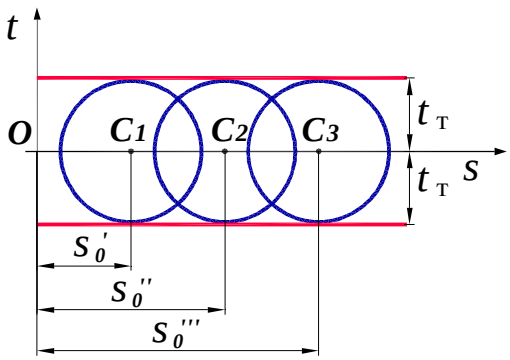


Рис. 1. Сімейство граничних кругів Мора

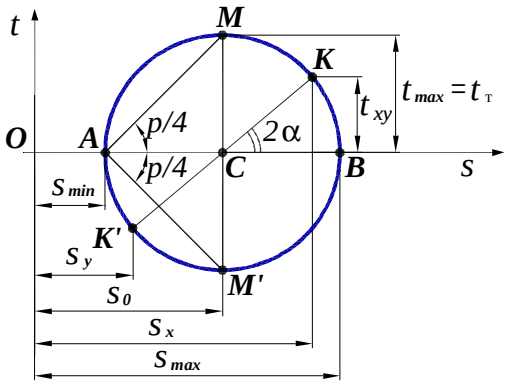


Рис. 2. Граничний круг Мора за умовою Сен-Венана

Кожний з граничних кругів повністю описує напружений стан в одній точці пластичної області через інваріанти s_0 і $t_{max} = t_т$.

На рисунку 2 зображений один з граничних кругів Мора. Абсциса центра C круга дорівнює середньому нормальному напруженню $s_0 = 0{,}5(s_x + s_y)$, радіус круга – максимальному дотичному напруженню $t_{max} = t_т$. Координати точок K і K' відповідають напруженням, що виникають по площинкам, нахиленим до головних на кут a. Точки A і B відповідають головним площинкам з напруженнями s_{min}, s_{max}, а точки M і M' з координатами $s_0 = 0{,}5(s_x + s_y)$, $t = t_{max} = 0{,}5(s_{max} - s_{min}) = t_т$ – площинкам, на яких виконується умова Сен-Венана. Ці площинки нахилені до головних під кутом 45^0 і в моделі жорстко-пластичного тіла асоціюються з площинками ковзання. Сукупність площинок ковзання утворює сітку ортогональних ліній ковзання (сітку характеристик в полі напружень). В кожній точці цих ліній виникають нормальні s_0 і дотичні $t_т$ напруження. Отже, сітка ліній ковзання дозволяє описати граничний стан плоскої області.

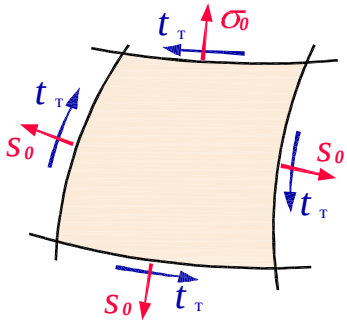


Рис. 3.
Граничний стан елемента плоскої області

Розглянемо елемент плоскої області, обмежений суміжними лініями ковзання (рис. 3). На його гранях діють напруження $s_0 = 0{,}5(s_{max} + s_{min})$ і $t_{max} = 0{,}5(s_{max} - s_{min}) = t_т$, які є інваріантами плоского напруженого стану. Цей граничний напружений стан можна уявити як суму двох простих: всебічного рівномірного розтягу напруженнями s_0 та чистого зсуву напруженнями $t_т$. За принципом суперпозиції одержуємо вирази для головних напружень

$$s_{max} = s_0 + t_т;\ s_{min} = s_0 - t_т, \tag{5}$$

а також для напружень по довільним ортогональним площинкам, нахиленим до головних під кутом a

$$\left.\begin{aligned} s_x &= s_0 + t_т \cos 2a; \\ s_y &= s_0 - t_т \cos 2a; \\ t_{xy} &= -t_{yx} = t_т \sin 2a. \end{aligned}\right\} \tag{6}$$

Якщо орієнтацію площинок з нормалями *x, y* визначати відносно площинок ковзання, у виразах (6) достатньо замінити кут a на $b = a + 45^0$. Співвідношення (6) набувають вигляду

$$\left.\begin{aligned} s_x &= s_0 + t_т \sin 2b; \\ s_y &= s_0 - t_т \sin 2b; \\ t_{xy} &= -t_{yx} = -t_т \cos 2b. \end{aligned}\right\} \tag{7}$$

Залежності (7) дозволяють одержати систему диференціальних рівнянь, що описують характеристики поля граничних напружень (лінії ковзання) як функцій s_0, b.

Наведені співвідношення теорії пластичності не можуть бути безпосередньо використані для описання граничного стану дискретного середовища через принципові відмінності законів деформування пластичних і дискретних матеріалів [1]. Опір деформуванню дискретних матеріалів утворюють сили сухого тертя, які можуть виникати тільки в зоні стискуючих напружень. Тому критерій переходу у граничний стан дискретних матеріалів, на відміну від пластичних, повинен в першу чергу відображати вплив внутрішнього кулонівського тертя. Серед таких критеріїв, як показали спеціальні дослідження [2], найбільш достовірно граничний стан дискретного середовища для умов плоскої деформації описується критерієм Мора – Кулона.

За цим критерієм настання граничного стану дискретного середовища оцінюється не величиною максимальних дотичних напружень $t_{\max} = t_{\text{т}}$, а величиною максимального відношення дотичних і нормальних стискуючих напружень. Критерій Мора – Кулона можна записати через введені попередньо інваріанти плоского напруженого стану таким виразом

$$\frac{t_{\max}}{s_0} = \sin j = const, \tag{8}$$

де j – кут внутрішнього тертя; s_0 – середнє стискуюче напруження.

Отже, граничний стан дискретного середовища оцінюється двома параметрами: s_0 і j, та графічно представляється сімейством граничних кругів Мора, які мають прямолінійну обвідну, нахилену до осі s під кутом j (рис. 4).

Обвідна обмежує область дискретного матеріалу, у якій виникає граничний стан, а кожний з кругів описує граничний напружений стан в точці цієї області. Один з кругів, що відповідають критерію Мора – Кулона, показаний на рисунку 5. Параметри круга: радіус $R = 0{,}5(s_{\max} - s_{\min}) = 0{,}5(s_1 - s_2)$; абсциса центра C – $s_0 = 0{,}5(s_{\max} + s_{\min}) = 0{,}5(s_1 + s_2)$. Характерною ознакою круга є те, що дотична *OM*, проведена з початку координат, нахилена до осі s на кут j. Точка дотику $M(s_M, t_M)$ відповідає площинці з максимальним відношенням напружень $\frac{t_M}{s_M} = \text{tg}j$, або площинці з максимальним відхиленням повного напруження p_M від нормалі. Точки *A* і *B* відповідають головним площинкам з напруженнями $s_{\min} = s_2$ і $s_{\max} = s_1$, а всі інші точки круга – довільним площинкам. Круг Мора (рис. 5) графічно описує граничний напружений стан в точці області за критерієм Мора – Кулона. Сам критерій (8) можна записати через параметри R і s_0 круга

$$\frac{R}{s_0} = \sin j; \tag{9}$$

через головні стискуючі напруження s_1, s_2

$$\frac{R}{s_0} = \frac{0{,}5(s_1 - s_2)}{0{,}5(s_1 + s_2)} = \frac{s_1 - s_2}{s_1 + s_2} = \sin j, \tag{10}$$

або через напруження t_M, s_M по площинкам з максимальним відношенням напружень

$$\frac{t_M}{s_M} = \frac{p_M \sin j}{p_M \cos j} = \text{tg}j. \tag{11}$$

Останній вираз можна трактувати як запис закону Амонтона – Кулона для елемента дискретного середовища – опір зсуву dF пропорційний нормальному стискуючому зусиллю dN. Помножимо напруження t_M, s_M на площу dA грані елемента та одержимо

$$\frac{t_M \cdot dA}{s_M \cdot dA} = \frac{dF}{dN} = \text{tg}j, \quad \text{або} \quad dF = dN \cdot \text{tg}j. \tag{12}$$

Отже, критерій Мора – Кулона відображає вплив внутрішнього кулонівського тертя на процес деформування дискретного середовища у граничній стадії.

Враховуючи, що настання граничного стану дискретного середовища за критерієм Мора – Кулона пов'язується з величиною відношень напружень, іноді зручно представити його через відносний інваріант $x = s_1 / s_2$

$$\frac{s_1 - s_2}{s_1 + s_2} = \frac{x - 1}{x + 1} = \sin j. \tag{13}$$

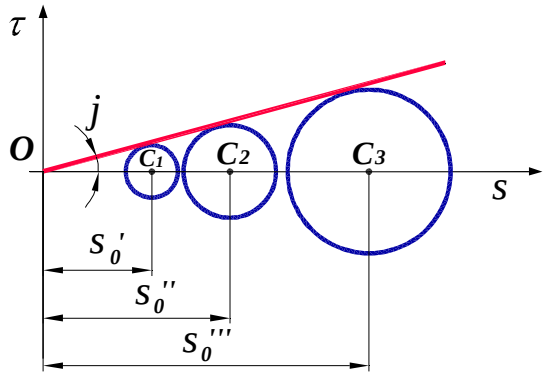


Рис. 4. Сімейство кругів Мора, що описують граничний стан області дискретного середовища

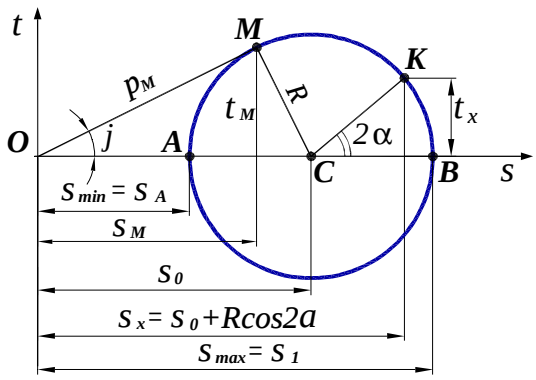


Рис. 5.Граничний круг напружень за умовою Мора – Кулона

Наведені вирази (8)...(13) описують умову переходу дискретного середовища у граничний стан через спеціально введені, зручні для представлення напруженого стану цього специфічного середовища інваріанти.

Для повного описання плоского граничного стану достатньо разом з цими виразами використати відомі результати графічного чи аналітичного розв'язання прямої та оберненої плоскої задачі теорії напруженого стану, або спеціальні співвідношення по спряжених площинках [3].

Наприклад, з граничного круга Мора (рис. 5) безпосередньо одержуємо вирази для головних напружень s_1, s_2 через параметри s_0, j

$$\left.\begin{aligned} s_1 &= s_0 + R = s_0 + s_0 \sin j = s_0(1+\sin j);\\ s_2 &= s_0 - R = s_0 - s_0 \sin j = s_0(1-\sin j), \end{aligned}\right\} \tag{14}$$

або для напружень, що виникають по довільній площинці з нормаллю *r*, повернутою відносно головної осі *1* на кут a. Цим напруженням на рис. 5 відповідають координати точки *K*

$$\left.\begin{aligned} s_r &= s_0 + R\cos 2a = s_0 + s_0 \sin j \cdot \cos 2a = s_0(1+\sin j \cdot \cos 2a);\\ t_r &= R\sin 2a = s_0 \sin j \cdot \sin 2a. \end{aligned}\right\} \tag{15}$$

Для описання граничного стану дискретного середовища важливим є визначення напружень t_M, s_M по площинкам з максимальним відхиленням повного напруження p_M від нормалі. З круга Мора одержуємо

$$\begin{aligned} s_M &= s_0 - R\sin j = s_0 - s_0 \sin^2 j = s_0(1-\sin^2 j) = s_0 \cos^2 j;\\ t_M &= R\cos j = s_0 \sin j \cos j = 0{,}5 s_0 \sin 2j. \end{aligned} \tag{16}$$

Легко впевнитись, що одержані вирази відповідають закону Амонтона – Кулона (11), (12) – закону внутрішнього сухого тертя, який є визначальним для описання напружено-деформованого стану дискретного середовища.

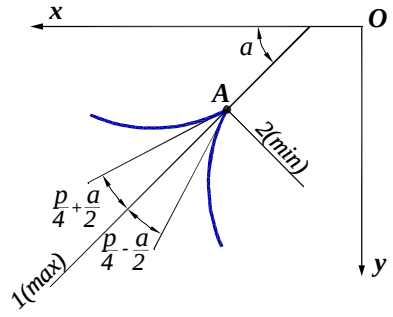


Рис. 6. Орієнтація ліній ковзання

Площинки з максимальним відношенням напружень $\frac{t_M}{s_M}$ нахилені до головних під кутами $\frac{p}{4} \pm \frac{j}{2}$ і асоціюються з площинками ковзання в точці дискретного середовища. Сукупність площинок ковзання в площині деформування утворюють сітку неортогональних ліній ковзання, які перетинаються під кутами $\frac{p}{2} \pm j$. В кожній точці цих ліній виникають напруження s_M, t_M. Це дозволяє, використавши співвідношення (15), (16), одержати рівняння ліній ковзання – ліній характеристик поля граничних напружень.

Розглянемо точку *A* перетину двох ліній ковзання в декартовій системі координат *x*, *y* (рис. 6). Головна вісь *1*, що відповідає головному напруженню $s_{\max}$ утворює з віссю *x* кут a, а дотичні до ліній ковзання – кути $b = a \pm \left(\frac{p}{4} - \frac{j}{2}\right)$.

Рівняння ліній ковзання в системі координат *xOy* отримуються підстановкою у вирази (15) замість a кута b. Система цих диференціальних рівнянь детально досліджена В.В. Соколовським [4] і використана ним для розв'язання інженерних задач статики сипкого середовища.

Висновки

Наведені в статті співвідношення описують граничний напружений стан дискретного середовища, що працює в умовах плоскої деформації. Співвідношення суттєво відрізняються від аналогічних залежностей класичної теорії пластичності і можуть бути використані для створення реологічної моделі дискретного середовища.

Література

1. Ковтун В.В. Визначальні співвідношення механіки дискретного середовища / В.В. Ковтун // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2008. – № 5. – С. 69–76.

2. Ковтун В.В. Исследование прочности сыпучих материалов в условиях плоской деформации / В.В. Ковтун, Е.В. Багрий, В.Т. Бугаев // Будівельні конструкції. – 2004. – Вып. 61, т. 1. – С. 109–116.

3. Ковтун В.В. Напруження по потенціальних площинках ковзання у сипкому середовищі / В.В. Ковтун // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2010. – № 1. – С. 7–12.

4. Соколовский В.В. Статика сыпучей среды / Соколовский В.В. – М. : Наука, 1960. – 272 с.

References

1. V.V. Kovtun, "Vyznachal'ni spivvidnoshennya mekhaniky dyskretnoho seredovyshcha", Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences, 2008, Issue 5. S. 69–76.

2. V.V. Kovtun, E.V. Bahryy, V.T. Buhaev, Yssledovanye prochnosty sыpuchykh materyalov v uslovyyakh ploskoy deformatsyy, Budivel'ni konstruktsiyi. 2004. Issue 61. t. 1. S. 109–116.

3. V.V. Kovtun, "Napruzhennya po potentsial'nykh ploshchynkakh kovzannya u sypkomu seredovyshchi", Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences, 2010. Issue 1. S. 7–12.

4. V.V. Sokolovskyy, Statyka sypuchey sredy, M.: Nauka, 1960. 272 s.

Рецензія/Peer review : 15.8.2015 р. Надрукована/Printed :28.6.2015 р.
Стаття рецензована редакційною колегією

УДК 621.22, 621.983

Д.О. ЛОЗІНСЬКИЙ, І.О. СИВАК, Є.І. ШЕВЧУК, В.Г. ПИЛЯВЕЦЬ
Вінницький національний технічний університет

РОТАЦІЙНА ВИТЯЖКА ОСЕСИМЕТРИЧНИХ ДЕТАЛЕЙ З ВИКОРИСТАННЯМ ПРОПОРЦІЙНОГО ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНОГО ПРИВОДУ

В роботі розглянуті методи та верстатне обладнання для виконання процесу ротаційної витяжки.

Запропоновано застосувати для виконання процесу ротаційної витяжки електрогідравлічний привод зі стежною системою, що дає можливість виготовляти деталі на різних верстатах токарно-фрезерної групи, включаючи верстати з ЧПК. Розроблено розрахункову схему та математичну модель електрогідравлічного приводу та проведені порівняльні дослідження його роботи зі стежною системою та без неї.

Ключові слова: ротаційна витяжка, деформація, електрогідравлічний привод зі стежною системою, математична модель.

D.O. LOZINSKYI, I.O. SYVAK, Y.I. SHEVCHUK, V.G. PYLYAVETS
Vinnytsia National Technical University

METAL SPINNING OF AXIALLY SYMMETRIC PARTS USING PROPORTIONAL ELECTRO-HYDRAULIC DRIVE WITH TRACKING SYSTEM

The paper discusses methods and machine equipment for metal spinning process. It is proposed to apply for performing of metal spinning process electro-hydraulic drive with a tracking system that allows to produce parts by different machines such as turning, milling including CNC machines. The design scheme and a mathematical model of the electro-hydraulic drive are developed. Comparative researches of electro-hydraulic drive work with a tracking system and without it are carried out.

Keywords: metal spinning, deformation, electro-hydraulic drive with a tracking system, mathematical model.

Вступ

Ротаційна витяжка – це процес локального циклічного деформування плоскої або порожнистої заготовки, що обертається, деформуючим інструментом у вигляді одного або декількох роликів. Інструменти при ротаційній витяжці найчастіше не прив'язані до геометрії деталей, тому даний спосіб має високу формоутворювальну гнучкість не тільки в сфері серійного виробництва, а й при виготовлені обмеженої кількості деталей і виготовлення одиничних прототипів і є реальною альтернативою звичайному листовому штампуванню при виготовленні осесиметричних деталей [1, 2].

Постановка завдання

Найпоширенішого використання для процесу ротаційної витяжки набули верстати токарної, рідше фрезерної груп, а також спеціалізовані автоматизовані ротаційні верстати з давильними роликами. З точки зору формоутворення процес ротаційної витяжки досить не простий і якість та швидкодія його виконання на універсальних токарно-гвинторізних верстатах, суттєво залежить від кваліфікації робітника, а процес отримання деталей складної форми досить ускладнюється [3].

Використання верстатів з ЧПК дозволяє усунути ряд вищевказаних недоліків, проте потребує більших капіталовкладень та не дозволяє проконтролювати рух робочого органу, що може призвести до не чіткого робочого процесу та погіршення якості отримуваних деталей. Додатковою проблемою виконання процесу ротаційної витяжки на верстатах з ЧПК та з ручним керуванням, є відсутність можливості контролювати зміну зусилля в часі під час виконання робочих рухів. Частково дану проблему можна вирішити застосувавши гідрокопіювальний привод, оскільки тиск в гідроприводі, а отже і зусилля на робочому органі можна регулювати в процесі роботи [4]. Проте швидке переналагодження такої системи ускладнене і потребує виготовлення зразків для копіювання.

В роботі для виконання процесу ротаційної витяжки запропоновано застосувати електрогідравлічний привод зі стежною системою, що дає можливість виготовляти деталі на різних верстатах токарно-фрезерної групи включаючи верстати з ЧПК, забезпечуючи можливість регулювання зусилля та встановлення необхідного закону руху робочого органу.

Викладання основного матеріалу

Для забезпечення автоматизованої ротаційної витяжки розроблено технологічний комплекс на базі токарного верстату 16К20 та однокоординатного електрогідравлічного приводу зі стежною системою, який керується контролером та забезпечує автоматизований цикл обробки та дозволяє програмувати рух інструмента за відповідним законом.

Контролер перетворює інформацію з ПК на сигнал керування основним золотником електрогідравлічного розподільника, який, в свою чергу, керує переміщенням гідроциліндра з інструментом.

Структурний комплекс наведений на рис. 1.

При ротаційній витяжці осесиметричну листову заготовку 4 з товщиною стінки t_0 встановлюють на оправку 5 діаметром d_0 і притискають до неї піноль задньої бабки 1 через центр, що обертається 2 та притиск 3.

Переміщення робочого інструменту 6 керується пропорційним електрогідравлічним розподільником 10, а контролювання виконується датчиком переміщення 8, який передає сигнал до контролера 9, а той в свою

чергу може змінювати керуючий сигнал для електрогідравлічного розподільника 10, при відповідній необхідності. Після чого подається сигнал від контролера на магніти гідророзподільника 10.

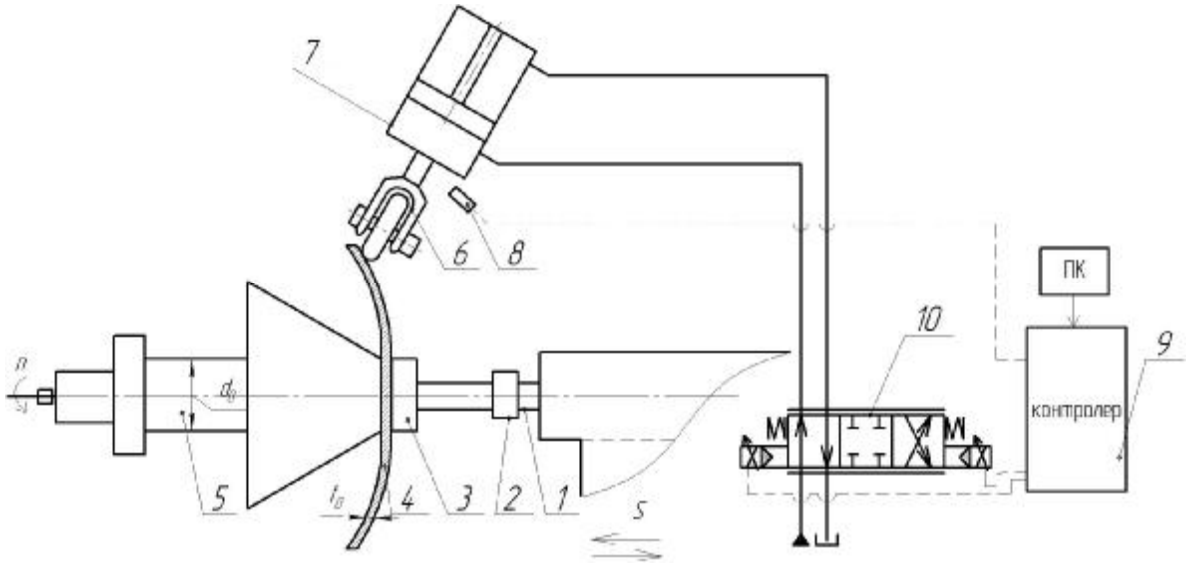


Рис. 1. Структурний комплекс з електрогідравлічним приводом зі стежною системою

Для дослідження роботи запропонованого комплексу було розроблено розрахункову схему (рис. 2) та на її основі, математичну модель (1) – (6). На розрахунковій схемі електрогідравлічний розподільник, для спрощення, зображено у вигляді регульованого дроселя 3.

Дослідження роботи розробленого ГП виконані на основі математичної моделі, що включає рівняння нерозривності потоків (1), (2), рівняння сил, що діють на гідроциліндр 4 та переливний клапан 2 – (3), (4), а також рівняння, що визначають корегування керуючого сигналу за допомогою зворотного зв'язку (5), (6) [5].

Математична модель розподільника розроблена за таких припущень: величина потоку на вході є постійна (пульсацію витрати в гідролініях не враховано); вважалось, що параметри системи зосереджені; довжини каналів зливних та напірних магістралей відносно малі, тому хвильових процесів не враховували; коефіцієнти витрати через дросельні та золотникові елементи – постійні; гідродинамічні сили не враховувались; об'єми гідроліній за час перехідного процесу не змінювались; втрати тиску в гідролініях не враховувались, оскільки вони незначні у порівнянні з втратами на місцевих опорах; коефіцієнт податливості робочої рідини враховувався як величина, залежна від тиску.

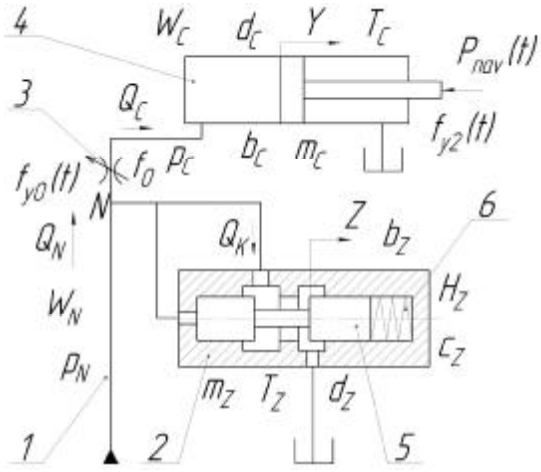


Рис. 2. Розрахункова схема приводу

В математичній моделі позначено: P_N – зусилля навантаження, що розраховане за емпіричною формулою $P_N = 75\text{-}2t$ [6]; Q_N – витрата в лінії нагнітання розподільника; p_N, p_C, – тиски в лінії нагнітання 1 та в порожнині гідроциліндра 4; x, z, y – координати переміщення рухомих елементів розподільника 3, клапана 2 та гідроциліндра 4 відповідно; W_N, W_C – об'єми гідроліній у відповідних частинах розподільника; α, β_1 – кути нахилу робочих кромок золотника розподільника 3 та золотника 5 клапана 2; площі робочих вікон; c_Z – жорсткість пружини 6; m_Z, m_c – маси рухомих елементів: золотника 5, клапана 2 та гідроциліндра; T_C, T_Z – сили сухого тертя, що діють на елементи розподільника 3 та клапана 2; b, b_Z – коефіцієнти в'язкого тертя, що діють на елементи 4, 5; ρ – густина робочої рідини; μ – коефіцієнт витрати; β – коефіцієнт, що враховує сумарну деформацію робочої рідини та гумометалевих рукавів; $f_{x0}(t)$ – функція керуючого вхідного сигналу, що задається контролером для розподільника 3; $y(t)$ – залежність координати переміщення штока розподільника від часу; $f_y(t)$ – залежність координати переміщення штока розподільника від часу, яка має бути отримана; Δ – різниця між бажаними та реальними координатами переміщення штока розподільника від часу; k – коефіцієнт підсилення.

$$Q_N = m \cdot p \cdot d_Z \cdot z \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot p_N}{r}} + m \cdot p \cdot d_X \cdot x \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot |p_N - p_C|}{r}} \cdot \mathrm{sgn}(p_N - p_C) + b \cdot W_A \cdot \frac{dp_N}{dt}; \quad (1)$$

$$m \cdot p \cdot d_X \cdot x \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot |p_N - p_C|}{r}} \cdot \mathrm{sgn}(p_N - p_C) = F_C \cdot \frac{dy}{dt} + b \cdot W_C \cdot \frac{dp_C}{dt}; \quad (2)$$

$$m_C \frac{d^2 y}{dt^2} = p_C \cdot F_C - b_C \frac{dy}{dt} - T_y \cdot \operatorname{sgn} \frac{dy}{dt} - p_{NAV}; \quad (3)$$

$$m_Z \frac{dV_Z}{dt} = p_N \cdot F_Z - c_Z \cdot (H_Z + z) - b_Z \frac{dz}{dt} - T_Z \cdot \operatorname{sgn} \frac{dz}{dt}; \quad (4)$$

$$x = f_{x0}(t) - k\Delta; \quad (5)$$

$$\Delta = y(t) - f_{y0}(t). \quad (6)$$

Стежна система, блок-схема якої наведена на рис. 3, працює наступним чином. Для забезпечення певного закону руху $f_{y0}(t)$ робочого органу до керуючих електромагнітів електрогідравлічного розподільника ЕГР подається певний сигнал керування, що формує залежність переміщення його основного золотника $f_{x0}(t)=k_1 \cdot f_{y0}(t)$, з певним перетворюючим коефіцієнтом k_1. Відхилення Δ закону гідроциліндра ГЦ $y(t)$ з робочим органом від заданого $f_{y0}(t)$ фіксується датчиком переміщення *ДП*, та, з певним коефіцієнтом підсилення k, надходить до системи керування, яка корегує залежність переміщення основного золотника електрогідравлічного розподільника в сигнал $x(t)$.

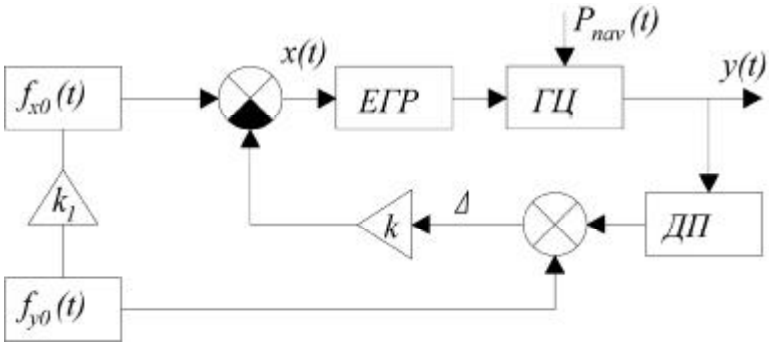


Рис. 3. Структурна схема слідкуючої системи

Розв'язок системи рівнянь виконано за допомогою пакету MatLAB Simulink [7].

Основну блок-схему розв'язання системи диференціальних рівнянь зображено на рис. 4.

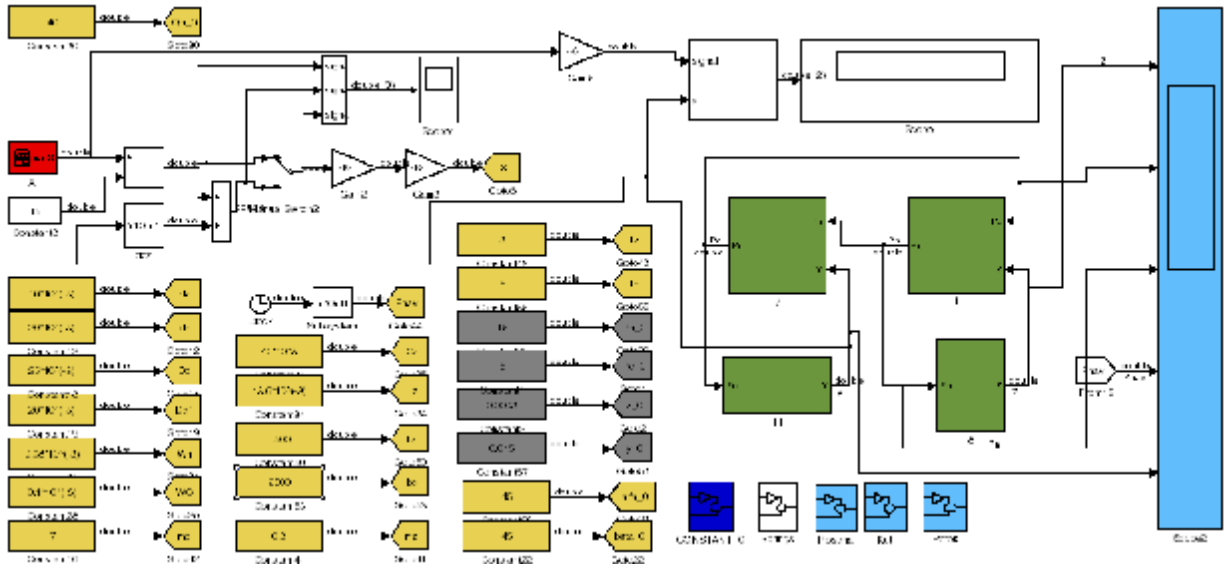


Рис. 4. Блок-схема розв'язання системи диференціальних рівнянь

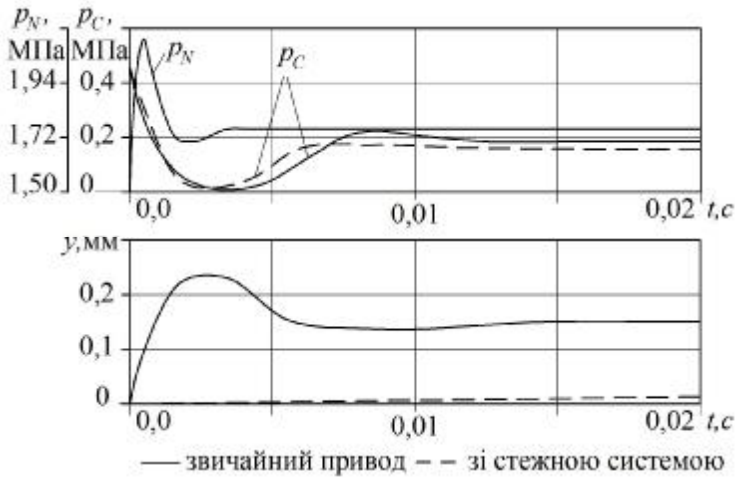


Рис. 5. Залежності зміни тисків та переміщення робочого органу від часу для звичайного приводу та зі стежною системою

Проаналізувавши та порівнявши перехідні процеси, можна побачити, що застосування стежної системи не має визначального впливу на перехідні процесі в системі (рис. 5), проте супроводжується зменшенням коливань руху робочого органу *y*.

Основною перевагою застосування стежної системи є забезпечення мінімізації відхилення закону переміщення робочого органу від бажаного, навіть на початкових стадіях роботи системи до моменту усталеного режиму роботи (рис. 5, 6).

Отже, розроблений електрогідравлічний привод зі стежною системою дозволяє забезпечити досить високу відповідність залежності руху робочого органу від часу (в нашому випадку відхилення не перевищувало 0,002 мм), що дозволяє чітко виконувати формоутворюючі рухи інструменту по траєкторіях різного виду, забезпечуючи якісний процес локального циклічного деформування плоскої або порожнистої заготовки, що обертається, деформуючим інструментом у вигляді одного або декількох роликів.

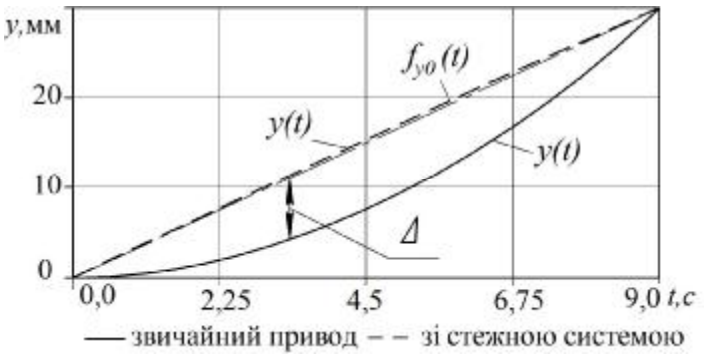


Рис. 6. Відхилення залежності переміщення робочого органу від часу *y(t)* від заданого $f_{y0}(t)$ для звичайного приводу та зі стежною системою

Висновки

Запропоновано застосувати електрогідравлічний привод зі стежною системою для виконання процесу ротаційної витяжки. Розроблено математичну модель електрогідравлічного приводу та проведені порівняльні дослідження його роботи зі стежною системою та без неї. Застосування стежної системи не має негативного впливу на перехідні процесі в системі та супроводжується зменшенням коливань руху робочого органу. Визначено, що застосування стежної системи забезпечує мінімізацію відхилення закону переміщення робочого органу від бажаного, навіть на початкових стадіях роботи до моменту усталеного режиму роботи.

Література

1. Могильный Н. И. Ротационная вытяжка оболочковых деталей на станках / Могильный Н. И. – М. : Машиностроение, 1983. – 190 с.

2. Сивак І.О. Розподіл внутрішніх силових факторів в перерізі циліндричної заготовки при локальному навантаженні / І.О. Сивак, О.М. Мироненко, Є.І. Шевчук // Вісник Хмельницького національного університету. 2013. – № 1. – С. 32 – 36.

3. Дудка Д. В. Ротационное формоизменение конических деталей из анизотропных материалов / Д. В. Дудка, С. С. Яковлев // Известия ТулГУ. Технические науки. – Тула, 2010. Вып. 3. – С. 3 – 11. – ISSN 2071-6168.

4. Конский А.П. Ротационная многопроходная вытяжка оболонковых изделий [Электронный ресурс] / Конский А.П., Плахотник В.А., Бурлаков Е.И., Сыстерова А.Ф. – Луганськ : СУНУ ім. В. Даля, 2011. – Вып. 2. – С. 5. – Режим доступа : http://www.nbuv.gov.ua/portal/soc_gum/vsunu/2011_2_2/Konskij.pdf.

5. Лозінський Д.О. Пропорційний електрогідравлічний розподільник з незалежним керуванням потоків для мобільних машин : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.02.08 “Машинознавство” / Д.О. Лозінський. – Вінниця, 2010. – 20 с.

6. Шевчук Є.І. Переміщення при ротаційній витяжці листової заготовки / Є.І. Шевчук, І.О. Сивак, О.М. Мироненко // Збірник наукових праць. ВНАУ. Секція: Технічні науки. – Вінниця, 2015. – № 1 (85). – С. 38 – 42. – ISSN 2306-756X.

7. Черных И. В. Simulink: среда создания инженерных приложений / И. В. Черных. – Диалог-МИФИ, 2004. – 496 с.

References

1. Mogil’nyy N.I. Rotatsionnaya vytyazhka obolochovykh detaley na stankakh. Moskva. Mashinostroyeniye, 1983, 192 p.

2. Syvak I.O., Myronenko O.M., Shevchuk Ye.I. Rozpodil vnutrishnikh sylovykh faktoriv v pererizi tsylindrychnoi zahotovky pry lokalnomu navantazhenni, Herald of Khmelnytskyi National University, 2013, Issue 1, pp. 32–36.

3. Dudka D. V., Yakovlev S. S. Rotatsionnoe formoizmenenie konicheskix detaley iz anizotropnyx materialov, Tula. Izvestiya TulGU. Tehnicheskie nauki. 2010, No. 3, pp. 3–11.

4. Konskiy A.P., Plahotnik V.A., Burlakov E.I., Systerova A.F. Rotatsionnaya mnogoprohodnaya vytyazhka obolonkovyx izdeliy, Lugansk, SUNU Im. V. Dalya, 2011, No. 2, pp. 1-5.

5. Lozinskyi D.O. Proportsiinyi elektrohidravlichnyi rozpodilnyk z nezalezhnym keruvanniam potokiv dlia mobilnykh mashyn, avtoref. dys. na zdobuttia nauk. stupenia kand. tekhn. nauk, spets. 05.02.08 “Mashynoznavstvo”, Vinnytsia, 2010, 20 p.

6. Shevchuk Ye.I., Syvak I.O., Myronenko O.M. Peremishchennia pry rotatsiinii vytiazhtsi lystovoi zahotovky, Vinnytsia. Zbirnyk naukovykh prats. VNAU. Sektsiia: Tekhnichni nauky, 2015. No. 1 (85), pp. 38 – 42.

7. Chernyx I. V. Simulink: sreda sozdaniya inzhenernyx prilozheniy. Dialog-MIFI, 2004, 496 p.

Рецензія/Peer review : 16.7.2015 р. Надрукована/Printed :28.6.2015 р.
Рецензент: д.т.н., проф. О.В. Грушко

УДК 629.113.004

В.В. СЛАВІН
Хмельницький національний університет

ВПЛИВ СИСТЕМИ ЖИВЛЕННЯ БЕНЗИНОВОГО ДВИГУНА НА ТЯГОВО-ШВИДКІСНІ ВЛАСТИВОСТІ ЛЕГКОВОГО АВТОМОБІЛЯ

У статті наведені результати аналітичного дослідження тягово-швидкісних властивостей автомобіля зі штатною карбюраторною системою живлення та електронною розподіленою системою впорскування бензину типу LH-Motronic зі зворотнім зв'язком і системою нейтралізації відпрацьованих газів.

Ключові слова: автомобіль; бензиновий двигун; система впорскування; карбюраторна система; тягово-швидкісні показники.

SLAVIN VIKTOR
Khmelnytskyi National University

THE INFLUENCE OF THE FEED SYSTEM PETROL ENGINE TYPE TO TRACTION-SPEED PERFORMANCE OF THE AUTOMOBILE

Abstract - The article contains results of the analytical research traction-speed performance of the automobile with the standard carburettor feed system and a distributed electronic petrol injection type LH-Motronic with feedback system and waste gases neutralization system. The dynamic factor D at maximum speed (Vmax= 22,749 m/s) determines the resistance coefficient of the road ψ_v, which for automobile with petrol injection is ψ_v = 0,074, which on 6% more than at the engine carburettor system. The maximum dynamic factor D_{max}, which is corresponded to the highest road resistance and characterized by a factor ψ_{max}.

Overcoming road by automobile for uniform motion in first gear with injection where ψ_{max}= 0,377, and the carburettor ψ_{max} = 0,36, which is 5% less than with injection system petrol. Acceleration of automobile in every gear at the given road conditions (ψ = 0,02) increase by 6% with petrol injection. Acceleration to V_{max}= 22,749 m/s (n_d = 3200 min^{-1}) with the injection system continues to τ = 22,43 seconds. The distance travelled by the vehicle during this time is S = 303,07 m, respectively, decreased by 6% than with the carburetor system.

The research is indicated that replacement by carburettor system for the help of system type LH-Motronic improves traction-speed characteristics of the automobile.

Keywords: automobile; petrol engine; system of injection; carburettor system; traction-speed characteristics.

Вступ. В умовах експлуатації продовжують транспортну роботу легкові автомобілі з карбюраторними двигунами внутрішнього згоряння, які згідно норм Закону України від 06.07.2005 № 2739-IV забороняється ввозити на територію держави та вперше реєструвати [1]. Фактично цей закон регулює масові викиди шкідливих речовин автомобілями розпочинаючи з рівня «Євро-2», який можна забезпечити використанням удосконалених систем живлення (СЖ) бензинових двигунів та пристроїв нейтралізації відпрацьованих газів (ВГ).

На відміну від карбюраторних систем, обладнання автомобільних двигунів системами впорскування бензину значно знижує його шкідливі викиди, покращує паливо-економічні та енергетичні показники [2–6].

У зв'язку з цим автовиробники для підтримки тих чи інших екологічних норм встановлюють на двигуни автомобілів, які раніше були в експлуатації з карбюраторними системами, системи впорскування бензину, нейтралізації ВГ та уловлювання випарів бензину.

Аналіз попередніх досліджень і публікацій. Експериментальні стендові дослідження бензинового двигуна 4Ч7,9/8,0 легкового автомобіля показали, що застосування електронної розподіленої системи впорскування бензину (ЕРСВБ) типу LE-Jetronic призвело до зниження питомої витрати палива в середньому по навантажувальній характеристиці на 8,7%. При повному навантаженні потужність двигуна з системою впорскування зросла на 7,2%. Експериментальні дослідження, проведені на моделюючому роликовому стенді показали, що застосування системи впорскування покращує паливну економічність в русі за режимами Європейського міського їздового циклу на 8,95% [4].

У роботі [5] виконані порівняльні експериментальні дослідження бензинового двигуна 4Ч7,6/6,6 і автомобіля із штатною карбюраторною СЖ та сучасною ЕРСВБ типу LH-Motronic зі зворотнім зв'язком та трикомпонентним каталітичним нейтралізатором (ТКН). Двигун з новою ЕРСВБ знижує питому витрату бензину по навантажувальній характеристиці в середньому на 5%, при цьому потужність двигуна при повному навантаженні зросла на 6,6%. Експериментально підтверджено, що автомобіль обладнаний LH-Motronic із зворотнім зв'язком і системами нейтралізації ВГ та уловлювання випарів бензину забезпечує екологічні норми «Євро-2». Перехід до ЕРСВБ типу LH-Motronic забезпечує зниження витрати бензину в міських умовах в середньому на 7,3% [5].

Виділення невирішених частин. З точки зору техніко-експлуатаційних властивостей автомобіля одним із основних показників, що визначають діапазони зміни швидкостей руху автомобіля, а також інтенсивність його розгону при роботі на тяговому режимі в різних дорожніх умовах є тягово-швидкісні властивості автомобіля [6]. Умови проведення цих досліджень вимагають використання роликово-моделюючому стенду, спеціального вимірювального обладнання, які знаходяться лише в науково-дослідних інститутах.

Мета і постановка задачі. Проте використовуючи лише результати експериментальних досліджень двигуна, технічну характеристику досліджуваного автомобіля та формули з теорії автомобіля можна

визначити експлуатаційні характеристики автомобіля з різними СЖ.

Матеріали і результати досліджень. Тягово-швидкісні показники такі як динамічний фактор і динамічна характеристика, графік прискорень та швидкісна характеристика розгону автомобіля в даній роботі визначаються шляхом обробки результатів стендових досліджень бензинового двигуна 4Ч7,6/6,6 із штатною карбюраторною СЖ та ЕРСВБ типу LH-Motronic зі зворотнім зв'язком та ТКН [5].

Вихідні дані для виконання тягового розрахунку наведені в табл. 1 [5].

Таблиця 1

Вихідні дані для тягового розрахунку (автомобіль ВАЗ-2105)

№ з/п	Параметр	Значення
1	Повна маса автомобіля G_a, кг	1345
2	Тип та розмір шини	175/70 R13
3	Статичний радіус шини $r_{ст}$, м	0,292
4	Динамічний радіус шини $r_д = r_{ст}$, м	
5	Радіус кочення $r_к = r_{ст}$, м	
6	Механічний ККД трансмісії, $\eta_{тр}$	0,9
7	Передаточні числа коробки передач, U_k	I (3,75) II (2,3) III (1,49), IV (1,0)
8	Передаточне число головної передачі, U_0	4,3
9	Фактор обтічності автомобіля w, Н·с^2/м^2	0,25
10	Коефіцієнт опору дороги за найбільшої швидкості, ψ_v	0,028

Для визначення тягово-швидкісних показників автомобіля використовують зовнішню швидкісну характеристику (ЗШХ) двигуна, в іншому випадку її будують користуючись аналітичним методом. Швидкісна характеристика двигуна являє собою графічно виражену залежність потужності, крутного моменту, питомих та годинних витрат палива від частоти обертання колінчастого вала при постійному положенні дросельних заслінок або рейки паливного насосу і при постійних значеннях температури охолодної рідини та моторної оливи [6].

Використовуючи навантажувальні характеристики двигуна 4Ч7,6/6,6 з різними СЖ визначаються максимальна потужність Ne_{max} двигуна з карбюраторною системою та системою впорскування, яка відповідає експериментальному значенню навантажувальної характеристики при $n_д$=3200 хв$^{-1}$. Для карбюраторної системи $Ne_{maxкрб}$=26,5 кВт, а для системи впорскування $Ne_{maxвп}$= 28 кВт [5].

Розрахунки експлуатаційних властивостей автомобіля виконуються в програмному середовищі *MathCad*.

Для побудови ЗШХ визначаємо потужність двигуна за формулою, кВт:

$$Ne = \frac{M_k \cdot n}{9550}, \tag{1}$$

де M_k – крутний момент, Н·м;

n – частота обертання колінчастого вала, хв.$^{-1}$.

Необхідні проміжні значення потужності N_i для побудови ЗШХ двигуна знаходять, користуючись емпіричною залежністю:

$$N_i = N_{max} \cdot \frac{w_i}{w_N} \cdot \left[a + b \cdot \frac{w_i}{w_N} - \left(\frac{w_i}{w_N} \right)^2 \right], \text{ кВт} \tag{2}$$

де a, b – поправочні коефіцієнти [6];

ω_i – поточне значення кутової швидкості колінчастого вала, с$^{-1}$.

Крутний момент двигуна розраховують за формулою:

$$M_{ki} = 100 \cdot \frac{N_i}{w_i}, \text{ Н·м} \tag{3}$$

Питому витрату палива двигуном знаходять як:

$$g_e = g_N \cdot \left[a_1 - b_1 \cdot \frac{w_i}{w_N} + c_1 \left(\frac{w_i}{w_N} \right)^2 \right], \frac{\text{г}}{\text{кВт} \cdot \text{год}} \tag{4}$$

де g_N – питома витрата палива двигуном при максимальній потужності ($n_д$=3200 хв$^{-1}$): двигун з карбюратором $g_{Nкрб}$= 326 $\frac{\text{г}}{\text{кВт} \cdot \text{год}}$; з системою впорскування $g_{Nвп}$=287 $\frac{\text{г}}{\text{кВт} \cdot \text{год}}$.

a_1, b_1, c_1 – емпіричні коефіцієнти [6].

Визначена аналітичним методом ЗШХ двигуна з різними СЖ наведена на рис. 1.

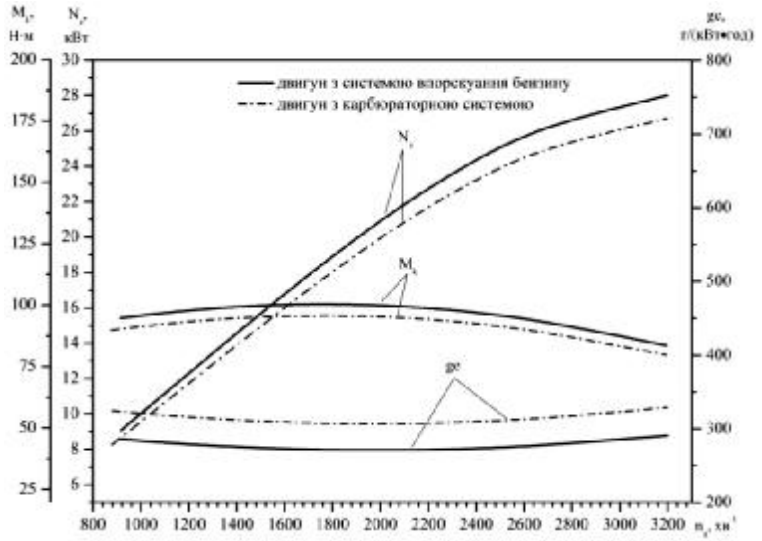


Рис. 1. Швидкісна характеристика бензинового двигуна 4Ч7,6/6,6 з різним типом СЖ

Як видно з ЗШХ бензинового двигуна з різними СЖ, показники його роботи з ЕРСВБ при порівнянні з карбюраторною системою такі як потужність і крутний момент збільшуються в середньому на 7%. Паливна економічність двигуна покращується при роботі його з системою LH-Motronic в середньому на 11,8%.

Необхідні для побудови динамічної характеристики значення динамічного фактора автомобіля розраховують за формулою:

$$D = \frac{P_p - P_w}{G_a}, \tag{5}$$

де P_p – сила тяги на ведучих колесах, Н;

P_w – сила опору повітря, Н.

Числові значення цих сил визначають, як [6]:

$$P_p = \frac{M_k U_k U_{\text{дк}} U_0 h_{\text{тр}}}{r_{\text{д}}}, \tag{6}$$

де $U_{\text{дк}}$ – передаточне число додаткової коробки передач.

та

$$P_w = W \cdot V^2, \tag{7}$$

Значення швидкостей руху автомобіля визначають, як:

$$V = \frac{w\, r_{\text{к}}}{U_k U_{\text{дк}} U_0}, м/с. \tag{8}$$

Визначена динамічна характеристика автомобіля з різними СЖ наведена на рис. 2.

Як видно з рис. 2, динамічний фактор D при максимальній швидкості руху (V_{max}=22,749 м/с) визначає і коефіцієнт опору дороги ψ_v, який для автомобіля з системою впорскування бензину становить ψ_v =0,074, що на 6% більше ніж при роботі двигуна з карбюраторною системою. Максимальний динамічний фактор D_{max}, який відповідає найбільшому дорожньому опору і характеризується коефіцієнтом ψ_{max}, що долає автомобіль при рівномірному русі на першій передачі становить для автомобіля з системою впорскування ψ_{max}=0,377, а з карбюратором ψ_{max}=0,36, що на 5% менше ніж з ЕРСВБ.

Показником динамічних властивостей автомобіля при нерівномірному русі є прискорення, а також шлях і час у визначеному інтервалі швидкостей. Прискорення автомобіля визначають, як:

$$j = \frac{dV}{dt} = \frac{D - 0{,}02}{1{,}04 + 0{,}04U_k^2} 9{,}81, \text{ м/с}^2, \tag{9}$$

Значення величин V та j розраховують для кожної з частот обертання колінчастого вала двигуна і для кожної передачі коробки передач автомобіля. Графічна залежність прискорення автомобіля від швидкості на кожній передачі при заданих дорожніх умовах наведена на рис. 3.

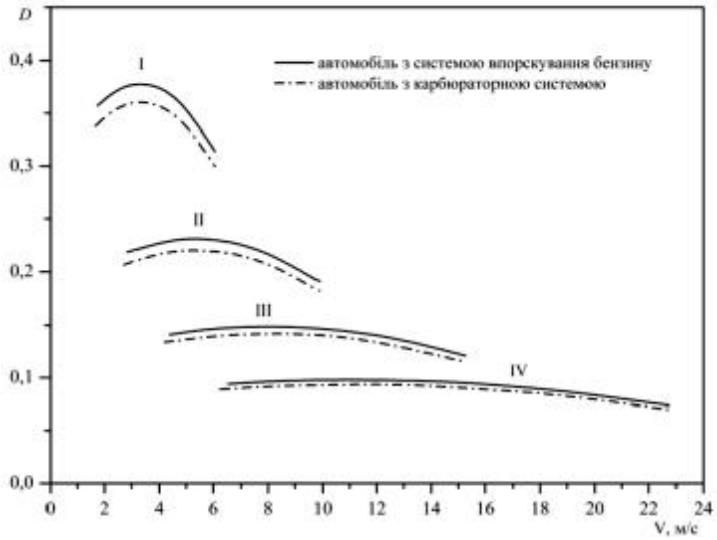


Рис. 2. Динамічна характеристика автомобіля з різними СЖ

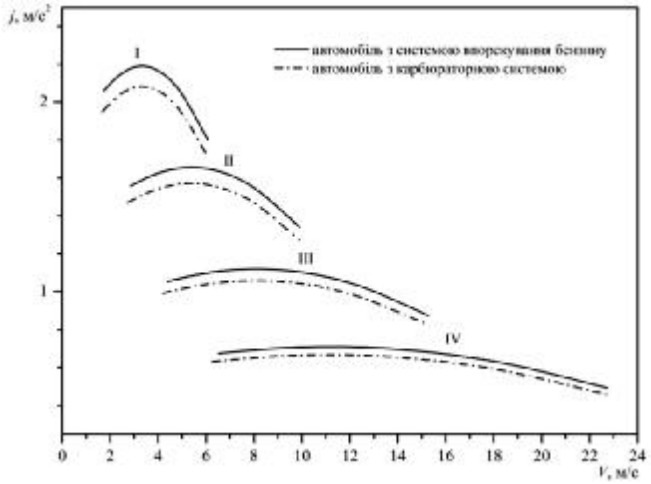


Рис. 3. Графік прискорень автомобіля з різними СЖ при ψ = 0,02

З рис. 3 видно, що прискорення автомобіля на кожній передачі при заданих дорожніх умовах (ψ=0,02) зросте на 6% з системою впорскування бензину.

Числові значення величин для побудови швидкісної характеристики розгону автомобіля знаходять із графіка прискорень (рис. 3), користуючись графоаналітичним методом. З цією метою кожну з кривих графіка прискорень ділять на декілька інтервалів, в межах яких криву можна було б замінити прямою [6]. Межі інтервалів позначають як V_1, j_1; V_2, j_2; … …V_{n+1}, j_{n+1}. Час $\Delta\tau_i$ та шлях ΔS_i розгону в кожному з обраних інтервалів визначають за виразами:

$$\Delta t_i = \frac{2\left(V_{i+1} - V_i\right)}{j_{i+1} + j_i}, \tag{10}$$

$$\Delta S = \frac{\left(V_{i+1} + V_i\right)}{2}\Delta t_i. \tag{11}$$

На підставі обчислених значень отримуємо швидкісну характеристику розгону автомобіля з різними СЖ (рис. 4).

Як видно з рис. 4, розгін автомобіля до V_{max}=22,749 м/с ($n_д$=3200 хв$^{-1}$) з системою впорскування триває τ = 22,43 с, а відстань, пройдена автомобілем за цей час становить S=303,07 м, що менше на 6% ніж при роботі з карбюраторною системою.

Висновки. Отже, проведені аналітичні дослідження свідчать, що заміна карбюраторної системи на ЕРСВБ типу LH-Motronic покращує тягового-швидкісні властивості автомобіля, тобто дозволяє:

- подолати більший опір коченню (кут підйому) на кожній передачі;
- розвинути більшу максимальну швидкість при русі по дорозі з заданим опором кочення та підйому;
- зменшити шлях та час розгону автомобіля до максимальної швидкості;
- збільшити максимальну швидкість, яку може досягти автомобіль на шляху 400 та 1000 м;
- збільшити прискорення автомобіля на кожній передачі.

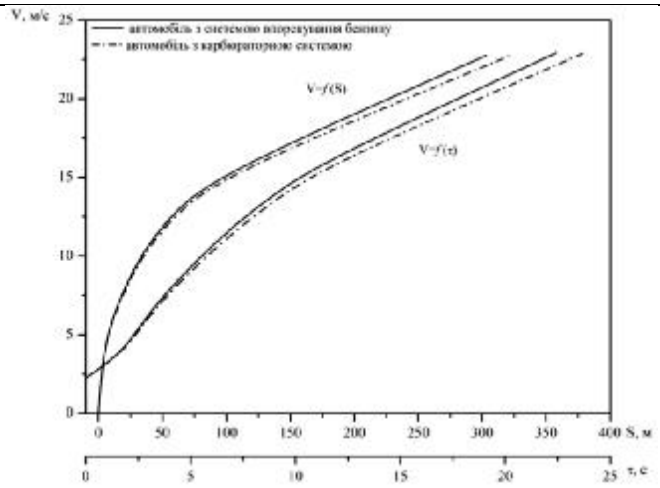


Рис. 4. Швидкісна характеристика розгону автомобіля з різними СЖ при ψ = 0,02

Література

1. Редзюк А. М. Уведення екологічних норм Євро-3 – Євро-6 в Україні, аналіз структури парку автомобілів за екологічними ознаками / А. М. Редзюк, В. С. Устименко, О. А. Клименко // Автошляховик України. – 2011. – № 4. – С. 2 – 7.

2. Екологія автомобільного транспорту : навч. посібник / [Гутаревич Ю. Ф., Зеркалов Д. В., Говорун А. Г. та ін.]. – К. : НТУ, 2001. – 287 с.

3. Автомобільні двигуни : підручник / [Абрамчук Ф. І., Гутаревич Ю. Ф., Долганов К. Є., Тимченко І. І.]. – К. : Арістей, 2004. – 476 с.

4. Гунько А. В. Поліпшення паливної економічності та екологічних показників в умовах експлуатації : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.20 / Гунько А. В. – К., 2006. – 185 с.

5. Славін В.В. Поліпшення паливної економічності та екологічних показників автомобілів використанням сучасних систем впорскування бензину : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.20 / Славін В.В. – К., 2014. – 209 с.

6. Сирота В. І. Автомобілі. Основи конструкції, теорія / В. І. Сирота, В. П. Сахно. – К. : Арістей, 2007. – 288 с.

References

1. A.M. Redziuk., V.S. Ustymenko., O.A. Klymenko [ta in.] Uvedennia ekolohichnykh norm Yevro-3–Yevro-6 v Ukraini, analiz struktury parku avtomobiliv za ekolohichnymy oznakamy, *Avtoshliakhovyk Ukrainy*, 2011, No. 4, pp. 2–7.

2. Hutarevych Y. F., Zerkalov D. V., Hovorun A. H. [ta in.]. Ekolohiia avtomobilnoho transportu: navch. posibnyk. Kyiv, NTU, 2001, 287 p.

3. Abramchuk F.I., Hutarevych Y.F., Dolhanov K.Y., Tymchenko I.I. Avtomobilni dvyhuny: pidruchnyk. Kyiv, Aristei, 2004, 476 p.

4. Hunko A.V. Polipshennia palyvnoi ekonomichnosti ta ekolohichnykh pokaznykiv v umovakh ekspluatatsii: dys. na zdobuttia nauk. stupenia kand. tekhn. nauk : 05.22.20. Kyiv, 2006, 185 p.

5. Slavin V.V. Polipshennia palyvnoi ekonomichnosti ta ekolohichnykh pokaznykiv avtomobiliv vykorystanniam suchasnykh system vporskuvannia benzynu: dys. na zdobuttia nauk. stupenia kand. tekhn. nauk : 05.22.20. Kyiv, 2014, 209 p.

6. Syrota V.I., Sakhno V.P., Avtomobili. Osnovy konstruktsii, teoriia. Kyiv, Aristei, 2007, 288 p.

Рецензія/Peer review : 14.7.2015 р. Надрукована/Printed :28.6.2015 р.
Рецензент: д.т.н., професор Гутаревич Ю.Ф.

УДК 629.34.0132 (043.3)

В.А. СІВАК
Національна академія Державної прикордонної служби ім. Б.Хмельницького

ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ КРИТЕРІЇВ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ В УМОВАХ ЇХ ВИКОРИСТАННЯ В ПРОЦЕСІ ВИКОНАННЯ ЗАВДАНЬ З ОХОРОНИ ДЕРЖАВНОГО КОРДОНУ

В даній статті проведено обґрунтування вибору та визначені критерії експлуатаційної безпеки транспортних засобів, які відображають специфіку їх використання в умовах виконання оперативно-службових завдань з охорони державного кордону. Визначено та обґрунтовано такі критерії, як оперативна безпека та інформативна безпека. Дані критерії притаманні специфіці експлуатації транспортних засобів в умовах відділів прикордонної служби різних категорій, які діють, як правило, в екстремальних умовах та у відриві від ремонтних баз і підрозділів автотехнічного забезпечення.

Ключові слова: критерії експлуатаційної безпеки, транспортні засоби, оперативно-службові завдання, охорона державного кордону.

V.A. SIVAK
National Academy of State Border Service named after B. Khmelnytskyi

BACKGROUND SELECTION CRITERIA OPERATIONAL SAFETY VEHICLES UNDER THEIR APPLICATION PROCESS FULFILMENT OF THE STATE BORDER PROTECTION

In this article the study selection criteria defined and operational safety of vehicles, reflecting the specificity of their use in the implementation of operational and service tasks of state border protection. Reveals the classic criteria for the safe operation of vehicles, such as: road safety; environmental security; fire safety; explosion; Security handling (injury safety); biological safety. Also defined and justified criteria such as operational safety - the relative safety of the vehicle, which allows the crew and along the border (rapid response team) to quickly push into the area of the assignment of guarding the state border and successfully back in the bases, and Security is also informative and relative safety of the vehicle that allows you to predict the possible failure of its components, mechanisms or systems that can lead to dangerous malfunctions. These criteria inherent specificity of vehicle operation in terms of border service departments of different categories that are typically in extreme conditions and in isolation from repair bases and units autotechnical software.

Keywords. Criteria operational safety, vehicles, operational and service tasks of the state border.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. Розвиток України як суверенної держави вимагає здійснення захисту її національних інтересів. У зв'язку з цим, підрозділи та органи Державної прикордонної служби України (ДПСУ) виконують різноманітні оперативно-службові завдання (ОСЗ) з охорони державного кордону (ДК), в ході здійснення яких залучається достатня кількість штатних сучасних транспортних засобів (ТЗ), наявність яких забезпечує оперативність та мобільність несення прикордонної служби [1].

Для урахування потреб підрозділів та ООДК в сучасних, маневрених та мобільних ТЗ, тільки в період з 2012 по 2014 рік було закуплено та отримано в рамках міжнародної технічної допомоги понад 160 од. ТЗ та спеціальної техніки (СТ) на загальну суму близько 182,5 млн. грн., при цьому слід відмітити, що ця тенденція схильна до поетапного нарощування [2].

Поряд з тим, в процесі використання даних ТЗ і СТ за призначенням актуальною постає проблематика із дотримання умов їх безпечної експлуатації на гарантований період виконання оперативно-службових завдань з охорони державного кордону, що до цих пір на жаль науково та концептуально не обґрунтовано.

Сумна статистика дорожньо-транспортних пригод та подій з ТЗ за останніх 5 років, як на службовому так і на особистому транспорті свідчить про недосконаліть процесу забезпечення безпеки експлуатації ТЗ персоналом ДПСУ і як результат, за останні 5 років у ДПСУ сталося біля 200 ДТП, в яких загинуло 48 чоловік та 97 чоловік було травмовано, а також пошкоджено більш, як 47 одиниць службових ТЗ [3].

Саме таке положення вимагає вирішення проблематики вибору та обґрунтування критеріїв експлуатаційної безпеки ТЗ для вирішення проблеми підтримання безпечної експлуатації ТЗ підрозділами та ООДК.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано вирішення даної проблеми та на які опирається автор. Дослідження питань визначення критеріїв експлуатаційної безпеки та експлуатаційних вимог до безпеки ТЗ здійснювалось в наукових працях таких відомих вчених, як Мороз С.М., Васільєв В.І., Шаша І.К. та інші [4, 5]. Однак існує необхідність проаналізувати можливість використання та адаптації результатів даних досліджень в площині специфіки вирішення проблеми безпеки експлуатації ТЗ в умовах виконання ОСЗ саме підрозділами та ООДК.

Метою даної статті є проведення обґрунтування вибору критеріїв експлуатаційної безпеки транспортних засобів, з урахуванням специфіки та умов їх використання в процесі виконання ОСД з охорони ДК.

Викладення основного матеріалу дослідження. В рамках теоретичного аспекту розробленої та запропонованої автором Концепції забезпечення безпечної експлуатації ТЗ підрозділів та органів ДПСУ в умовах охорони ДК, сутність якої викладена у матеріалах [6], для підвищення рівня контролю технічного стану ТЗ підрозділів та ООДК пропонується попередньо провести вибір та обґрунтування критеріїв експлуатаційної безпеки ТЗ в умовах їх використання в процесі охорони ДК.

Відповідно до класичного підходу, експлуатаційну безпеку ТЗ визначають агрегати, системи і вузли, від яких безпосередньо залежить активна, пасивна та після аварійна безпека дорожнього руху.

Критерії, за якими слід висувати вимоги до безпеки технічних об'єктів, у тому числі до експлуатованих ТЗ і які безпосередньо пов'язані із оцінкою технічного стану ТЗ вважаються наступними (рис. 1): безпека дорожнього руху; екологічна безпека; пожежобезпека; вибухобезпека; безпека вантажно-розвантажувальних робіт (травмобезпека); біологічна безпека.

Рис. 1. Класичний перелік критеріїв експлуатаційної безпеки ТЗ

При цьому, ступінь справності складових частин (тобто відповідності сукупності економічних, естетичних, ергономічних та інших показників ТЗ вимогам конструкторської документації й нормативних документів), не підлягає підтвердженню [7].

Відповідно, система критеріїв обґрунтування вимог до експлуатаційної безпеки ТЗ була сформована наступним чином:

1. Має місце вплив обов'язкового виконання вимог технічної документації на безпеку експлуатації ТЗ.
2. Існує залежність виконання вимог до експлуатаційної безпеки тільки від умов і тривалості експлуатації та якості ремонту, а також її незалежність від конструкції ТЗ.
3. Переважає доступність для контролю виконання вимог до експлуатаційної безпеки в умовах експлуатації відомими методами діагностування при обмеженій (до 1 години) загальної тривалості процедури контролю.
4. Обов'язкове виконання вимог з недопущення розбирання ТЗ, в ході їх контролю та діагностування.
5. Присутня незалежність виконання процедури контролю ТЗ, для його відповідності запропонованій вимозі конструкторської документації заводу-виробника.

Разом з тим в ході контролю технічного стану ТЗ в умовах контрольно-технічних пунктів ООДК та гаражів ВПС визначено, що обсяг контрольованих параметрів недостатній для виявлення ступеня зношування або зниження працездатності складових частин, вузлів та агрегатів ТЗ (у тому числі тих, які відповідають за безпеку руху).

Оцінка експлуатаційної безпеки ТЗ підрозділів та ООДК вимагає спеціальних алгоритмів прийняття рішень за частковими оцінками складових частин. Проте, як показують реалії кордону, статистичні зв'язки між ними залишаються не виявленими, а прогнозування безпеки ТЗ або його складових частин взагалі не проводиться.

Крім цього, слід враховувати й те, що оптимізації інженерно-технічних підрозділів ООДК, які були проведені протягом останніх 3 років призвели до того, що професійна майстерність технічного персоналу ВПС та підрозділів автотехнічного забезпечення ООДК взагалі не дозволяє провести глибокий аналіз технічного стану ТЗ із конкретними рекомендаціями, а наявне діагностичне обладнання у переважній більшості є застарілим та й того не достатньо.

Одночасно існує потреба у наданні технічному персоналу та молодшим фахівцям ВПС та ООДК такого інструментарію, щоб вони були спроможні провести якісний контроль технічного стану ТЗ і відповідно алгоритму прийняти рішення про можливість безпечної експлуатації, як при виході ТЗ з парку ООДК так і гаражу прикордонного підрозділу.

При цьому слід додатково визначити та врахувати такі критерії, як оперативна безпека, тобто та відносна безпека ТЗ, яка дозволяє екіпажу та прикордонному наряду (групі оперативного реагування) максимально швидко висунутись в район виконання завдання з охорони ДК та успішно повернутись у пункт постійної дислокації; інформативна безпека, тобто та відносна безпека ТЗ, яка дозволяє спрогнозувати можливий вихід з ладу вузлів, механізмів або систем ТЗ, які можуть привести до виникнення небезпечних несправностей.

Розглянемо та обґрунтуємо кожен з цих критеріїв окремо.

1. Критерій оперативної безпеки буде характеризуватись такими коефіцієнтами, як коефіцієнт технічної безпеки ТЗ та коефіцієнт ризику:

Коефіцієнт технічної безпеки ТЗ ΔK – визначає відношення числа безпечних операцій до числа усіх можливих операцій, які виконуються в різних умовах виконання завдань з охорони ДК та визначається за формулою:

$$\Delta K = \frac{n}{N}, \tag{1}$$

де n – число безпечних операцій (завдань);

N – число всіх операцій (завдань);

В свою чергу коефіцієнт ризику ΔR визначатиметься за формулою:

$$\Delta R = \frac{N-n}{N} = 1 - \frac{n}{N} = \frac{n^{/}}{N}, \tag{2}$$

де $n^{/}$ – число небезпечних операцій.

При визначенні коефіцієнта технічної безпеки можна враховувати показники надійності роботи

вузлів і агрегату ТЗ, які несуть відповідальність за забезпечення безпеки руху і надійність приладів безпеки.

В цьому випадку залежності для коефіцієнта технічної безпеки ΔK_1 та ΔK_2, а також та коефіцієнту ризику ΔR_1 та ΔR_2 приймуть вигляд:

$$\Delta K_2 = \frac{n_1 + n_3}{N};\ \Delta R_1 = \frac{n_4}{N}, \tag{3}$$

де n_1 – безпечних операцій, забезпечуваних конструкцією агрегатів;

n_3 – число безпечних операцій, забезпечуваних приладами безпеки;

n_4 – число операцій, безпека яких здійснюється за рахунок впровадження запобіжних заходів.

$$n_1 + n_3 + n_4 = N. \tag{4}$$

У якості кількісної оцінки коефіцієнту технічної безпеки ТЗ може прийматись оціночна функція E, побудована за методом зважених сум:

$$E = \sum_{i=1}^{n} n_i P_i, \tag{5}$$

де P_i – ймовірність появи події i-го класу або коефіцієнт ваги;

n_i – узагальнений параметр;

n – число параметрів.

При цьому величина E буде визначати очікувані втрати при аварійних ситуаціях з ТЗ або нещасних випадках з персоналом прикордонних підрозділів.

В свою чергу очікувані втрати $\hat{E}$ прикордонного підрозділу можливо оцінити і як середнє арифметичне відомих (прогнозованих) втрат:

$$\hat{E} = \frac{\sum_{i=1}^{n} X_i}{n}. \tag{6}$$

Коефіцієнт технічної безпеки ТЗ і коефіцієнт ризику будуть знаходитися в межах від нуля до одиниці.

2. Критерій інформативної безпеки буде здійснювати прогнозування можливих несправностей вузлів, механізмів або систем ТЗ за рахунок проведення діагностики ТЗ, як перед виходом з парку(гаражу) так і безпосередньо при русі для виконання оперативно-службових завдань. Даний критерій інформативної безпеки характеризується такими коефіцієнтами, як коефіцієнт доступності зняття інформації про безпеку ТЗ та коефіцієнт швидкості обробки і передачі інформації для прийняття рішення.

Коефіцієнт доступності зняття інформації щодо виникнення небезпечних несправностей у вузлах, механізмах або системах ТЗ буде визначатись, як відношення суми усіх діагностичних параметрів до рівня доступності з урахуванням кількості застосованих методів діагностики ТЗ.

Коефіцієнт доступності зняття інформації щодо виникнення небезпечних несправностей (K_d) буде визначатись на ступним чином:

$$k_d = \frac{\sum P_d}{R_d n_m}\ v(a_0), \tag{7}$$

де $\sum P_d$ – сума усіх діагностичних параметрів вузла, механізму, системи ТЗ;

n_m – кількість методів, які були застосовані під час проведення діагностування ТЗ.

$v(a_0)$– відносна вага контрольованого параметра;

В свою чергу, рівень доступності ТЗ для діагностування буде визначатись за формулою:

$$R_d = T_Д (t_{роз} + t_{скл}), \tag{8}$$

де $t_{роз}$ – час, що витрачається на розбирання вузла (механізму) ТЗ, год.;

$t_{скл}$ – час, що витрачається на складання вузла (механізму) ТЗ, год.;

$T_Д$ – трудовитрати на проведення повного обсягу діагностування з метою підтвердження безпеки ТЗ, люд/год.;

Коефіцієнт швидкості обробки і передачі інформації для прийняття рішення, для підсистем і елементів складних технічних систем, таких як ТЗ, може бути використаний у вигляді коефіцієнту приведення (k'), що дозволяє врахувати припустимі межі змін контрольованого параметра за умов аварійних і екстремальних ситуацій, які досить часто трапляються у процесі виконання оперативно-службових завдань з охорони державного кордону.

Такий вираз буде мати вигляд:

$$k' = \frac{v(a_o) Q^H}{p}\ V_p^i N^i, \tag{9}$$

де $Q^H = \sum_{i=1}^{k} r_i Q_i^H$; Q_i^H – нормоване значення показника якості підсистеми (елемента);

$v(a_0)$ – відносна вага контрольованого параметра;

k – число показників якості підсистеми (елементу);

r_i – ваговий коефіцієнт показника якості;

$V_p{}^I$ – швидкість обробки та передачі інформації за кожний *i*-й контрольований параметр;

N^1 – кількість *i*-х контрольованих параметрів у системі.

При цьому, відносна вага (*i*-го контрольованого параметра може бути визначена модулем його зміни

$$V_i(a_0) = \left| \frac{a_i}{a_{iv}} \right|, \tag{10}$$

причому

$$\left.\begin{aligned} V_i(a) &= \left| \frac{a_i}{a_{i\,N}} \right| при \quad a_i < a_{iN}; \\ V_i(a) &= \left| \frac{a_{i\,N}}{a_i} \right| при \quad a_i > a_{iN}; \end{aligned}\right\} \tag{11}$$

де a_i – значення контрольованого *i*-го параметра;

a_{i_v} – початкове значення контрольованого *i*-го параметра;

a_{iN} — номінальне значення контрольованого *i*-го параметра.

Допускається, що запропоновані критерії зможуть відображати специфіку експлуатації ТЗ параметра за умов аварійних і екстремальних ситуацій на ВПС різних категорій.

Висновки. Таким чином, розглянуті та обгрунтовані критерії експлуатаційної безпеки ТЗ доцільно використовувати для підвищення рівня контролю технічного стану ТЗ підрозділів та ООДК, як безпосередньо на базі ООДК, так і у процесі використання ТЗ на ВПС, які виконують оперативно-службові завдання у відриві від штабів та органів автотехнічного забезпечення прикордонних загонів.

Література

1. Про Державну прикордонну службу України : закон України // Відомості Верховної Ради. – 2003. – № 27. – ст. 208).

2. Кривий В.І. Доповідь на Колегії ДПСУ «Про стан та перспективи технічного переоснащення ООДК, а також стан безпеки дорожнього руху / В.І. Кривий // Матеріали підсумкового засідання Колегії Державної прикордонної служби України за підсумками 2014 року. – К. : АДПСУ, 2014. – 45 с.

3. Сівак В. А. Аналіз сучасного стану забезпечення безпеки експлуатації транспортних засобів органів охорони державного кордону / В. А. Сівак, О.Й. Мацько // Труди академії. Серія: військові та технічні науки. – К. : Видавництво НУОУ, 2015. – № 120. – С. 97–104.

4. Шаша І.К. Основні напрямки використання математичних методів для оцінки експлуатаційних якостей автомобіля при аналізі ДТП / І.К. Шаша // Науково-технічний вісник «Безпека дорожнього руху України». – К. : ТОВ Журнал «Радуга», 2005. – № 1–2. – С. 127–134.

5. Васильев, В.И. Приложение теории информации к анализу транспортного процесса / В.И. Васильев, А.В. Шарыпов, А.В. Глазырин // Пути дальнейшего совершенствования организации перевозок пассажиров в сельской местности и пригородном сообщении : материалы Всесоюзной научно-технической конф. – Курган, 1983. – С. 46–49.

6. Сівак В.А. Концепція безпечної експлуатації транспортних засобів в умовах охорони державного кордону/ В.А. Сівак // Збірник наукових праць НАДПСУ, Серія: військові і технічні науки : наукове видання. –Хмельницький : Вид-во НАДПСУ, 2015. – № 2(64). – С. 76–82.

7. Мороз С.М. Обеспечение эксплуатационной безопасности автотранспортных средств / Мороз С.М. – М. : Автополис Плюс, 2005. – 231 с.

References

1. Zakon Ukraini «Pro Derzhavnu prikordonnu sluzhbu Ukraini» (Vidomosti Verhovnoi Radi, 2003, № 27, st. 208) (Iz zminami, vnesenimi zgidno iz Zakonom № 965IV (96515) vid 19.06.2003, VVR, 2003, № 45, st. 357).

2. V.I. Krivij, Dopovid' na Kolegii DPSU «Pro stan ta perspektivi tehnichnogo pereosnashhennja OODK, a takozh stan bezpeki dorozhn'ogo ruhu, Materiali pidsumkovogo zasidannja Kolegii Derzhavnoi prikordonnoї sluzhbi Ukraïni za pidsumkami 2014 roku. K.: ADPSU, 2014, 45 s.

3. V.A. Sivak, O.J. Mac'ko, Analiz suchasnogo stanu zabezpechennja bezpeki ekspluatacії transportnih zasobiv organiv ohoroni derzhavnogo kordonu, Trudi akademiї. Serija vijs'kovi ta tehnichni nauki: Kyiv. Vidavnictvo NUOU, 2015. № 120. S. 97-104.

4. I.K. Shasha, Osnovni naprjamki vikoristannja matematichnih metodiv dlja ocinki ekspluatacijnih jakostej avtomobilja pri analizi DTP, Naukovo-tehnichnij visnik «Bezpeka dorozhn'ogo ruhu Ukraïni». K.: TOV Zhurnal «Raduga». 2005. № 1-2. S. 127-134.

5. V.I. Vasil'ev, A.V. Sharypov, A.V. Glazyrin, Prilozhenie teorii informacii k analizu transportnogo processa, Puti dal'nejshego sovershenstvovanija organizacii perevozok passazhirov v sel'skoj mestnosti i prigorodnom soobshhenii: materialy Vsesojuznoj nauchno-tehnicheskoj konferencii, Kurgan, 1983. S.46-49.

6. V.A. Sivak, Koncepcija bezpechnoї ekspluatacії transportnih zasobiv v umovah ohoroni derzhavnogo kordonu, Zbirnik naukovih prac' NADPSU, Serija: vijs'kovi i tehnichni nauki: naukove vidannja. Khmelnytskyi: Vidavnictvo NADPSU, 2015, № 2(64). S.76-82.

7. S.M. Moroz, Obespechenie jekspluatacionnoj bezopasnosti avtotransportnyh sredstv. M.: Avtopolis Pljus, 2005. 231 s.

Рецензія/Peer review : 30.6.2015 р. Надрукована/Printed :28.6.2015 р.
Рецензент: д.т.н., доцент Лисий М.І.

УДК 621.314.21

О.Л. ШПАК
ПАТ "Хмельницькобленерго"

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ОДНОФАЗОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА ЯК ГРУПОВОГО ЕЛЕМЕНТА В ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНІЙ СИСТЕМІ

Наведено обґрунтування необхідності підвищення повноти та вірогідності моделювання процесів в енергосистемах. Представлена модель однофазного трансформатора як одного з основних елементів енергосистеми.

Ключові слова: математична модель, однофазовий трансформатор, електроенергетична система, рівняння, аварія.

O.L. SHPAK
Public Joint Stock Company "Khmelnytskoblenergo"

MATHEMATICAL MODEL OF SINGLE-PHASE TRANSFORMER AS A GROUP ELEMENT IN THE ELECTRIC POWER SYSTEM

The reasoning for the need to improve the completeness and accuracy of modelling of processes in power systems was grounded by the author. A model of single-phase transformer as one of the main elements of the power system was presented in the article. The proposed model is more accurate and has higher performance in comparison with existing ones. This form of transformer is the most convenient in describing it as an element of complex energy system.

Keywords: mathematical model, single-phase transformer, electric power system, equation, accident.

Статистичні дані [1, 2] свідчать про те, що близько 50% важких аварій в електроенергетичних системах (ЕЕС) відбувається через неправильні дії диспетчерського персоналу, релейного захисту, технологічної та протиаварійної автоматики, головною причиною котрих є використання під час проектування, пусконалагоджень і експлуатації недостатньо повної і достовірної інформації про нормальні та особливо аварійні процеси ЕЕС.

Специфіка ЕЕС практично виключає можливість отримання цієї інформації натурним шляхом, а складність сучасних ЕЕС стає перешкодою для їх фізичного моделювання. Тому основним джерелом отримання інформації про різноманітні нормальні і аварійні процеси в ЕЕС є математичне моделювання. Можливості й ефективність цього інструментарію визначаються в основному двома факторами: наявністю достатньо точних математичних моделей для всіх видів і типів обладнання і засобів, які здатні надійно і ефективно розв'язувати системи рівнянь, утворені цими моделями.

Висока аварійність і ЕЕС свідчить про те, що існуюча реалізація цих факторів не забезпечує для її зниження необхідного рівня достовірності математичного моделювання для ефективного диспетчерського управління його оперативності.

Детально ці фактори проаналізовано в [3–5], з яких випливає насущна необхідність і актуальність подальшого розвитку обох цих факторів. Очевидно також, що логічно першочерговою є побудова математичних моделей.

Невід'ємними і значущими елементами перетворення і розподілу електроенергії є трансформатори, вони справляють суттєвий вплив на процеси в ЕЕС в цілому. Тому для досягнення необхідної повноти і достовірності відтворення процесів у ЕЕС їх математична модель повинна мати високу точність і враховувати конструктивні особливості, які визначаються кількістю фаз, обмоток та типом магнітопровода. Найпоширенішими є одно- та трифазні трансформатори, які можуть мати одну або декілька вихідних обмоток.

Розглянемо математичну модель однофазного двообмоткового трансформатора. При виведенні рівнянь стану будемо вважати, що параметри вторинної обмотки наведені за числом витків до первинної. Це означає, що число витків у рівняннях стану фігурувати не буде.

Рівняння первинної і вторинної обмоток згідно з другим законом Кірхгофа мають вигляд

$$\frac{d\Psi_1}{dt} = u_1 - r_1 i_1, \quad \frac{d\Psi_2}{dt} = -L\frac{di_2}{dt} - (r_2 + R_H)i_2, \tag{1}$$

де $\Psi_1, \Psi_2, i_1, i_2, r_1, r_2$ – повні потокозчеплення, струми та опори обмоток трансформатора; u_1 – напруга живлення. Тут індекси 1 і 2 вказують на причетність до первинної та вторинної обмоток.

Повні потокозчеплення представимо сумою

$$\Psi_1 = \Psi_{\sigma 1} + \Psi, \quad \Psi_2 = \Psi_{\sigma 2} + \Psi, \tag{2}$$

де $\Psi_{\sigma 1}, \Psi_{\sigma 2}$ – потокозчеплення розсіяння обмоток; Ψ – робоче або основне потокозчеплення.

Лінійність зв'язку між потокозчепленнями розсіяння і відповідними їм струмами обумовлена лінійними середовищами, за якими вони замикаються, тому

$$\Psi_{\sigma 1} = L_{\sigma 1} i_1 = {}^{i_1}/_{\alpha_1}, \quad \Psi_{\sigma 2} = L_{\sigma 2} i_2 = {}^{i_2}/_{\alpha_2}, \tag{3}$$

де $L_{\sigma 1}, L_{\sigma 2}$ – індуктивності розсіяння обмоток, а α_1, α_2 – обернені їм величини.

Підставимо (3) в (2)

$$\Psi_1 = {}^{i_1}/_{\alpha_1} + \Psi, \quad \Psi_2 = {}^{i_2}/_{\alpha_2} + \Psi. \tag{4}$$

Рівняння струмів згідно з (4) набудуть вигляду

$$i_1 = \alpha_1 (\Psi_1 - \Psi), \; i_2 = \alpha_2 (\Psi_2 - \Psi). \tag{5}$$

Для другого рівняння системи (1) введемо позначення

$$\frac{d\Psi_1'}{dt} = -r_2 i_2, \tag{6}$$

тоді друге рівняння стане

$$\frac{d\Psi_2}{dt} = \frac{d\Psi_2'}{dt} - L\frac{di_2}{dt}. \tag{7}$$

Продиференціюємо (5) за часом і в отриманий результат підставимо (7). Отримаємо

$$\frac{di_1}{dt} = \alpha_1 \left(\frac{d\Psi_1}{dt} - \frac{d\Psi}{dt}\right), \tag{8}$$

$$\frac{di_2}{dt} = \alpha_2 \left(\frac{d\Psi_2'}{dt} - L\frac{di_2}{dt} - \frac{d\Psi}{dt}\right). \tag{9}$$

Розв'язок (9) відносно похідної струму i_2 буде такий

$$\frac{di_2}{dt} = \alpha_2' \left(\frac{d\Psi_2'}{dt} - \frac{d\Psi}{dt}\right), \tag{10}$$

де

$$\alpha_2' = {}^{\alpha_2}/_{(1 + \alpha_2 L)}, \tag{11}$$

Криву намагнічування осердя трансформатора, тобто залежність функцій робочого потокозчеплення $\varphi(\Psi)$ від струмів i_1, i_2, подамо у вигляді

$$\varphi(\Psi) = i_1 + i_2. \tag{12}$$

Продиференціюємо вираз (12) за часом і в отриманий результат підставимо (8), (10)

$$\alpha'' \frac{d\Psi}{dt} = \alpha_1 \left(\frac{d\Psi_1}{dt} - \frac{d\Psi}{dt}\right) + \alpha_2' \left(\frac{d\Psi_2'}{dt} - \frac{d\Psi}{dt}\right). \tag{13}$$

Тут α'' – величина, обернена диференціальній індуктивності трансформатора, яку визначаємо за кривою намагнічування

$$\alpha'' = \frac{d\varphi(\Psi)}{d\Psi} = \alpha''(\Psi). \tag{14}$$

Вираз для похідної основного потокозчеплення, розв'язавши відносно неї (13):

$$\frac{d\Psi}{dt} g_1 \frac{d\Psi_1}{dt} + g_2 \frac{d\Psi_2'}{dt}, \tag{15}$$

де

$$g_1 = \frac{\alpha_1}{\alpha'' + \alpha_1 + \alpha_2'}, \quad g_2 = \frac{\alpha_2'}{\alpha'' + \alpha_1 + \alpha_2'}. \tag{16}$$

Підставивши (15) в (8), (10), отримаємо

$$\frac{di_1}{dt} = \alpha_1 \left(\frac{d\Psi_1}{dt} - g_1 \frac{d\Psi_1}{dt} - g_2 \frac{d\Psi_2'}{dt}\right), \tag{17}$$

$$\frac{di_2}{dt} = \alpha_2' \left(\frac{d\Psi_2'}{dt} - g_1 \frac{d\Psi_1}{dt} - g_2 \frac{d\Psi_2'}{dt}\right). \tag{18}$$

Після нескладних перетворень рівня похідних струмів набудуть вигляду

$$\frac{di_1}{dt} = a_{11} \frac{d\Psi_1}{dt} + a_{22} \frac{d\Psi_2'}{dt}, \tag{19}$$

$$\frac{di_2}{dt} = a_{21}\frac{d\Psi_1}{dt} + a_{22}\frac{d\Psi_2'}{dt}, \quad (20)$$

де

$$a_{11} = \alpha_1(1-g_1), a_{12} = -\alpha_1 g_2, a_{21} = -\alpha_2' g_1, a_{22} = \alpha_2'(1-g_2), \quad (21)$$

Підставимо похідні потокозчеплень з першого рівняння системи (1) і (6) отримаємо остаточний вигляд рівнянь, які є математичною моделлю трансформатора

$$\frac{di_1}{dt} = a_{11}(u_1 - r_1 i_1) - a_{12} r_2 i_2, \quad (22)$$

$$\frac{di_2}{dt} = a_{21}(u_1 - r_1 i_1) - a_{22} r_2 i_2. \quad (23)$$

Висновок. Рівняння (22), (23) розв'язані відносно похідних струмів, тобто представлені в нормальній формі Коші. Виключення необхідності виконання самої трудомісткості операції чисельного інтегрування диференціальних рівнянь – обертання матриці коефіцієнтів означає, що запропонована модель є більше точною і має вищу швидкодію у порівнянні з існуючими. Така форма моделі трансформатора є найбільш зручною під час описування його як елемента складної енергетичної системи.

Література

1. Скопинцев В. А. Анализ и прогноз аварийности в электроэнергетических системах / В. А. Скопинцев, Ю. В. Морошкин // Электричество. – 1997. – № 11. – С. 2–8.

2. Управление мощными энергообъединениями / под ред. С. А. Совалова. – М. : Энергоатомиздат, 1984. – 256 с.

3. Бахвалов Н. С. Численные методы : учеб. пособие / Бахвалов Н. С., Жидков Н. П., Кобельков Г. М. – М. : Наука. Гл. ред. физ.-мат. мет., 1987. – 600 с.

4. Бабушка И. Численные процесы решения дифференциальных уравнений / Бабушка И., Витасек Э., Пракер М. ; пер. с англ. / под ред. Г. И. Марчука. – М. : Мир, 1969. – 368 с.

5. Погосян Т. А. Погрешность расчетов электромеханических переходных процессов в электрических системах / Т. А. Погосян // Электричество. – 1984. – № 3. – С. 54–56.

References

1. V. A. Skopincev, Yu. V. Moroshkin, Analiz i prognoz avarijnosti v elektroenergeticheskix sistemax, Elektrichestvo. 1997. Issue 11. P. 2–8.

2. Upravlenie moshhnymi enerhoob´edineniyami / pod red. S. A. Sovalova. M. : Energoatomizdat, 1984. 256 p.

3. N. S.Baxvalov, N. P. Zhydkov, H. M. Kobelkov, Chislennye metody: ucheb. posobie, M.: Nauka. Hl. red. fiz.-mat. met., 1987. 600 p.

4. I. Babushka, E. Vytasek, M. Praker, Chislennye procesy reshenyia dyfferentsialnyx uravnenyi, per. s angl. pod red. H. Y. Marchuka. M. : Mir, 1969. 368 p.

5. T. A. Pohosyan, Pogreshnost raschetov elektromexanicheskix perexodnyx processov v elektricheskix systemax, Elektrichestvo. 1984. Issue 3. P. 54–56.

Рецензія/Peer review : 20.8.2015 р. Надрукована/Printed :28.6.2015 р.
Стаття рецензована редакційною колегією

УДК 637.5.02

Н.В. ФІЛІМОНОВА
Черкаський державний технологічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРНО-МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ М'ЯСА ЯК ОБ'ЄКТА ПЕРЕРОБКИ У ВОВЧКУ

Ефективна робота м'ясорізальних вовчків можлива лише за умови врахування властивостей сировини під час проектування даних машин. Специфічними властивостями м'яса як об'єкта переробки у вовчку є, насамперед, здатність його до значного деформування під дією зовнішнього тиску. Саме це призводить до обмеження зони подачі м'яса шнеком вовчка в різальний вузол в кожний момент часу та, як наслідок, до істотного, понад 2 рази, зменшення питомої продуктивності вовчків. В роботі наведено результати досліджень реологічних властивостей трьох видів м'ясної сировини: яловичини, свинини та курятини, для яких встановлено значення модуля осьового стискання, напруження стандартної пенетрації та напруження зрізу цільної м'язової тканини. Отримані дані можуть бути використані в ході обґрунтування високопродуктивних способів подачі м'яса до різального вузла вовчків.

Ключові слова: м'ясорізальний вовчок, м'ясо, шнек, подача, реологічні властивості.

NADYA VICTORIVNA FILIMONOVA
Cherkassy state technological university

RESEARCH OF STRUCTURAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF MEAT AS AN OBJECT OF PROCESSING IN MEAT COMMINUTOR

Abstract – an effective work of meat comminutors is possible only on condition of consideration of properties of raw material when designing these machines. Specific properties of meat as an object of processing in comminutor is, above all, its ability to considerable deformation under external pressure. That is what leads to restricted areas of serve of meat with the screw of the comminutor to a cutting unit at every instant and, consequently, to a significant, more than 2 times, reduction of specific performance of meat comminutors. This paper presents the results of research of rheological properties of three kinds of raw meat: beef, pork and chicken, which set the module of axial compression, tension of standard penetration and tension of solid muscle tissue cutoff. The data can be used in justifying the highly productive methods of supply of meat to cutting unit of comminutors.

Keywords: meat comminutor, meat, screw, serve, rheological properties.

Постановка проблеми

Подальше вдосконалення м'ясорізальних вовчків можливе при знаходженні нових відомостей про робочі процеси в даних машинах. Авторами роботи [1] встановлено, що робочий шнек вовчка в кожний момент часу подає сировину не по всій площі решітки різального вузла, а лише в межах певного сектору, який відраховується від кінця витка шнеку. Внаслідок цього фактична продуктивність вовчка щонайменше удвічі менша за максимальну теоретично можливу. В основі такого зменшення продуктивності лежать реологічні властивості м'ясної сировини, насамперед, компресійні. Обґрунтувати високопродуктивні способи подачі м'яса до різального вузла вовчків можна лише при належному врахуванні реологічних властивостей м'ясної сировини. При цьому, відповідно, вкрай важливим стає питання коректного визначення числових значень означених структурно-механічних показників. Незважаючи на численні дослідження реологічних властивостей м'яса та м'ясних напівфабрикатів, на даний час відсутні вичерпні відомості з даного проблемного питання в контексті означеної задачі вдосконалення вовчків.

Аналіз останніх джерел

В роботі [2] наведено дані про компресійні властивості (залежність відносної деформації від прикладеного тиску) м'ясного фаршу. Але ці дані не можна переносити на цільну м'язову тканину м'яса внаслідок різного агрегатного стану цих видів сировини. Автором [3] узагальнено дані досліджень реологічних властивостей м'яса та м'ясних фаршів. Наведено значення компресійних властивостей м'яса, величини зусилля пенетрації та зусилля різання лезом та пуансоном. Однак ці дані стосуються лише яловичини і не описують властивості свинини та курятини, які також є розповсюдженими видами сировини, що перероблюється у вовчках. В роботах [4–6] наведено дані про величини тиску, при якому починається процес продавлювання м'яса крізь решітки різального вузла вовчків. Проте при означених дослідженнях враховувався не лише опір вдавлювання сировини в отвори (напруження зрізу при різанні м'яса пуансоном), а й опір рухові сировини всередині отворів, що суттєвим чином змінювало отримані дані і не дозволяє їх належним чином використовувати при моделюванні робочих процесів у вовчку (для чого необхідно диференціювати значення вказаних видів опору). Величина роботи різання м'яса пуансоном (яловичини та свинини) досліджена авторами робіт [7, 8], але, як і в [3], дані щодо курятини відсутні. Все означене дозволяє зробити висновок, що дослідження деформаційних властивостей м'яса продовжує залишатись актуальною задачею.

З урахуванням принципу дії вовчка (подача цільного м'яса шнеком, вдавлювання його в отвори решіток та різання ножем) доцільним є дослідження модуля осьового стискання E (задля опису процесу стискання м'яса при подачі його шнеком), напруження стандартної пенетрації Θ_0 (задля опису процесу обтікання м'ясом перемичок поміж отворами решіток) та напруження зрізу $\Theta_{зр}$ м'яса (задля опису процесу розрізання м'яса різальними окрайками отворів решіток, а також різання м'яса лезами ножа).

Метою роботи є: дослідження модуля осьового стискання, напруження стандартної пенетрації та

напруження зрізу основних видів м'ясної сировини, яка переробляється у вовчках.

Виклад основного матеріалу

Методика експериментальних досліджень означених структурно-механічних властивостей м'яса полягала у наступному. Використовувалась модифікована електромеханічна універсальна випробувальна машина SANS CMT2503 (виробництва Shenzhen SANS Testing Machine Co., КНР) лабораторії м'ясних продуктів Інституту продовольчих ресурсів НААН України (м. Київ). Універсальна випробувальна машина SANS CMT2503 (рис. 1), призначена для визначення міцнісних та структурно-механічних властивостей різних матеріалів. В ній використовується принцип замкненої цифрової системи керування та вимірювань із застосуванням комп'ютера, на дисплей якого виводиться необхідна інформація у цифровому або графічному вигляді. При цьому результати випробувань автоматично обробляються та зберігаються в пам'яті системи.

Використовувались наступні насадки з інденторами: циліндричний плунжер – для визначення E (рис. 1, б); Magness-Teylor – для визначення Θ_0 (рис. 1, в); Warner-Bratzler – для визначення $\Theta_{зр}$ (рис. 1, г). В якості сировини використовувалась яловичина І-го ґатунку, свинина нежирна та курятина (філе) при температурі 24 °С. Під час досліджень сировину встановлювали під індентора (вирізали шматок певного діаметру та висоти при визначенні E; наповнювали циліндричну кювету при визначенні Θ_0; вирізали шматок певної ширини та товщини і встановлювали під індентор при визначенні $\Theta_{зр}$) та встановлювали її під траверсою, центруючи відносно індентора, після чого вмикали привод. Швидкість руху індентора була $1{,}67 \cdot 10^{-4}$ м/с при визначенні E та $3{,}33 \cdot 10^{-4}$ м/с при визначенні Θ_0 і $\Theta_{зр}$.

Модуль осьового стискання визначався за виразом:

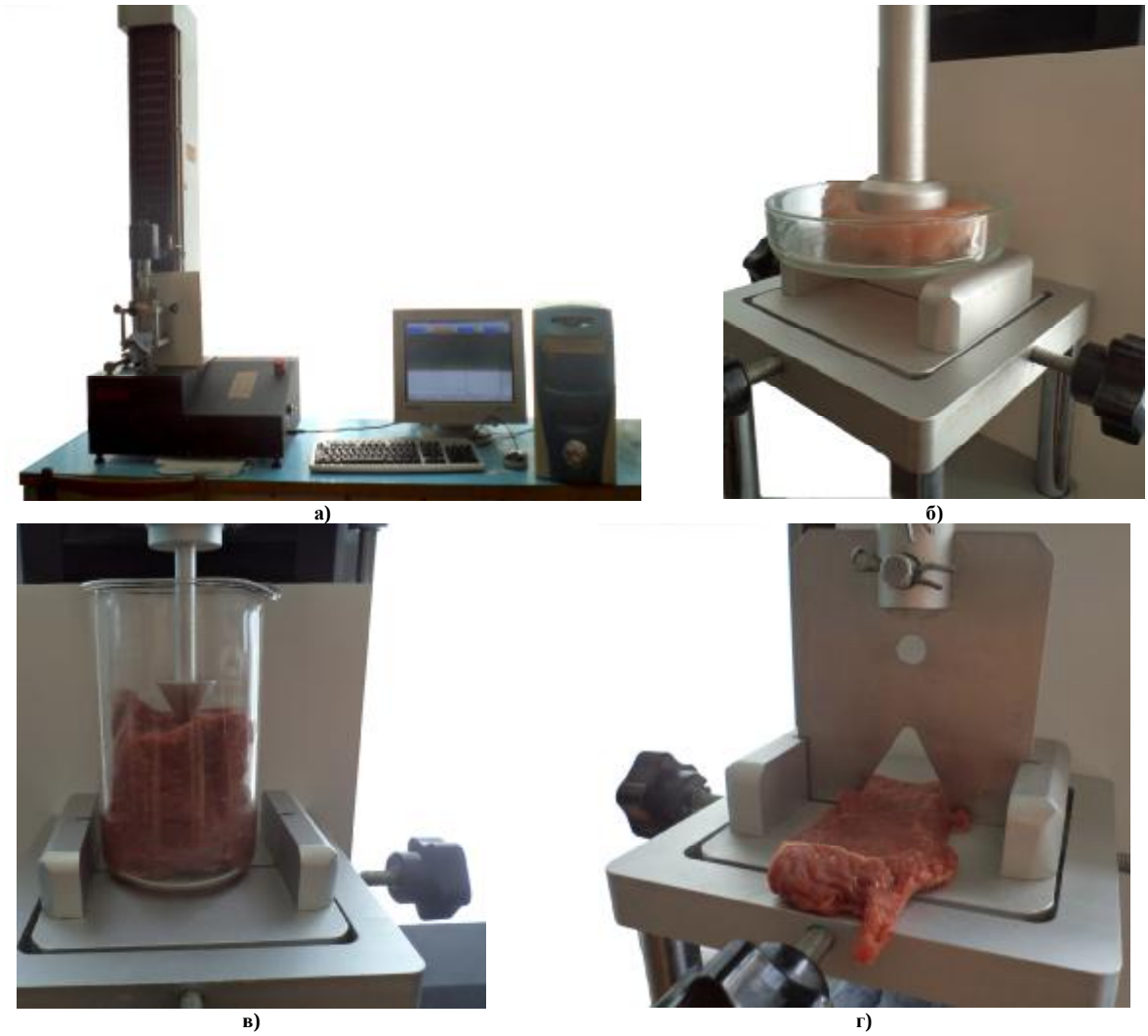
$$E = \frac{P}{S_0} \cdot \frac{h_0}{h_1}, \text{Па} \qquad (1)$$

де P – зусилля стискання, Н (визначається на прямолінійній ділянці кривої "навантаження – деформація");

S_0 – початкова площа перерізу зразка, м^2;

h_0 – початкова висота зразка, м;

h_1 – висота зразка після стискання, м;



а) **б)** **в)** **г)**

Рис. 1. Універсальна випробувальна машина SANS CMT2503:
а) – загальний вигляд; б) – індентор у вигляді циліндричного плунжера; в) – індентор Magness-Teylor; г) – індентор Warner-Bratzler

Напруження стандартної пенетрації визначалось за формулою П. О. Ребіндера:

$$\Theta_0 = k_a \cdot \frac{P}{h^2}, \text{ Па} \quad (2)$$

де P – зусилля пенетрації, Н (визначається на прямолінійній ділянці кривої “навантаження – деформація”); h – глибина занурення конуса, м; k_α – константа конуса (при $\alpha = 60^\circ$ $k_\alpha = 0{,}214$)

Напруження зрізу визначалось наступним чином:

$$\Theta_{зр} = \frac{P}{S}, \text{ Па} \quad (3)$$

де P – зусилля зрізу, Н; S – площа зрізу, м^2.

Отримані графічні залежності наведені на рис. 2–4, а результати визначення структурно-механічних властивостей – в таблиці 1.

Таблиця 1

Структурно-механічні властивості м’ясної сировини

Показник	Вид м’ясної сировини		
	Яловичина	Свинина	Курятина
Модуль осьового стискання E, Па·10^3	456,91	144,58	108,77
Напруження стандартної пенетрації Θ_0, Па·10^3	83,57	172,90	48,60
Напруження зрізу $\Theta_{зр}$, Па·10^3	277,7	467,89	141,24

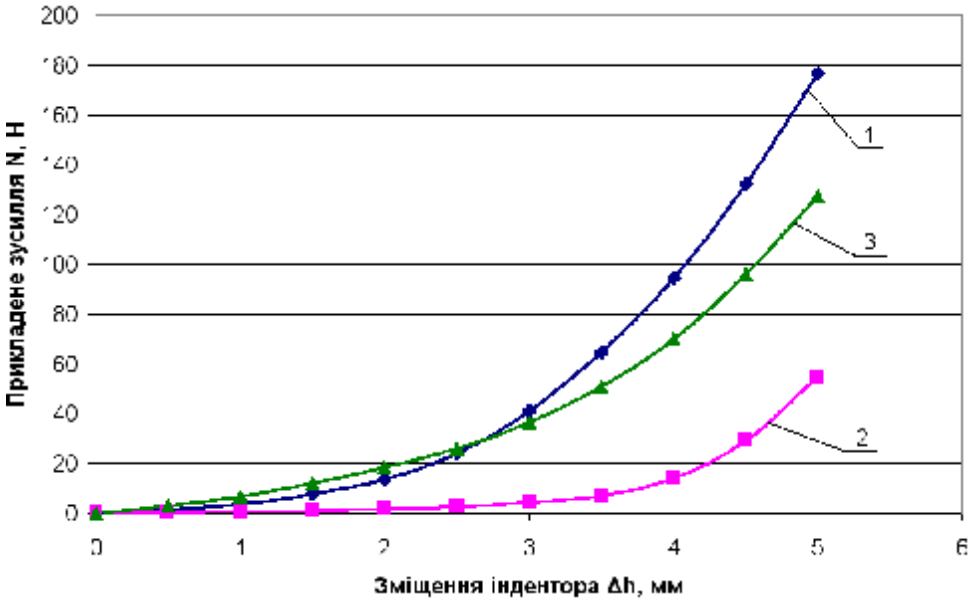


Рис. 2. Залежність зміщення індентора Δh від прикладеного навантаження N при визначенні модуля осьового стискання: 1 – яловичина; 2 свинина; 3 – курятина

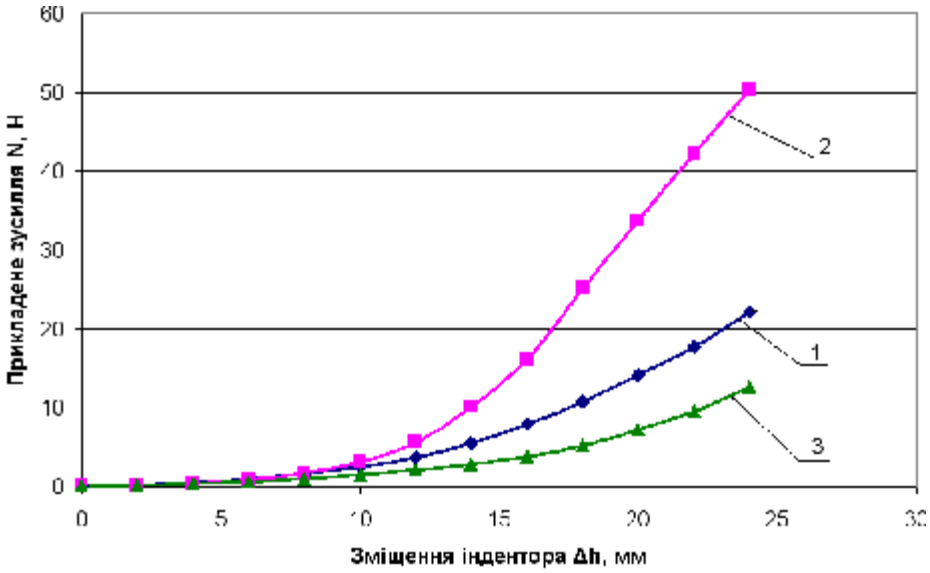


Рис. 3. Залежність зміщення індентора Δh від прикладеного навантаження N при визначенні напруження стандартної пенетрації: 1 – яловичина; 2 свинина; 3 – курятина

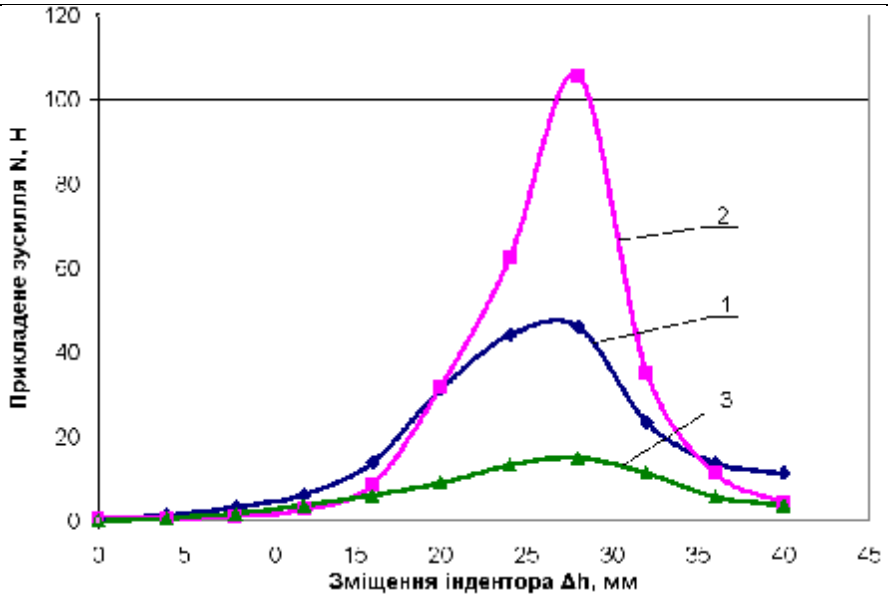


Рис. 4. Залежність зміщення індентора *Δh* від прикладеного навантаження *N* при визначенні напруження зрізу: 1 – яловичина; 2 свинина; 3 – курятина

Висновки

Експериментальним шляхом досліджено структурно-механічні властивості м'ясної сировини, яка найчастіше переробляється у вовчках. Встановлено, що найбільший модуль осьового стискання властивий яловичині (456,91 кПа), для свинини та курятини він приймає менші значення (144,58 кПа та 108,77 кПа відповідно). Найбільше напруження стандартної пенетрації спостерігається для свинини (172,90 кПа), тоді як для яловичини та курятини 83,57 кПа та 48,60 кПа відповідно. Аналогічним чином найбільше напруження зрізу при різанні лезом з кутом загострення 90° спостерігається для свинини (467,89 кПа), тоді як для яловичини – 277,7 кПа, а для курятини – 141,24кПа. Отримані дані можуть бути використанні під час обгрунтування високопродуктивних способів подачі м'яса до різального вузла вовчків.

Література

1. Некоз О.І. Дослідження інтенсивності зношування лез ножа вовчка / О. І. Некоз, Н. В. Філімонова, С. О. Філімонов, О. В. Батраченко, А. В. Хом'як // Вісник ЧДТУ. – 2013. – № 2. – С. 84–96.

2. Бакунц В. Г. К теории обработки мяса в куттере и мешалке. Одноосное сжатие фарша / В. Г. Бакунц // Мясная индустрия. – 1966. – № 3. – С. 50–53.

3. Горбатов А. В. Гидравлика и гидравлические машины для пластично-вязких мясных и молочных продуктов / А. В. Горбатов. – М. : Агропромиздат, 1991. – 174 с.

4. Горяев, В. В. Совершенствование конструкций и методики расчета режущего механизма волчков : автореф. дисс. на соиск. научной степени кандидата техн. наук / В. В. Горяев. – М., 1989. – 16 с.

5. Максимов Д. А. Разработка адаптированного гибкого подающего рабочего органа в волчках : автореф. дисс. на соиск. научной степени кандидата техн. наук / Д. А. Максимов. – М., 2008. – 21 с.

6. Некоз О.І. Гідравлічний опір різального вузла вовчків / О. І. Некоз, В. І. Осипенко, Н. В. Філімонова, О. В. Батраченко // Вісник Хмельницького національного університету. – 2015. – № 6. – С. 13–19.

7. W. Schnackel, J. Krickmeier, Oktaviani, Dmitrinka Schnackel, I. Micklisch, „Untersuchungen zur optimierung des wolfprozesses. Teil 1", Fleischwirtschaft, № 7, 2011, pp. 83–87.

8. W. Schnackel, J. Krickmeier, W. Pongjanyanukul, Dmitrinka Schnackel, I. Micklisch, „Untersuchungen zur optimierung des wolfprozesses. Teil 1", Fleischwirtschaft, № 1, 2012, pp. 88–92.

References

1. Nekoz O.I., Filimonova N. V., Filimonov S. O., Batrachenko O. V., Khom'jak A. V. Doslidzhennja intensyvnosti znoshuvannja lez nozha vovchka,*Visnyk ChDTU*, 2013, №2, pp.84-96.

2. Bakunc V. Gh. K teoryy obrabotky mjasa v kuttere y meshalke. Odnoosnoe szhatye farsha, *Mjasnaja yndustryja*, 1966, №3, pp.50-53.

3. Ghorbatov A. V. Ghydravlyka y ghydravlycheskye mashynы dlja plastychno-vjazkykh mjasnыkh y molochnыkh produktov, Moskva, Aghropromyzdat, 1991, pp.174.

4. Ghorjaev V. V. Sovershenstvovanye konstrukcyj y metodyky rascheta rezhushhegho mekhanyzma volchkov, avtoref. dyss. na soysk. nauchnoj stepeny kandydata tekhnycheskykh nauk, Moskva, 1989, pp.16.

5. Maksymov D. A. Razrabotka adaptyrovannogho ghybkogho podajushhegho rabochegho orghana v volchkakh, avtoref. dyss. na soysk. nauchnoj stepeny kandydata tekhnycheskykh nauk, Moskva, 2008, pp.21.

6. Nekoz O.I., Osypenko V. I., Filimonova N. V., Batrachenko O. V. Ghidravlichnyj opir rizaljnogho vuzla vovchkiv, *Visnyk Khmeljnycjkogho nacionaljnogho universytetu*, 2015, №6, pp. 13-19.

7. Schnackel W., Krickmeier J., Oktaviani, Schnackel D., Micklisch I.Untersuchungen zur optimierung des wolfprozesses, *Fleischwirtschaft*, 2011, Vol.1, №7, pp. 83-87.

8. Schnackel W., Krickmeier J., Pongjanyanukul W., Schnackel D., Micklisch I.Untersuchungen zur optimierung des wolfprozesses, *Fleischwirtschaft*, 2012, Vol.1, № 1, pp. 88-92.

Рецензія/Peer review : 14.7.2015 р. Надрукована/Printed :28.6.2015 р.
Рецензент: д.т.н., професор, Осипенко В.І.

ТЕХНОЛОГІЇ ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

УДК687.14

С.С. МАТВІЙЧУК
Мукачівський державний університет

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИЧНОЇ БАЗИ ПРОЕКТУВАННЯ СПОРТИВНОЇ ФОРМИ ДЛЯ БАСКЕТБОЛІСТІВ

В статті викладені результати експериментальних досліджень встановлення динамічної відповідності баскетбольної форми та запропоновані рекомендації щодо удосконалення існуючої методики побудови спортивної форми.

Ключові слова: баскетбольна форма, динамічна відповідність.

S.S. MATVIICHUK
Mukachevo State University

IMPROVING THE METHODOLOGICAL BASIS FOR DESIGNING SPORTS SUITS FOR BASKETBALL-PLAYERS

Abstract - The purpose of the article is to improve the methodological basis for designing sports suits for basketball-players. The article presents the results of experimental studies which established the dynamic compliance of basketball sports suits and proposes recommendations for the improvement of existing methods of making sports suits. The author defines the most typical complex dynamic positions of an athlete during a basketball game taking into account the analysis of frequency of their use. Experimentally, by using the photographic mapping the degree of dynamic compliance of the developed model of sports suit has been defined. Due to the formed list of defects of dynamic compliance with the model the rational values of construction allowances have been defined. These allowances are offered to improve the existing method. This makes the method more versatile for use in the design of sports suits for team games with the ball.

Keywords: sports suits for basketball-players, the dynamic compliance

Постановка проблеми

Динамічну відповідність одягу забезпечують, як правило, шляхом застосування оригінальних конструктивних рішень і використання динамічних приростів, величини яких визначають при крайніх положеннях тулуба та кінцівок людини. Це передбачає виконання рухів лише в одній площині (профільній, фронтальній або горизонтальній). Проте, існують види спорту, де спортсмени виконують просторові рухи одночасно в двох, а іноді і в трьох площинах. Крім того, амплітуди виконання таких рухів відмінні від максимальних значень.

У основі баскетболу лежать як природні рухи — біг, стрибки, кидки, передачі, так і спеціальні прийоми, які роблять гру непередбачуваним і захоплюючим видовищем. Саме тому, в ході розробки спортивної форми для баскетболістів виникає проблема динамічної відповідності форми специфіці рухам спортсменів.

Тому, дана робота спрямована на удосконалення методичної бази проектування із забезпеченням динамічної відповідності баскетбольної форми.

Аналіз останніх досліджень

При розгляді методичного забезпечення параметричної побудови креслень основних деталей слід зауважити, що методик конструювання спортивного одягу небагато (методики «Мюллер і син», Маслової Л.А., основи конструювання спортивного одягу, викладені З.К. Аміровою та О.В. Сакуліною). Враховуючи, що спортивний одяг виготовляється, в більшості випадків, з трикотажу, то використовують методики конструювання одягу з трикотажних полотен. Якість посадки виробів при цьому залежить від вибору прибавок на вільне облягання та досвідченості конструктора.

Методика конструювання спортивного одягу з трикотажних полотен — плечового та поясного виробів, запропонована Масловою Л.А. на даний період ще не знайшла застосування в промисловому проектуванні, оскільки проходить апробацію в індивідуальному виробництві та виробництві малими партіями.

Беручи до уваги, що методична база проектування спортивного одягу з високим рівнем динамічної відповідності на сьогодні обмежена, метою дослідження є визначення відповідності методики Маслової Л.А. для побудови спортивної форми для баскетболістів з експериментальним підтвердженням динамічної відповідності розробленої форми.

Для досягнення поставленої мети були поставлені наступні **задачі дослідження:**

1) визначення комплексних динамічних положень тіла баскетболіста під час гри;

2) експериментальне встановлення параметричних зв'язків в системі «людина – одяг» з метою забезпечення динамічної відповідності баскетбольної форми;

3) розробка рекомендацій щодо удосконалення методики побудови Маслової Л.А. з точки зору забезпечення динамічної відповідності баскетбольної форми.

Виклад основного матеріалу

За результатами здійсненого аналізу існуючих моделей одягу для різних видів спорту,

запропоновано взяти за основу проектування форми для командних видів спорту з м'ячем баскетбольну форму, оскільки її комплектність – майка (або футболка) та шорти відповідають комплектності форм більшості командних видів спорту з м'ячем (рис. 1). В той же час комплекс рухів спортсменів під час гри в ці види спорту є подібним, що робить можливим результати досліджень динамічної відповідності баскетбольної форми вважати достовірними відносно форми для цих видів спорту.

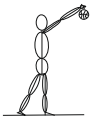
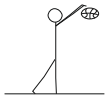
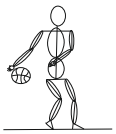
Рис. 1. Форма командних ігор з м'ячем

Проблема забезпечення спортивним одягом з високим рівнем динамічної відповідності ускладнюється і тим фактором, що спортивна форма у більшості випадків складається з декількох елементів одягу (шорти + майка, шорти + футболка та ін.).

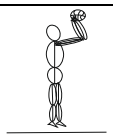
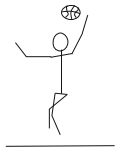
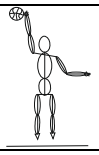
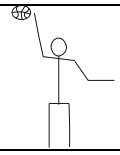
З метою забезпечення динамічної відповідності баскетбольної форми на першому етапі проведено аналіз частоти зустрічності основних рухів спортсменів під час гри в баскетбол (таблиця 1) для визначення найхарактерніших рухів. Аналіз було здійснено за методом анкетного опитування гравців та тренерів баскетбольної команди.

Таблиця 1

Аналіз частоти зустрічності основних рухів при грі в баскетбол

Вид прийомів та рухів	Зображення рухів	Схематичне представлення рухів		Частота зустрічності*
1	2	3	4	5
Передача м'яча:				
однією рукою від плеча				●
двома руками від грудей				●●●
двома руками над головою				●
однією рукою знизу				●
Ведення м'яча:				
викрокування				●●●
поворот				●●
Кидок:				
однією рукою (подвійний крок				●●●

Продовження табл. 1

1	2	3	4	5
у стрибку однією рукою				●●
від щита				●●●
Підбір м'яча:				
у стрибку однією рукою				●●

*- ● - рідко; ●● - помірно; ●●● - часто.

Наступним етапом дослідження став аналіз якості посадки макету баскетбольної форми, конструкція якого була побудована за методикою Маслової Л.А. (під час вибору максимальних значень величин конструктивних прибавок) та визначення раціональних значень конструктивних прибавок для забезпечення динамічної відповідності.

Динамічна відповідність була оцінена за показниками рівня деформації деталей в процесі дослідної експлуатації шляхом візуального огляду виробів.

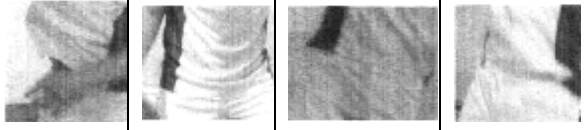
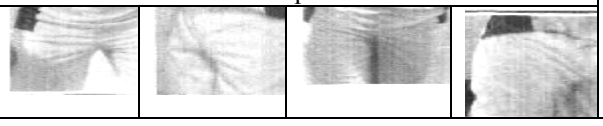
Під форму (шорти та майка) було одягнуто обтягуючий тіло спортсмена одяг, на якому намічені паралельні лінії з кроком в 2 см: непарні – чорним кольором, парні – червоним кольором. Лінії намічені для того, щоб можна було визначити величини переміщень конструктивних ділянок комплекту під час гри в баскетбол. За допомогою фотографічного відображення були відзняті основні рухи баскетболіста у макеті баскетбольної форми.

Оцінивши якість посадки макету баскетбольної форми в динаміці, було узагальнено, що найхарактернішими причинами виявлених дефектів є недостатні глибина пройми, ширина пілочки та спинки, довжина майки та недостатня довжина середнього зрізу шорт.

Для усунення зазначених дефектів посадки, які проявляються під час виконання основних рухів (таблиця 2) було запропоновано раціональні значення прибавок щодо корегування відповідних конструктивних ділянок для забезпечення динамічної відповідності основних рухів баскетболіста.

Таблиця 2

Аналіз рівня динамічної відповідності спортивної форми для баскетболістів

Види дефектів, що виникають	Зображення дефектів посадки на різних ділянках	Причина виникнення дефекту	Рекомендовані значення корегування конструкції
Горизонтальні та віялоподібні складки від пройми до середини стану, врізання пройми	Майка	Недостатня ширина конструктивних ділянок пілочки і пройми, недостатня глибина пройми	$П_{общ}$: $Р_с$ = + (5-6) см $Р_{пр}$ = + 1 см $Р_п$ = + (4-5) см
Горизонтальні та похилі складки		Коротка майка, недостатня ширина конструктивних діля-нок пілочки та спинки	$П_{пр}$ = + (3-4) см
Похилі складки від пройми		Недостатня глибина пройми, порушення балансу виробу	$П_{общт}$ = + 10 см
Віялоподібні складки від середнього зрізу шортів	Шорти 	Замала довжина середнього зрізу, порушення балансу виробу	До довжини майки + (6-8) см

З урахуванням встановлених експериментальним шляхом раціональних значень конструктивних прибавок до рекомендованих методикою Маслової Л.А., було виготовлено удосконалений взірець баскетбольної форми, рівень динамічної відповідності якого був досліджений за тією ж схемою, що і макет. Можна відмітити, що взірець баскетбольної форми, розроблений з урахуванням рекомендованих приростів до конструктивних ділянок, відповідає рівню динамічної відповідності і є конкурентоспроможним порівняно з макетом, який був виготовлений відповідно до методики Л.А. Маслової під час вибору максимальних величин конструктивних прибавок (таблиця 3).

Таблиця 3

Експериментальне дослідження рівня динамічної відповідності баскетбольної форми

Досліджуваний виріб	Вид прийому роботи з м'ячем		
	Передача м'яча	Підбір м'яча	Кидок м'яча
1	2	3	4
Макет			
Вдосконалений взірець			

Висновки

1. За результатами здійсненого аналізу існуючих моделей одягу для різних видів спорту, запропоновано взяти за основу проектування форми для командних видів спорту з м'ячем баскетбольну форму.

2. Визначено найхарактерніші комплексні динамічні положення спортсмена під час гри в баскетбол за результатом аналізу частоти їх зустрічності.

3. Експериментальним шляхом, з застосуванням фотографічного відображення, визначено ступінь динамічної відповідності розробленого макету та, за сформованим переліком дефектів динамічної відповідності макету, визначено раціональні значення конструктивних прибавок відносно запропонованих методикою, що робить методику більш універсальною до застосування щодо розробки спортивної форми для командних ігор з м'ячем.

Література

1. Кузнецова Л.А. Конструирование трикотажніх изделий / Л. А. Кузнецова. – М. : Легкая индустрия, 1972. – 264 с.

2. Маслова Л. Трикотаж для мужчин / Л.Маслова // Ателье. – 2005. – № 11. – С. 40 – 43.

3. Маслова Л. Построение мужских спортивных брюк / Л. Маслова // Ателье. – 2005. – № 12. – С. 50 – 53.

4. Матвійчук С.С. Проектування спортивного одягу із забезпеченням динамічної відповідності / С.С. Матвійчук, К.В. Алмашій // Збірник тез доповідей Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції молодих вчених та студентів [«Ресурсозберігаючі технології легкої, текстильної і харчової промисловості»] / МОН України 23–25 жовтня 2013 р., Хмельницький національний університет. – С. 72 – 74.

References

1. L.A. Kuznetsova, Konstruyrovanye trykotazhnikh yzdelyy. Moscow, Lehkaya yndustryya, 1972, 264 p.

2. L. Maslova, Trykotazh dlya muzhchyn, *Atel'e*, 2005, No. 11. pp. 40 – 43.

3. L. Maslova, Postroenye muzhskykh sportyvnikh bryuk, *Atel'e*, 2005, No. 12. pp. 50 – 53.

4. S.S. Matviichuk, K.V. Almashiy, Proektuvannya sportyvnoho odyahu iz zabezpechennyam dynamichnoyi vidpovidnosti. *Zbirnyk tez dopovidey Vseukrayins'koyi naukovo-praktychnoyi internet-konferentsiyi molodykh vchenykh ta studentiv «Resursozberihayuchi tekhnolohiyi lehkoyi, tekstyl'noyi i kharchovoyi promyslovosti»*, Khmelnytskyi National University, 2013 pp. 72 – 74.

Рецензія/Peer review : 22.8.2015 р. Надрукована/Printed :28.6.2015 р.
Стаття рецензована редакційною колегією

УДК 687.016

К.Л. ПАШКЕВИЧ
Київський національний університет технологій та дизайну

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ВЕЛИЧИНИ ЗБОРКИ ВУЗЛІВ ОДЯГУ ВІД ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТКАНИН

Стаття містить результати дослідження залежності коефіцієнту зборки вузлів швейних виробів від фізико-механічних властивостей тканин. Основна увага була приділена визначенню таких показників: товщина, поверхнева густина, жорсткість щодо згинання та коефіцієнт драпірувальності. Дослідження системи «манекен – вузол одягу» проведене фотометричним методом. Експериментально встановлено, що на величину коефіцієнта зборки під час проектування одягу впливають товщина, поверхнева густина і жорсткість тканини. Розраховано коефіцієнти зборки деталей для вузлів одягу з костюмних тканин з різними властивостями з метою отримання візуально однакового результату.

Ключові слова: тектонічна форма одягу, коефіцієнт зборки, фізико-механічні показники тканини, візуалізація одягу.

K.L. PASHKEVICH
Kyiv national university of technologies and design, Kyiv, Ukraine

RESEARCH OF DEPENDENCE OF SIZE OF ASSEMBLING OF KNOTS OF CLOTHES IS FROM PHYSICAL-MECHANICAL PROPERTIES OF FABRICS

Abstract – The article contains results of research of dependence to the coefficient of assembling of knots of sewing wares from physical-mechanical properties of fabrics. Basic attention was spared to determination of such indexes: thickness, surface density, flexural rigidity and drape ability coefficient. Research of the system « mannequin–knot of clothes» is conducted by a photometric method. It is experimentally set that on the size of coefficient of assembling a thickness, superficial closeness and inflexibility of fabric, influence at planning of clothes. The drape ability coefficient of details are expected for the knots of clothes from suit fabrics with different properties with the purpose of receipt by sight of identical result.

Keywords: tectonic form of clothes, drape ability coefficient, physical-mechanical indexes of fabric, visualization of clothes.

Вступ

Відомо, що форма виробу це сукупність поверхонь, що не розгортаються, складної конфігурації. На ділянках опорної поверхні одяг більш-менш щільно облягає тіло людини, повторюючи його форму, на інших ділянках одяг недостатньо точно повторює форму тіла людини. Основне завдання при проектуванні одягу – це створення виробів складної об'ємно-просторової форми із плоских матеріалів. Складність форми одягу залежить від асортименту, конструктивного рішення, а також від властивостей тканин, з яких виготовлено виріб. Єдність форми, змісту, конструкції і матеріалу виробу обумовлює його тектоніку [1]. В досконалій тектонічній формі одягу гармонійно поєднуються властивості тканини, її пластичні характеристики і об'ємно-просторова форма. Виділяють чотири типи тектонічних систем в одязі: оболонкові, сітчасті, каркасні, монолітні [2]. Для жіночого одягу характерними є в основному оболонкові та сітчасті тектонічні форми. Крім того, жіночий одяг є різноманітним за конструктивним рішенням і в ньому найчастіше застосовують елементи зміни поверхні одягу (драпіровки, рюші, зборки, складки, різноманітне оздоблення тощо). Ці фактори ускладнюють процес проектування одягу, особливо в автоматизованому режимі із застосуванням САПР.

Аналіз досліджень та публікацій

Останнім часом відбувається стрімкий розвиток систем тривимірного проектування одягу. Електронні манекени для одягання лекал плечового та поясного одягу у тривимірному просторі пропонують САПР Gerber (США), Lectra systems (Франція), Optitex (Ізраїль), PAD System (Канада), JULIVI (Україна) та інші.

Подібні системи 3D проектування дають можливість скоротити виробничий цикл проектування одягу, швидко реагувати на модні тенденції, але розробка таких систем проектування одягу у тривимірному просторі потребує розробки спеціального методичного і інформаційного забезпечення, що вимагає проведення ряду експериментальних досліджень з метою встановлення закономірностей формоутворення одягу і проектування одягу у тривимірному просторі, у тому числі, з урахуванням властивостей матеріалів.

Рис. 1. Модель одягу та її тривимірна віртуальна копія

Проведена нами симуляція процесу одягання швейного виробу на віртуальний електронний манекен за допомогою програми JULIVI CLO 3D, яка є

спільним проектом південнокорейської компанії CLO Virtual Fashion Inc. і розробників САПР JULIVI (ф. САПРЛегпром, м. Луганськ, Україна) [3, 4], відзначилась високим ступенем реалістичності, але властивості тканин враховуються недостатньо (рис. 1). Візуально зображення сукні схожі, але характер розподілу драпіровки на фото готового виробу та на зображенні виробу на екрані монітору у програмі дещо відрізняються, навіть не дивлячись на чималу базу даних зразків тканин в програмі і можливість задавати різні властивості (рис. 2). Це пов'язано, по-перше, з невідповідністю вітчизняних та закордонних стандартизованих методів визначення характеристик тканин, по-друге, з недостатністю бази даних зразків тканин та їх характеристик. Урахування властивостей тканин при роботі в модулях візуалізації зразків виробів частіше виконується конструктором інтуїтивно.

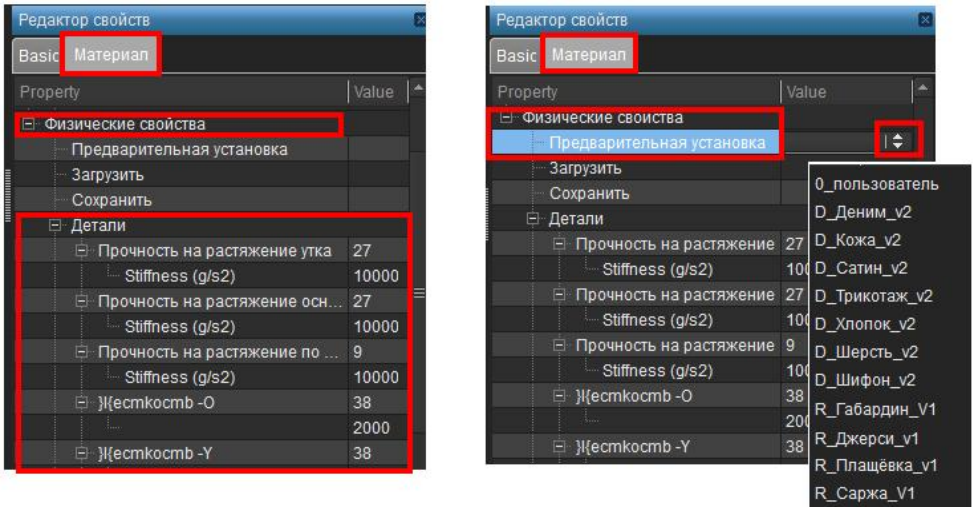


Рис. 2. Вікно задавання властивостей і асортименту тканин у програмі JULIVI CLO 3D

Постановка завдання

При створенні технології тривимірного проектування одягу потрібно вирішити проблеми, пов'язані зі складністю урахування властивостей матеріалів при утворенні форми виробу. Особливо це стосується виробів складних тектонічних форм з драпіровками, зборками, складками, які характерні для жіночого одягу (рис. 3). Припуск на зборку зазвичай розраховують за допомогою коефіцієнта зборки, який визначає на скільки збільшується довжина зрізу деталі одягу, на якому виконується призборювання, відносно вихідного розміру деталі. В літературі не достатньо досліджено питання залежності зборки вузлів виробу від властивостей тканин, в основному це рекомендації щодо коефіцієнту посадки по окату рукава для різних тканин, тому метою роботи стало дослідження залежності величини зборки в деталях одягу залежно від властивостей тканин.

Рис. 3. Приклади жіночих жакетів зі зборками

Експериментальна частина

Для досягнення поставленої мети досліджено шість зразків костюмних тканин різного сировинного складу, що відрізняються за зовнішнім виглядом і фізико-механічними показниками. Основна увага була приділена визначенню таких показників тканин: товщини, поверхневої густини, жорсткості щодо згинання, драпірувальності. Випробування проведено згідно чинних нормативних документів з дотриманням вимог до об'єктів експериментального дослідження, обробку результатів експериментів виконано з використанням математичного апарату статистичного аналізу даних. Проведено статистичну перевірку результатів дослідження зразків костюмних тканин і визначено абсолютну та відносну похибки при обробці даних

експериментів.

Товщину матеріалів було визначено за допомогою ручного товщиноміру індикаторного типу ТР 10-1, розраховано поверхневу густину костюмних тканин (Ms), г/м^2 [5, 6]. При дослідженні жорсткості тканин консольним безконтактним методом використано прилад типу ПТ-2 [7]. Дослідження драпірування зразків костюмних тканин проводили на приборі для визначення драпірування дисковим методом [8], оскільки необхідно було оцінювати драпірувальність матеріалів одночасно у поздовжньому і поперечному напрямках.

В якості об'єкта дослідження обрано жіночий жакет. Для аналізу поведінки тканин у виробі залежно від їх властивостей виготовлено шість макетів вузлів одягу з утворенням зборки. Обраний коефіцієнт зборки Кзб = 2,0. Вузол складається з нижньої частини розміром 15 на 30 см, верхній край якої призібраний. Зборку утворено на швейній машині сточуванням човникового стібка з довжиною стібка 3 мм. Прокладено дві паралельні строчки на відстані 2 мм. Нижня частина вузла пришита до смужки тканини шириною 5 см, яку продубльовано.

Дослідження вузлів проведено після їх фотографування на манекені (рис. 4). Методика фотографування системи «манекен – вузол одягу» і обробки результатів була організована таким чином, щоб можна було виміряти і дослідити характер розподілу зборок і кривизну спадання тканин, тому її сфотографовано спереду і збоку.

Рис. 4. Схема установки для фотографування

Зразок розташовано по лінії талії манекену. Вибір саме лінії талії не є випадковим, адже жіночі вироби часто роблять відрізними по лінії талії з утворенням зборок або складок. Також лінія талії є найтоншим місцем станової частини фігури людини, тому саме в цьому місці зручно досліджувати поведінку тканин, нижче лінії талії виріб зі зборками вільно спадає, що дозволяє вивчити залежність форми від властивостей тканин. Зразки вузлів зі зборкою надані на рис. 5.

Отримані фотозображення оброблено в графічному редакторі Xara, нанесено горизонтальну лінію і лінію, яка обмежує кут *а*, який нами запропоновано називати «кут пластичності форми» (рис. 6).

а

б

Рис. 5. Зразки 2, 3, 5, 6 вузлів зі зборкою з костюмних тканин з різними властивостями (вигляд спереду): *а* – з коефіцієнтом зборки 2; *б* – з однаковим візуальним ефектом, але з різними коефіцієнтами зборки

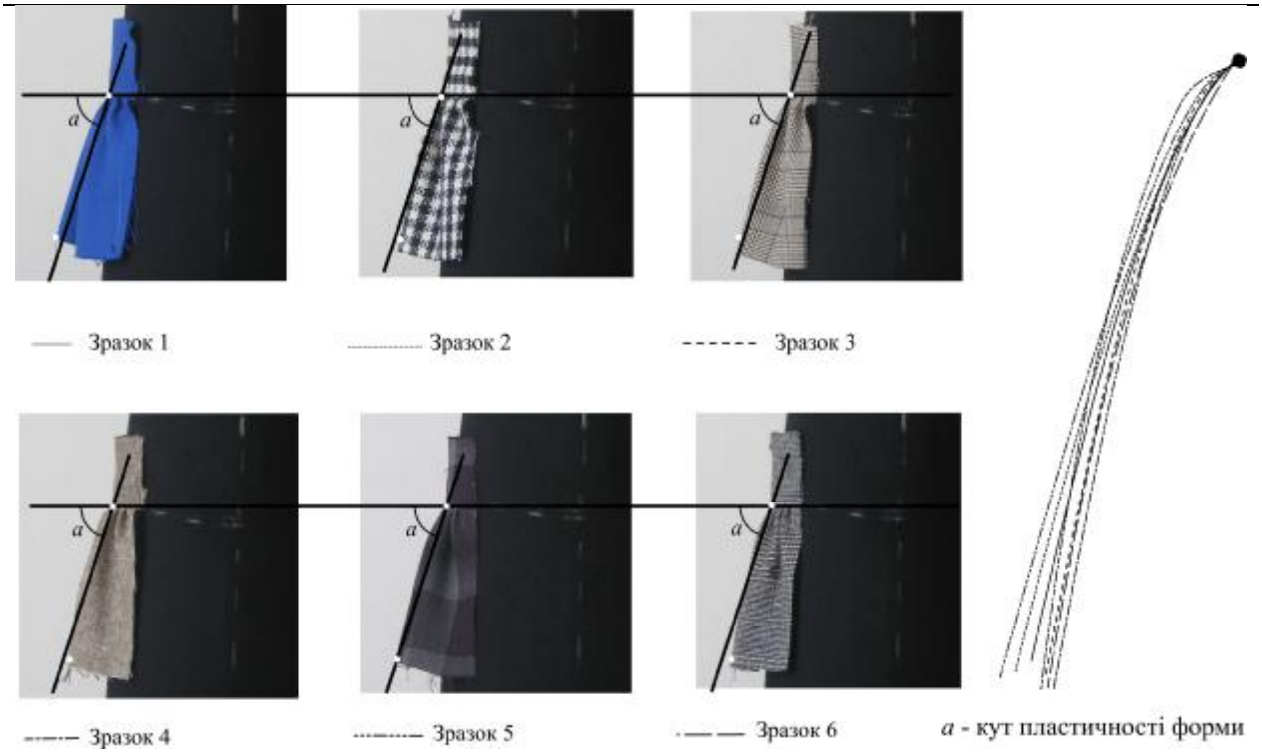


Рис. 6. Зразки вузлів зі зборкою (коефіцієнт 2) з костюмних тканин з різними властивостями (вигляд збоку)

При однакових коефіцієнтах зборки отримано візуально різні результати, у деяких зразках не задовільні, тому виготовлено шість макетів вузлів зі зборками з однаковим візуальним ефектом, але різними коефіцієнтами зборки (рис. 4, *б*). Експериментальним шляхом було розраховано нові коефіцієнти зборки (табл. 1).

Таблиця 1

Величини фізико-механічних показників та рекомендовані коефіцієнти зборки для костюмних тканин

Номер зразка	Сировинний склад	Вид переплетення	Поверхнева густина, г/м^2	Товщина, мм	Жорсткість щодо згинання в напрямку основи, мкН×см^2	Жорсткість щодо згинання в напрямку утоку, мкН×см^2	Коефіцієнт жорсткості, %	Коефіцієнт драпірувальності, %	Кут пластичності форми α, град.	Рекомендований коефіцієнт зборки
Зразок 1	35% вовна, 25% ПЕ, 40% ПА	атласне	220	0,43	2923	2407	1,21	38	38	1,8
Зразок 2	70% вовна, 25 % бавовна, 5% ПЕ	полотняне	316	0,91	7870	5346	1,47	42	42	1,7
Зразок 3	40% вовна, 28% ПЕ, 32% ПА	складне саржеве	308	0,48	1882	2036	0,92	63	38	1,8
Зразок 4	40% бавовна, 50% ПЕ, 10% Мет	полотняне	226	0,63	2661	2313	1,15	42	41	1,8
Зразок 5	65% вовна, 35% ПА	складне саржеве	332	0,45	1055	1283	0,82	50	40	1,8
Зразок 6	70% вовна, 30% ПА	полотняне	320	0,69	1470	1974	0,74	54	43	1,7

В останній графі таблиці 1 надані рекомендовані коефіцієнти зборки залежно від характеристик тканини. Встановлено, що чим більша товщина і поверхнева густина тканини, тим менший коефіцієнт зборки потрібен для отримання однакового візуального ефекту.

Найтовстішими і більшими за поверхневою густиною виявилися зразки 2 і 6, крім того зразок 2 має

найбільшу жорсткість щодо згинання. Для цих зразків рекомендується зменшити коефіцієнт зборки до 1,7.

Найгірша драпірувальність у зразка 1, це найтонша тканина з усіх досліджених, але завдяки щільному переплетенню тканина достатньо жорстка, має найменший кут пластичності. Рекомендований коефіцієнт зборки 1,8. Зразок 3 має найліпший коефіцієнт драпірувальності, але тканина достатньо жорстка, має складне саржеве переплетення, тому рекомендований коефіцієнт зборки 1,8.

Аналізуючи результати дослідження, надані в табл. 1, виявлено, що основним показником, який впливає на величину зборки вузла одягу, є поверхнева густина тканини. Чим більша поверхнева густина, тим більше кут пластичності форми вузла виробу, тобто під дією власної ваги тканина у виробі звисає під певним кутом. Для таких тканин рекомендується зменшувати коефіцієнт зборки. Порівняння отриманих зразків показало, що на здатність тканин до призборювання також впливає її жорсткість. Тканина може бути тонкою, але достатньо жорсткою завдяки переплетенню або сировинному складу. Для таких жорстких тканин також рекомендується обирати менші коефіцієнти зборки.

Висновки

Таким чином проаналізовано залежність коефіцієнту зборки вузлів швейних виробів від показників фізико-механічних властивостей тканин на прикладі тканин костюмної групи. Виявлено, що величина зборки вузлів одягу з костюмних тканин залежить від таких властивостей тканин: товщини, поверхневої густини, жорсткості. Чим більша товщина і поверхнева густина тканини, тим менший коефіцієнт зборки тканини потрібен для формування візуально однакових результатів. Надано рекомендації щодо коефіцієнту зборки при моделюванні вузлів одягу з різних матеріалів в процесі проектування швейних виробів.

Література

1. Пашкевич К.Л. Дослідження закономірностей тектонічного формоутворення моделей одягу [Електронний ресурс] / К.Л. Пашкевич, М.В. Колосніченко, Н.С. Гаврилко // Технології та дизайн : електрон. наук. фах. вид. – 2014. – № 3. – Режим доступу : http://knutd.com.ua/publications/pdf/TD/2014-3/3.pdf.

2. Пашкевич К. Л. Проектування тектонічних форм одягу з урахуванням властивостей тканин : монографія / К. Л. Пашкевич. – К. : НВЦ «Профі», 2015. – 236 с.

3. Офіційний сайт САПР JULIVI [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://julivi.com/

4. Пашкевич К.Л. Нові технології: програма візуалізації одягу в тривимірному просторі JULIVI CLO3D / К.Л. Пашкевич // Легка промисловість. – 2015. – № 1. – С. 22–25.

5. Материалы текстильные и изделия из них. Метод определения толщины : ГОСТ 12023-2003. – [Введен 2003-01-01]. – М. : Стандартинформ, 2003. – 11 с.

6. Материалы текстильные. Ткани, нетканые полотна и штучные изделия. Методы определения линейных размеров, линейной и поверхностной плотностей **:** ГОСТ 3811-72. – [Введен 1973-01-01]. – М. : Изд-во стандартов, 1973. – 14 с.

7. Текстильные полотна. Методы определения жесткости при изгибе : ГОСТ 10550-93 – [Введен 1989-01-01]. – М. : Изд-во стандартов, 1993. – 12 с.

8. Бузов Б.А. Практикум по материаловедению швейного производства / Б.А. Бузов, Н.Д. Алыменкова, Д.Г. Петропавловский. – М. : Издательский центр «Академия», 2004. – 416 с.

9. Тканини та вироби ткані поштучні. Класифікація та номенклатура показників якості : ДСТУ 3047:1995. – [Чинний від 1996-07-01]. – К. : Держспоживстандарт України, 1995. – IV, 25 с. – (Національний стандарт України).

References

1. Pashkevich K. L., Kolosnichenko M. V., Havrilko N. S. Doslidzhennia zakonomirnostei tektonichnoho formoytvorennia modelei odiahy, *Tekhnolohii ta dizain*: elektr. nauk. fakh. vyd., Vol. 3, 2014, URL: http://knutd.com.ua/publications/pdf/TD/2014-3/3.pdf.

2. Pashkevich K. L. Proektuvannia tektonichnykh form odiahy z urakhuvanniam vlastyvostei tkanyn, Kyiv: NVTS «Prophi», 2015.

3. Ofitsiinyi sait SAPR JULIVI, URL: http://julivi.com.

4. Pashkevich K. L. Novi tekhnolohii: prohrama vizualizatsii odiahy v tryvymirnomu prostori JULIVI CLO3D, *Lehka promyslovist*, Vol. 1, 2015, pp. 22–25.

5. Materialy tekstilnye i izdeliia iz nikh. Metod opredeleniia tolshhiny: GOST 12023-2003, Moscow: Standartinform, 2003.

6. Materialy tekstilnye. Tkani, netkannye polotna i shtuchnye izdeliia. Metody opredeleniia linejnykh razmerov, linejnoj i poverkhnostnoj plotnostej: GOST 3811-72, Moscow: Izd-vo standartov, 1973.

7. Tekstilnye polotna. Metody opredeleniia zhestkosti pri izhibe: GOST 10550-93, Moscow: Izd-vo standartov, 1993.

8. Buzov B. A., Alymenkova N. D., Petropavlovskij D. G. Praktikum po materialovedeniu shvejnogo proizvodstva, Moscow: Izdatelskij szentr «Academiia», 2004.

9. Tkanyny ta vyroby poshtuchni. Klasyfikatsiia ta nomenklatura pokaznykiv yakosti, DSTU 3047:1995, Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 1995.

Рецензія/Peer review : 22.7.2015 р. Надрукована/Printed : 29.8.2015 р.
Рецензент: д. т. н., професор Слізков А.М.

УДК 687:056

С.С. МАТВІЙЧУК, Н.І. БОКША
Мукачівський державний університет

МОЖЛИВІСТЬ ОПТИМІЗАЦІЇ ТРУДОМІСТКОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ ТА ПРОДУКТИВНОСТІ ШВЕЙНОГО ВИРОБНИЦТВА ЗА РАХУНОК ТЕХНІЧНИХ ФАКТОРІВ ВПЛИВУ

В статті проаналізовано технічні фактори забезпечення трудомісткості виготовлення та продуктивності праці швейного виробництва, обґрунтовано доцільність пошуку шляхів розширення функціональності універсального обладнання.

Ключові слова: трудомісткість, продуктивність, швейне виробництво.

S.S. MATVIICHUK, N.I. BOKSHA
Mukachevo State University

OPTIMIZATION OF THE COMPLEXITY OF MANUFACTURING AND PERFORMANCE OF GARMENT PRODUCTION THROUGH TECHNICAL IMPACT

Abstract – The purpose of the article is to analyze the possibilities of optimization of the technological process of manufacturing garments in the system "man - machine" to find ways to minimize labor intensity and increase productivity and profitability of the production.

In the article the opportunity to optimize the technological process of manufacturing clothes has been considered. As the parameters of optimization labour productivity and intensity of manufacturing garments have been chosen. To solve this goal the method of structural optimization has been applied.

The developed charts reveal the factors of impact on the problem. As a result, with the aim of optimization it has been proposed to increase the level of operational manufacturability of sewing equipment by expanding its functionality.

Keywords: labour productivity and intensity of manufacturing garments.

Вступ

Промислове швейне виробництво на сучасному етапі розвивається в напрямку виготовлення швейної продукції високої (оптимальної) якості при мінімальних ресурсних затратах. При цьому відбувається перерозподіл функцій і відповідальності за отримання кінцевого позитивного результату в процесі виконання технологічних операцій швейного виробництва (стабільно високого та прогнозованого рівня якості та продуктивності) в системі «людина – машина – виробниче середовище» в напрямку «людина – машина».

Галузь швейного машинобудування відповідає запитам швейного виробництва інтенсивним розвитком устаткування для виготовлення швейних виробів і рухається в напрямку впровадження досягнень механотроніки, використання мікропроцесорів, впровадження ІТ-технологій, інтернет-технологій, створення роботизованих, автоматизованих комплексів – технологічних модулів [1].

Аналіз останніх досліджень

Питанню оптимізації виробництва швейних виробів присвятили увагу ряд авторів – Г.Є. Литвиненко, Л.К. Яцишина, Т.Л. Малова. Ряд дослідників тематики бачать вирішення проблеми інтенсифікації виробництва в автоматизації процесів виготовлення – В.П. Козлов, М.А. Скирута, В.В. Солдатов. Але автоматизація є доцільною лише за певних умов виробництва [1].

Постановка задачі

Економічне обґрунтування вигідного поєднання «людського» та «машинного» факторів в галузі швейного виробництва в системі «людина – машина (технологічний процес) – виробниче середовище» є досить непростим. Виконання більшістю машин – автоматів їх функцій значно дешевше, ніж виконання того ж обсягу робіт працівниками, проте розробка, створення, технічне оснащення та обслуговування таких швейних машин, як правило, дуже дороге [1]. Окрім того, сучасні швейні напівавтомати та автоматизовані комплекси мають досить обмежені функціональні можливості, не здатні в широких межах змінювати програму роботи і пристосовуватися до широкого діапазону параметрів і режимів обробки швейних виробів. В епоху швидкого технічного прогресу це призводить до більш їх передчасного морального зносу, у порівнянні з фізичним зносом. Як результат – додаткове подорожчання машинних операцій. Тому з автоматикою в швейних машинах не поспішають навіть там, де технічні питання її впровадження вже вирішені.

Найбільш економічно обґрунтованим є впровадження швейних машин – напівавтоматів та автоматизованих комплексів у технологічний процес виготовлення асортименту одягу, який характеризується уніфікованими деталями одягу та уніфікованою технологією виготовлення. До такого асортименту можна віднести чоловічий асортимент одягу, формений одяг та спецодяг.

Особливо це актуально при спеціалізованому виробництві, коли асортимент фабрики однорідний, не змінюється в часі та є конструктивно стабільним – як чоловічі штани класичні. При цьому є можливість широкого застосування спеціальних та спеціалізованих машин, машин автоматичної та напівавтоматичної дії та агрегатованих робочих місць.

Що стосується жіночого та дитячого одягу, асортимент якого є значно багатшим і різноманітним по конструктивно – декоративному і відповідно технологічному вирішенню, технологічні потоки в значній мірі оснащені обладнанням універсального призначення, досить високою є частка використання ручних операцій. Особливо відсоток ручних операцій збільшується при виготовленні виробів з рисунчастих матеріалів, а також при наявності великої кількості дрібних деталей (внаслідок необхідності здійснення намітки для відтворення рисунку та позиціонування дрібних деталей на площині основної деталі).

Тому, метою є аналіз можливостей оптимізації технологічного процесу виготовлення швейних виробів в системі «людина – машина» для пошуку шляхів мінімізації трудомісткості і підвищення продуктивності і рентабельності виробництва.

Результати та їх обговорення

Для вирішення поставленої мети доцільно застосувати метод структурної оптимізації і виконати побудову «дерева» проблеми [2] шляхом встановлення факторів, що впливають на зміну значень трудомісткості виготовлення швейних виробів та продуктивності праці технологічного процесу – рисунок 1.

Рис. 1. «Дерево» проблеми трудомісткості виготовлення швейних виробів та продуктивності праці технологічного процесу

Також одним із інструментів вирішення поставленої проблематики є побудова причинно-наслідкової діаграми Ісікави Каору, яка є однією з «семи інструментів якості» [3].

З наведених схем на рисунках 1 і 2 можна відмітити, що трудомісткість виготовлення одягу та продуктивність праці швейного виробництва визначається такими факторами як технічні, організаційні та соціально-економічні.

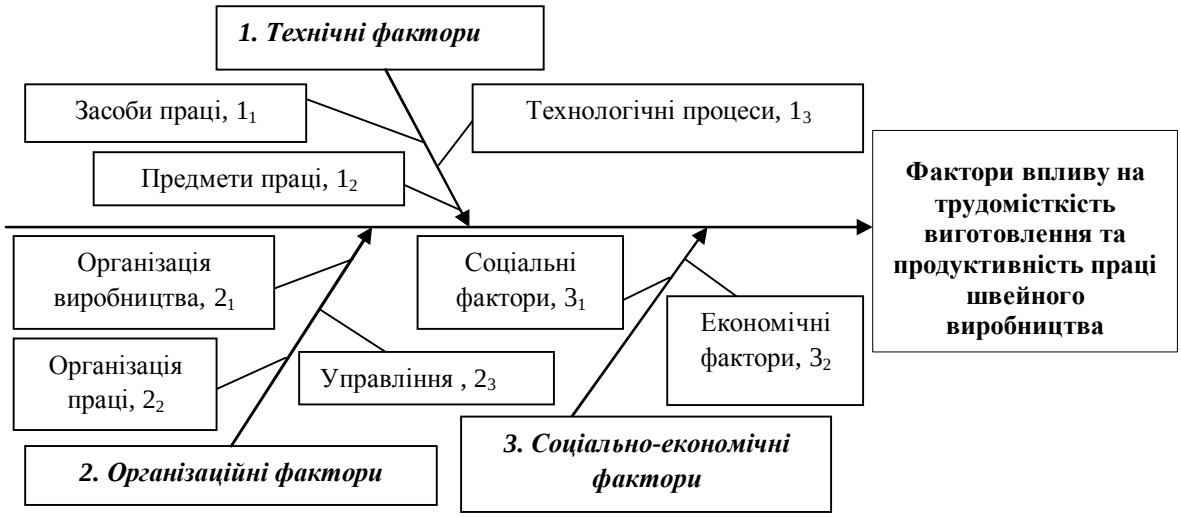


Рис. 2. Представлення факторів впливу на проблему діаграмою Ісікави Каору

Беручи до уваги, що метою даної роботи є аналіз можливостей оптимізації технологічного процесу виготовлення швейних виробів в системі «людина – машина», авторами даної роботи досліджується проблема впливу технічних факторів, тому послідуюче дослідження буде зосереджено на структуризації проблеми оптимізації саме цієї групи факторів – рисунок 3.

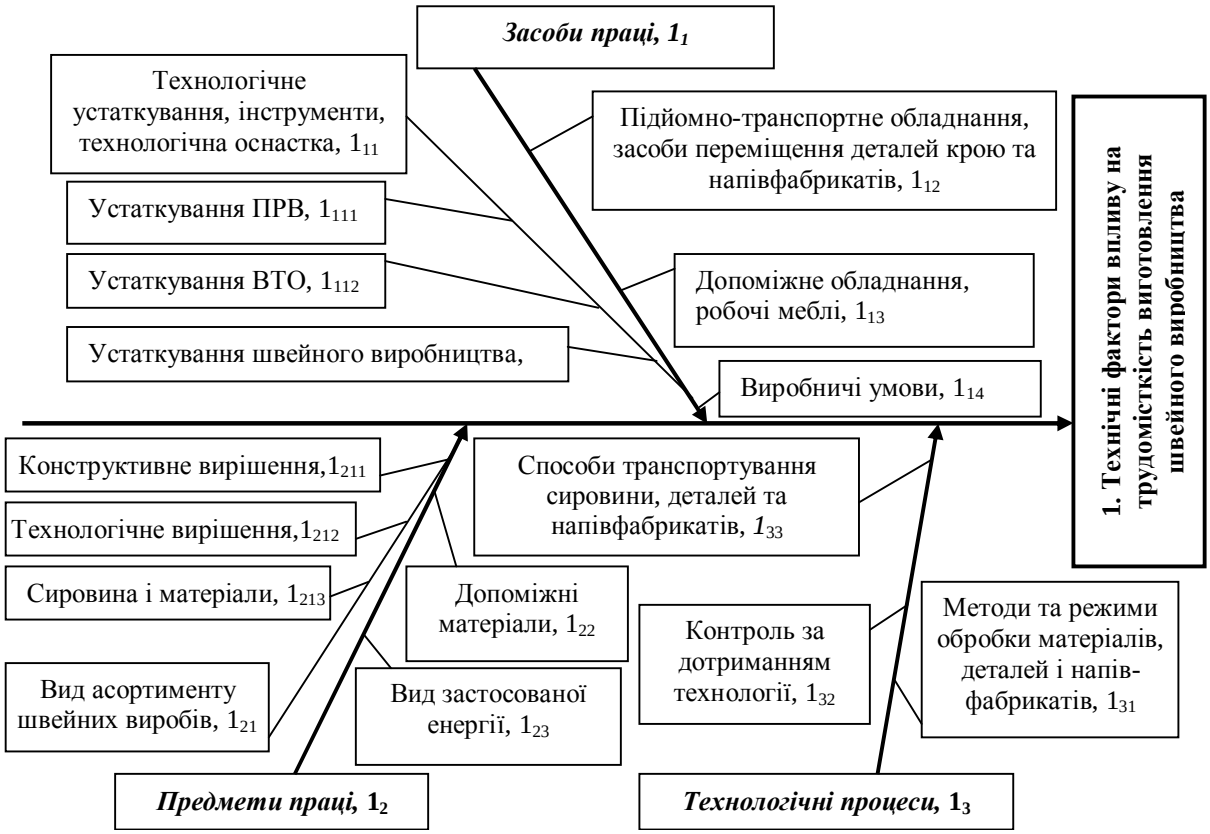


Рис. 3. Структуризація технічних факторів впливу на трудомісткість виготовлення та продуктивність праці швейного виробництва

Серед охарактеризованих технічних факторів забезпечення трудомісткості виготовлення та продуктивності праці швейного виробництва дослідниками даної проблематики в першу чергу розглядаються такі фактори, як вибір оптимальних методів та режимів обробки, технічні можливості технологічного устаткування. Однак, як відомо, вибір методів та режимів обробки визначає кінцеву якість швейного виробу, а технічні можливості швейного обладнання (швидкість обертів головного валу) мають обмежені ресурси. Тому, на думку авторів, необхідно розширювати функціональність існуючого швейного обладнання, шукати приховані резерви забезпечення експлуатаційної технологічності такого технічного фактору впливу як ***устаткування швейного виробництва*** 1_{113} з одночасним зменшенням його сукупної вартості.

Швейне обладнання для швейного виробництва являється засобом праці, в той же час для швейного машинобудування швейна машина – це предмет (продукт) праці, в який на стадії проектування закладається ряд показників якості. Зокрема важливим показником є вищезгадана експлуатаційна технологічність, величина та рівень наповненості якої визначатимуть виробничу технологічність конструкції швейного виробу [1, 2].

Прикладом інтенсифікації можливостей технологічного устаткування є розробка і впровадження в швейні потоки мультифункціонального обладнання, яке може виконувати різні запрограмовані операції. Ці операції можуть бути аналогічними операціям, що виконуються на спеціальному обладнанні, але при цьому мультифункціональне обладнання має ряд переваг:

- збільшується продуктивність використання обладнання при забезпеченні відповідно високого рівня якості;
- збільшується завантаженість конкретного робочого місця, оскільки в той час як спеціальне обладнання очікує на потребу у використанні своїх можливостей (при цьому займаючи робочу площу, може бути не задіяне у процесі виготовлення виробу), мультифункціональне обладнання може бути запрограмованим до 40 різних програм і постійно бути задіяним у процесі виготовлення виробів незалежно від моделі;
- завдяки постійному завантаженню мультифункціонального обладнання, його значна вартість виправдовується, і обладнання за певний період починає приносити прибуток не тільки за рівнем продуктивності, якості, використання корисної площі, але і за зменшенням собівартості виробу [1].

Одним з напрямків підвищення експлуатаційної технологічності швейного обладнання може бути удосконалення і оптимальне використання робочої поверхні промислового стола та платформи універсальної швейної машини. Промисловий стіл швейної машини крім свого основного призначення може стати інтерактивною багатофункціональною (мультифункціональною) поверхнею, яка може володіти наступними можливостями:

- ідентифікація контурів деталей та їх позиціонування відносно голки швейної машини (без застосування ручної намітки для якісного виконання технологічних операцій);
- ідентифікація та позиціонування деталей великих та малих одна відносно одної (без застосування ручної намітки для якісного виконання технологічних операцій);
- ідентифікація та градація геометричних параметрів дрібних елементів – еластичної тасьми, хомутиків, шнурівок, тасьми-вішалки і т.д.;
- ідентифікація та градація контрольних надсічок.

Подальше вивчення даної проблематики можна також розвивати в напрямку аналізу оптимального ергономічного позиціонування деталей на поверхні робочого стола, що дозволить забезпечити економію часу на допоміжні операції.

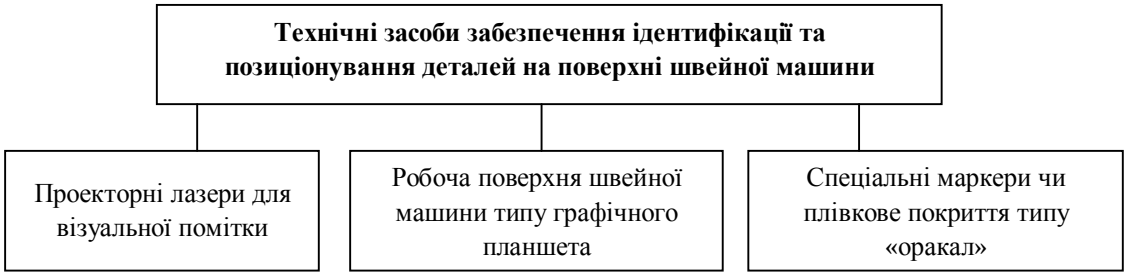


Рис. 4. Варіанти технічного забезпечення ідентифікації та позиціонування деталей на поверхні швейної машини

Для забезпечення мультифункціональності поверхні промислового стола швейної машини необхідно розглянути технічні аспекти вирішення даного питання. На сьогоднішній день в швейному машинобудуванні для ідентифікації і позиціонування деталей на поверхні технологічного обладнання використовують наступні технічні засоби (рис. 4).

Програмне розв'язання задач ідентифікації контурів деталей на поверхні робочого стола доцільно розглядати в контексті функціонування САПР на підприємстві, зокрема забезпечуватиметься безпосередній взаємозв'язок з підсистемою «проектування лекал».

Висновки

Розглянуто можливості підвищення експлуатаційної технологічності швейного обладнання шляхом удосконалення і оптимального використання робочої поверхні промислового стола та платформи універсальної швейної машини. Для вирішення технічного забезпечення даної виробничої проблеми розглянуто можливі засоби ідентифікації і позиціонування деталей на поверхні технологічного обладнання, що використовуються в галузі швейного машинобудування.

Література

1. Орловський Б.В. Технологічне обладнання галузі (швейне виробництво) : навчальний посібник / Б.В. Орловський, Н.С. Абрінова. – К. : КНУТД, 2013. – 285 с.

2. Матвійчук С.С. Аналіз моделей оптимізації виробничої технологічності швейних виробів з рисунчастим матеріалом / С.С. Матвійчук, Н.І. Бокша // Науковий вісник МДУ. – 2014. – № 16 (11). – С. 19 – 24.

3. Савчук Н.Г. Квалітологія швейного виробництва : підручник : затверджено МОН України як підр. для студентів ВНЗ спец. "Швейні вироби" / Н.Г. Савчук, С.М. Березненко, М.П. Березненко. – К : Арістей, 2006. – 464 с.

References

1. B.V. Orlovskyi, N.S. Abrinova, Tekhnolohichne obladnannya haluzi (shveyne vyrobnytstvo). Kyiv, KNUTD, 2013, 285 p.

2. S.S. Matviichuk, N.I. Boksha, Analiz modeley optymizatsiyi vyrobnychoyi tekhnolohichnosti shveynykh vyrobiv z rysunchastym materialom, *Naukovyi visnyk MDU*, 2014, No. 16 (11), pp. 19 – 24.

3. N.H. Savchuk, S.M. Bereznenko, M.P. Bereznenko, Kvalitolohiya shveynoho vyrobnytstva. Kyiv, Aristey, 2006, 464 p.

Рецензія/Peer review : 14.5.2015 р. Надрукована/Printed : 29.8.2015 р.
Стаття рецензована редакційною колегією

УДК 687.01:687.016:687.1

Е.В. БАЗИЛЮК
Хмельницький національний університет

АНАЛІЗ ПРОБЛЕМ СТИЛЕУТВОРЕННЯ В ДИЗАЙНІ ОДЯГУ

В статті розглянуто проблеми стилеутворення в дизайні одягу XX–XXI ст. Проведено аналіз останніх досліджень і публікацій щодо особливостей стилеутворення. Окреслено актуальні напрямки нових досліджень.
Ключові слова: стиль, дизайн одягу.

E.V. BAZYLIUK
Khmelnytsky National University

ANALYSIS THE PROBLEMS OF CREATION OF STYLES IN FASHION DESIGN

Abstract - The aim of research is identify the problems of create of style in fashion design. Established that there are difficulties associated with the exchange of information between specialists garment industry because some terms have multiple meanings. An analysis of the literature found that informational and symbolic system of the fashion clothes is unexplored. Phenomena of kitsch and eclecticism are an integral part of formation of new styles, but these phenomena haven`t been thoroughly studied. Researches of the impact of innovative technologies, political and economic life on the process of creating style are incomplete. It was established that the theory of cyclical fashion that was previously used to predict the formation of new styles does not meet the needs of today's professionals.

Thus, the necessity to concretization certain terms in fashion design and classification of modern styles and silhouettes with the definition of basic and derived elements, major and minor features was detected. Researches of phenomena of eclectics and kitsch are topical. Process of formation of styles advisable consider with using of synergetic.
Keywords: style, fashion design.

Постановка проблеми. Проектування костюма відбувається завжди в межах певного стилю. Стиль накладає відбиток на форму виробу, конструкцію, деталі, декор тощо. Але на сьогоднішній день етап художнього проектування одягу ґрунтується на вирішенні більшості завдань за рахунок інтуїції. Це обумовлено тим, що дизайн одягу розглядають відокремлено від виробничого процесу. Прагнення споживача одягатися стильно наштовхується на ряд проблем через те, що виробництво розглядає одяг лише як вироби з певними технічними характеристиками, а не як засіб передачі образу людини або його внутрішньої суті. Одночасно дизайнери, завершуючи свою роботу на стадії творчого ескізу, зазвичай не здатні ідентифікувати розроблений проект з конкретним споживачем чи соціальною групою. Тобто відсутня стильова ідентифікація одягу із споживачем. Механізм стилеутворення в сучасному одязі недостатньо вивчений, що є підставою для проведення ряду наукових досліджень.

Постановка завдання. Метою даної роботи є визначення проблем стилеутворення, вирішення яких дозволило б зробити роботу дизайнера одягу більш ефективною на етапі художнього проектування одягу.

Основний розділ. Аналіз останніх досліджень та публікацій.

Згідно з [1] стиль – це 1) сукупність ознак, що характеризують мистецтво певного часу та напряму або індивідуальну манеру художника стосовно ідейного змісту й художньої форми; 2) сукупність прийомів у використанні засобів мови, властива якому-небудь письменникові або літературному творові, напряму, жанрові тощо; 3) сукупність прийомів, характерних рис якої-небудь діяльності, поведінки, методу роботи; 4) характерна манера поводитись, одягатись, говорити тощо. Тобто поняття «стиль» має статус характеристики різних явищ: це спосіб життя, творчості, мислення, поведінки, художнього твору. Поняття «стиль» викликає до себе пильну увагу зі сторони таких наук як філософія, культурологія, соціологія, психологія тощо. Проте, чіткого, неоднозначного і загальновживаного поняття стиля все ще не існує, зокрема це стосується і поняття стилю в дизайні одягу.

Найбільша кількість наукових робіт присвячена дослідженню сутності «художнього стилю», поняття якого вперше було введене І. Вінкелманом в 1773 р. Еволюція і зміна художніх стилів розглядались як зміна характеру духовності (без конкретизації) або як зміна символіки в історії культури (В. Воррінгер, Г. Наль, М. Дворжак, Е. Кассирер). Про необхідність дослідження сутності художнього стилю в залежності від властивостей свідомості і перцепції сприйняття людини та від культури і пізнання епохи говорили такі дослідники як О. Бенеш і Н.В. Гращенкова. А. Хаузер визначив стиль як основоположне поняття історії мистецтв. Семантичну трактовку художнього стилю як системи значень, відображених в типах будови форм мистецтва, дав П. Франкль. Е.І. Роттенберг в 1971 р. зазначає, що стиль – це історично минуща форма мистецтва, яка утворена всебічним уявленням про світ художньо всеосяжним образом. Критерій історичності використовує в своїй роботі і А.І. Каплун (1985 р.) [2]. Стиль як естетичну категорію розглядає А.Ю. Карачун (1992 р.), а як феномен культури – А.Н. Литвинов (1992 р). Лише з виокремленням такої галузі науки як дизайн, дослідження процесу стилеутворення стало мати прикладний характер.

В дизайні одягу виділяють наступні значення стилю (рис. 1):

- стиль епохи (або історичний стиль);
- стиль костюма, як напрямок у дизайні одягу , взуття, аксесуарів;
- індивідуальний стиль споживача, як конкретний вияв у манері одягатися, відповідність модним критеріям;
- індивідуальний почерк творчості дизайнера;
- стиль Будинку моди.

Але, в результаті аналізу літературних джерел встановлено, що застосування терміну «стиль» залежить від фаху спеціаліста. Історик мистецтва М. Шапіро в 1953 р. зазначив: «…для філософа історії в стилі заявляє про себе культура, …для історика мистецтва стиль це передусім система форм, яка наділена певною

якістю і змістовною виразністю…». Так дизайнери-мистецтвознавці під стилем в одязі розуміють передусім історичний (художній) стиль або індивідуальний стиль дизайнера. Проте, при проектуванні одягу в умовах масового або індивідуального виробництва більш важливим є визначення характерних рис сучасних стилів одягу, для забезпечення естетичної цілісності виробів, що проектуються.

Сучасний культурний простір є поліцетричним з явно вираженим явищем полістилізму. Але складнощі викликає не присутність в модному просторі одночасно кількох стилів, а безпосередньо непрогнозоване утворення нових, які потребують окремої термінології, а їх понятійний апарат лишається за межами науки і потребує окремих досліджень [3]. Відсутність систематизації та класифікації сучасних стилів в одязі ускладнює процес взаєморозуміння між дизайнером та конструктором.

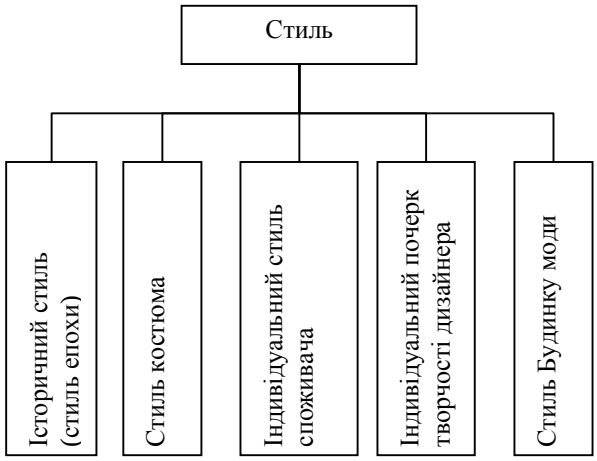


Рис. 1. Різноманіття значень стилю в дизайні одягу

В теорії стилеутворення елементами є стильові риси, які становлять морфологію стилю. Але риси стильових характеристик чітко не визначені, що є неприйнятним в умовах полістилізму. Неоднозначними є розуміння деяких загальновживаних стильових характеристик, зокрема силуету. Так при конструюванні одягу розглядають три основні силуети (прилеглий, напівприлеглий і прямий), для яких методики конструювання рекомендують прибавки на вільне облягання в певному діапазоні в залежності від модних тенденцій. При аналізі форми виробу на етапі художнього проектування виділяють силуети базових форм (три геометричні форми: прямокутник, трапеція, овал та додатковий приталений силует [4]) або ідентифікують силует з окремими літерами (А-подібний; Н-подібний; Х-подібний тощо). В літературі, що присвячена аналізу художньої цінності одягу певних історичних періодів та діяльності відомих кутюр'є, силует має назви квітів, букв, асоціацій (напр., у К. Діора виділяють силуети «конвалія», «синус», «живущій», «профіль», «подовжений» тощо [5]). Крім того, мистецтвознавцями і дизайнерами силует розглядається як проекція костюма (сукупності виробів) на площину, а для етапу технічного проектування більш важливою є інформація про силует окремого виробу. Таким чином, поняття «силует» потребує конкретизації та однозначності визначення різними спеціалістами.

Важливою стильовою рисою є «модель поведінки». Мова жестів, постава та манера розмовляти визначають семіотичну основу образу споживача та, відповідно, впливають на формування стилю костюма. Саме тому, на відміну від спеціалістів інших галузей (антропологів, скульпторів, мистецтвознавців), важливими є описові характеристики жестів та тлумачення з їх допомогою соціальних та психологічних характеристик людини [4]. Частину цієї проблеми (вплив зовнішнього вигляду людини і її поведінки на формування в свідомості суспільства певного образу об'єкту) розглядає іміджелогія. Проблеми іміджелогії досліджували Упіне А.М., сестри Соріни (Коробцева Н.А. і Петрова Є.А.), психологію формування індивідуального стилю розглядає Кілошенко М.І. Але недостатньо глибокими є дослідження механізму стилеутворення як способу відображення духовних цінностей і світосприйняття сучасного суспільства в цілому. Дослідження інформаційно-знакових систем костюма є розрізненими і, зазвичай, торкаються колекцій окремих модельєрів або Будинків мод [6, 7]. Тобто, відсутні системні дослідження з позиції семіотики щодо впливу загальної картини світу на модні тенденції в одязі, не розкрито саму сутність стильових рис, передумови утворення нових стилів.

Досить важливими для розуміння механізму стилеутворення є такі явища як «еклектика», «кітч» і «кемп» (різновид кітчу), які є повноцінними учасниками процесу формування стилю. Еклектизм і кітч характерні для періодів трансформації стиля та утворення нового. Зокрема, кітч є проміжним етапом між шоковим сприйняттям нового і байдужістю до звичного. Це явище визнається більш мобільним і частково більш прогресивним, ніж стиль, оскільки основою для кітчу є риси стиля, найбільш дотепні знахідки моди та власні аксесуари. Але, через відносність естетичних оцінок, кітч, як і стиль, важко визначити. Модель функціонування кітчу і еклектики непередбачувана і найменше вивчена, а це означає і непередбачуваність формування нових стилів [4].

Дослідження Козлової Т.В., Гузявичуте Р.А., Янг А., Каллагової І.В. спрямовані на визначення циклічних змін стильових характеристик (довжина, форма, пластика, колір, оздоблення тощо). Досить часто ці зміни пов'язують з циклічністю процесів в економіці, культурі, політиці, циклічністю сонячної активності [8, 9]. Але більшість дослідників визнає, що тривалість циклів не є сталою величиною, а має тенденцію до скорочення. Спостерігається зменшення тривалості циклу розвитку інформаційно-знакової системи «костюм» до 12–14 місяців [6], що ускладнює етап художнього проектування з позиції прогнозування (метод інтерполяції), знижуючи точність передбачення зі зростанням часового проміжку [10]. Тенденція до прискорення зміни модних елементів вказує на необхідність нової інтерпретації циклічної теорії зміни моди, в основі якої лежить зміна стилю [8]. Втрата логічної обумовленості модних інновацій характеризує початок нелінійного етапу розвитку моди [11]. Нелінійні процеси, які проявляють циклічність із зміною довжини циклу, зазвичай характеризують складні системи, схильні до самоорганізації, розвиток яких вивчає синергетика. Отже, доцільно розглянути процес стилеутворення з позиції синергетики.

Висновки. Отже, в результаті аналізу літературних джерел виявлено, що до недавнього часу «стиль» розглядався як основне поняття історії мистецтв та як феномен культури, до вивчення якого

долучались історики, мистецтвознавці, культурологи, соціологи, психологи тощо. Оскільки запозичена термінологія не спроможна повністю задовольнити потреби спеціалістів-дизайнерів одягу, викликаючи плутанину термінології, необхідним є проведення онтологічного аналізу окремих термінів процесу стилеутворення безпосередньо з позиції проектування одягу (стиль, силует тощо) та виявлення взаємозв'язку між ними. Крім того, з метою усунення складнощів, пов'язаних з обміном інформацією між спеціалістами, необхідно виконати класифікацію сучасних стилів та силуетів в одязі з визначенням базових та похідних елементів, головних та другорядних рис.

Також, в результаті аналізу літературних джерел встановлено, що дослідження стильових рис в одязі XX–XXI ст. та інформаційно-знакових систем костюма є розрізненими і неповними. Явища еклектики і кітчу, які є невід'ємною частиною механізму формування нових стилів, є недостатньо вивченими. Виявлено необхідність проведення досліджень щодо впливу інноваційних технологій, політичного, економічного життя суспільства на процес стилеутворення. Встановлено, що теорія циклічного розвитку моди, яку раніше використовували для прогнозування утворення нових стилів, не задовольняє сьогоднішні потреби спеціалістів, тому доцільно розглянути процес стилеутворення з позиції синергетики.

Виконаний аналіз дає підстави для проведення подальших досліджень для формування теорії стилеутворення в дизайні одягу.

Література

1. Сучасний тлумачний словник української мови: 6000 слів / за заг. ред. В.В. Дубічинського. – Х. : ВД «ШКОЛА», 2007. – 832 с.

2. Бертер Л.Г. Пространственный образ мира в структуре художественного стиля [Электронный ресурс] : автореф. дис. на соиск. уч. степени канд. филос. наук : спец. 09.00.04 «Эстетика» / Л.Г. Бертер. – М., 1994. – 21 с. – Режим доступа : http://cheloveknauka.com/v/32809/a?#?page=1

3. Лагода О.М. Художньо-образні особливості костюма в дизайні одягу кінця XX – початку XXI століття : дис. ... канд. мистецтвознавства : 17.00.07 / Лагода Оксана Миколаївна. – Харків, 2007. – 283 с.

4. Козлова Т.В. Стиль в костюме XX века : учебное пособие для ВУЗов / Т.В. Козлова, Е.В. Ильичева. – М. : МГТУ им. А.Н. Косыгина, 2003. – 160 с.

5. Шарлотта Зелинг. Мода. Век модельеров. 1900–1999 / Шарлотта Зелинг ; [пер. на русский язык Ю. Бушуева, Г. Яшина]. – KONEMANN, 2000. – 658 с.

6. Макарова Т.Л. Мода как процесс формирования информационно-знаковых систем в костюме [Электронный ресурс] : автореф. дис. на соиск. уч. степени канд. техн. наук : спец. 17.00.06 «Техническая эстетика и дизайн» / Т.Л. Макарова. – М., 2004. – 16 с. – Режим доступа : http://cheloveknauka.com/v/67346/a?#?page=1.

7. Подуфалова Т.Н. Разработка образно-знаковой системы в проектировании костюма на основе комплексного анализа английской молодежной моды [Электронный ресурс] : автореф. дис. на соиск. уч. степени канд. техн. наук : спец. 17.00.06 «Техническая эстетика и дизайн» / Т.Н. Подуфалова. – М., 2008. – 16 с. – Режим доступа : http://cheloveknauka.com/v/67396/a?#?page=1

8. Бушуева С.С. Теории цикличного развития моды [Электронный ресурс] / С.С. Бушуева // Технико-технологические проблемы сервиса. – 2012. – № 3(21). – С. 63–67. – Режим доступа : http://cyberleninka.ru/article/n/teorii-tsiklichnogo-razvitiya-mody.

9. Иванец О. Прогнозирование моды. Научные представления о цикличности моды [Электронный ресурс] / О. Иванец. – 2012. – Режим доступа : http://ivanets.com/articles/fashion_forecast.html

10. Мельник М.Т. Індустрія моди : навчальний посібник / М.Т. Мельник. – К. : Видавництво Ліра-К, 2013. – 264 с.

11. Хмель О.А. Исследование формообразования в историческом костюме / О.А. Хмель // Швейная промышленность. – 2012. – № 6. – С. 32–34.

References

1. Suchasnyj tlumachnyj slovnyk ukrajinsjkoji movy:6000 sliv. Ed. by red. d-ra filol. nauk, prof. V.V. Dubichynsjkogho. Kharkov, VD «ShKOLA», 2007, 832 p.

2. Berter L.G. Prostranstvenny`j obraz mira v structure xudozhestvennogo stilya: avtoref. dis. na soisk. uch. stepeni kand. filos. nauk: spec. 09.00.04 «Estetika». Moscow, 1994, 21 p. URL: http://cheloveknauka.com/v/32809/a?#?page=1

3. Laghoda O.M. Khudozhnjo-obrazni osoblyvosti kostjuma v dyzajni odjaghu kincja KhKh – pochatku KhKhI stolittja: dys. ... kand. mystectvoznavstva: 17.00.07. Kharkiv, 2007, 283 p.

4. Kozlova T.V. Syil` v kostyume XX veka. Uchebnoe posobie dlya VUZov. Moscow, MGTU im. A.N. Kosygina, 2003, 160 p.

5. Sharlotta Zeling Moda. Vek Model`erov. 1900-1999; [per. na russkij yazy`k Y. Bushueva, G. Yashina]. KONEMANN, 2000, 658 p.

6. Makarova T.L. Moda kak process formirovaniya informacionno-znakovy`x system v kostyume: avtoref. dis. na soisk. uch. stepeni kand. texn. nauk: spec. 17.00.06 «Texnicheskaya e`stetika I dizajn». Moscow, 2004, 16 p. URL: http://cheloveknauka.com/v/67346/a?#?page=1.

7. Podufalova T.N. Razrabotka obrazno-znakovoj sistemy v proektirovanii kostyuma na osnove kompleksnogo analiza anglijskoj molodyozhnoj mody`: avtoref. dis. na soisk. uch. stepeni kand. texn. nauk: spec. 17.00.06 «Texnicheskaya e`stetika i dizajn». Moscow, 2008, 16 p. – URL: http://cheloveknauka.com/v/67396/a?#?page=1

8. Bushueva S.S. Teorii ciklichnogo razvitiya mody`,Tehnico-tehnologicheskie problem` servisa, 2012. №3(21). pp. 63-67. URL: http://cyberleninka.ru/article/n/teorii-tsiklichnogo-razvitiya-mody.

9. Ivanec O. Prognozirovanie mody`. Nauchnye predstavleniya o ciklichnosti mody, 2012. URL: http://ivanets.com/articles/fashion_forecast.html

10. Meljnyk M.T. Industrija mody. Navchaljnyj posibnyk. Kyiv, Vydavnyctvo Lira-K, 2013, 264 p.

11. Хмel` O.A. Issledovanie formoobrazovaniya v istoricheskom kostyume. Shveynaya promyilennost`, 2012, № 6. pp.32-34.

Рецензія/Peer review : 3.7.2015 р. Надрукована/Printed : 29.8.2015 р.
Рецензент: к.т.н., проф. Баннова І.М.

УДК 685.34.013

О.В. СКІДАН
Київський національний університет технології та дизайну
Т.А. НАДОПТА, І.М. ПАСТУХ
Хмельницький національний університет

ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ АНАЛІТИЧНОГО ПРОЕКТУВАННЯ ВЗУТТЯ

У статті наведено теоретичні передумови розробки аналітичних моделей проектування взуття для дітей-школярів, що полягають у дослідженні анатомічних та морфологічних особливостей стоп, формуванні пріоритетного композиційно-конструктивного ряду, встановленні вагомих показників якості, розробці аналітичних моделей характерних контурів стопи, взуттєвої колодки та умовної розгортки. Запропонований метод профілювання абрисів деталей сплайновими кривими з криволінійними напрямними. Перевагами розробленого методу є мобільність керування формою криволінійних кривих абрисів деталей із зниженням порядку кривої, в тому числі – з кривизною різного напрямку, що першовагомо для кривих характерних абрисів колодки та умовної розгортки колодки.

***Ключові слова**: стопа, проектування деталей верху взуття, аналітична модель, сплайнові криві, криволінійні напрямні.*

O.V. SKIDAN
Kyiv National University of Technologies and Design
T.A. NADOPTA, I.M. PASTUH
Khmelnytsky National University

THEORETICAL GROUNDS OF ANALYTICAL DESIGNING OF FOOTWEAR

Abstract – The article presents the theoretical preconditions of development of analytical models of designing shoes for schoolchildren, which consist in the study of the anatomical and morphological characteristics of the feet, the forming of foreground compositional and constructive series, the determination of important indicators of quality, the development of analytical models of specific outlines of the foot, the shoe pads and conventional sweep. The proposed method of profiling outlines of details the spline curves whit curved guides. The advantage of the developed method is mobility of the management of the curves shape of the details outlines with reduction of the curve order, including the different direction of the curvature which is especially important for the curves of the characteristic pads outlines and the conventional pads sweep. This approach will provide software modules that will allow to automate the design of shoes for schoolchildren, including all stages of the details uppers design.

Keywords: foot, design details shoe uppers, analytical model, spline curves, curved guides.

Постановка проблеми

Важливим аспектом підвищення конкурентоспроможності взуття є проектування виробу з врахуванням анатомічних особливостей стоп та уподобань споживачів [1]. Неврахування особливостей форм, довжинних, широтних та обхватних розмірів стоп, умов експлуатації та інших факторів створює цілий ряд проблем, пов'язаних, з одного боку з низькою економічною ефективністю виготовлення взуття, а з іншого – з незадоволеним попитом на взуття майже усіх груп населення. Споживач став краще орієнтуватися на ринку взуття, слідкуючи за актуальним тенденціям сьогодення. Мода все частіше розглядається як соціокультурне явище, яке дозволяє проявити настрій та уподобання споживача. Тому впровадження нового асортименту, безсумнівно, має одне з найважливіших значень для подальшого розвитку та підвищення рентабельності продукції виробника.

У значні мірі це стосується виробів для дітей, особливо слід приділяти увагу проектуванню взуття для дітей-школярів. Оскільки саме ця категорія споживачів вимагає у повній мірі врахування анатомічних та морфологічних особливостей стоп, а також дотримання естетичних принципів та уподобань дітей-школярів. Тому процес проектування взуття для дітей-школярів повинен бути гнучким та мобільним, щоб швидко переналаштовуватися відповідно до вимог сьогодення.

Таким чином, розробка аналітичних основ структури процесу проектування взуття для дітей-школярів є досить важливою задачею.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Як відомо, найбільш уразливим місцем взуттєвих підприємств є невисокий рівень автоматизованого забезпечення виготовлення взуття. Проектування виробів у значній мірі здійснюється традиційним методом, що вимагає певної високої кваліфікації конструктора та значних витрат часу, що йде в розріз з одним з основним вимог конкурентоспроможності – своєчасного оновлення асортименту.

Аналіз наукових джерел показав, що окремі аспекти аналітичного проектування взуття викладені в [2–4]. Ці дослідження спрямовані на вирішення часткових завдань автоматизованого проектування, таких як удосконалювання способів побудови креслень типових конструкцій взуття, тощо.

Також з'явилося останнім часом чимало універсальних і спеціалізованих САПР, що свідчить про те, що дані розробки користуються попитом, як на виробництві, так і в навчальних закладах. Кожна з систем має ряд відмінних особливостей, але всі вони базуються на графічних методах побудови конструкції [5]. При цьому більшість із них не вирішують завдання переходу від форморозмірів стопи до форморозмірів колодки та її розгортки. Ще слід зазначити, що при цьому аналітична та теоретична основа цих методів невідома.

Також при цьому, недостатньо розроблена стадія автоматизованого процесу проектування взуття для дітей-школярів [5, 6].

У зв'язку з цим, розробка програмно-методичного комплексу, який дозволить на сучасному високотехнологічному рівні автоматизувати процес проектування взуттєвих виробів для дітей-школярів з врахуванням анатомічної будови стоп та системи композиційно-конструктивних елементів, які відіграють значну роль під час вибору взуття є актуальним завданням.

Формулювання мети дослідження

Мета дослідження полягає у розвитку теоретичних передумов розробки аналітичних моделей проектування взуття для дітей-школярів. Конкретно це стосується удосконалення методу профілювання абрисів за допомогою сплайнових кривих, що дасть змогу отримати аналітичні модулі проектування раціональної внутрішньої форми взуття з врахуванням анатомічних та морфологічних особливостей стоп.

Подібний підхід дозволить отримати програмні модулі, котрі дозволять автоматизовано проектувати взуття для дітей-школярів, включаючи усі стадії процесу проектування деталей верху взуття.

Викладення основного матеріалу

Застосування аналітичних моделей на етапах проектування взуття для дітей-школярів, дозволяє досягти таких результатів:

- соціальний ефект: врахування будови стоп, естетичних та конструктивних вподобань дітей-школярів;
- технологічний ефект: інтелектуалізація процесу, котра пов'язана із застосуванням інформаційних технологій;
- економічний ефект: скорочення термінів на проектування і виготовлення взуття, а також підвищення якості готових виробів.

Для забезпечення соціального ефекту у [1] обґрунтовано та сформовано систему критеріїв, які визначають пріоритетне композиційно-конструктивне рішення взуття для дітей-школярів, встановлено, на які саме елементи звертають увагу споживачі при виборі взуття. Також проведено антропометричні дослідження стоп дітей-школярів [7]. Запропоновано методику обробки результатів досліджень, котрі містять декілька параметрів впливу [8]. Результати обробки досліджень з використанням поліпараметричної моделі показали суттєві відмінності стоп у порівнянні із дослідженнями, котрі були проведені 15–20 років тому.

У [9] описані загальні критерії якості взуттєвих виробів для дітей-школярів та виділено показники, котрі необхідно враховувати при проектування виробів для дітей-школярів, що становить економічний ефект.

Для більшості тіл, які досить часто використовуються у взуттєвій галузі, наприклад взуттєва колодка, неможливо знайти універсальну формулу, яка дозволить описати поверхню в цілому. Тому прийнято розділяти поверхню колодки на характерні контури, котрі в кінцевому результаті будуть об’єднані в одне ціле.

З огляду на вище зазначене запропоновано для отримання характерних абрисів використовувати сплайнові криві.

Термін "сплайн" походить від англійського слова spline. Спочатку сплайни реалізувались за допомогою гнучкої стальної смужки, вигинаючи яку через задані точки отримували плавні криві. Подібний спосіб побудови плавних обводів різних тіл (корпус корабля, кузов автомобіля) був досить широко поширений в практиці машинобудування. Сплайном називали також і розмічальну мотузку, кривизна якої регулювалася підвішеними тягарцями. В результаті форма тіла задавалася за допомогою набору дуже точно виготовлених перерізів – плазів. Поява комп'ютерів дозволило перейти від такого методу до більш ефективного математичного способу завдання поверхні тіла. В цьому випадку, сплайн – це система рівнянь, які описують цілком реальні об’єкти.

Сплайн – це гладка крива, яка будується з використанням кривих і за допомогою двох або більше керуючих точок, котрі керують формою сплайна. Чим більше використовується керуючих точок, тим більш складнішою за формою може бути крива.

З найбільш поширених типів сплайнів найчастіше використовують криві Безьє і B-сплайни (бі-сплайни). Застосування означених типів дозволяє описати систему абрисів (перетинів) тіла будь-якої складності з необхідною точністю при відносно нескладному математичному апараті. Цей аспект особливо важливий при розробці автоматизованих систем проектування.

Типовим прикладом сплайнів є також неоднорідні раціональні NURBS-криві ("нурбс"-криві). Ці криві або їх сукупність дозволяють отримувати двохмірні криві та гладкі поверхні в трьохмірному просторі.

У [10] наведений спосіб проектування прототипу та базової основи деталей верху взуття сплайновими кривими, а саме кривими Безьє, основою для якого служать система керуючих точок, які з’єднуються прямолінійними напрямними, всередині котрих знаходиться крива. Сплайнова крива (наприклад, другого порядку) задається трьома точками: крім точок початку P_S (x_S, y_S) та кінця PE (x_E, y_E) необхідна проміжна точка P_1 (x_{P1}, y_{P1}), причому ці точки з’єднані прямолінійними напрямними (рис. 1).

Формування кривої проходить в наступному порядку (рис. 1).

На кожному з відрізків напрямних синхронно переміщуються додаткові точки 1 (на ділянці P_S-P_1) та 2 (ділянка P_1- P_E). В будь-який момент відстань до точок 1 і 2 від початку відповідної ділянки визначається як добуток параметра t (це параметр (time-ітератор), який змінюється в межах 0…1, при цьому передбачається, що t_i=1 при i=1 і t=0 при i=0) на її довжину. Точка B(t) знаходиться на відрізку, який з’єднує точки 1 та 2, причому відстань її від точки 1 також визначається як добуток параметра t на довжину

відрізка 1-2. На рисунку 1 для спрощення його сприйняття показана побудова сплайнової кривої на прикладі тільки декількох точок при значеннях параметра t 0; 0,25; 0,5; 0,75; 1. Однак недоліком вказаного способу є однозначність форми кривої та необхідність значної кількості керуючих точок для складних кривих абрисів, оскільки для системи керуючих точок застосовуються прямолінійні напрямні. Також можливий варіант для побудови складних за формою абрисів окремі криві Безьє можуть бути послідовно з'єднані одна з одною у сплайн Безьє. Для того, щоб забезпечити гладкість лінії в місці з'єднання двох кривих, суміжні опорні точки обох кривих мають лежати на одній лінії, що вимагає додатковий операцій.

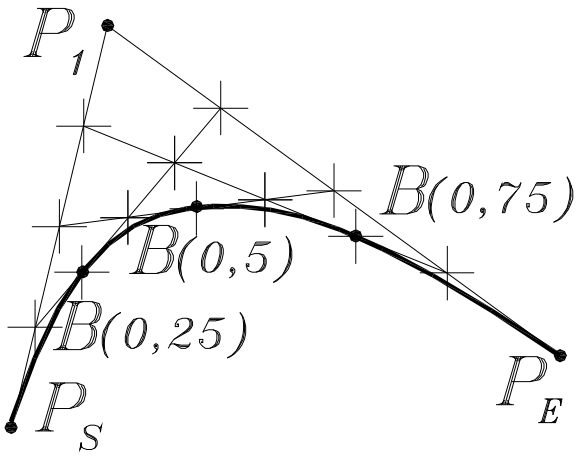


Рис. 1. Формування сплайнової кривої з прямолінійними напрямними

Зважаючи на зазначені вище недоліки, запропоновано проводити профілювання абрисів деталей, застосовуючи сплайнові криві з криволінійними напрямними.

На рисунку 2 продемонстровано варіант побудови кривої абрису з використанням криволінійної напрямної у вигляді дуги кола між точками P_S-P_1, а на рисунку 3 – з використанням крім того напрямної теж у вигляді дуги кола P_1-P_E, причому протилежного знака кривизни. Подальша побудова відбувається за вище означеними принципами.

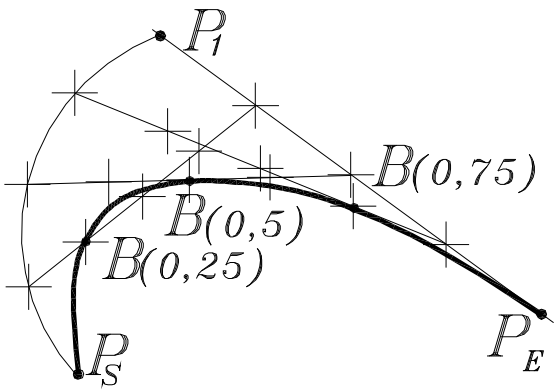


Рис. 2. Формування сплайнової кривої з криволінійними напрямними

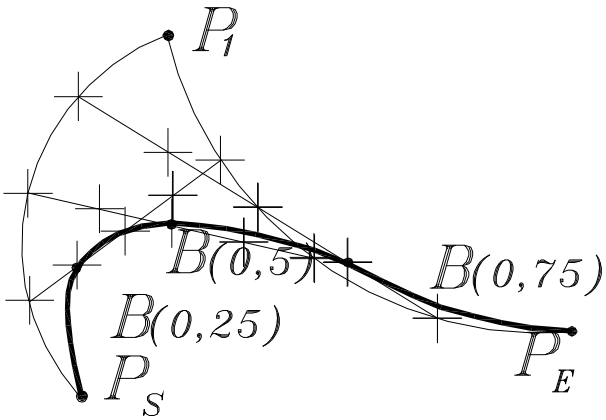


Рис. 3. Формування сплайнової кривої з криволінійними напрямними (дві дуги)

Наведені приклади дозволяють отримати криві абрисів будь-якої форми при одних і тих же керуючих точках P_S, P_1, P_E.

Вкрай важливою перевагою способу побудови кривих абрисів є те, крива на рисунку 2 при використанні прямолінійних напрямних могла би бути отриманою тільки при третьому порядку сплайнової кривої, крива на рисунку 3 – четвертого, відповідно для чого потрібно було б чотири та п'ять керуючих точок, що суттєво ускладнювало б побудову. Слід також додати, що форма криволінійної напрямної може бути будь-якою, що також збільшує поліваріантність сплайнових кривих.

Таким чином, наведені приклади демонструють переваги використання криволінійних напрямних, спрощуючи при цьому побудову складних абрисів.

Наведені властивості та принципи формування кривих Безьє дозволяють розв'язати обернену задачу профілювання контурів колодки та взуття, а саме, по заданих точках, через які обов'язково повинна пройти крива, визначити точне положення координат (вірніше матрицю координат) керуючих точок, що дає змогу аналітично описати криві, за допомогою яких передбачається формувати контури.

На рисунку 4 більш детально наведено послідовність формування процесу проектування взуття для дітей-школярів з використанням аналітичних моделей.

Для практичного застосування запропонованих моделей необхідно розробити аналітичний опис деякого каркасу, сформованого як сукупність контурів поздовжніх та поперечних перетинів, де враховані не тільки індивідуальні особливості стопи, але і додаткові об'єми, які забезпечують комфортні умови використання виробу. Це дасть змогу отримати аналітичну модель взуттєвої колодки в залежності від основних розмірних характеристик стопи, що дозволить швидко, без зайвих витрат переналагоджувати й адаптувати виробництво до вимог ринку.

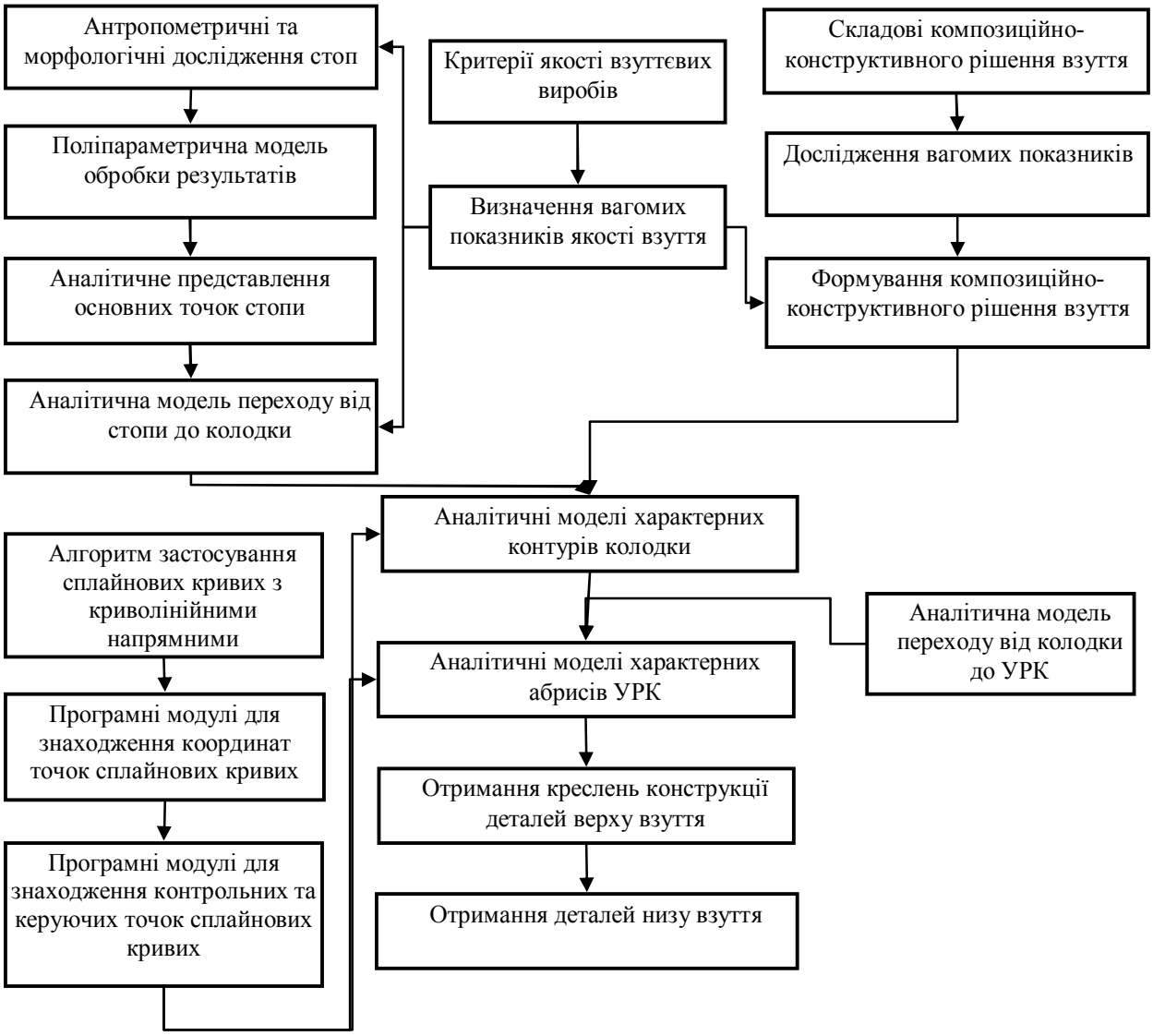


Рис. 4. Складові розробки процесу проектування взуття для дітей-школярів

Впровадження аналітичних моделей проектування дасть можливість замінити трудомісткий процес ручного моделювання комп'ютерним. Комплексне використання інноваційних технологій з врахуванням анатомічних особливостей стоп дітей-школярів та уподобань дозволить прискорити процес проектування не лише нових моделей, а також технологічного оснащення.

Висновки

1. Розроблено метод профілювання абрисів деталей сплайновими кривими з криволінійними напрямними, який забезпечує гнучкість керування формою криволінійних абрисів деталей, зниження порядку кривої значної складності, в тому числі – з кривизною різного знаку.

2. Наведено складові розробки процесу проектування взуття для дітей-школярів, які необхідні для розробки аналітичних моделей автоматизованого проектування виробів.

Література

1. Скідан О.В. Визначення пріоритетного композиційно-конструктивного рішення взуття для дітей-школярів / О.В. Скідан, Т.А. Надопта, А.Б. Домбровський // Вісник Хмельницького національного університету. – 2015. – № 1.

2. Шарипова Е.И. Автоматизация проектирования внутренней формы обуви : дис. … канд. техн.

наук : 05.19.06 / Шарипова Елена Игоревна. – М., 2002. – 195 с.

3. http://www.bastion-ua.com/avtomatizaciya-proizvodstva-obuvi/

4. Храмова Н.С. Разработка технологического процесса проектирования и формирования текстильной обуви в AutoCAD : дисс. ... канд. техн. наук : 05.19.06 / Храмова Наталья Станиславовна. – К., 2000. – 146 с.

5. Бекк М.В. Разработка методики прогнозирования ассортимента детской обуви : дис. … канд. техн. наук : 05.19.06 / Бекк Мария Владимировна. – М., 2013. – 176 с.

6. Михайловська О. А. Проектування колодок для виготовлення дитячого спеціального взуття для спортивних танців / О. А. Михайловська, А. Б. Домбровський, В. П. Либа // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2010. – № 4. – С. 202–206.

7. Омельченко Н.М. Антропометричні дослідження стоп дітей 12-13 років Південного регіону України / Н.М. Омельченко, О.В. Скідан, В.В. Скідан // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2013. – № 6. – С. 114–117.

8. Надопта Т.А. Принципи формування поліпараметричних моделей / Т.А. Надопта, Л.В. Козловська, А.Б. Домбровський, О.В. Скідан // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. – 2015. – № 1. – С. 221–226.

9. Надопта Т.А. Загальні критерії якості взуттєвих виробів для дітей-школярів / Т.А. Надопта, А.Б. Домбровський, О.В. Скідан // Вісник Хмельницького національного університету. – 2014. – № 1. – С. 244–249.

10. Надопта Т.А. Розробка методу проектування деталей верху взуття на основі аналітичної моделі прототипу : дис. … канд. техн. наук : 05.18.18 / Надопта Тетяна Анатоліївна. – Хмельницький, 2013. – 214 с.

References

1. O.V. Skidan, T.A. Nadopta, A.B. Dombrovs'kij, Viznachennya prioritetnogo kompozicijno-konstruktivnogo rishennya vzuttya dlya ditej-shkolyariv, Herald of Khmelnytsky National University. 2015. № 1.

2. Sharipova E.I. Avtomatizaciya proektirovaniya vnutrennej formy obuvi: dis. … kand. tekhn. nauk: 05.19.06 / Sharipova, Elena Igorevna. M., 2002. 195 s.

3. http://www.bastion-ua.com/avtomatizaciya-proizvodstva-obuvi/

4. Hramova N. S. Razrabotka tekhnologicheskogo processa proektirovaniya i formirovaniya tekstil'noj obuvi v AutoCAD: diss. ... kand. tekhn. nauk : 05.19.06 / Hramova Natal'ya Stanislavovna. K., 2000. 146 s.

5. Bekk M.V. Razrabotka metodiki prognozirovaniya assortimenta detskoj obuvi: dis. … kand. tekhn. nauk: 05.19.06 / Bekk Mariya Vladimirovna. – M., 2013. – 176 s.

6. O. A. Mihajlovs'ka, A. B. Dombrovs'kij, V. P. Liba, Proektuvannya kolodok dlya vigotovlennya dityachogo special'nogo vzuttya dlya sportivnih tanciv, Herald of Khmelnytsky National University. Technical sciences. 2010. № 4. S. 202-206.

7. N.M. Omel'chenko, O.V. Skidan, V.V. Skidan, Antropometrichni doslidzhennya stop ditej 12-13 rokiv Pivdennogo regionu Ukraïni, Herald of Khmelnytsky National University. Technical sciences, 2013. № 6. S. 114–117.

8. T.A. Nadopta, L.V. Kozlovs'ka, A.B. Dombrovs'kij, O.V. Skidan, Principi formuvannya poliparametrichnih modelej, Visnik Kyivs'kogo nacional'nogo universitetu tekhnologij ta dizajnu. 2015. № 1. S. 221-226

9. T.A. Nadopta, A.B. Dombrovs'kij, O.V. Skidan, Zagal'ni kriteri yakosti vzuttєvih virobiv dlya ditej-shkolyariv, Herald of Khmelnytsky National University. Technical sciences. 2014. № 1. S.244-249

10. Nadopta T.A. Rozrobka metodu proektuvannya detalej verhu vzuttya na osnovi analitichnoi modeli prototipu: dis. …kand. tekhn. nauk: 05.18.18 / Nadopta Tetyana Anatolivna, Khmelnytsky, 2013. 214 s.

Рецензія/Peer review : 20.7.2015 р. Надрукована/Printed : 29.8.2015 р.
Стаття рецензована редакційною колегією

УДК 685.34.013

А.В. СЕЛЕЗНЬОВА, А.Б. ДОМБРОВСЬКИЙ
Хмельницький національний університет

АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ СТВОРЕННЯ РАЦІОНАЛЬНОЇ КОНСТРУКЦІЇ ВЗУТТЯ ДЛЯ ДІТЕЙ-ШКОЛЯРІВ

Досліджено асортимент матеріалів для проектування дитячого взуття. Розроблено класифікацію дитячого взуття відповідно до використовуваних матеріалів верху та підошви. Складено основну характеристику матеріалів та встановлено доцільність їх використання для певних деталей дитячого взуття.

Ключові слова: дитяче взуття, матеріали верху, матеріали підошви, деталі, проектування, класифікація.

A.V. SELEZNEVA, A. B. DOMBROWSKI
Khmelnytsky National University

ANALYSIS OF EXISTING MATERIALS TO CREATE A RATIONAL DESIGN OF SHOES FOR SCHOOLCHILDREN

Abstract – A range of materials for the design of children's shoes are investigated to create a rational design of shoes for schoolchildren. The classification of children's shoes according to the materials used for the uppers and soles. Compiled basic characteristic of materials and established the feasibility of their use for certain parts of children's shoes.

Keywords: children's shoes, top materials, the materials of the sole, the details, design, classification.

Постановка проблеми

Одним із найголовніших показників якості взуття є його зручність, яка в значній мірі визначається як внутрішньою формою самого виробу, так і використовуваними матеріалами. Особливо це стосується взуття для дітей-школярів.

Безпека та екологічність товарів дитячого асортименту – це запорука їхнього гарного фізичного та психологічного благополуччя. На властивості взуття для дітей-школярів значною мірою здійснюють вплив саме матеріали, які використовуються для його зовнішніх і внутрішніх деталей, оскільки під час ходіння підвищується температура тіла людини, що сприяє активізації тепловіддачі [1].

Враховуючи те, що дитяча стопа, на відміну від дорослої людини, не тільки зростає, а й, водночас, формується, дитяче взуття повинно мати відповідну конструкцію, форму, гігієнічні властивості, які б забезпечили нормальний її розвиток. На сьогодні питання по раціональному використанню тих чи інших матеріалів у дитячому взутті досі не вирішені. Залишаються такі проблеми, як відсутність у взутті м'якої амортизуючої прокладки по сліду, нераціонально спроектована устілкова або бокова поверхні колодки, використання взуття підвищеної жорсткості (або, навпаки, взуття з м'яким задником), збільшення висоти каблука тощо. Крім того, дитяче взуття піддається більш інтенсивному механічному впливу, на відміну від дорослого, за рахунок більшої рухливості та активності. Це викликає різноманітні пошкодження матеріалу верху, через що погіршується зовнішній вигляд виробу, його естетичні властивості, в деяких випадках цілісність швів, кріплень, а також, що є першовагомо, порушується формостійкість готового виробу [2–4].

Таким чином, вирішення задачі раціонального підбору матеріалів для деталей верху, підкладки та низу взуття є особливо актуальним.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Результати аналізу літературних джерел [2–6, 11] свідчать, що проблемі конкурентоспроможності та якості взуттєвих виробів присвячена значна кількість робіт таких фахівців, як В.П. Коновала, В.М. Катрич, А.М. Каліти, Б.Я. Краснова, В.В. Рибальченко, Н.М. Омельченко, В.П. Либи, В.М. Цимбалюка. Крім того, слід виділити роботи зарубіжних авторів, таких як М. Портер, Р. Уотерман, Дж. Еванс, Е. Ямади, Ж.-Ж. І. Ламбен. Однак традиційні підходи до конкурентоспроможності та якості складні та трудомісткі у практичному застосуванні та, що є першовагомо, не враховують особливостей товарів легкої промисловості. Слід наголосити, що в зазначених роботах більшою мірою автори звертали увагу на питання, пов'язані із взуттям для дорослих, а от конкретизація на дитячому взутті міститься лише в окремих роботах, що, у свою чергу, підтверджує актуальність дослідження асортименту матеріалів саме дитячого взуття.

Мета і завдання дослідження

Метою статті є аналіз існуючих матеріалів для створення раціональної конструкції взуття для дітей-школярів.

Виклад основного матеріалу

Основним завданням сучасного взуттєвого виробництва є випуск якісного, раціонального взуття, зокрема, для дітей-школярів. Дитяче взуття окрім захисної функції, має бути зручним, надійним, безпечним у використанні та сприяти як фізіологічному, так і психологічному комфорту дитини. Крім того, взуттєве виробництво повинно бути інноваційним та економічно доцільним.

Головну роль в якості дитячого взуття відіграють властивості використовуваних матеріалів. Безпечність та гігієнічність взуттєвих матеріалів полягає у їх здатності до захисту ніг від механічної дії, холоду або промокання. Окрім того, взуття не повинно сприяти перегріванню і сильному потінню ніг, порушувати їхні функції чи обмежувати свободу рухів.

Згідно [2, 3, 5] шкіряним називають взуття, верх якого виготовляють із натуральних шкір, штучних та синтетичних матеріалів, текстильних матеріалів, хутра, а також комбінованих матеріалів. Шкіра є одним з найважливіших матеріалів для виробництва взуття. Звісно, перевага надається натуральним матеріалам. Так, понад 60 % усього взуття, що випускається в Україні, має верх і підкладку зі шкіри; понад 50 % – шкіряну устілку; понад 20 % – шкіряну підошву; усе взуття з верхом із синтетичних шкір складає 4,5 % від загального обсягу виробництва, яке виготовляють зі шкіряною підкладкою, і лише 10 % від усього асортименту становить продукція із штучної шкіри. Це переважно взуття шкільної статевовікової групи (напівчеревики, туфлі, кросівки), де штучну шкіру комбінують з натуральними матеріалами. Текстиль зазвичай використовують при виробництві кімнатного взуття, частка якого – майже 20 %.

Сировиною для виготовлення взуття слугує шкіра великої рогатої худоби (опойка, виростка, півшкурка, бичка, ялівки), свиней, кіз (шевро), овець (шеврет), коней, оленів, собак, рептилій тощо.

Під час сертифікації дитячого взуття обов'язковими показниками є: відповідність матеріалів, які застосовуються при виробництві (ГОСТи 1135–88 і 9135). За ГОСТом 23251-83 виділено основні види взуття, на які воно поділяється в залежності від виду матеріалів (рис. 1).

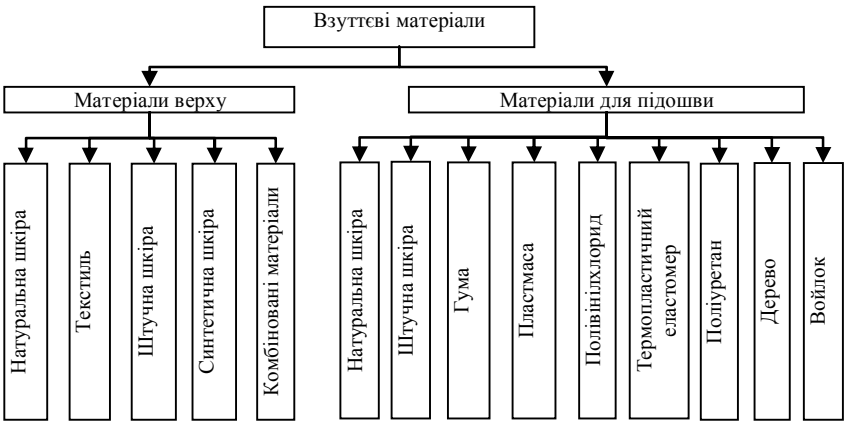
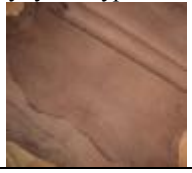


Рис. 1. Класифікація взуття відповідно до ГОСТ 23251-83

Усі матеріали для деталей верху взуття умовно поділяють на 2 окремі групи – натуральні матеріали і штучні матеріали. Широкий асортимент вживаних матеріалів обумовлений великою кількістю і різноманітністю деталей верху взуття, залежно від їх призначення і розташування, а також від виду і призначення взуття, що виготовляється, методу кріплення низу, і багатьох інших чинників. У табл. 1 розглянуті основні взуттєві матеріали, вживані при виготовленні деталей взуття [6–10].

Таблиця 1

Характеристика взуттєвих матеріалів для дітей-школярів

Натуральні матеріали	**Визначення, характеристика**	**Властивості**	**Призначення**	**Додаткові відомості**
1	2	3	4	5
Натуральні матеріали				
Юхта взуттєва (ГОСТ 485-82)	Шкіра для верху взуття, виготовлена з використанням рослинних дубителів Містить до 30 % жиру.	Еластична, вологостійка, морозостійка, низька термостійкість. Погані властивості адгезії.	Для деталей верху окремих видів взуття.	Виготовлення у обмеженій кількості через високу вартість рослинних дубителів і непросту технологію обробки.
Велюр	Шкіра для верху взуття, яку отримують хромовим дубленням різних видів сировини.	Має гарний зовнішній вигляд і високі гігієнічні властивості – гігроскопічність, паро- і повітропроникність. М'яка, еластична.	Для виготовлення зовнішніх деталей верху, а також для деяких внутрішніх деталей (підкладка, лиштва, ЗВР).	Сировина – шкіра ВРХ.
Нубук натуральний 	Шкіра для верху взуття, яку отримують хромовим дубленням різних видів сировини.	Має гарний зовнішній вигляд, повітропроникність. Недоліки – низька зносостійкість і особливий догляд (очищення спеціальними засобами).	Для деталей верху переважно літнього взуття.	Сировина – опойок, виросток.

Продовження табл. 1

1	2	3	4	5
Лакова шкіра (ГОСТ 9705-78)	Шкіра для верху взуття, яку отримують хромовим дубленням різних видів сировини.	Має дзеркальний блиск, гарний зовнішній вигляд, стійка до дії вологи, механічних пошкоджень і багаторазових згинів. Недоліки – показники гігієнічних властивостей невисокі.	Для деталей верху взуття.	Сировина – хромові шкіри (шевро, опойок, кінські шкури тощо).
Замша (ГОСТ 3717-84)	Шкіра для верху взуття, яку отримують жировим і формальдегідно-жировим дубленням	Має густий невисокий двосторонній ворс, гарні гігієнічні властивості, пористість, підвищену тягучість, стійкість до дії води, високих температур, лугу. Протиалергенні властивості.	Для верху модельного та ортопедичного взуття.	Сировина – шкури оленя, лося, опойка, овець, диких кіз.
Підкладкова шкіра (ГОСТ 940-81)	Шкіра, яка непридатна для верху взуття через наявність дефектів та недостатню товщину і міцність.	Нежорстка, з натуральним або кольоровим забарвленням, стійка до тертя в сухому та мокрому стані, володіє високими гігієнічними властивостями.	Для зовнішніх деталей верху взуття (манжет, клапан) і різних внутрішніх деталей верху взуття.	Сировина – браковані дублені напівфабрикати тонких шкір.
Спилок (ГОСТ 1838-91)	**І група**; ІІ група.	Має підвищену еластичність, гарну паропроникність. Недолік – погана зносостійкість.	І група – для різних зовнішніх деталей верху взуття. ІІ група – для внутрішніх деталей верху взуття і устілок.	І група – шкіра має штучно створене лицьове покриття (поліуретанову плівку).
Жорстка шкіра (ГОСТ 1903-78)	**Шкіра для низу взуття.**	Має велику товщину, жорстка, зносостійка і водостійка.	Для виготовлення деталей низу взуття (устілка, підкладка, підошва, рант тощо) та внутрішніх і проміжних деталей верху (підносок, задник).	Сировина – шкіра ВРХ, кінські і свинині шкури.
Хутро натуральне (ГОСТ 4161-76)	**Матеріал, призначений для виготовлення підкладкових деталей і оздоблення зимового взуття.**	Володіє високими теплозахисними, гігієнічними і іншими експлуатаційними властивостями.	Для виготовлення підкладкових деталей і оздоблення зимового взуття.	Сировина – шкури різних тварин.
Штучні матеріали				
Штучна шкіра	**Синтетичний матеріал, що складається з основи (тканина, трикотаж або нетканий матеріал), спеціальних просочень та оздоблювального покриття.**	М’яка і тонка. За призначенням: взуттєва, морозостійка, підкладкова, перфорована тощо.	Для деталей верху (халява, берці), підкладки і внутрішніх деталей взуття.	За основою виділяють шкіру: Т – тканинну; ТР – трикотажну; НТ – неткану.
Нубук синтетичний	Шкіра синтетична для верху взуття.	Має оксамитову структуру, зносостійкий та не поглинає воду.	Для деталей верху взуття.	Сировина – багатошаровий полімерний матеріал.

Продовження табл. 1

1	2	3	4	5
Нубук-ойл	Шкіра для верху взуття, отримана хромовим дубленням різних видів сировини та захищена від вологи.	Вогкий, міцний, зносостійкий. Має водовідштовхувальні властивості. Невибагливий при експлуатації та догляді.	Для деталей верху взуття.	Сировина – опойок, виросток.
Кірза взуттєва	Штучний матеріал чорного кольору з великим лицьовим рисунком.	Товста, жорстка, водостійка та морозостійка. Має велику міцність на розрив, малу розтяжність. Недоліки – низькі показники паропроникності.	Для деталей верху взуття (халяви чобіт, берці черевиків).	Сировина – трьохшарова бавовняна або бавовнополіефірна тканина, просочена дисперсіями синтетичного каучуку у суміші з іншими матеріалами.
Шарголін	Штучний матеріал для верзу взуття.	М'який, зносостійкий. Переваги – бензостійкість. Недоліки – низька морозостійкість.	Для деталей верху взуття (халяви чобіт, берці черевиків).	Сировина – трьохшарова (бавовняна або бавовнополіефірна тканина) – кірза із полівінілхлоридним покриттям.
Юфтін (вінілісшкіра–Т)	Шкірозамінник на текстильній основі з полівінілхлоридним покриттям.	Має малу паро- і водопроникність, низьку міцність на розрив і розтяжність, гарні теплозахисні властивості. Товста, стійка до впливу бензину, керосину, води, мінеральної олії.	Для деталей верху взуття (халяви юхтових утеплених чобіт, берці напівчобіт і черевиків).	Сировина – текстильна основа (шинельне сукно) та полівінілхлоридне покриття.
Шкіра PU (Екошкіра)	Високотехнологічний матеріал для верху взуття.	М'яка, еластична, гіпоалергенна (не містить токсичних матеріалів), без запаху, стійка до різних видів деформації. Термостійка, зносостійка, повітропроникна, гарним зовнішнім виглядом.	Для деталей верху взуття.	Сировина – надтонке волокно і високосортний поліуретан.
TPR (Thermo Plastic Rubber)	Високотехнологічний матеріал для підошви взуття.	Гнучка, зносостійка, морозостійка. Недолік – невелика термостійкість.	Для підошви взуття спеціальної ергономічної форми.	Сировина – полімери і високотехнологічна гума.
Поліуретанова підошва	Поліуретанова система для виробництва взуттєвих підошов	Легка і комфортна, ергономічна, стійка, зносостійка, морозостійка, термостійка і стабільна до ковзання.	Для підошви повсякденного, захисного та спортивного взуття.	Сировина – ПУ та гума.

Отже, взуття є предметом першої необхідності та належить до найважливіших споживчих товарів, оскільки впливає на формоутворення, розвиток і нормальне функціонування організму (особливо в підлітковому віці). Тому під час вибору взуттєвих матеріалів для зовнішніх і внутрішніх деталей необхідно враховувати їх властивості у сполученні один з одним і розглядати їх як систему, що виконує однакову роботу та забезпечує якість і надійність взуття.

Висновки

Збільшення споживчого попиту на якість взуття і висока конкуренція ставлять завдання пошуку і застосування нових матеріалів, ресурсозберігаючих технологій, методів покращення експлуатаційних та естетичних властивостей продукції. Розширення асортименту взуттєвих матеріалів, вироблених за допомогою нових технологій, створює перспективи для виготовлення взуття з поліпшеними функціональними властивостями.

Перспективами подальших досліджень у даному напрямі є визначення показників безпечності на

основі оцінки гігієнічних властивостей взуттєвих матеріалів з метою профілактики негативного впливу цих виробів на здоров'я дітей-школярів.

Література

1. Лобанова Г.Є. Сучасні матеріали для вкладних устілок: ергономічні та екологічні аспекти / Г.Є. Лобанова, В.М. Цимбалюк, Ю.В. Пухальська // Вісник Хмельницького національного університету. – 2012. – № 5. – С. 129–132.

2. Катрич В. М. Концептуальні підходи до забезпечення якості та конкурентоспроможності взуття для дітей дошкільного віку / В. М. Катрич // Легка промисловість. – 2009. – № 1. – С. 44–45.

3. Рибальченко В. В. Формостійкість систем матеріалів у пакеті для матеріалів верху взуття / В. В. Рибальченко, Е. П. Дрегуляс, Н. Д. Креденець // Легка промисловість. – 2009. – № 1. – С. 46.

4. Лиокумович В. Х. Структурный анализ качества обуви / В. Х. Лиокумович. – М. : Легкая индустрия, 1980.

5. Омельченко Н. М. Взуття та здоров'я людини / Н. М. Омельченко, В. П. Кернеш, В. П. Коновал // Легка промисловість. – 2009. – № 2. – С. 38–39.

6. Андрієвська Л. Дослідження показників безпеки матеріалів для дитячого взуття / Л. Андрієвська // Товари і ринки. – 2008. – № 1. – С. 138–141.

7. Обувь. Термины и определения : ГОСТ 23251-83. – [Введ. 01.01.85]. – М. : Издательство стандартов, 1983.

8. Кожа для верха обуви. Технические условия : ГОСТ 939-88. – [Введ. 01.01.90]. – М. : Издательство стандартов, 1988.

9. Кожа из спилка. Общин технические условия : ГОСТ 1838-91. – [Введ. 01.01.93]. – М. : Издательство стандартов, 1991.

10. Обувь детская. Общин технические условия : ГОСТ 26165-2003. – [Введ. 01.10.2004]. – М. : Издательство стандартов, 2003.

11. Надопта Т. А. Загальні критерії якості взуттєвих виробів для дітей-школярів / Т. А. Надопта, А. Б. Домбровський, О. В. Скідан // Вісник Хмельницького національного університету. – 2014. – № 4. – С. 215–221.

References

1. H.Ye. Lobanova, V.M. Tsymbalyuk, Yu.V. Pukhal's'ka, Suchasni materialy dlya vkladnykh ustilok: erhonomichni ta ekolohichni aspekty, Herald of Khmelnytsky National University.2012. № 5. S. 129-132.

2. Katrych V. M. Kontseptual'ni pidkhody do zabezpechennya yakosti ta konkurentospromozhnosti vzuttya dlya ditey doshkil'noho viku, Lehka promyslovist'. 2009. № 1. S. 44-45.

3. Rybal'chenko V. V. Formostiykist' system materialiv u paketi dlya materialiv verkhu vzuttya / V. V. Rybal'chenko, E. P. Drehulyas, N. D. Kredenets' // Lehka promyslovist'. – 2009. – № 1. – S. 46.

4. Lyokumovych V. Kh. Strukturnыy analyz kachestva obuvy. M. : Lehkaya yndustryya, 1980.

5. N. M. Omel'chenko, V. P. Kernesh, V. P. Konoval, Vzuttya ta zdorovya lyudyny, Lehka promyslovist'. 2009. № 2. S. 38-39.

6. Andriyevs'ka L. Doslidzhennya pokaznykiv bezpeky materialiv dlya dytyachoho vzuttya, Tovary i rynky. 2008. – № 1. S. 138-141.

7. Obuv. Terminyi i opredeleniya: GOST 23251-83. Vved. 01.01.85. M.: Izdatelstvo standartov, 1983.

8. Kozha dlya verha obuvi. Tehnicheskie usloviya: GOST 939-88. Vved. 01.01.90. M.: Izdatelstvo standartov, 1988.

9. Kozha iz spilka. Obschin tehnicheskie usloviya: GOST 1838-91. Vved. 01.01.93. M.: Izdatelstvo standartov, 1991.

10. Obuv detskaya. Obschin tehnicheskie usloviya: GOST 26165-2003. Vved. 01.10.2004. M.: Izdatelstvo standartov, 2003.

11. T. A. Nadopta, A. B. Dombrovs'kyy, O. V. Skidan, Zahal'ni kryteriyi yakosti vzuttyevykh vyrobiv dlya ditey-shkolyariv, Herald of Khmelnytsky National University. 2014. № 4. S. 215-221.

Рецензія/Peer review : 8.8.2015 р. Надрукована/Printed : 29.8.2015 р.
Рецензент: д. т. н., проф. Г.Б. Параска

УДК 677.076.44

О.В. КИРИЧЕНКО
Вищий навчальний заклад Укоопспілки «Полтавський університет економіки і торгівлі»

ГЕОТЕКСТИЛЬ НЕТКАНИЙ: ВИБІР ПОКАЗНИКІВ ВЛАСТИВОСТЕЙ ДЛЯ ОЦІНКИ РІВНЯ ЯКОСТІ ТА ФОРМУВАННЯ АСОРТИМЕНТУ

Доведена необхідність дослідження наявної номенклатури показників властивостей геотекстильних нетканих матеріалів з метою побудови ієрархічної структури показників якості. Сформована ієрархічна структура, враховуючи поліфункційність геотекстилю під час застосування у облаштуванні ландшафту. Вибрана номенклатура основних показників якості геотекстильних нетканих матеріалів, що дозволяє оцінювати їх якість та оптимізувати асортимент.

Ключові слова: геотекстильний нетканий матеріал, показник якості, номенклатура показників якості, ієрархічна структура, ландшафтне будівництво.

O.V. KYRYCHENKO
Poltava University of Economics and Trade

NONWOVEN GEOTEXTILES: CHOICE OF INDEXES OF PROPERTIES FOR ESTIMATION OF LEVEL OF QUALITY AND FORMING OF ASSORTMENT

Abstract – The aim of the research – informed choice range of quality indicators for the construction of complex quality, which provides for the evaluation of quality nonwoven geotextile and possible execution of basic functions in landscape construction, namely, separation, reinforcement, filtration, drainage, protection.

For nonwoven geotextile important not only to determine the functional ability, but also to identify the impact of chemical raw, material structure, the manufacturing capabilities for effective use in geotechnical systems and in the system "material – property – function". This system is multifunctional, while working individual properties during the enforcement of several functions. The hierarchical structure is constructed of quality indicators. Indicators on the first level combined into four main groups: structural parameters, functional, technological and durability.

The range main indicators for quality nonwoven geotextile for landscape areas selected by using expert assessments. This nomenclature allows fully assess the quality of materials, optimizing their range considering polyfunctionality.

Keywords: nonwoven geotextile, index of quality, range of quality indexes, hierarchical structure, landscape building

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Геотекстиль, у широкому значені цього терміну, – плоский матеріал із волокон (ниток), що використовується в контакті з ґрунтом або іншими матеріалами у різних галузях господарювання. Визначення цього терміну і його видів (геотекстиль нетканий, геотекстиль тканий, геотекстиль трикотажний, геосинтетика, геотекстилеподібний матеріал) наводиться в різних нормативних документах, наукових роботах тощо [1, 2, 3]. На нашу думку, ці визначення узагальнені і окреслені за певною характерною ознакою, як то: волокнистий склад, спосіб виготовлення, особливості структури, обробка, лінійні розміри, галузь використання та інші [4, 5].

На сьогодні різноманітність геотекстилю вплинула на його поширене застосування в будівництві: дорожньому (автомобільні, залізничні полотна, тротуарні покриття); цивільному (спорудження фундаментів, облаштування стін, покрівель, дренажних систем); гідротехнічному (берегові укріплення, басейни, канали, резервуари); підземному (тунелі, паркінги); природозберігаючому (полігони відходів, під'їзні шляхи, парковки).

У ландшафтному будівництві геотекстиль використовується для армування насипів та схилів, у рекультиваційних і протиерозійних конструкціях, у спорудженні штучних земляних терас, для обмежування росту коренів рослин тощо. Геотекстиль нетканий має перспективу застосування у підсилені несучої здатності ґрунту в складних ландшафтних умовах в якості укріплювального шару, в тому числі при облаштуванні настилу терас на ґрунті, під час опорядження доріжок, бордюрів, будівництва водойм, дренажних і фільтрувальних конструкцій, гідротехнічних споруд узагалі. В об'єктах ландшафтної архітектури геотекстиль використовується у меншій мірі, що пояснюється недостатньою інформацією про його властивості для правильного вибору за цільовим призначенням і відсутністю стандартів на нормативи показників та певних результатів наукових і практичних досліджень.

Разом з успішним використанням і різноманітністю асортименту геотекстильних нетканих матеріалів (ГНМ) виникає проблема поглибленого дослідження процесів та можливостей реалізації функцій цими матеріалами у ландшафтному будівництві. На нашу думку, дослідження доцільно спрямовувати на встановлення залежностей між функційною здатністю, яка зумовлюється конкретними властивостями матеріалу, та рівнем і набором окремих показників з метою управління як асортиментом, так і якістю ГНМ. Тобто важливо не лише визначити функційну здатність ГНМ, а й виявити вплив хімічного складу сировини (вид волокна), структури матеріалу, способу його виготовлення, додаткової обробки на можливості ефективного використання в геотехнічних системах узагалі і, зокрема, в системі «матеріал – властивість – функція». Ця система характеризується поліфункційністю ГНМ, тобто одночасним спрацюванням окремих властивостей під час забезпечення виконання декількох функцій. Наприклад, під час облаштування

берегових схилів ГНМ, по-перше, утворює армувальний шар, який перешкоджає їх руйнуванню; по-друге, завдяки специфічній структурі виключає проникнення часток ґрунту в наявні отвори і забезпечує фільтрувальну здатність під тиском ґрунту, достатню водопроникність берегового укріплення. При цьому виконує притаманну матеріалу функцію розділення шарів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Широке використання для виробництва ГНМ синтетичних волокон (поліефірних, поліолефінових, поліамідних) вимагає чіткої регламентації показників їх основних властивостей: функційних, технологічних та довговічності. Крім цього, обрані показники цих властивостей повинні бути тісно пов'язані з волокнистим та компонентним складом самих матеріалів. Більше того, висновок про рівень функційної здатності того чи іншого ГНМ не може обмежуватися тільки механічними та структурними показниками, як це буває на практиці. Необхідно враховувати, що ГНМ є поліфункційними, а диференційованість окремих функцій проявляється з урахуванням конкретного цільового використання, кліматичного, ландшафтного (природного, антропогенного) середовища.

На нашу думку, виробникам ГНМ для ландшафтної сфери, розробникам нормативів доцільно враховувати встановлені типи геотехнічних систем у межах окремих територій місцевостей. Вони трактуються [6], як функціонально пов'язані підсистеми господарства та природи, відповідно до яких виникають типи антропогенних ландшафтів, які за змістом поділяються на такі ландшафтні геосистеми: промислові, сільськогосподарські, лісогосподарські, водогосподарські, селитебні, транспортні, рекреаційні, обслуговуючі [7].

Використання ГНМ у сільськогосподарському типі ландшафтної геосистеми вимагає високого рівня показників механічних, гідравлічних властивостей для реалізації таких функцій, як роздільна, армувальна та фільтрувальна, під час контролю за ерозією ґрунтів, у меліоративному будівництві. В інших ландшафтних геосистемах ці матеріали повинні забезпечувати високу якість облаштування під'їзних доріг, парковок, доріжок, зон для відпочинку, майданчиків (спортивних, дитячих, перед торговими комплексами, школами тощо). Отже, кожний тип ландшафтної системи вимагає оптимального вибору геоматеріалів за їх показниками властивостей.

Досягнення необхідного і стабільного рівня виконання функцій цими матеріалами під час їх експлуатації вимагає регламентації вимог до окремих параметрів, перш за все, будови (товщини, поверхневої густини, об'ємної густини, пористості, фактури поверхні), а також різних способів формування волокнистого полотна.

Дослідження науковців, практиків [8, 9] переконують, що структура та волокнистий склад ГНМ суттєво впливають на їх функційні властивості (механічні, гідравлічні) та довговічність. Встановлено [10], що структура голкопробивних ГНМ сформована із неорієнтовано розташованих волокон вздовж полотна. При цьому виявлено, що волокниста маса різних полотен відрізняється наявністю отворів (місць незаповнених волокном), їх локалізація хаотична. Разом з тим, пористість трактується не як сукупність окремих пустот, замкнутих або з'єднаних між собою, а як макрооб'єм середовища (повітря), в якому знаходиться більша або менша кількість волокон, що розташовані регулярно або хаотично. Саме це обґрунтовує відсутність капілярів і вкладає інший зміст у фізичний процес поглинання рідини цими матеріалами.

Показники механічних властивостей ГНМ (достатня міцність полотна, швів, високий модуль пружності, великий рівень відносного подовження за найбільшого навантажування, високий опір до роздирання і проколювання) забезпечують виконання основних функцій розділення, армування (укріплення), дренажування і зумовлені як молекулярною структурою самих волокон, так і матеріалу. Високий рівень показників механічних властивостей підсилюється термічним скріпленням волокон шляхом каландрування, під час якого відбувається помітна спайка окремих волокон, а структура стає ізотропною [11].

Довговічність ГНМ забезпечується стійкістю до різних впливів: УФ-опромінювання, кислот і лугів, температури, вологи, біологічних і мікробіологічних. Рівень механічних і гідравлічних показників властивостей після довготривалої дії різних впливів засвідчує їх високу надійність у використанні.

Аналітичний аналіз поліфункційності ГНМ і показників, які забезпечують цю здатність, спонукає до формування оптимального набору різноманітних показників, наявних у нормативних документах [12] та в рекомендованих науковцями і практиками з метою управління якістю та асортиментом матеріалів.

Постановка завдання

Мета цього наукового дослідження – обґрунтований вибір номенклатури показників якості для побудови комплексного показника якості, за яким передбачається оцінювання рівня якості ГНМ та можливого виконання ними базових функцій у ландшафтному будівництві, а саме: розділення, армування (укріплення), фільтрування, дренажування, захист.

Виклад основного матеріалу

Проведений аналіз структури асортименту ГНМ, їх основних споживних властивостей [13], дозволяє зробити однозначний висновок про виникнення потреби дослідження існуючих номенклатур, переліків властивостей для цих матеріалів з метою формування конкретного набору властивостей та показників для матеріалів ландшафтного призначення.

На даний час у нормативних документах подана певна номенклатура, яка включає різну кількість показників залежно від сфери застосування. Так, для геотекстилю, що використовується у дорожньому

будівництві, крім залізниць і асфальтових покриттів, за ДСТУ EN 13249-2005 [14] передбачено 11 характеристик, які включають як показники, так і властивості, наприклад, довговічність, що називаються «необхідними», «потрібними». У перелік включені характеристики, які застосовують за всіх умов використання, за специфічних умов, і ті, що потребують узгодження. ДСТУ EN 13253-2006 [15] передбачено 14 показників, СОУ 45.2-00018112-025:2007 [2] – 16. У наведених переліках характеристики пов'язуються з функціями, які можуть виконуватись матеріалами завдяки показникам, при чому кількість зазначених функцій різна, від 3 до 7. Стандартні переліки об'єднують від 10 до 26 характеристик, показників, серед яких є не лише показники якості, а і параметри продукції, які пов'язані із призначенням. Наявність у стандартах та інших нормативних документах великої кількості параметрів, показників заважає вибору їх оптимальної кількості для нормування та оцінювання якості матеріалів. Для правильного та обґрунтованого вибору показників, їх важливо розділяти на споріднені групи, підгрупи, рекомендовані як групи показників якості, які в ієрархічній структурі називають показниками різних рівнів.

Ієрархічна структура показників якості (дерево властивостей) ГНМ побудована з висотою у три рівні, правостороння, у табличній формі (табл. 1).

Таблиця 1

Ієрархічна структура показників якості ГНМ

Перший рівень	Другий рівень	Третій рівень
1. Структурні параметри	1.1. Сировинний склад 1.2. Лінійна густина волокна 1.3. Нерівномірність за масою 1.4. Поверхнева густина 1.5. Об'ємна густина	-
2. Функційні	2.1. Механічні	2.1.1. Гранична міцність 2.1.2. Грейферна міцність 2.1.3. Міцність на роздирання 2.1.4. Відносне подовження за найбільшого навантажування 2.1.5. Статичний прокол 2.1.6. Повзучість 2.1.7. Міцність швів 2.1.8. Коефіцієнт тертя ґрунт-геотекстиль 2.1.9. Жорсткість
	2.2. Гідравлічні	2.2.1. Повітропроникність 2.2.2. Товщина 2.2.3. Умовний розмір отворів 2.2.4. Водопроникність 2.2.5. Коефіцієнт фільтрації
3. Технологічні	3.1. Ширина полотна 3.2. Пошкодження при вкладанні 3.3. Довжина полотна 3.4. Міцність при вириванні з ґрунту	-
4. Довговічність	4.1. Тривкість до УФ 4.2. Тривкість до дії кислот, лугів 4.3. Тривкість до дії температури 4.4. Тривкість до мікробіологічних впливів 4.5. Тривкість до дії вологи 4.6. Тривкість до біологічних впливів	-

Дерево властивостей побудоване виходячи із відомих вимог, які повинні задовольнятись показниками ГНМ в умовах їх використання. Крім цього, використані відомі правила побудови ієрархічної структури. Показники на першому рівні об'єднані в чотири основні групи: структурні параметри, функційні, технологічні, довговічність. Група показників першого рівня (структурні параметри) включає чотири показники, які є вихідними параметрами цих матеріалів, впливають на інші групи показників і від їх кількісних і якісних характеристик залежить цільове використання. Друга група показників першого рівня включає функційні показники, які відображають можливість використання матеріалу в певній сфері, що супроводжується задоволенням потреб. Це означає, що важливою групою властивостей є пристосованість матеріалу до функціонування, тобто його використання.

Аналізуючи систему «матеріал – властивість – функція», показники функційної групи на другому рівні згруповані в дві підгрупи: механічні і гідравлічні, з врахуванням споживацької спрямованості, можливості виконання тієї чи іншої функції та методів їх визначення. Підгрупи включають показники, які відображають характер основних функцій, і показники, що опосередковано характеризують допоміжні функції. Наприклад, товщина може впливати на водопроникність і під час її зміни на коефіцієнт фільтрації, а за зміною показника повітропроникності можна оцінювати зміни в структурі і, зокрема, пористості.

При побудові ієрархічної структури показників ГНМ для ландшафтної сфери використання застосовано правило не тільки споживацької та функційної спрямованості, але і такі, як ясність у формулюючих ознаках розділення на різних рівнях структури, достатність кількості показників. Наприклад, у підгрупі гідравлічних представлені показники, за якими в повній мірі можна буде судити про виконання фільтруючої здатності ГНМ.

Група показників технологічності включає чотири показники, які характеризують утруднення або неутруднення під час закладання або виймання ГНМ із ґрунту. Формуючи цю групу показників, використано правило мінімуму показників у групі, тобто широта не більше 10 показників.

Більшість показників, включених у групу довговічність, є незалежними між собою або малозалежними. Це одна із потрібних умов для правильного застосування комплексного показника якості. В цілому довговічність, як експлуатаційна характеристика ГНМ і складова надійності, нами вибрана всупереч розповсюдженому правилу виключення властивостей надійності, як уже врахованих виробником продукції в рамках її ефективності. Саме довговічність, яка обчислюється десятками років, є відмінною перевагою для цих матеріалів.

Також важливим у побудові ієрархічної структури показників є правило випадкового характеру розташування показників у групах, підгрупах, що нівелює можливі помилки оцінювачів, експертів. Відомо, що під час експертного визначення коефіцієнтів вагомості можливе викривлення експертних оцінок, яке пов’язане з тим, що показники розташовані на початку групи, підгрупи підсвідомо будуть рахуватися деякими експертами більш важливими. Тому експертам повідомляють про випадковий порядок розташування властивостей у групі. Крім вище названих правил побудови ієрархічної структури, використане і таке – кожний показник у дереві враховується лише один раз.

Група естетичних показників у ієрархічній структурі відсутня, у зв’язку з малою важливістю для цієї групи матеріалів, так як вони експлуатуються в ґрунті. Показники безпечності також не включені в ієрархічну структуру, оскільки ГНМ не є токсичними речовинами та за ступенем впливу на організм людини відносяться до малонебезпечних речовин (IV клас).

В цілому побудована ієрархічна структура показників ГНМ включає 29 показників. Це ускладнює порівняльний аналіз рівня якості як невеликих груп матеріалів (до 15 одиниць), так і робить його практично неможливим для групового асортименту ГНМ одного призначення, коли об’єкт оцінювання включає декілька десятків і навіть сотень одиниць. Таким чином, виникає необхідність у сумарній оцінці, коли в одному показнику об’єднується комплекс основних показників матеріалу, який визначає його придатність до використання за призначенням.

Тому ієрархічна структура показників ГНМ для ландшафтної сфери використання, що сформована методами кваліметрії, зокрема, методом експертних оцінок, переведена в комплекс основних показників якості з врахуванням їх вагомості в загальній оцінці матеріалу. Багаторічний досвід використання експертних методів у матеріалознавстві, товарознавстві показує їх достатню надійність, у зв’язку з чим у багатьох країнах заключення експерта має юридичне значення. Під час розробки комплексного показника якості передбачається, що при виготовленні ГНМ різного цільового призначення гарантується такий набір їх властивостей, а отже, і рівень якості, який забезпечує виконання ними різноманітних функцій, і разом з цим, задовольняє найвищі потреби споживачів.

Експертна оцінка включає такі етапи: формування групи спеціалістів-експертів; підготовка опитування експертів; опитування експертів; опрацювання експертних оцінок. Критеріями, за якими підбираються спеціалісти в якості експертів є: достатня професійна компетентність та інформативність щодо властивостей ГНМ та їх використання у ландшафтному будівництві; зацікавленість у результатах експертизи, об’єктивність, діловитість та комунікабельність. До опитування, шляхом анкетування, були залучені провідні спеціалісти з ландшафтної архітектури та садово-паркового мистецтва, виробничої сфери та викладачі вишів.

Так, як відповіді експертів можуть мати випадкові помилки, у зв’язку з поліфункційністю досліджуваного об’єкта, в пояснювальній частині анкети наведено рисунок з відображенням чинників впливу як в ґрунті, так і в навколишньому середовищі, в системному зв’язку «матеріал – властивість – функція» (рис. 1).

Експерту пропонувалось оцінити значущість обмеженого числа показників властивостей першого, другого та третього рівнів у частках (від 0,01 до 0,99) залежно від їх важливості та участі в реалізації конкретної функції під час експлуатації матеріалу.

Обробка експертних оцінок полягала у визначенні ступеню узгодженості думок експертів і підрахунку зведених характеристик опитування групи експертів. Середня відносна гарантована помилка коефіцієнтів вагомості досліджуваних ГНМ при ймовірності 0,95 знаходилась у межах 6-10%, а коефіцієнти варіації змінювались в інтервалі 0,15-0,80.

Після попереднього відбору показників була встановлена їх вагомість, а в комплекс включали лише найбільш значущі показники в мінімально можливій кількості. Отриманий ранжувальний ряд основних і найбільш значущих показників якості ГНМ для ландшафтного будівництва наведений у таблиці 2.

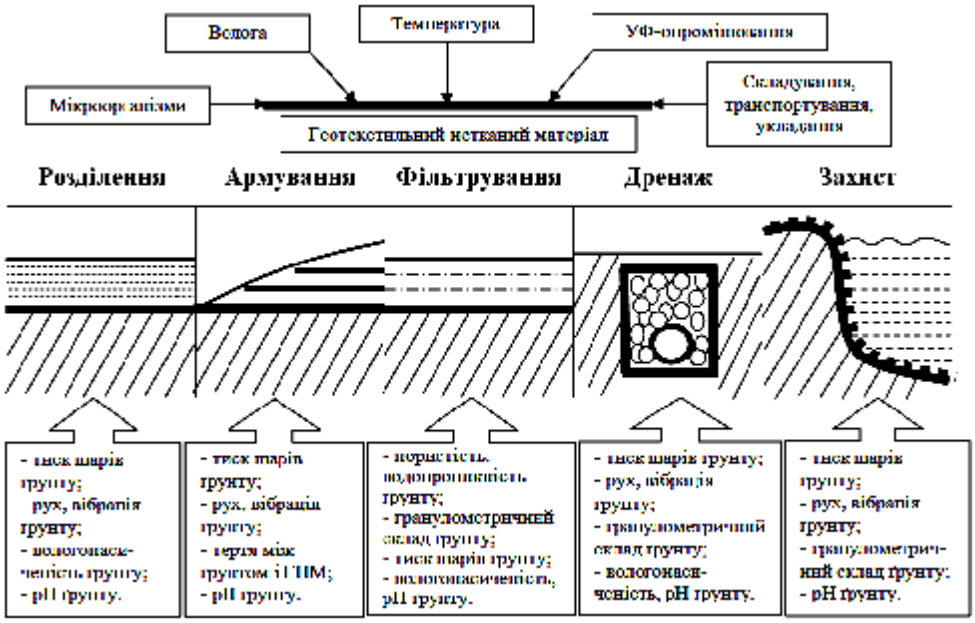


Рис. 1. Чинники, що впливають на ГНМ до вкладання в ґрунт та в ґрунті

Таблиця 2

Номенклатура найбільш значущих показників споживних властивостей ГНМ для ландшафтного будівництва

Показник, його умовне позначення, одиниця виміру	Коефіцієнт вагомості
Гранична міцність, Гм, кН/м	0,22
Водопроникність, В, $дм^3/дм^2 \cdot с$	0,19
Відносне подовження за найбільшого навантажування, Вп, %	0,15
Поверхнева густина, Пг, $г/м^2$	0,14
Грейферна міцність, Грм, Н	0,11
Товщина, Т, мм	0,10
Тривкість до мікробіологічних впливів, Тмв, КУО в 1 г (залишкова міцність, %)	0,09
Разом	1,00

Як видно із даних табл. 2, перелік показників якості включає показники різних груп властивостей, що дозволяє оцінювати матеріали одним комплексним показником, аналізувати їх рівень якості, розділяти за градаціями якості та відповідно оптимізувати асортимент великих груп матеріалів.

Висновки

Доведена необхідність дослідження наявної номенклатури показників властивостей ГНМ з метою побудови ієрархічної структури показників якості. Ієрархічна структура сформована із застосуванням аналітичних та кваліметричних методів. Номенклатура основних показників якості ГНМ для ландшафтної сфери використання вибрана за допомогою експертних оцінок.

Встановлена номенклатура показників підтверджує вимоги спеціалістів та споживачів до ГНМ ландшафтного призначення і дозволяє всебічно оцінювати якість цих матеріалів, оптимізувати їх асортимент з урахуванням поліфункційності.

Література

1. Геотекстиль. Словник термінів (ISO 10318 : 1990, IDT) : ДСТУ ISO 10318-2002. – [Чинний від 2004-01-07]. – К. : Держспоживстандарт України, 2004. – 8 с. – (Національний стандарт України).

2. Дорожньо-будівельні матеріали. Матеріали геосинтетичні. Методи випробувань : СОУ 45.2-00018112-025 : 2007. – Офіц. вид. – К. : Державна служба автомобільних доріг України (Укравтодор), 2007. – 115 с. – (Нормативний документ Укравтодор. Стандарт).

3. Мануйленко В. Г. Геосинтетические материалы: классыфикация, свойства, область приминения / В. Г. Мануйленко, Е. Ф. Орел, Е. Ю. Кабернюк, О. В. Слотюк // Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту. – 2011. – № 126. – С. 234–238.

4. Бугай Н. Г. Гибкие крепления откосов земляных гидротехнических сооружений с использованием геотекстиля / Н. Г. Бугай, А. И. Кривоног, В. В. Кривоног, В. Л. Фридрихсон // Прикладна гідромеханіка. – 2006. – 8, № 1. – С. 3–21.

5. Боднар І. Д. СОУ «Матеріали геосинтетичні. Методи випробувань» / І. Д. Боднар, І. П. Гамеляк, Г. В. Журба // Дороги і мости». – К. : ДерждорНДІ, 2008. – Вип. 10. – С. 39–42.

6. Геоэкологические основы территориального проектирования и планирования / под ред В. С.

Преображенского, Т. Д. Александровой. – М. : Наука, 1989. – 144 с.

7. Вивчення ландшафтної структури району балки Кобильної, з метою розробки проекту по її заповіданню : звіт по НДР / Казаков В. Л., Шипунова В. О., Калініченко О. О., Ярков С. В., Завальнюк О. Й. – Кривий Ріг : КДПУ, 2000. – 171 с.

8. Трещалин М. Ю. Исследование процесса капиллярного подъема жидкости в нетканых матеріалах / М. Ю. Трещалин, В. С. Мандрон, Г. К. Мухамеджанов // Известия ВУЗов. Технология текстильной промышленности. – 2009. – № 4. – С. 24–26.

9. Трещалин М. Ю. Оценка высоты подъема жидкости в нетканых полотнах «Холлофайбер» / Ю. М. Трещалин // Легпромбизнес. Рабочая одежда. – 2014. – № 4. – С. 11–13.

10. Кириченко О. В. Дослідження структури нетканих геотекстильних матеріалів / О. В. Кириченко // Формування і оцінювання асортименту, властивостей та якості непродовольчих товарів : матеріали 1-ї міжнародної наук.-практ. конф. (Львів, 22 листопада 2013 року) : в ІІІ ч. Ч. ІІ / відп. ред. П.О. Куцик – Львів : Львів. комерц. академ., 2013. − С. 71–73.

11. Бугай Н. Г. Прочность геотекстиля при продавливании галькой и щебенем / Н. Г. Бугай, А. И. Кривоног, В. В. Кривоног, В. Л. Фридрихсон // Прикладна гідромеханіка. – 2009. – Т. 11, № 4. – С. 9–16.

12. EN 13255:2014 Geotextiles and geotextile-related products – Characteristics required for use in the construction of canals [Електронний ресурс]. – Режим доступу : URL: http://standards.cen.eu. – Назва з екрану.

13. Hsu-Yeh Huang, Xiao Gao. Geotextiles [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.engr.utk.edu. – Назва з екрану.

14. Геотекстиль та віднесені до геотекстилю вироби. Необхідні характеристики для застосування в дорожньому будівництві (за винятком залізничних колій та асфальтових покриттів) (EN 13249:2000, IDT) : ДСТУ EN 13249:2005. – [Чинний від 2006-01-07]. – К. : Держспоживстандарт України, 2006. – 24 с. – (Національний стандарт України).

15. Геотекстиль та віднесені до геотекстилю вироби. Необхідні характеристики для використання в роботах з контролювання ерозії (захист узбережжя, берегові покриви) (EN 13253:2000, IDT) : ДСТУ EN 13253:2006. – [Чинний від 2008-01-01]. – К. : Держспоживстандарт України, 2009. – 24 с. – (Національний стандарт України).

References

1. Heotekstyl. Slovnyk terminiv (ISO 10318 : 1990, IDT) : DSTU ISO 10318-2002, Kyiv, Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2004, 8 p.

2. Dorozhno-budivelni materialy. Materialy heosyntetychni. Metody vyprobuvan : SOU 45.2-00018112-025 : 2007, Kyiv, Derzhavna sluzhba avtomobilnykh dorih Ukrainy (Ukravtodor), 2007, 115 p.

3. Manuilenko V. H., Orel E. F., Kaberniuk E. Yu., Slotiuk O. V. Heosyntetycheskye materyaly: klassyfykatsyia, svoistva, oblast prymynenyia. *Zbirnyk naukovykh prats Ukrainskoi derzhavnoi akademii zaliznychnoho transportu*, 2011, No. 126, pp. 234-238.

4. Buhai N. H., Kryvonoh A. Y., Kryvonoh V. V., Frydrykhson V. L. Hybkye kreplenyia otkosov zemlianykh hydrotekhnycheskykh sooruzhenyi s yspolzovanyem heotekstylia. *Prykladna hidromekhanika*, 2006. Vol. 8, No. 4, pp. 3-21.

5. Bodnar I. D., Hameliak I. P., Zhurba H. V. SOU «Materialy heosyntetychni. Metody vyprobuvan». *Dorohy i mosty*, 2008, Vol. 10, pp. 39-42.

6. Heoekolohycheskye osnovy terrytoryalnoho proektyrovanyia y planyrovanyia. Ed. By V. S. Preobrazhenskoho, T. D. Aleksandrovoi. Moscow, Nauka, 1989, 144 p.

7. Kazakov V. L., Shypunova V. O., Kalinichenko O. O., Yarkov S. V., Zavalniuk O. Y. Vyvchennia landshaftnoi struktury raionu balky Kobylnoi, z metoiu rozrobky proektu po yii zapovidanniu. Zvit po NDR. Kryvyi Rih, KDPU, 2000, 171 p.

8. Treshchalyn M. Yu, Mandron V. S., Mukhamedzhanov H. K. Yssledovanye protsessa kapylliarnoho podema zhydkosty v netkanykh materialakh. *Yzvestyia VUZov. Tekhnolohyia tekstylnoi promyshlennosty*, 2009, Vol. 4S, pp. 24-26.

9. Treshchalyn M. Yu. Otsenka vysoty podema zhydkosty v netkanykh polotnakh «Khollofaiber». *Lehprombyznes. Rabochaia odezhda*, 2014, Vol. 4, pp. 11-13.

10. Kyrychenko O. V. Doslidzhennia struktury netkanykh heotekstylnykh materialiv. *Formuvannia i otsiniuvannia asortymentu, vlastyvostei ta yakosti neprodovolchykh tovariv : v III chast. materialy 1 mizhnarodnoi nauk.-prakt. konf.* Lviv, Lviv komerts. akadem., 2013, Ch.II, pp. 71-73.

11. Buhai N. H., Kryvonoh A. Y., Kryvonoh V. V., Frydrykhson V. L. Prochnost heotekstylia pry prodavlyvanyy halkoi y shchebenem, *Prykladna hidromekhanika*, 2009, Vol. 11, No. 4, pp. 9-16.

12. EN 13255:2014 Geotextiles and geotextile-related products – Characteristics required for use in the construction of canals, URL: http://standards.cen.eu.

13. Hsu-Yeh Huang, Xiao Gao. Geotextiles, URL: http://www.engr.utk.edu.

14. Gheotekstylj ta vidneseni do gheotekstylju vyroby. Neobkhidni kharakterystyky dlja zastosuvannja v dorozhnjomu budivnyctvi (za vynjatkom zaliznychnykh kolij ta asfaljtovykh pokryttiv) (EN 13249:2000, IDT) : DSTU EN 13249:2005, Kyiv, Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2006, 24 p.

15. Gheotekstylj ta vidneseni do gheotekstylju vyroby. Neobkhidni kharakterystyky dlja vykorystannja v robotakh z kontroljuvannja eroziji (zakhyst uzberezhzhja, bereghovi pokryvy) (EN 13253:2000, IDT) : DSTU EN 13253:2006, Kyiv, Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2009, 24 p.

Рецензія/Peer review : 8.6.2015 р. Надрукована/Printed : 29.8.2015 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Кожушко Г. М.

УДК 677.047.622.112.2

М.О. КУЩЕВСЬКИЙ, Ю.В. КОШЕВКО
Хмельницький національний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ФАКТОРІВ ГІДРОВІДЦЕНТРОВОГО СПОСОБУ ФОРМУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ ГОЛОВНИХ УБОРІВ

В роботі надано матеріал з попереднього дослідження гідровідцентрового способу формування складних просторових форм головок головних уборів, вибрано головні фактори процесу та встановлено їх вплив на якість формування. Формування виконувалось на тканинах різного асортименту та з різними структурними характеристиками-властивостями.

Ключові слова: формування, відцентрові зусилля, головки головних уборів, фактори процесу формування, динамічні методи формування.

N.O KUSHEVSKIY, Y.V. KOSHEVKO
Khmelnytsky national university

EXPLORATORY RESEARCH HYDROCENTRIFUGAL METHOD OF FORMING OF HEADS OF HEAD-DRESSES

The work contains material on previous studies hydrocentrifugal way in complex space forms head headgear, selected major factors of the process and set their impact on the quality of formation. The formation was performed on tissues and various range of different structural characteristics of properties.

Keywords: forming, centrifugal efforts, heads of head-dresses, factors of process forming, dynamic methods of forming.

Вступ

Якість операцій формування в першу чергу залежить від властивостей матеріалу, з яких виготовляється швейний виріб. Для виготовлення головних уборів використовують різні текстильні матеріали, які відрізняються за структурою, волокнистим складом, фізико-механічними та експлуатаційними властивостями, а саме пальтові, костюмні тканини, трикотажні полотна, штучна та натуральна шкіра, замша та хутро, велюр, фетр, дубльовані матеріали, бавовняні, лляні, шовкові тканини [1]. В роботі [2] було розроблено обладнання для гідровідцентрового способу формування деталей головних уборів. З метою дослідження даного процесу необхідно провести попередні дослідження для встановлення факторів та їх раціональних значень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Одними з основних властивостей, які впливають на процес формування є формувальна здатність текстильного матеріалу, драпірувальність та жорсткість які необхідно враховувати при виборі матеріалів для виготовлення формованих головних уборів. В значній мірі на формувальну здатність впливає будова та структура матеріалу.

До характеристик структури та будови текстильних матеріалів від яких залежить формувальна здатність відносяться [3]:

- волокнистий склад;
- товщина;
- густина матеріалу за основою та утоком (кількість основних ниток або ниток утоку, розташованих на 100 мм довжини або ширини);
- лінійна густина;
- поверхнева густина;
- лінійне заповнення (характеризує густину тканини у відсотках від максимально можливої з урахуванням товщини ниток і показує, яка частина площі тканини заповнена паралельно розташованими нитками основи та утоку);
- поверхневе заповнення (вказує, яка частина тканини заповнена нитками двох систем з урахуванням накладання ниток одна на одну при переплетенні);
- об'ємне заповнення (показує, яку частину об'єму тканини складає об'єм ниток основи та утоку);
- об'ємна маса (показує вагу одиниці об'єму тканини); заповнення за масою; загальна пористість (характеризується об'ємом тканини, яка не заповнена волокном);
- переплетення.

Структурні характеристики в комплексі визначають будову тканини і впливають на її фізико-механічні властивості: міцність, видовження, жорсткість, драпірувальність, незминальність, гігроскопічність, зміну лінійних розмірів при ВТО, здатність до формування тощо [4].

Формування текстильних матеріалів можливо завдяки тому, що у них значний об'єм займає повітря (поверхнева густина більшості тканин не перебільшує 500 г/м^2, пористість близько 50-80%), а також наявність рухливих та стійких зв'язків в структурі самого текстильного матеріалу. При зменшенні щільності текстильного матеріалу, але при однаковій товщині ниток та переплетенні, зі зменшенням кількості ниток на 10 см тканина стає більш рухлива [4].

Для формування текстильних матеріалів з використанням у якості робочого середовища РАРС у

роботах [4–6] пропонується використовувати тканини середньої щільності полотняних, атласних, сатинових або саржевих переплетень з довгими перекриттями, із апаратної пряжі зі вмістом натуральних (бажано вовняних) та хімічних волокон.

Формулювання мети статті

З метою покращення якості виконання технологічної операції формування головки головних уборів з тканин необхідно провести пошукові дослідження розробленого гідровідцентрового способу формування, з метою встановлення факторів процесу та меж їх варіювання. Метою проведення експерименту є перевірка теоретичних положень (підтвердження робочої гіпотези), а також їх більш широке та глибоке вивчення.

Виклад основного матеріалу досліджень

Для попереднього дослідження гідровідцентрового способу формування у РАРС були відібрані по три тканини костюмного та пальтового асортименту, що представлені на сучасному ринку та користуються попитом у споживачів. Дані тканини використовують для виготовлення головних уборів, які можуть поєднуватись з іншими швейними виробами (костюми, пальто), і цим самим створювати завершений ансамбль.

Вибрані текстильні матеріали відрізняються між собою переплетенням, волокнистим складом, лінійною та поверхневою густиною, товщиною тощо, що дасть можливість дослідити запропонований спосіб формування для різних тканин, а також обрати для них оптимальні параметри процесу формування.

Для попереднього дослідження гідровідцентрового способу формування текстильних матеріалів у РАРС на експериментальній установці, яка розроблена на кафедрі технології та конструювання швейних виробів в Хмельницькому національному університеті вхідними керованими факторами обрано частота обертання барабану n (x_1), об'єм РАРС V (x_2) та час формування t (x_3). Вихідною функцією та критерієм оптимізації даного процесу формування обрано коефіцієнт формостійкості K.

Визначення впливу кожного з факторів окремо на процес гідровідцентрового формування та їх кількісних показників проведено у рамках реалізації однофакторних експериментів.

Дослідження процесу шляхом однофакторного експерименту полягає у почерговому варіюванні одного із факторів при одночасній стабілізації решти на нульовому рівні варіювання.

Рівні та інтервали варіювання параметрів, які впливають на відцентровий спосіб формування у РАРС обрані на основі аналізу попередніх робіт [4–8], а також виходячи з фізичних можливостей даної експериментальної установки наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Рівні та інтервали варіювання факторів, що впливають на процес відцентрового формування

Рівні варіювання	Параметри процесу формування		
	частота обертання n, с$^{-1}$ x_1	об'єм РАРС V, л x_2	час формування t, с x_3
+2	14	20	180
+1	12	18	150
0	10	16	120
–1	8	14	90
–2	6	12	60
Інтервал варіювання	2	2	30

При експериментальному дослідженні пальтової тканини арт. 3506 у результаті аналізу впливу кожного із факторів окремо на процес гідровідцентрового формування деталей з текстильних матеріалів отримані регресійні рівняння залежностей між вибраними вхідними параметрами та коефіцієнтом формостійкості K, які адекватно характеризують досліджуваний процес, що підтверджується достовірністю апроксимації.

Регресійні залежності $K=f(x_i)$ між частотою обертання, об'ємом РАРС, часом формування та коефіцієнтом формостійкості описуються поліномами третього ступеню та представлені в таблиці 2.

Таблиця 2

Регресійні залежності K=f(n), K=f(V) та K=f(t) при дослідженні пальтової тканини арт. 3506

Фактори процесу	Рівняння регресії	Достовірність апроксимації
Частота обертання, с$^{-1}$	$K=0{,}89\cdot10^{-3}n^3-0{,}02774n^2+0{,}26508n-0{,}6974$	$R^2 = 0{,}99$
Об'єм РАРС, л	$K=0{,}13\cdot10^{-3}V^3-0{,}00618V^2+0{,}08509V-0{,}25989$	$R^2 = 0{,}98$
Час формування, с	$K= -0{,}004\cdot10^{-6}t^3+0{,}003\cdot10^{-3}t^2-0{,}29\cdot10^{3}t+0{,}0726$	$R^2 = 0{,}98$

Графічні залежності коефіцієнта формостійкості від основних параметрів процесу при дослідженні гідровідцентрового способу формування деталей головних уборів з пальтової тканини арт. 3506 представлені на рисунках 1 – 3.

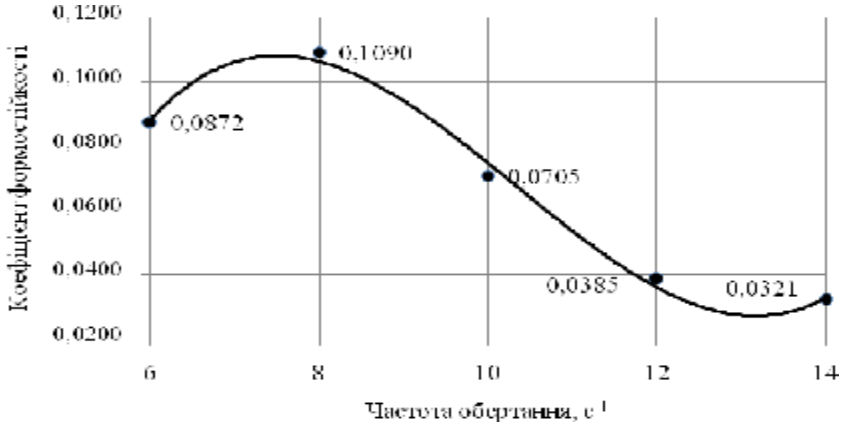


Рис. 1. Залежність коефіцієнта формостійкості від частоти обертання барабана, при дослідженні пальтової тканини 3506

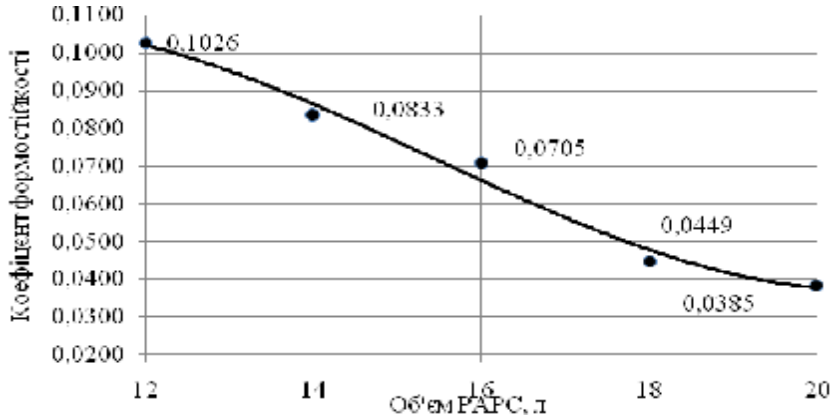


Рис. 2. Залежність коефіцієнта формостійкості від об'єму РАРС, при дослідженні пальтової тканини 3506

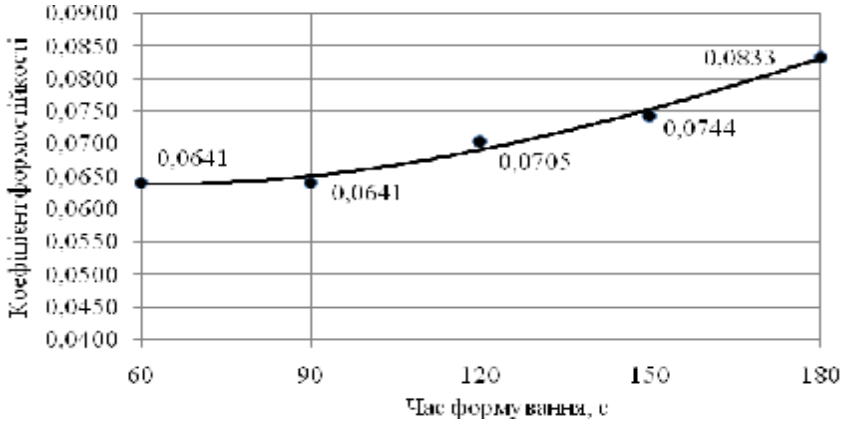


Рис. 3. Залежність коефіцієнта формостійкості від часу формування, при дослідженні пальтової тканини 3506

Аналіз впливу кожного з факторів на процес формування текстильних матеріалів, які досліджувались показав, що криві залежностей коефіцієнта формостійкості від основних факторів мають однаковий характер.

Розглядаючи вплив величини частоти обертання на формування деталей з текстильних матеріалів відцентровим способом (рис. 1) спостерігається зменшення коефіцієнту формостійкості при зростанні даного фактора, тобто форма деталі покращується. Збільшення значень частоти обертання призводить до зростання формувальних зусиль, що діють на зовнішні та внутрішні зв'язки текстильного матеріалу що й покращує деформаційні властивості досліджуваних тканин, та підтверджує теоретичні припущення.

Графічна інтерпретація (рис. 2) вказує на те, що зростання об'єму РАРС супроводжується зменшенням коефіцієнта формостійкості. Так, зі збільшенням даного фактору інтенсивніше відбувається процес формування, за рахунок збільшення вологовмісту текстильного матеріалу, який покращує його деформаційні властивості.

Як випливає з графіка (рис. 3) при дослідженні впливу часу формування можна зробити висновок, що зі збільшенням даного фактору відбувається збільшення коефіцієнту формостійкості та погіршення якості операції формування.

Отримані результати експериментальних досліджень дозволяють зробити висновок, що фактори

процесу формування відцентровим способом, а саме частота обертання, об'єм РАРС та значною мірою впливають на якість формованої деталі.

Як видно з графіків (1–3) та рівнянь регресії (табл. 2) залежності між вхідними факторами та коефіцієнтом формостійкості є нелінійними та не чітко вказують вагомість впливу параметрів на даний досліджуваний процес, тому у подальшому необхідне проведення багатофакторного експерименту.

Проаналізувавши однофакторні залежності можливо звузити діапазони досліджуваних факторів для багатофакторного експерименту. Звуження діапазонів обумовлено недоцільністю використання процесу поза визначеними межами, оскільки нижчі показники обраних параметрів не забезпечують відповідної якості, а вищі показники не раціонально використовувати через збільшення енерговитрат при незначному зростанні якості.

Висновок.

У результаті попереднього дослідження у рамках однофакторного експерименту визначено з комплексом керованих вхідних параметрів, рівнів їх варіювання, а також критерієм оптимізації – коефіцієнт формостійкості для дослідження відцентрового способу формування об'ємної форми деталей головних уборів в РАРС. За результатами експериментів визначено вплив вхідних параметрів на якість формування: зі зростанням величини частоти обертання та об'єму РАРС спостерігається зменшення коефіцієнту формостійкості, з збільшенням часу формування якість погіршується.

Література

1. Моделирование, конструирование и технология обработки головных уборов / Рытвинская Л.Б., Плужникова Л.И., Меркулова Л.А., Орлова-Смородина И.Г. – М. : Легпромбытиздат, 1985. – 320 с.

2. Кущевський М.О. Розробка устаткування для реалізації гідровідцентрового способу формування головок головних уборів з тканин / М.О. Кущевський, Ю.В. Кошевко // Вісник Хмельницького національного університету. – 2015. – № 2. – С. 91–97.

3. Бузов Б.А. Материаловедение швейного производства : ечебник для высш. учеб. заведений легкой пром-сти / Б.А. Бузов, Т.А. Модестова, Н.Д. Алыменкова. – М. : Легпромбытиздат, 1986. – 424 с.

4. Якимчук О.В. Розробка технології формування деталей головних уборів гідроструминним способом : дис. … канд. техн. наук : 05.19.04 / Якимчук О.В. – Хмельницький, 2010. – 168 с.

5. Буханцова Л.В. Удосконалення процесу формування жіночих головних уборів : дис. ... канд. техн. наук : 05.19.04 / Буханцова Л.В. – Х., 2007. – 228 с.

6. Кошевко Ю.В. Удосконалення процесу формування та закріплення форми деталей жіночих головних уборів із тканих матеріалів : дис. … канд. техн. наук : 05.19.04 / Кошевко Ю.В. – Хмельницький, 2010. – 170 с.

7. Мирзоев Т.Г. Создание малооперационной технологии формования деталей одежды с интенсивным гигротермическим воздействием на материал : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня к. т. н. : 05.19.04 / Мирзоев Т.Г. – К.,1993. – 24 с.

8. Шамхалов О.М. Исследования процесса формования деталей одежды при использовании центробежного эффекта : дис. … канд. техн. наук : 05.19.04 / Шамхалов Октай М. – К., 1977. – 117 с.

Referenses

1. L.B. Ryitvinskaya, I.G. Smorodina, L.A. Merkulova i dr. Proektirovanie i proizvodstvo golovnyih uborov. M.: Lehprombytyzdat, 1985. 320 s.

2. M.O. Kushchevs'kyy, Y.V. Koshevko, Rozrobka ystatkyvanya dla realizacii gidrovidcentrovogo cposoby formyvanya golovok golovnux yboriv z tkanun. Herald of Khmelnytsky National University. 2015. № 2. P. 91-97.

3. Byzov B.A. Materealovedinee shveynogo proizvodstva: Ychebnik dla vushux ychebnux zavideniy legkoy promushlenosti. M., Legprombutizdat. 1986. 424 s.

4. O. B. Uakumchyk, Rozrobka texnologii formybanna detalei zhinochih golovnih uboriv iz tkanih dis. кand. tehn.. nauk: 05.19.04. Khmel'nytsky, 2010. 170 s.

5. L.V. Buhancova, Udoskonalennja procesu formuvannja zhinochih golovnih uboriv: dis. … kand. tehn. nauk: 05.19.04. Khmel'nytsky, 2007. 221 s.

6. Yu.V. Koshevko, Udoskonalennja procesu formuvannja ta zakriplennja formi detalei zhinochih golovnih uboriv iz tkanih materialiv: dis. кand. tehn. nauk: 05.19.04. Khmel'nytsky, 2010. 170 s.

7. Murzoev T.G. Sozdanie of malooperacionnoy tekhnologii of formovaniya details of odezhdy s intensivnym gigrotermicheskim vozdeystviyam on material. Avtoref. Dis. k. t. n: 05.19.04. K.,1993. 24 s.

8. O. M. Shamxalov, Isledovanie procesa formovaniya detaley odejdi pri ispolzovanii sentrobejnogo efekta: 05.19.04. Kiiv, 1977. 117 s.

Рецензія/Peer review : 22.7.2015 р. Надрукована/Printed : 29.8.2015 р.
Рецензент: д. т. н., проф. Параска Г.Б.

УДК 677.016.474

Д.Г. САРИБЕКОВА, А.Н. КУНИК, Л.А. ДРОЗД, Г.С. САРИБЕКОВ
Херсонский национальный технический университет

КАТИОННЫЕ ПОЛИМЕРЫ – ИННОВАЦИЯ В КРАШЕНИИ ПРЯМЫМИ КРАСИТЕЛЯМИ

В статье исследована возможность применения в качестве препаратов-закрепителей окраски прямыми красителями катионных полимеров КП.1, КП.2, КП.3 и КП.4, не содержащих формальдегид. Установлено, что применение исследуемых катионных препаратов способствует упрочнению окраски к сухому и мокрому трению, стирке, действию пота на 1–3 балла.

Ключевые слова: прямые красители, устойчивость окраски, катионные полимеры

D.G. SARIBEKOVA, A.N. KUNIK, V.A. KOVALENKO, G.S. SARIBEKOV
Kherson National Technical University

CATIONIC POLYMER – INNOVATIONS IN DYEING OF DIRECT DYE

Abstract - The work purpose consisted in increase of stability of colouring of the textile materials dyed by direct dyes, by application as preparations-fixers cationic polymers.

In work dyeing of the bleached cotton fabric was spent by periodic way with light fastness dyes: Direct orange, Direct scarlet, Direct turquoise and Direct green. To improve the colour fastness of direct dyes used the cationic polymers CP.1, CP.2, CP.3 and CP.4 differing in chemical structure and charge density. A choice of a technological mode of processing of the dyed cotton fabric solutions of cationic polymers carried out by a variation of time of impregnation and fixing temperature. To establish the effectiveness of cationic preparations studied in work defined colour fastness to dry and wet friction (DSTU-9733.27-83), washing (№3, DSTU-9733.4-83) and to sweat action (GOST 9733.6-83).

The studies found that the use of cationic polymers CP.1, CP.2, CP.3 and CP.4 as colour fixers of direct dyes contributes to hardening of colour in an average of 1-3 points compared to the fixing of colouring preparations "Устойчивый-2" and "Fissatore RTG".

Keywords: direct dyes, colour fastness, cationic polymers

Постановка проблемы

В условиях рыночной экономики и высокой конкуренции на рынке сбыта к качеству выпускаемой продукции предъявляются особые требования. Окрашенные текстильные материалы должны обладать высокими колористическими свойствами и устойчивостью окраски к внешним воздействиям.

Под устойчивостью окраски подразумевается способность противостоять различным физико-химическим воздействиям в процессе эксплуатации изделий, а также стойкость к различным обработкам, которым подвергаются волокнистые материалы, кожа, мех в процессе отделки [1]. На прочность окраски влияют строение красителя, его устойчивость к физико-химическим воздействиям, концентрация и характер распределения в субстрате [2]. Например, при расположении красителя в поверхностном слое волокна получается менее устойчивая окраска, чем при равномерном распределении красителя в объеме волокна. Чем интенсивнее окраска, тем выше ее устойчивость к свету и тем ниже устойчивость к водным обработкам и стирке. Стойкость к атмосферным воздействиям в значительной степени зависит от фотохимической устойчивости красителей, которая определяется химическим строением красящих веществ [3]. Редко бывает, чтобы краситель был одинаково устойчив ко всем указанным воздействиям. Часто красители обладают хорошей прочностью к свету, но не выдерживают действия хлора; прочны при стирке, но имеют низкую устойчивость к действию света.

Прочность окраски является одним из главных качеств красителей, определяющих их практическую ценность. В общей стоимости текстильных изделий стоимость красителей составляет не более 4–5 %, но качество готовой текстильной продукции в значительной степени зависит от качества красителей [4].

Особенно остро вопрос устойчивости окраски к внешним воздействиям стоит при использовании прямых красителей, технология крашения которых включает обязательную операцию упрочнения окраски с помощью специальных препаратов-закрепителей [5].

Анализ последних исследований и публикаций

Согласно данным, приведенным в [6], операция упрочнения окраски может ограничиться заключительной промывкой текстильного материала раствором электролита, но чаще всего связана с обработкой химикатами, что приводит к изменению химической структуры молекулы красителя. Обработка растворами электролитов (NaCl, Na_2SO_4 – 10 г/л, $MgCl_2$, $MgSO_4$ – 1–2 г/л) не обеспечивает долговременную устойчивость окраски и лишь позволяет решить вопрос подавления миграции во время сушки.

Реже для повышения устойчивости окраски прямыми красителями используются соли меди (II) или последовательное диазотирование прямого красителя и сочетание его с азосоставляющей. Эти методы не универсальны и пригодны только для прямых красителей определенной химической природы [7, 8].

Также в качестве препаратов-закрепителей окраски текстильного материала до недавнего времени использовались продукты начальной конденсации дициандиамида или некоторых других аналогичных соединений с формальдегидом в виде водных растворов уксуснокислых солей этих оснований [9, 10]. Химической промышленностью выпускались препараты ДЦУ, Устойчивый-2, закрепитель ДЦМ. Применение этих закрепителей обеспечивало получение окрасок требуемой устойчивости к стирке

(препараты ДЦУ или Устойчивый-2) и действию света и погоды (закрепитель ДЦМ). В настоящее время из-за ужесточающихся требований к допустимому содержанию формальдегида в тканях применение названных препаратов резко ограниченно [11].

Частично решить указанную проблему возможно путем применения закрепителей на бесформальдегидной основе.

К числу таких текстильно-вспомогательных веществ (ТВВ) относятся препараты российского производства – Бикол, Бикол М, Бикол У, применение которых способствует повышению прочности окраски текстильных материалов при крашении водорастворимыми красителями на 0,5–1 балл. В первую очередь, это относится к прямым красителям, но в ряде случаев данные закрепители позволяют свести к минимуму неприятные моменты, проявляющиеся при крашении и печатании текстильных материалов активными красителями (гидролиз красителя, низкая фиксация красителя волокном) [12].

Авторами [13] предложено использование в качестве закрепителя окраски прямыми красителями нитрогенсодержащего соединения концентрацией 0,5% от массы ткани (повышение устойчивость окраски на 2,5 балла при сухом и на 0,5 баллов при мокром трении). Следует отметить, что использование данного препарата приводит к снижению светостойкости полученных окрасок на 0,5–1 балл.

Более эффективным является использование катионных полимеров – производных полиаминов, не содержащих формальдегид.

Формулировка целей исследования

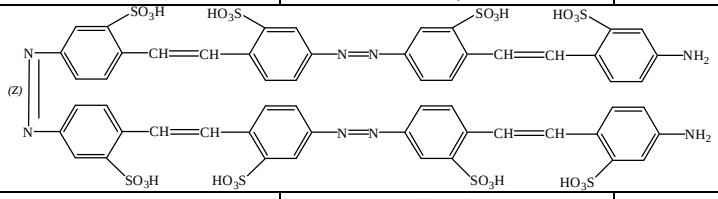
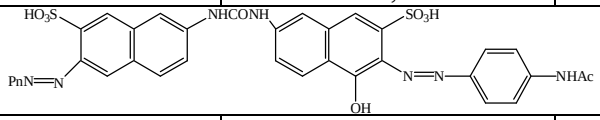
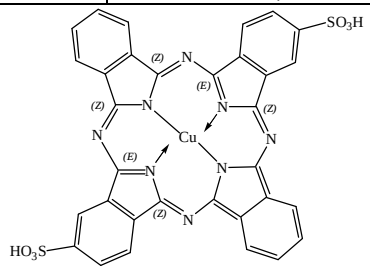
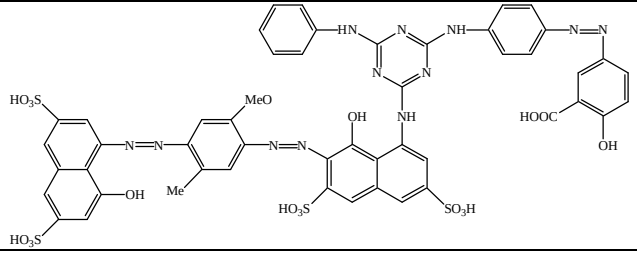
Цель работы заключалась в повышении устойчивости окраски текстильных материалов, окрашенных прямыми красителями, путем применения в качестве препаратов-закрепителей катионных полимеров.

Изложение основного материала

В работе проводилось крашение отбеленной хлопчатобумажной ткани арт. ЗВ1-157-4КД (производство ООО «ПО ТК-Донбасс», г. Донецк) периодическим способом согласно технологии, приведенной в [14]. Для колорирования текстильного материала использовались следующие светопрочные красители: Прямой оранжевый, Прямой алый, Прямой бирюзовый и Прямой зеленый (табл. 1).

Таблица 1

Характеристика используемых прямых красителей

Наименование красителя	Молекулярная масса	Температура крашения, °С
Прямой оранжевый светостойкий	1469,52	80 – 85
		
Прямой алый светостойкий	662,65	90 – 95
		
Прямой бирюзовый светостойкий	735,21	90 – 95
		
Прямой зеленый светостойкий	1192,14	80 – 85
		

Для повышения устойчивости окраски прямых красителей в работе применялись катионактивные полимеры КП.1, КП.2, КП.3 и КП.4, отличающиеся между собой химическим строением и плотностью

заряда (табл. 2).

Таблица 2

Характеристика применяемых катионных полимеров

Наименование	Химический состав	Плотность заряда, мг·экв/г	pH
КП.1	Четвертичный полиамин – полимер на основе эпихлоргидрина и диметиламина	4,8	7
КП.2	Высокомолекулярный сильноосновный катионный полимер, синтезируемый путем радикальной полимеризации мономера диметилдиаллиламмоний хлорида	7,2	8
КП.3	Продукт поликонденсации алифатического диамина и эпихлоргидрина	9,5	8
КП.4	Композиционный состав на основе полидиметилдиаллиламмоний хлорида и полиакриламида	4,2	7

Выбор технологического режима обработки окрашенной хлопчатобумажной ткани растворами катионных полимеров осуществляли путем вариации времени пропитки 10 – 30 мин при температуре фиксации 90ºС, с термофиксацией при 150ºС и без нее. В табл. 3 в качестве примера приведено влияние режима обработки ткани катионным полимером КП.3 концентрацией 3 г/л на устойчивость окраски Прямого оранжевого светопрочного красителя в сравнении с закреплением окраски препаратами Устойчивый-2 (российского производства) и Fissatore RTG (итальянского производства).

Таблица 3

Влияние режима заключительной обработки ткани на устойчивость окраски Прямого оранжевого светопрочного красителя

№ п/п	Режим обработки	Устойчивость окраски, баллы			
		к трению		к стирке	к действию пота
		сухому	мокрому		
1	Закрепление окраски препаратом КП.3: пропитка ($C_{КП.3}$ = 3 г/л, $\tau_{общ.}$ = 10 мин, T = 20°C); сушка (T = 90°C, τ = 5 мин).	4 – 5	3 – 4	3–4/2/3–4	5/4/5
2	Закрепление окраски препаратом КП.3: пропитка ($C_{КП.3}$ = 3 г/л, $\tau_{общ.}$ = 30 мин, T = 20°C); сушка (T = 90°C, τ = 5 мин).	3 – 4	3	3/2/3	5/4 – 5/5
3	Закрепление окраски препаратом КП.3: пропитка ($C_{КП.3}$ = 3 г/л, $\tau_{общ.}$ = 10 мин, T = 20°C); термофиксация (T = 150°C, τ = 5 мин).	4 – 3	3	1–2/2/1–2	5/4/5
4	Закрепление окраски препаратом Устойчивый-2: пропитка ($C_{У-2}$ = 3 г/л, $C_{CH3COOH\ (60\%)}$= 0,5 г/л, $\tau_{общ.}$ = 30 мин, T = 70°C); сушка (T = 90°C, τ = 5 мин).	4	4	2/3/3	3/1/3
5	Закрепление окраски препаратом Fissatore RTG: пропитка ($C_{Fissatore\ RTG}$ = 3 г/л, $\tau_{общ.}$ = 30 мин, T = 20°C); сушка (T = 90°C, τ = 5 мин).	3	3 – 4	3/2/3	4/3 – 4/4
6	Без закрепления	3	3	2/3/2	3/3/3

Согласно представленным данным (табл. 3), наиболее оптимальным технологическим режимом заключительной отделки является пропитка ткани раствором катионного полимера в течении 10 мин с последующей сушкой при 90°C, что позволяет обеспечить повышение устойчивости окраски к сухому и мокрому трению (ДСТУ-9733.27-83), стирке (№3, ДСТУ-9733.4-83) и действию пота (ГОСТ 9733.6-83) в среднем на 1 – 2 балла в сравнении с применением формальдегидсодержащего препарата Устойчивый-2 и бесформальдегидного препарата Fissatore RTG. Аналогичные результаты были получены при установлении влияния режима обработки ткани исследуемыми катионными полимерами на устойчивость окраски светопрочных красителей Прямой алый, Прямой бирюзовый и Прямой зеленый.

Для определения оптимальных концентраций КАП хлопчатобумажную ткань пропитывали препаратами КП.1, КП.2, КП.3 и КП.4 концентрацией от 3 до 10 г/л согласно выбранному технологическому режиму (табл. 4).

Согласно данным, представленным в табл. 4, при закреплении окраски Прямого оранжевого светопрочного наиболее эффективным является препарат КП.4 концентрацией 10 г/л – устойчивость к внешним воздействиям (сухое и мокрое трение, стирка) и действию пота возросла в среднем на 1 – 3 балла в сравнении с закреплением окраски препаратами Устойчивый-2 и Fissatore RTG. Также хороший результат достигнут при закреплении окраски препаратом КП.3 в концентрации 3 и 10 г/л.

Таблица 4

Влияние концентрации КАП на устойчивость окраски прямых светопрочных красителей

Закрепитель	Концентрация, г/л	Устойчивость окраски, баллы			
		к трению		к стирке	к действию пота
		сухому	мокрому		
Прямой оранжевый светопрочный					
КП.1	3	4 – 5	4	2/3–4/2	3/4/3
	10	3 – 4	3	3/4/3	4/4/4
КП.2	3	3	2 – 3	3/4/3	4/4–5/4
	10	3	3	3–4/4–5/3–4	3–4/4/3–4
КП.3	3	4 – 5	3 – 4	3–4/2/3–4	5/4/5
	10	5	4	3/3–4/3	3–4/4/3–4
КП.4	3	5	4	2/3/2	4/4–5/4
	10	5	4 – 5	3/3/3	4/5/4
Устойчивый-2	3	4	4	2/3/3	3/1/3
Fissatore RTG	3	3	3 – 4	3/2/3	4/3–4/4
Прямой алый светопрочный					
КП.1	3	2 – 3	2	2–3/3/2–3	3/4/3
	10	2 – 3	2	3/3/3	4/5/4
КП.2	3	2 – 3	2	3–4/3–4/3–4	4/4/4
	10	2 – 3	2	3–4/3–4/3–4	4/4/4
КП.3	3	3	2 – 3	2/3/2	3/4/3
	10	4	3 – 4	3/3/3	4/4–5/4
КП.4	3	2 – 3	2	2/4/2	4/4/4
	10	2 – 3	2	3/4/3	5/5/5
Устойчивый-2	3	4 – 5	4	3/4/4	3/4/3
Fissatore RTG	3	3 – 4	3	3/3/3	4/4/4
Прямой бирюзовый светопрочный					
КП.1	3	4 – 5	3	2–3/3/2–3	3/3/3
	10	5	4	3/2–3/3	4/4/4
КП.2	3	4	3	3/3/3	4/5/4
	10	4	3	4/3–4/4	4/4/4
КП.3	3	4 – 5	3 – 4	3/2–3/3	3–4/4/3–4
	10	4 – 5	3 – 4	3/3/3	4/5/4
КП.4	3	5	4	3/3/3	4/4/4
	10	4	3 – 4	3/3–4/3	4/4/4
Устойчивый-2	3	4	3	4/4/4	3/4/3
Fissatore RTG	3	5	4 – 5	3/3/3	3–4/4/3–4
Прямой зеленый светопрочный					
КП.1	3	5	4	2–3/3/2–3	3/4/3
	10	4 – 5	4	2–3/3/2–3	3/4/3
КП.2	3	4 – 5	3 – 4	3–4/4/3–4	4/4–5/4
	10	4 – 5	3 – 4	4–5/4–5/4–5	4/4/4
КП.3	3	4 – 5	4	3/3/3	4/4/4
	10	4 – 5	4	3/4/3	3/4/3
КП.4	3	4 – 5	4	4/4/4	5/4/5
	10	4	3 – 4	4/4/4	5/5/5
Устойчивый-2	3	4 – 5	4	3/4/3	4/3/4
Fissatore RTG	3	5	3	4/4/4	3/4/3

При крашении хлопчатобумажного текстильного материала Прямым алым светопрочным наиболее устойчивая окраска получена при использовании формальдегидсодержащего препарата Устойчивый-2 (3 г/л), а также препарата КП.3 концентрацией 3 г/л.

При закреплении окраски Прямого бирюзового светопрочного одинаково хороший результат получен при использовании препаратов КП.1 (10 г/л), КП.3 (10 г/л), КП.4 (3 г/л) и Fissatore RTG (3 г/л).

При колорировании хлопчатобумажной ткани Прямым зеленым светопрочным наиболее эффективными являются препараты КП.2 (10 г/л), КП.4 (3 г/л), Fissatore RTG (3 г/л).

По нашему мнению, упрочнение связи «хлопчатобумажная ткань – прямой краситель» при использовании исследуемых катионных полимеров происходит как за счет электростатических сил, возникающих между красящими веществами и катионными полимерами, так и за счет специфического действия реакционных групп катионных полимеров, способных к образованию полимерной пленки, которая фиксирует прямой краситель на ткани в процессе термообработки. Кроме того исследуемые катионные препараты способны к образованию ковалентной связи с целлюлозным волокном, что дополнительно способствует фиксации прямых красителей на ткани.

Следует отметить, что применение катионных полимеров при закреплении окраски светопрочных красителей Прямой оранжевый, Прямой алый, Прямой бирюзовый и Прямой зеленый значительно

повышает устойчивость окраски к действию пота (табл. 4). Данное свойство особенно актуально, поскольку волокна, окрашенные прямыми красителями, обладают минимальным по сравнению с кубовыми и сернистыми красителями поглощением солнечных лучей [1], и ткани, изготовленные из такого волокна, могут успешно применяться для летней одежды, особенно в условиях тропического климата.

Выводы

1. В качестве препаратов-закрепителей окраски прямыми красителями в работе предложено применение бесформальдегидных катионных полимеров КП.1, КП.2, КП.3 и КП.4.

2. Разработан наиболее оптимальный технологический режим отделки, который заключается в пропитке окрашенной ткани раствором катионного полимера в течение 10 мин с последующей сушкой при 90°С.

3. Определено влияние концентрации исследуемых катионных полимеров на устойчивость окраски прямых светопрочных красителей Прямой оранжевый, Прямой алый, Прямой бирюзовый и Прямой зеленый к сухому и мокрому трению, стирке, действию пота.

4. Установлено, что применение катионных полимеров КП.1, КП.2, КП.3 и КП.4 в качестве закрепителей окраски прямыми красителями способствует упрочнению окраски в среднем на 1–3 балла в сравнении с закреплением окраски препаратами Устойчивый-2 и Fissatore RTG.

Литература

1. Степанов Б.И. Введение в химию и технологию красителей / Б.И. Степанов. – М. : Химия, 1977. – 488 с.

2. Андросов В.Ф. Синтетические красители в легкой промышленности / В.Ф. Андросов, И.Н. Петрова. – М. : Легпромбытиздат, 1989. – 467 с.

3. Винюкова Г.Н. Химия красителей / Г.Н. Винюкова. – М. : Химия, 1979. – 296 с.

4. Бородкин В.Ф. Химия красителей / В.Ф. Бородкин. – М. : Химия, 1981. – 284 с.

5. Лаптев Н. Г. Химия красителей / Н.Г. Лаптев, Б.М. Богословский. – М. : Химия, 1970. – 423 с.

6. Кричевский Г.Е. Химическая технология текстильных материалов : учеб. пос. для вузов : в 3 т. Т. 2. Колорирование текстильных материалов / Г.Е. Кричевский. – М. : Росс. заоч. ин-т текстильной и легкой промышленности, 2001. – 540 с.

7. Тебляшкіна Л.І. Технологія опоряджувального виробництва : навч. посіб. / Л.І. Тебляшкіна. – К. : Кондор, 2005. – 278 с.

8. Петерс Р.Х. Текстильная химия (Физическая химия крашения) / Петерс Р.Х. – М. : Легпромбытиздат, 1989. – Ч. 2. – 123 с.

9. Егорова А.Н. Крашение тканей предварительно обработанных препаратом ДЦУ и Устойчивым-2 / А.Н. Егорова // Текстильная промышленность. – 1973. – № 10. – С. 62–64.

10. Кириллова М.Н. Влияние предварительной обработки ткани препаратом ДЦУ на эффективность ее крашения прямыми красителями / М.Н. Кириллова // Труды Иванов. хим.-техн. ин-та. – Иваново, 1973. – С. 87–90.

11. Киселёв А.М. Экологические аспекты процессов отделки текстильных материалов / А.М. Киселёв // Рос. хим. журнал (Ж. Рос. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева). – 2002. – т. XLVI, № 1. – С. 20–30.

12. Мельников Б.Н. Роль текстильных вспомогательных веществ. Прогресс текстильной химии и технологии / Б.Н. Мельников // Рос. хим. журнал (Ж. Рос. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева). – 2002. – т. XLVI, № 1. – С. 9–19.

13. Y. Yiqi, F. Edward, "Non-formaldehyde nitrogen-containing fixing agent for direct dyeing", *American Dyestuff Reporter,* 1996, No 10, pp. 39–44.

14. Отделка хлопчатобумажных тканей : в 2 ч. Ч. 1. Технология и ассортимент хлопчатобумажных тканей : справочник / под ред. Б.Н. Мельникова. – М. : Легкомбытиздат, 1991. – 432 с.

References

1. Stepanov B.I. Vvedenie v himiyu i tehnologiyu krasiteley. Moscow, Himiya, 1977, 488 p.

2. Androsov V.F., Petrova I.N. Sinteticheskie krasiteli v legkoy promyishlennosti. Moscow, Legprombyitizdat, 1989, 467 p.

3. Vinyukova G.N. Himiya krasiteley. Moscow, Himiya, 1979, 296 p.

4. Borodkin V.F. Himiya krasiteley. Moscow, Himiya, 1981, 284 p.

5. Laptev N. G., Bogoslovskiy B.M. Himiya krasiteley. – Moscow, Himiya, 1970, 423 p.

6. Krichevskiy G.E. Himicheskaya tehnologiya tekstilnyih materialov: ucheb. pos. dlya vuzov v 3-h t. T. 2. Kolorirovanie tekstilnyih materialov. Moscow, Ross. zaoch. in-t tekstilnoy i legkoy promyishlennosti, 2001, 540 p.

7. Teblyashkina L.I. Tehnologiya oporyadzhuvalnogo virobnitstva. Kyiv, Kondor, 2005, 278 p.

8. Peters R.H. Tekstilnaya himiya (Fizicheskaya himiya krasheniya). Moscow, Legprombyitizdat, 1989, Ch. 2, 123 p.

9. Egorova A.N. Krashenie tkaney predvaritelno obrabotannyih preparatom DTsU i Ustoychivyim-2, *Tekstilnaya promyishlennost,* 1973, No 10, pp. 62-64.

10. Kirillova M.N. Vliyanie predvaritelnoy obrabotki tkani preparatom DTsU na effektivnost ee krasheniya pryamyimi krasitelyami, *Trudyi Ivanov. him.-tehn. in-ta*, 1973, pp. 87-90.

11. Kiselyov A.M. Ekologicheskie aspektyi protsessov otdelki tekstilnyih materialov, *Ros. him. zh. (Zh. Ros. him. ob-va im. D.I. Mendeleeva),* 2002, t. XLVI, No 1, pp. 20-30.

12. Melnikov B.N. Rol tekstilnyih vspomogatelnyih veschestv. Progress tekstilnoy himii i tehnologii, *Ros. him. zh. (Zh. Ros. him. ob-va im. D.I. Mendeleeva),* 2002, t. XLVI, No1, pp. 9-19.

13. Y. Yiqi, F. Edward, "Non-formaldehyde nitrogen-containing fixing agent for direct dyeing", *American Dyestuff Reporter,* 1996, No 10, pp. 39–44.

14. Otdelka hlopchatobumazhnyih tkaney. V 2 ch. Ch. 1. Tehnologiya i assortiment hlopchatobumazhnyih tkaney: spravochnik. Ed. by. B.N. Melnikova. Moscow, Legprombyitizdat, 1991, 432 p.

Рецензія/Peer review : 24.6.2015 р. Надрукована/Printed : 29.8.2015 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Валько М.І.

УДК 677.021.11.83

Н.П. ЛЯЛІНА, О.Ф. БОГДАНОВА
Херсонський національний технічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ СПОЖИВЧИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТА ЕКСПЕРТНА ОЦІНКА ЯКОСТІ ЗМІШАНИХ КОНОПЛЯНИХ ТКАНИН

В статті представлено характеристику конопляних тканин, наведено порівняльний аналіз споживчих властивостей натуральних і синтетичних тканин. Обґрунтовано переваги використання експертного методу для проведення експертної оцінки якості. Проведено дослідження споживчих властивостей змішаних конопляних тканин за допомогою експертного метода.

Ключові слова: конопляні тканини, споживчі властивості, експертна оцінка.

N.P. LYALINA,O.F. BOGDANOVA
Kherson National Technical University, Kherson, Ukraine

RESEARCH OF CONSUMER PROPERTIES AND EXPERT EVALUATION OF THE QUALITY OF MIXED HEMP FABRICS

The article presents the characteristics of hemp fabrics, the comparative analysis of consumer properties of natural and synthetic fabrics. studies have shown that synthetic fabrics, which have high strength, resistance to repeated tensile loads, bending and wear ability for long-term operation and storage without changing the properties, resistance to rot, they are still inferior to the consumer properties of natural fabrics. The advantages of the method of application expert to carry out an expert assessment of the quality. Expert evaluation to some extent reflects the view of consumers that can not be achieved by other methods. The research of consumer properties of mixed hemp fabrics using expert method.

Keywords: hemp fabrics, consumer characteristics, expert assessment.

Вступ

Сьогодні конопля – це елітний матеріал для сучасних дизайнів. Конопля дозволяє створити нові направлення моди. Досвід багатовікової обробки коноплі, її чудові природні властивості, у поєднанні з мистецтвом народного ткання і сучасних технологій, пошиття дає можливості сміливо фантазувати у сучасній моді.

Конопляна тканина має високу міцність і практичність, не визиває алергії, створює температурний і енергетичний баланс, має антисептичні і ранозагоювальні функції.

Конопляну тканину та одяг з неї цінували за унікальні природні властивості даного матеріалу. Конопляна тканина навіть після обробки та прання утримує у своєму складі до 20% конопляної олії та залишається біологічно активною, м'яко взаємодіє зі шкірою, підтримує температурний баланс. Конопляна тканина гіпоалергенна. Завдяки цьому одяг з конопляної тканини був більш доступним та популярним у порівнянні з бавовняним та лляним.

Крім тканини, з конопляних волокон виготовляли брезент, парусину, мішковину, пожежні рукави, канати, вітрила, шнури, високоякісний папір.

Постановка проблеми

Сьогодні конопляна тканина – це елітний матеріал для дизайнерів одягу, що працюють в стилі «етно». Оскільки конопляна тканина в Україні більше не виробляється, при виготовленні одягу здебільшого використовують домоткане полотно, виткане у першій половині 20-го століття. Уже завдяки цьому, одяг з конопляного полотна має імідж елітності та старовини. Нерівність поверхні, кольору, стовщення ниток надають тканині з конопляного волокна своєрідний, неповторний вигляд.

Тканин з конопель відрізняються від інших матеріалів своєю практичністю, зручністю у використанні, а також іншими унікальними властивостями.

По-перше, такі тканини дуже пружні, тому що конопляні волокна найбільш міцні та витривалі серед рослинних волокон. Зношуваність одягу, зробленого з цього матеріалу, в декілька разів перевищує своїх конкурентів. Тканини з конопель не піддаються розтягуванню, зберігають свою форму та пропорції.

По-друге, завдяки пористій структурі конопляного волокна тканина здатна дуже добре всмоктувати вологу. Це забезпечує, з однієї сторони, високий коефіцієнт активності дихання шкіри людини, а з іншої – підтримування для організму людини теплообміну.

По-третє, конопляна тканина захищає організм людини від шкідливого впливу зовнішнього середовища. Конопляна тканина гіпоалергенна. Також одяг із конопель не збирає пил і мікрочастини, які провокують алергічні реакції.

Крім того, одяг із конопель (на відміну від синтетичного, вовняного і навіть бавовняного) зовсім не накопичує статичної електрики.

По-четверте, при постійному використанні тканина знаходить додаткові оздоровчі властивості конопель як лікарської рослини, активно впливає на організм людини. При великих фізичних навантаженнях організм людини отримує додаткову підтримку, швидко поповнює енергетичні витрати.

Аналіз останніх досліджень

Отже, одяг із конопель – це індивідуальність. Останнім часом, у світі відбувається стрімке збільшення попиту на екологічно чисті вироби, виготовлені із натуральної сировини. Цінні товарознавчі характеристики натуральних волокон, в тому числі і конопляних, пов'язані зі специфічними природними властивостями, і вони не можуть бути замінені іншими видами волокон у певному асортименті виробів. В табл. 1 подана порівняльна характеристика споживчих властивостей натуральних та синтетичних тканин.

Таблиця 1

Споживчі властивості натуральних і синтетичних тканин

Властивості	Найменування тканини			
	бавовняна	конопляна	вовняна	синтетична
1. Міцність	низька	висока	добра	висока
2. Підтримання теплообміну	підтримується в літній період	підтримується в літній і зимовий періоди	підтримується в зимовий період	не підтримується
3. Поглинання вологи	до 100%	до 500%	до 100%	до 30%
4. Вплив на потовиділення	нейтральний	сприяє зменшенню	нейтральний	призводить до посилення
5. Електризованість	статична електрика накопичується незначною мірою	не електризується	статична електрика накопичується незначною мірою	сильно електризується
6. Алергенність	здатна негативно впливати	гіпоалергенно	здатна негативно впливати	алергенно
7. Вплив на організм	не впливає	тонізуючий та оздоровчий	не впливає	негативний
8. Вплив на хвороботворні мікроорганізми	не впливає	пригнічувальний	призводить до розмноження	не впливає
9. Протидія випромінюванню	не впливає	блокує дію УФ-випромінювання	не впливає	не впливає

В сучасних умовах виробництво продукції, розвиток науки та техніки неможливі без опанування основних положень таких наук , як стандартизація і кваліметрія та використання їх методів і засобів.

Якість продукції є одним з найважливіших показників роботи будь-якого підприємства чи об'єднання,а високій рівень якості його продукції є основним показником ефективності його діяльності.

Сьогодні визначенню якості продукції поділяють чи не основну увагу на будь-якому підприємстві. Розроблено багато методів визначення якості продукції та її рівня.

Експертний метод вимірювання показників якості, що полягає у визначенні показників якості продукції експертами, використовують тільки у разі неможливості, значної складності чи економічної недоцільності здійснення інструментального методу. Його використовують,наприклад,для вимірювання ергономічних та естетичних показників якості продукції. Експертами використовуються всі вимірювальні шкали, але частіше - так звані шкали порядків чи інтервалів (особливо реперні шкали з бальною системою градації).

Експертний метод визначення показників якості продукції полягає у використанні рішень експертів, якими можуть бути високо кваліфікаційні фахівці, що успішно закінчили навчання та мають знання, передбачені вимогами до експертів з визначення якості певної продукції.

В кваліметрії експертний метод визначення показників якості продукції використовують здебільшого для встановлення коефіцієнтів вагомості певних одиничних показників. Цей метод застосовується і для вимірювання фізичних величин, а також для соціологічних досліджень. Та незалежно від мети й завдання використання цього методу вимагає виконання таких умов: експертну оцінку роблять тільки у тих випадках, коли не можливо чи не доцільно застосувати інструментальні методи; у роботі експертної комісії не може бути чинників, які могли б вплинути на щирість суджень експертів; судження експертів мають бути незалежними; питання, які ставляться експертам, неповинні мати неоднозначного тлумачення; експерти повинні бути компетентними у вирішенні поставлених перед ними задач; кількість експертів має бути оптимальною; відповіді експертів мають бути однозначними та забезпечувати можливість математичного їх оброблення.

Тому рішення цих задач для проведення експертної оцінки якісних показників текстильних матеріалів з метою підвищенням їх якості є актуальною.

Метої експертизи є визначення споживчої цінності, тобто соціальної ефективності, корисності, зручності користування і естетичної досконалості на основі ретельного аналізу якості товарів. Вона є бар'єром на шляху до споживання неякісних, морально застарілих, неконкурентоспроможних виробів.

Експертні методи застосовуються тоді, коли використання інших, більш об'єктивних методів є неможливим і недоцільним.

Експертні методи, так само, як й інші методи, що застосовуються при проведенні товарної експертизи, мають деякі переваги і недоліки.

Основною перевагою цих методів є те, що вони дозволяють приймати рішення, коли більш об'єктивні методи неприйнятні.

Тому експертна оцінка певною мірою відображає і думки споживачів, що неможливо здійснити при інших методах.

Разом з тим у деяких випадків експертна оцінка якості відображає не істотну, а прогнозуючу ситуацію.

До завдань експертної оцінки можна віднести наступні операції оцінки якості: визначення номенклатури показників якості та побудова їх структурної схеми; органолептичну оцінку показників якості. Дуже часто експертні методи застосовують також для визначення коефіцієнтів вагомості показників якості та атестації якості продукції.

Поєднання органолептичного та експертного методів, які відрізняються високим ступенем суб'єктивізму, дозволяє отримувати найбільш точні результати, що неможливо при застосуванні вимірювальних методів.

Сучасні технології виробництва конопляних тканин, що застосовуються в Європі, дозволяють виробляти з волокна конопель тонкі тканини, які характеризуються високими показниками повітропроникності, гігроскопічності, зносостійкості та міцності. Тому основним завданням роботи було дослідити споживчі властивості конопляних змішаних тканин та провести їх експертну оцінку.

Експертам пропонується дати рангову оцінку заданої кількості показників якості продукції.

Рангова оцінка зводиться до надавання значень ступеня вагомості кожного показника рангом. Найбільш важливий показник позначають рангом R = 1, а найменш важливий ─ рангом R = n, де n – кількість обговорюваних показників. У табл. 2 наведені рангові оцінки показників якості конопляних змішаних тканин, які дали сім експертів. Сума рангів у кожного експерта по горизонталі повинна бути незмінною і дорівнювати

$$\sum_{i=1}^{n} R_{ij} = 0{,}5 * n(n+1) \qquad (1)$$

де n – кількість показників.

Таблиця 2

Оцінка якості конопляних змішаних тканин

Шифр експерта	Рангові оцінки показників якості								сума	T_i
	усадка	волого погли нання	стійкість забарв лення	Гігроскоп- пічність	Незми- нальність	стійкість до стирання	міцність	повітро- проник ність		
1	3	1	1	1	3	1	1	1	36	17,5
2	4	2	2	2	4	1	1	1	36	2,0
3	5	2,5	1	1	3	1	2	1	36	5,0
4	2	1	1	3	4	2	1	2	36	4,0
5	3	1	2	1	5	1	1	1	36	10,0
6	4	3	1	1	2	1	2	1	36	5,5
7	4	1	1	2	3	1	1	1	36	10,0
S_i	25	11,5	9	11	24	8	9	8	105,5	54,0
$S_i - S$	-6,5	-20,0	-23,5	-20,5	-7,5	-22,5	-22,5	-23,5	-	-
$(S_i - S)^2$	42,25	400,0	552,25	420,25	56,25	506,25	506,25	552,25	3035,75	-
$mn - S_i$	31,0	44,5	47,0	45,0	32,0	48,0	47,0	48,0	342,5	-
j_i	0,16	0,23	0,24	0,23	0,16	0,24	0,24	0,24	1,74	-

У цьому прикладі

$$\sum R_{ij} = 0{,}5 * 8(8+1) = 36$$

Для оцінювання одноголосності думок експертів визначають коефіцієнт конкордації

$$W = \frac{\sum_{i=1}^{n} (S_i - S)^2}{\frac{1}{12} m^2 (n^3 - n) - m \sum_{j=1}^{m} T_i}, \qquad (2)$$

де $S_i = \sum_{j=1}^{m} R_{ij}$ – сума рангових оцінок експертів за кожним показником;

$S = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} S_i = 0{,}5 * m(n+1)$ – середня сума рангів для всіх показників,

$m = 7$ – кількість експертів,

$n = 8$ – кількість показників,

$$T_i = \frac{1}{12}\Sigma(t_u^3 - t_u), \quad (3)$$

де t_u – кількість однакових рангів у відповідній групі ранжирування;

u – кількість груп, сформованих факторами одного рангу в ранжируванні.

За даними табл. 2 розраховуємо коефіцієнт конкордації, використовуючи формулу (2). Згідно з даними таблиці, коефіцієнт становить W=0,8.

Чим ближче W до 1, тим краща погодженість думок експертів.

Отже, за одержаними даними погодженість думок експертів висока, що дає можливість здійснювати розрахунок коефіцієнтів вагомості для кожного показника за формулою:

$$j_i = \frac{m \cdot n - S_i}{0{,}5 \cdot m \cdot n \cdot (n-1)}, \quad (4)$$

Результати розрахунків коефіцієнтів вагомості за кожним показником подані в табл. 2.

Висновки

Проведені наукові дослідження довели, що які б властивості не мали синтетичні тканини (високу міцність, стійкість до багаторазових розтягувальних навантажень, згинання та зношування, здатність до тривалої експлуатації та зберігання без зміни властивостей, стійкість до гниття), вони все одно не зможуть замінити натуральні тканини.

Література

1. Товарознавство і стандартизація продукції безнаркотичних конопель : монографія / Чурсіна Л.А., Богданова О.Ф., Ляліна Н.П., Резвих Н.І. – Херсон : ПП Вишемирський В.С., 2012. – 308 с.

2. Богданова О.Ф. Експертиза сировини і продукції: навч. посіб. для студентів вищих навчальних закладів / О.Ф. Богданова, Н.П. Ляліна, О.П. Домбровська, Ю.В. Березовський ; під ред. Л.А. Чурсіної. – Херсон, 2008. – 204 с.

References

1. Chursina L.A., Bohdanova O.F., Lyalina N.P., Rezvykh N.I., Tovaroznavstvo i standartyzatsiya produktsiyi beznarkotychnykh konopel': Monohrafiya, Kherson: PP Vyshemyrs'kyy V.S. 2012. 308 s.

2. O.F. Bohdanova, N.P. Lyalina, O.P. Dombrovs'ka, Yu.V. Berezovs'kyy, Ekspertyza syrovyny i produktsiyi: navch. posib. dlya studentiv vyshchykh navchal'nykh zakladiv, pid red. L.A. Chursinoyi. Kherson, 2008. 204 s.

Рецензія/Peer review : 2.5.2015 р. Надрукована/Printed : 29.8.2015 р.
Рецензент: д.т.н., професор Чурсіна Л.А.

УДК 675.024

А.В. НІКОНОВА, О.А. АНДРЕЄВА, Л.А. МАЙСТРЕНКО
Київський національний університет технологій та дизайну

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ДУБЛЕННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ СПОЛУК ТИТАНУ ТА ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ

Досліджено процес дублення шляхом використання сполук титану у якості альтернативи сполукам хрому та полімерних матеріалів, одержаних на базі ненасичених карбонових кислот. Встановлено умови обробки, які забезпечують скорочення тривалості технологічного циклу, покращують органолептичну оцінку та показники напівфабрикату овчини.

Ключові слова: дублення, сполуки титану, полімерні матеріали, шкіряний напівфабрикат.

A.V. NIKONOVA, O.A. ANDREYEVA, L.A. MAISTRENKO
Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine

RESEARCH OF TANNING PROCESS USING TITANIUM COMPOUNDS AND POLYMERIC MATERIALS

The process of tanning, using titanium as an alternative to chromium compounds and polymeric materials, obtained on the basis of unsaturated carboxylic acids, was researched. It was established processing conditions, that reduce cycle times, improve the organoleptic assessment and indicators of semi-finished sheepskin.

Keywords: tanning, titanium compounds, polymeric materials, semi-finished leather

Вступ

Вже понад століття процес дублення у всьому світі проводять сполуками тривалентного хрому, що дозволяє отримувати шкіри з високою термічною стійкістю [1, 2]. У наш час використання дубильних сполук хрому у виробництві натуральної шкіри намагаються обмежити або взагалі виключити з технологічного циклу. Це пояснюється посиленням вимог до об'єму та ступеня забруднення стічних вод, оскільки під час дублення поглинання хромового дубителя з розчину неповне і навіть у сучасних хромощадних технологіях близько 20 % сполук хрому залишається у стічних водах, що вимагає додаткових засобів очищення промислових стоків. Не слід забувати і про ускладнення утилізації твердих хромвмісних відходів та обмеженість світового запасу хрому, що, у свою чергу, зумовлює подорожчання хромового дубителя [3, 4].

У зв'язку з викладеним актуальним залишається пошук безхромових або хромощадних способів дублення шкіри, яким займалося й продовжує займатися багато фахівців як в Україні, так і поза її межами: Михайлов О.М., Шкаранда І.Т., Горбачов А.А., Мєтьолкін А.І., Русакова Н.Т., Мадієв У.К., Чурсін В.І., Романь О.С., Андреєва О.А., Данилкович А.Г., Мокроусова О.Р., Плаван В.П., Anthony D. Covington, Arife Candas Adiguzel Zengin та інші [5–13]. В якості альтернативи способу хромового дублення запропоновано ціла низка способів мінерального (з використанням сполук алюмінію, титану, цирконію, кремнію або їх комбінації) та мінерал-органічного дублення (з використанням альдегідів, синтетичних дубителів тощо) з різними способами підготовки до цього процесу. Проте, з певних причин всі вони так і не змогли істотно відтіснити дубильні сполуки хрому, оскільки супроводжувалися погіршенням окремих показників шкіри (маса, токсикологічна безпечність, гігієнічні та пружно-пластичні властивості, стабільність при зберіганні), необхідністю використання малопоширених й дорогих реагентів.

Подолати зазначену проблему можна завдяки подальшому удосконаленню відомих та розробки нових хромощадних або безхромових способів дублення шкіри шляхом обґрунтованого використання альтернативних дубителів в поєднанні з сучасними, доступними хімічними матеріалами.

Попередніми дослідженнями за участю авторів встановлена ефективність застосування під час хромового дублення шкір полімерних матеріалів нового покоління на основі ненасичених карбонових кислот, що виявляється у скороченні тривалості обробки, більш раціональному використанні шкіряної сировини та хімічних реагентів, у тому числі дубильних сполук хрому [14, 15]. Це дозволяє припустити можливість дублення альтернативними мінеральними дубителями, наприклад, сполуками титану, в присутності згаданих полімерів. Виходячи з викладеного, сформульовано мету роботи − дослідити процес безхромового дублення шкір шляхом застосування дубильних сполук титану і полімерних матеріалів на основі ненасичених карбонових кислот. Для здійснення зазначеної мети поставлено завдання дослідити вплив умов обробки на перебіг технологічного процесу та властивості шкіряного напівфабрикату, використано традиційні фізико-хімічні та сучасні методи аналізу: потенціометричний, фотоколориметричний, математичну статистику. При цьому доцільність сумісного використання зазначених матеріалів під час дублення визначали за тривалістю процесу, а також за показниками температури зварювання, кількості утворених термостійких зв'язків у 10^5 г білка [9], виходу по товщині та об'єму, які характеризують такі важливі властивості шкіряного напівфабрикату як термостійкість, наповнення, формування структури.

Для визначення найкращого режиму проведення технологічного процесу у науково-дослідних роботах застосовуються різні статистичні методи обробки одержаних експериментальних даних. У даній роботі пошук найбільш раціонального режиму процесу титанполімерного дублення здійснювали за методом

багатокритеріальної оптимізації за допомогою показника узагальненої цільової функції Yзаг, r [9].

Результати дослідження, їх обговорення

У роботі використали шкіряний напівфабрикат овчини та хімічні матеріали, призначені для проведення підготовчих та переддубильно-дубильних процесів у виробництві одягової хромової шкіри з овчини [16]: сульфід натрію, гідроксид кальцію, сірчану кислоту, хлорид натрію, карбонат натрію, сульфат амонію, ферментний препарат Codyemac TPS 50 та хромовий дубитель у вигляді основного сульфату хрому.

Вибір овечої сировини зумовлений поширеністю, а також особливостями її гістологічної будови, оскільки, завдяки пухкості структури дерми легше виявити ефекти її формування та наповнення [1].

Дослідні зразки овчини обробляли шляхом заміни традиційної пікельної підготовки перед дубленням на полімерну обробку, а сам процес дублення проводили сульфататитанілатом амонію. У якості полімерних сполук використали похідні малеїнової (продукт Kro) та акрилової (продукти TP, CP) кислот, що уявляють собою нетоксичні, розчинні у воді, стійкі до дії електролітів реагенти [14].

Для визначення ролі зазначених матеріалів у формуванні структури та властивостей дерми варіювали спосіб обробки, змінюючи вид та послідовність введення реагентів (табл. 1):

- **спосіб 1** (*дослідні групи 1–3*): знезолену зм'якшену голину витримували у полімерному розчині протягом 1 години при періодичному перемішуванні при температурі 36–38 °С, потім обробляли дубильними сполуками титану. Витрата полімеру становила 2,0 %, титанового дубителя − 4,0 % від маси зразків (у перерахунку на сухий залишок полімеру і оксид титану відповідно), рідинний коефіцієнт 1,0. Основність дубильних сполук у всіх випадках підвищували додаванням розчину карбонату натрію після профарбування зрізу напівфабрикату дубильними сполуками (у разі титану визначали за жовтим забарвленням пероксидом водню). Закінчення процесу дублення фіксували по досягненні стабільного показника температури зварювання.
- **спосіб 2** (*дослідні групи 4–6*): виконували аналогічно способу 1, але зі зливом відпрацьованого полімерного розчину та додаванням хлориду натрію для попередження кислотної бубняви.

Зразки *контрольної групи 7* дубили сполуками титану з використанням традиційного пікелювання, яке передбачає використання хлориду натрію (для попередження бубняви і зневоднювання) та сірчаної кислот (для надання дермі кислотності і часткового розпушення структури) [2].

Зразки *контрольної групи 8* обробляли повністю за відомою технологією виробництва одягової шкіри з овчини [16], застосувавши традиційне хромпікельне дублення при температурі 20 °С.

Під час обробки дослідних груп ускладнень не виявлено, а зразки напівфабрикату Вет-вайт вигідно відрізняються від напівфабрикату Вет-блу не лише білим, кольором, більшими наповненістю та м'якістю, а й більш чистою, начебто шовковистою, лицьовою поверхнею.

Таблиця 1

Умови обробки напівфабрикату та pH розчинів

Група	Стадії введення реагентів	Вид полімерних сполук	Значення pH розчину			
			Полімерна обробка		Дублення	
			вихідний	кінцевий	вихідний	кінцевий
1	1. Полімерні сполуки 2. Титановий дубитель	Kro	5,8	5,6	2,5	3,8
2		TP	5,8	5,6	2,7	3,6
3		CP	5,7	5,9	2,8	3,8
4	1. Полімерні сполуки 2. Злив розчину 3. Титановий дубитель	Kro	5,8	5,7	2,5	3,5
5		TP	5,7	5,8	2,7	3,5
6		CP	5,8	5,9	2,6	4,0
7	1. Хлорид натрію, сірчана кислота 2. Титановий дубитель	–	–	–	1,2	3,5
8	1. Хлорид натрію, сірчана кислота 2. Хромовий дубитель	–	–	–	3,3	4,4

З даних табл. 2, 3 видно вплив умов обробки на перебіг процесу та властивості напівфабрикату. Так, виявлено, скорочення тривалості дублення на 1-2 години, і при достатньо сформованій структурі (показник об'ємного виходу) кращі показники термостійкості (температура зварювання, кількість термостійких зв'язків) та наповнення (вихід по товщині) дерми досягаються у разі застосування полімерів Kro, TP й проведення титанового дублення у свіжо приготованому розчині (тобто зі зливом відпрацьованого полімерного розчину).

Таблиця 2

Динаміка зміни температури зварювання зразків напівфабрикату

Група	Температура зварювання, °С					
	Полімерна обробка		Дублення протягом			
	на початку	наприкінці	1,0 год	2,0 год	3,0 год	6,0 год
1	54,0	57,0	73,0	75,0	84,0	84,5
2	54,0	55,0	66,0	70,0	76,0	76,0
3	54,0	56,0	63,0	66,0	65,5	65,0
4	54,0	58,0	76,0	78,0	88,0	90,5
5	54,0	54,0	64,0	73,0	78,0	78,0
6	54,0	56,0	63,0	70,0	71,0	73,0
7	–	–	70,0	73,0	76,5	78,0
8	–	–	78,0	84,5	97,5	99,0

Примітка: температура зварювання пікельованої голини 40 °С (групи 7, 8).

Найбільш раціональний варіант обробки в межах проведеного експерименту обрали на підставі узагальненої цільової функції (табл. 3) [9]. Для більшості дослідних груп величина цього показника менше контрольного (Yзаг, r = 0,019), що свідчить про доцільність полімерної обробки голини перед титановим дубленням. Найменше (тобто оптимальне значення) показника встановлено у *дослідній групі 4* (продукт Kro – полімер, одержаний на основі малеїнової кислоти; Yзаг, r = 0,005).

Таблиця 3

Вплив умов обробки на властивості видубленого напівфабрикату

Група	Тривалість дублення, год.		Температура зварювання, °С	К-ть термостійких зв'язків	Вихід по товщині, %	Об'ємний вихід, $см^3$/100 г	Узагальнена цільова функція Yзаг, r
	профарбу-вання	загальна					
1	1,0	7,0	84,5	11,5	89,1	120,2	0,014
2	1,5	7,5	76,0	6,1	78,3	106,5	0,025
3	1,5	7,5	65,0	0,5	86,7	102,4	0,031
4	1,0	7,0	90,5	16,1	91,7	149,8	0,005
5	1,5	7,5	78,0	12,2	84,5	124,1	0,016
6	2,0	8,0	73,0	6,1	80,7	116,5	0,024
7	2,5	9,0	78,0	7,1	87,5	118,8	0,018
8	2,5	8,5	99,0	20,4	73,5	144,9	0,019

Висновки

Експериментально встановлена доцільність сумісного використання для дублення шкіряного напівфабрикату з овечої сировини сульфатотитанілату амонію та полімерних матеріалів нового покоління, одержаних на базі ненасичених карбонових кислот, яка полягає у скороченні тривалості дублення до 7,0 годин проти 8,5–9,0 годин у контрольних групах, високій (на рівні 90 °С) температурі зварювання, покращанні органолептичної оцінки і показників напівфабрикату «Вет-вайт» порівняно з напівфабрикатом «Вет-блу». На підставі узагальненої цільової функції визначено найбільш раціональні в умовах даного експерименту параметри обробки, які передбачають застосування полімалеїнату перед процесом титанового дублення зі зливом відпрацьованого полімерного розчину. Отримані позитивні результати свідчать про перспективність проведення подальших досліджень, спрямованих на виявлення оптимальних технологічних параметрів титанполімерного дублення.

Література

1. Михайлов А. Н. Химия дубящих вещества и процессов дубления / Михайлов А. Н. – М. : Гизлегпром, 1953. – 794 с.

2. Журавський В. А. Технологія шкіри та хутра : підручник / В. А. Журавський, Е. Є. Касьян, А. Г. Данилкович. – К. : ДАЛПУ, 1996. – 744 с.

3. Пустыльник Я. И. Экологическое сравнение различных видов дубления / Я. И. Пустыльник // Кожа & Обувь. – 2006. – № 5–6. – С. 24–27.

4. Юрасова О. В. Экологические проблемы хромового дубления / О. В. Юрасова // Успехи современного естествознания. – 2004. – № 9. – С. 98–99.

5. Метелкин А. И. Циркониевое дубление / А. И. Метелкин, Н. И. Колесникова. − М. : Легкая индустрия, 1972. – 221 с.

6. Метелкин А. И. Титановое дубление / А. И. Метелкин, Н. Т. Русакова. − М. : Легк. индустрия, 1980. – 152 с.

7. Мадиев У. К. Минеральное дубление в производстве кож / У. К. Мадиев. – М. : Легпромбытиздат, 1987. – 120 с.

8. Основи створення сучасних технологій виробництва шкіри та хутра : монографія / А. А. Горбачов, С. М. Кернер, О. А. Андреєва, О. Д. Орлова. – К. : КНУТД, 2007. – 190 с.

9. Грищенко І. М. Поліфункціональні шкіряні матеріали / Грищенко І. М., Данилкович А. Г., Мокроусова О. Р. − К. : Фенікс, 2013. – 295 с.

10. O. Mokrousova, A. Danylkovich, V. Palamar, "Resources-saving Chromium Tanning of Leather with the Use of Modified Montmorillonite", Revista de chemie. 2015, Vol. 66, No. 3. P. 353–357.

11. Інноваційні технології виробництва шкіряних і хутрових матеріалів та виробів / Данилкович А. Г., Грищенко І. М., Ліщук В.І. та ін. ; за ред. А. Г. Данилковича. − К. : Фенікс, 2012. − 344 с.

12. Пат. US 4731089 C14C 3/04. Leather tanning process using aluminum (III) and titanium (IV) complexes / Anthony D. Covington. – № 06/788065 ; заявл., 16.10.1985 ; опубл. 15.03.1988.

13. Arife Candas Adiguzel Zengin, Marian Crudu, Stelian Sergiu Maier etc. Eco-leather: Chromium-free Leather Production Using Titanium, Oligomeric Melamine Formaldehyde Resin, and Resorcinol Tanning Agents and the Properties of the Resulting Leathers, Ecology. 2012. Vol. 21, No. 82. P. 17–25.

14. Лук'янець Л. А. Дослідження властивостей нових полімерних матеріалів для шкіряно-хутрового виробництва. Повідомлення 1 / Л. А. Лук'янець, О. А. Андреєва // Вісник Хмельницького національного університету. − 2009. − № 4(137). – С. 208–211.

15. Ніконова А. В. Технологічні властивості хімічних матеріалів для обробки шкіри / А. В. Ніконова, Л. А. Майстренко, О. А. Андреєва // Тези доповідей XIII Всеукр. наук. конф. молодих учених та студентів [«Наукові розробки молоді на сучасному етапі»], (Київ, 24-25 квітня 2014 р.) / Мін-во освіти і науки, Київський національний університет технологій та дизайну. – К. : КНУТД, 2014. –254 с.

16. Данилкович А. Г. Технологія і матеріали виробництва шкіри : [навч. посібник] / А. Г. Данилкович, О. Р. Мокроусова, О. А. Охмат ; під ред. А. Г. Данилковича. – К. : Фенікс, 2009. – 580 с.

References

1. A. N. Mykhailov, Khymyia dubiashchykh veshchestva y protsessov dublenyia, Hyzlehprom, Moskva, 1953, 794 p.

2. V. A. Zhuravskyi, E. Ye. Kasian, A. H. Danylkovych, Tekhnolohiia shkiry ta khutra, DALPU, Kyiv, 1996, 774 p.

3. Ya. Y. Pusty'lnyk, E'kolohycheskoe sravnenye razlychny'kh vydov dublenyia, *Kozha & Obuv*, No. 5-6, 2006, pp. 24-27.

4. O. V. Yurasova, E'kolohycheskye problemy' khromovoho dublenyia, *Uspekhy sovremennoho estestvoznanyia*, No. 9, 2004, pp. 98-99.

5. A. Y. Metelkyn, N. Y. Kolesnykova, Tsyrkonyevoe dublenye, Lehkaia yndustryia, Moskva, 1972, 221 p.

6. A. Y. Metelkyn, N. T. Rusakova,Tytanovoe dublenye, Lehkaia yndustryia, Moskva, 1980, 152 p.

7. U. K. Madyev, Myneralnoe dublenye v proyzvodstve kozh, Lehpromby'tyzdat, Moskva, 1987, 120 p.

8. A. A. Horbachov, S. M. Kerner, O. A. Andreyeva, O. D. Orlova, Osnovy stvorennya suchasnykh tekhnolohiy vyrobnytstva shkiry ta khutra: monohrafiya, KNUTD, Kyiv, 2007.

9. I. M. Hryshchenko, A. H. Danylkovych, O. R. Mokrousova, Polifunktsionalni shkiriani materialy, Feniks, Kyiv, 2013, 295 p.

10. O. Mokrousova, A. Danylkovich, V. Palamar, "Resources-saving Chromium Tanning of Leather with the Use of Modified Montmorillonite", Revista de chemie. 2015, Vol. 66, No. 3. P. 353–357.

11. A. H. Danylkovych, I. M. Hryshchenko, V. I. Lishchuk, Innovatsiini tekhnolohii vyrobnytstva shkirianykh i khutrovykh materialiv ta vyrobiv, Feniks, Kyiv, 2012, 334 p.

12. Pat. US 4731089 C14C 3/04. Leather tanning process using aluminum (III) and titanium (IV) complexes / Anthony D. Covington. – No. 788065/06; Zajavl. 16.10.1985; Opubl. 15.03.1988.

13. Arife Candas Adiguzel Zengin, Marian Crudu, Stelian Sergiu Maier etc. Eco-leather: Chromium-free Leather Production Using Titanium, Oligomeric Melamine Formaldehyde Resin, and Resorcinol Tanning Agents and the Properties of the Resulting Leathers, Ecology. 2012. Vol. 21, No. 82. P. 17–25.

14. L. A. Lukianets, O. A. Andreieva, Doslidzhennia vlastyvostei novykh polimernykh materialiv dlia shkiriano-khutrovoho vyrobnytstva, *Herald of Khmelnytskyi National University*, 2009, Issue 4(137), pp. 208–211.

15. A. V. Nikonova, L. A. Maistrenko, O. A. Andreieva, Tekhnolohichni vlastyvosti khimichnykh materialiv dlia obrobky shkiry. *Naukovi rozrobky molodi na suchasnomu etapi: Tezy dopovidei XIII Vseukr. nauk. konf. molodykh uchenykh ta studentiv, (Kyiv, 24-25 kvitnia 2014 r.)*, M-vo osvity i nauky, Kyivskyi natsionalnyi universytet tekhnolohii ta dyzainu, Kyiv, KNUTD, 2014, pp. 254.

16. A. H. Danylkovych, O. R. Mokrousova, O. A. Okhmat, Tekhnolohiia i materialy vyrobnytstva shkiry, Feniks, Kyiv, 2009, 580 p.

Рецензія/Peer review : 22.06.2015 р. Надрукована/Printed : 29.8.2015 р.
Рецензент: д.т.н., професор Панасюк І. В.

УДК 677.84

Д.І. САПОЖНИК
Львівська комерційна академія

МАСКУВАЛЬНІ ВЛАСТИВОСТІ ТКАНИН СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ З БАГАТОКОЛІРНИМ ЗАБАРВЛЕННЯМ

В роботі досліджено питання особливостей колористичного оформлення та маскувальних властивостей тканин відомчого призначення як важливого чинника формування споживних властивостей цієї групи текстильних матеріалів. Розглянуто питання протидії багатоколірного забарвлення обмундирування військових засобам оптичної дешифрації.

Зроблений висновок про обов'язковість врахування впливу чинників фізичного зношування в реальних умовах експлуатації як самого текстильного субстрату, так і нанесених на нього барвників і можливості втрати ними маскувальних властивостей та дешифрування під час використання сучасних засобів оптичного та електронного спостереження.

Ключові слова: тканина, колористичне оформлення, дешифрування, камуфляж, маскування.

D.I. SAPOZHNIK
Lviv Commercial Academy

MASKING PROPERTIES OF MULTICOLOURED FABRICS FOR SPECIAL PURPOSE

The issue of peculiarities of coloristic decoration and masking properties of tissues for internal use is investigated in the work. Those peculiarities are the important factor in the formation of consumer properties of this group of textile materials. Questions of counteraction of multicolour military uniform against optical decryption means is examined.

Conclusion was made about factors of physical influence in the real exploitation process as the textile substrate itself as well as the colouring on it and possibilities of loss of its camouflage properties and decryption using modern means of optical and electronic surveillance.

Keywords: fabric, painting, colourful design, decoding, camouflage, disguise.

Постановка проблеми

Видовий асортимент текстильних матеріалів, які використовуються для виготовлення верху форменого спеціального одягу військових, є достатньо широким. Ще більш широким є перелік вимог до їх властивостей, характеристик і параметрів, що визначають призначення та особливості використання [1].

Для оцінювання споживних властивостей текстильних матеріалів, виявлення ступеня їх зношування, прогнозування стану під час експлуатації відомі і застосовуються так звані діагностичні параметри. Діагностичні параметри обирають з множини принципово можливих параметрів, виходячи з функціонального призначення матеріалу, досліджуючи інформативність ознак, формування яких базується на цих параметрах. На основі інформативності ознак визначають кінцевий варіант властивостей об'єктів оцінювання, які використовуються в подальшому для діагностування та прогнозування стану готових виробів з текстильних матеріалів [2].

Розпочате реформування системи речового постачання військовослужбовців, у тому числі і підрозділів, які знаходяться в реальних польових умовах та інформація про події останнього часу в окремих регіонах країни свідчать про виникнення нагальної необхідності дослідження властивостей тканин спеціального призначення з багатоколірним забарвленням (так званих, камуфльованих)т а їх зміни в реальних умовах експлуатації (втрати маскувальних властивостей) з огляду на сучасний стан розвитку та можливостей дешифрування військових об'єктів при використанні сучасних засобів оптичного та електронного спостереження.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Засоби оптичного маскування, що зазвичай перебувають у речовому постачанні військових підрозділів армій світу, включають маскувальний одяг і маскувальні комплекти. Маскувальний одяг є індивідуальним маскувальним засобом і призначається для утаєння особового складу від візуального спостереження, фотографування та інших способів оптичного спостереження та розвідки [3].

Маскувальне обмундирування і спорядження повинно приховувати об'єкт від спостереження неозброєним оком за умови його хорошого пристосування до оточуючої місцевості на відстані від 20 м. Забарвлення одягу повинно бути підібрано таким чином, що він не дешифрується при спостереженні в видимій зоні спектру. Камуфляж (фр. camouflage – «маскування») – плямисте маскувальне забарвлення, що застосовується для зменшення помітності людей, техніки, споруд за рахунок оптичного «розбивання» силуету замаскованого предмета. Винахід камуфляжу пов'язують з американським художником Ебботом Тейером (Abbott Handerson Thayer). «Закон Тейера» послужив базою для створення теорії наукової мімікрії, а на її основі були розроблені принципи військового камуфляжу. На початок Другої світової війни камуфляж вже використовувався у всіх родах військ із урахуванням географічних особливостей місця передбачуваного бою. У 1944 році з'явилися костюми камуфляжів ясно-зеленого кольору з брудно-сірим малюнком, що імітував листя, або з малюнком, що нагадує нинішній «цифровий» камуфляж.

Огляд інформаційних джерел за напрямком дослідження свідчить про проблемність оцінювання

параметрів властивостей текстильних матеріалів з багатоколірним забарвленням, багато в чому через комплексність характеристик таких матеріальних текстильних об'єктів та відсутність в номенклатурі не тільки обов'язкових, але й рекомендованих показників якості текстильних матеріалів. Крім того, в спеціальних дослідженнях практично не приділяється увага питанням збереження маскувальних властивостей одягових текстильних матеріалів в процесі використання під дією чинників їх зношування в реальних умовах експлуатації .

Формулювання цілі статті

В даний час існує загальне прагнення кожної армії мати один універсальний малюнок, допрацьовуються колірні вирішення цього малюнка залежно від типу місцевості. Для Радянського Союзу таким загальним малюнком був спочатку «Бутан» (що існував у вигляді колірних рішень для лісу – на маскувальному костюмі КМ-Л, і у вигляді рішення для пустельно-степової місцевості – на КМ-П), потім «Флора», що також мала більш за одне колірне рішення, і в даний час — маскувальний малюнок «Темний». Якщо «Темний» спочатку розроблявся як універсальний малюнок, а «Бутан» передбачалося використовувати як мінімум в двох колірних рішеннях на різній місцевості (що теж вимагає універсальності), то «Флора» була пристосована саме під зелений рослинний, переважно лісовий фон місцевості, що зрештою і призвело до відмови від цього малюнка у Збройних Силах РФ. Камуфляжний малюнок «Дубок», він же «Бутан», розроблений в 1984 році для Радянської Армії, після розпаду СРСР і до теперішнього часу використовується у підрозділах Збройних Сил України. Рисунок складається з трьох кольорів: ясно-зелений фон із темно-зеленими і коричневими плямами.

В останні роки, український військово-польовий Бренд P1G-Tac зайнявся створенням свого нового універсального камуфляжу, поклавши в основу вивчення різних природних маскувальних рисунків тварин. Камуфляж розроблявся для польового використання в степовій, лісостеповій і лісистій місцевості України в теплу пору року [4].

Виклад основного матеріалу

Як відомо, захисне маскувальне фарбування текстильних матеріалів для польового обмундирування військових має на меті зменшенні помітності об'єкту при належній відповідності між коефіцієнтом відбивання забарвлення предмету і коефіцієнтом яскравості фону, оскільки наявність певної відмінності в тоні зображень об'єкту і оточуючого фону є необхідною умовою для оптичного дешифрування першого [5]. Максимальний ефект маскування буде досягнутий у випадку, коли яскравість фону буде рівна яскравості об'єкту, а їх контраст буде дорівнювати нулю, Ця умова справедлива і для захисних (одноколірних), і для камуфляжних (багатоколірних) забарвлень. У свою чергу, демаскування здійснюється шляхом визначення колірного контрасту об'єкту і фону або шляхом порівняння їх фактурних властивостей (різниці в характері розподілу в просторі світла, що йде від об'єкту і від фону). При оптичному спостереженні використовуються властивості розповсюдження променистої енергії видимого світла, ІЧ- і УФ-променів. Виявлення здійснюється по одній з характеристик кольору: колірному тону, насиченості або яскравості.

Перспективи створення нових поколінь засобів електронного оптичного спостереження пов'язані з використанням перетворювачів зображення, що працюють в області спектру від 0,9 до 2 мкм, що забезпечують спостереження в широкому діапазоні зовнішніх умов, де контраст між природним фоном і формою камуфляжу вищий. На рис. 1 наведені криві, що характеризують відбивну здатність тканин польового обмундирування військових колишнього СРСР (крива *1*), форми військового США (крива *2*) і натуральної рослинності (крива *3*), з яких видно, що в області спектру від 1,4 до 2 мкм різниця відбивної здатності обмундирування дозволяє не тільки виявити військового на фоні зелені, але і відрізнити «свого» від «чужого».

Камуфляжне забарвлення одягу військового дозволяє візуально замаскувати об'єкт на фоні навколишнього природного середовища. Проте, будучі розробленим для видимого діапазону спектру, він може бути неефективним для області спектру з довжиною хвилі від 1,4 до 1,8 мкм, в якому узор камуфляжу зникає і виявляється силует замаскованого об'єкту [7]. І це, не враховуючи технічних характеристик приладів нічного бачення останніх поколінь, які мають чутливість близько 2200 мкА/лм та дозвільну здатність більше 64 штр./мм та широкого використання ефективних тепловізорних пристроїв, що забезпечують можливість спостереження в темний час доби, застосовуючи принципи теплобачення. Поєднання оптико-електронних систем з радіоелектронними, акустичними та іншими засобами за наявності потужних обчислювальних систем і телекомунікаційних каналів дозволяє в реальному масштабі часу досить надійно вирішувати завдання виявлення, дешифрування, розпізнавання, класифікації і ідентифікації самих різних об'єктів.

Камуфляж, або спотворювальне фарбування предмету плямами різних кольорів, служить для зменшення помітності предмету на відстані під час його спостереження. В цьому випадку окремі плями зливаються один з одним і забарвлення діє як захисне. При цьому має місце деформація силуету предмету. При камуфлюванні найчастіше використовують триколірне забарвлення, що містить один темний і два світлі кольори, останні з яких повинні відповідати забарвленню фону у формі плям неправильної форми. Спотворення засноване на злитті з фоном («відпаданні» до фону) за певних умов освітлення частини плям камуфляжу, тоді як плями, що контрастують з тими, що відпали до фону, видно. При цьому часто темні

плями сприймаються як тінь від предметів, що знаходяться поряд.

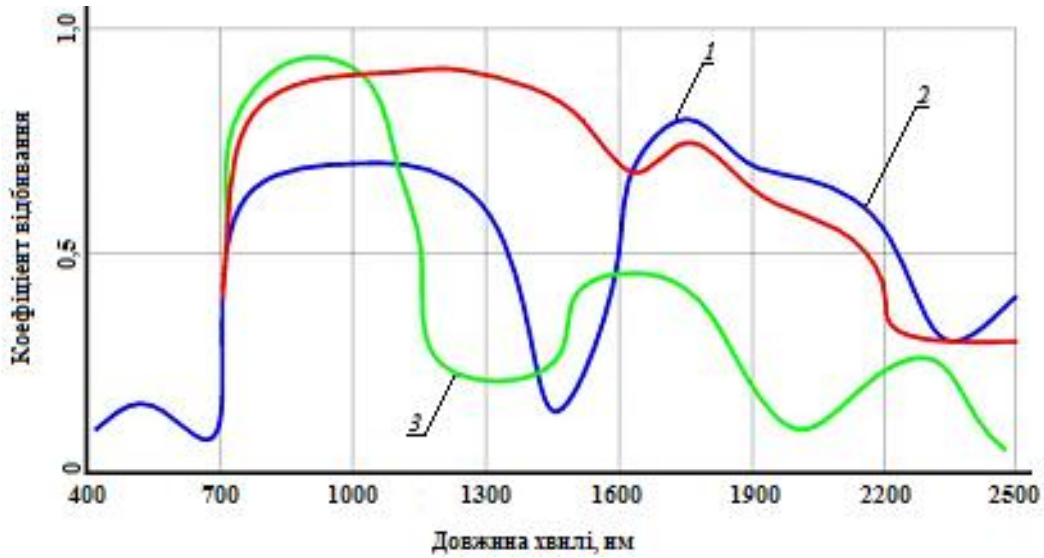


Рис. 1. Криві відбивальної здатності тканин польового обмундирування військових, забарвленого у один із кольорів зеленої гами [6]:
1 – форма військового бувшого СРСР; 2 – форма військового США; 3 – натуральна рослинність

Створити ідеальний універсальний камуфляж неможливо, тому військові віддають перевагу спеціалізованим камуфляжам, можливості яких максимально розширені, оскільки для кожної природної зони необхідний свій вид камуфляжу [8]. Ефективність маскування у видимій і ІЧ-областях залежить від підстроювання спектральних властивостей засобів маскування до навколишнього природного середовища. У процесі створення маскувального камуфльованого рисунку використовується сучасне програмне забезпечення, що дозволяє моделювати різні умови освітлення камуфльованого об'єкта і навколишнього ландшафту в тривимірному просторі в режимі реального часу. Результатом цієї роботи можна назвати, як вважають в окремих колах, ідеальний для території України камуфляж – «Жаба», який, на існуючу думку, успішно камуфлює людську фігуру практично на всіх ландшафтах, що володіють рослинністю, і на будь-яких дистанціях спостереження.

На нашу думку, для винесення остаточного рішення щодо такого твердження, слід обов'язково враховувати вплив чинників фізичного зношування в реальних умовах експлуатації як самого текстильного субстрату, так і нанесених на нього барвників [9, 10]. А також можливості втрати ними маскувальних властивостей та дешифрування при використанні сучасних засобів оптичного та електронного спостереження [11].

Висновок

Проведений огляд доступної літератури з питання колористичного оформлення тканин військового призначення з метою надання ним маскувальних властивостей, дозволяє зробити висновок, що матеріали для польового обмундирування військовослужбовців повинні володіти не тільки високою стійкістю фізико-механічних властивостей до дії різноманітних чинників зношування. Велика увага повинна бути приділене зміні колориметричних показників і коефіцієнтів відбивання в різних спектральних інтервалах, оскільки забезпечення виконання забарвленням функцій маскування є основою забезпечення безпечної професійної діяльності військовослужбовців, а також можливості втрати ними маскувальних властивостей та дешифрування при використанні сучасних засобів оптичного та електронного спостереження.

Також, слід враховувати реальні умови експлуатації одягу, проблеми в текстильній та дотичних до неї забезпечувальних галузей промисловості, а також специфічність умов щодо масового виробництва одягу та польового спорядження відомчого призначення та контролю за ним з боку відповідних державних та військових структур.

Автоматично це все вимагає перегляду норм термінів речового забезпечення військовослужбовців, їх корегування та чіткого окреслення значень характеристик маскувальних властивостей текстильних матеріалів та обґрунтування причин виведення з експлуатації обмундирування з багатоколірним маскувальним забарвленням у випадку невиконання ним свого функціонального призначення, можливості оптичного дешифрування замаскованих об'єктів в різних спектральних зонах спостереження та появи в результаті цього загрози для життя військових.

Література

1. ТУ У 13.2-00034022-024:2015. Тканини бавовняні та змішані для виготовлення верху форменого та спеціального одягу. Загальні технічні умови [Електронний ресурс]. – Режим доступу :

http://www.mil.gov.ua/content/other/TO_tkanuna_watermark.pdf.

2. Калявин В. П. Технические средства диагностирования / В. П. Калявин, А. В. Мозгалевский. – Л. : Судостроение, 1984. – 210 с.

3. Маскування [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://murmolka.com/post/ 65148/Entsiklopediya-po-bezopasnosti-SHok-Gaz-Orujie-Vyiderjki.

4. Камуфляж «Жаба» [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http:// patriotshop.com.ua/index.php?route=information/news&news_id=293.

5. Камуфляж [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://patriotshop.com.ua.

6. Банчило И. Н. Состояние и перспективы развития техники ночного видения / И. Н. Банчило, О. К. Ушаков // Сб. научн. трудов аспирантов и молодых ученых Сибирской государственной геодезической академии. – Новосибирск : СГГА, 2005. – Вып. 2. –С. 84–91.

7. Волков В. Г. Приборы ночного видения новых поколений / В .Г. Волков // Специальная техника. – 2001. – № 5. – С. 2–8.

8. Челмодеева Т. А. Система подбора и генерации камуфлированных тканей для проектирования форменной одежды / Т. А. Челмодеева, А. А. Герун [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.ntimgudt.ru/attachments/528_сборни%20студенческий%202013.pdf.

9. Пугачевский Г. Ф. Трехцветное крашение и его влияние на изнашивание тканей / Г. Ф. Пугачевский, Д. И. Сапожник // Тез. докл. XII Всес. конф. по текстильному материаловедению. – К. : КТИЛП, 1988. – Т. 3. – С. 80–81.

10. Сапожник Д. И. Особенности изнашивания тканей с многоцветной окраской и разработка метода оценки светоустойчивости текстильных материалов (на примере одежных тканей ведомственного назначения) : автореферат дис. : спец. 05.19.08 – Товароведение промышленных товаров и сырья легкой промышленности / Сапожник Д. И. – М. : Типография ЦУМКа Центросоюза, 1989. – 22 с.

11. Сапожник Д.И. Оценка качества тканей с многоцветным рисунком / Д. И. Сапожник, Г. Ф. Пугачевский // Материалы международной научной конференции «Новое в технике и технологии текстильной промышленности». – Витебск : Типография Витебского технологического института легкой промышленности, 1994. – С. 101–103.

References

1. TU U 13.2-00034022-024:2015. Tkanyny bavovnyani ta zmishani dlya vyhotovlennya verkhu formenoho ta spetsial'noho odyahu. Zahal'ni tekhnichni umovy. URL: http://www.mil.gov.ua/content/other/TO_tkanuna_watermark.pdf

2. Kalyavyn V.P., Mozhalevskyy A.V. Tekhnycheskye sredstva dyahnostyrovanyya. Lenyngrag, Sudostroenye, 210 p.

3. Maskuvannya. URL: http://murmolka.com/post/ 65148/Entsiklopediya-po-bezopasnosti-SHok-Gaz-Orujie-Vyiderjki

4. Kamuflyazh «Zhaba». URL: http:// patriotshop.com.ua/index.php?route=information/news&news_id=293

5. Kamuflyazh. URL: http://patriotshop.com.ua

6. Banchylo Y.N., Ushakov O.K. Sostoyanye y perspektyvy` razvytyya tekhnyky nochnoho vydenyya. *Sbornyk nauchny`kh trudov aspyrantov y molody`kh ucheny`kh Sybyrskoy hosudarstvennoy heodezycheskoy akademyy*, Vol. 2, Novosybyrsk, SGGA, 2005, pp. 84-91.

7. Volkov V.H. Prybory` nochnoho vydenyya novy`kh pokolenyy, *Spetsyal'naya tekhnyka*, 2001, No. 5, pp. 2-8.

8. Chelmodeeva T.A. Systema podbora y heneratsyy kamuflyrovannыkh tkaney dlya proektyrovanyya formennoy odezhdы. URL: http://www.ntimgudt.ru/attachments/ 528_sborny%20studencheskyy%202013.pdf

9. Puhachevskyy G.F., Sapozhnyk D.Y. Trekhtsvetnoe krashenye y eho vlyyanye na yznashyvanye tkaney. *Tezysy` dokladov XII Vsesoyuznoy konferenczyy po tekstyl'nomu materyalovedenyyu, Vol. 3*, Kyev, KTYLP, 1988, pp. 80-81.

10. Sapozhnyk D.Y. Osobennosty yznashyvanyya tkaney s mnohotsvetnoy okraskoy y razrabotka metoda otsenky svetoustoychyvosty tekstyl'ny`kh materyalov (na prymere odezhny`kh tkaney vedomstvennoho naznachenyya). *Avtoreferat dysertatsyy. Spetsyal'nost' 05.19.08 – Tovarovedenye promy`shlenny`kh tovarov y sy`r'ya lehkoy promy`shlennosty*, Moskva, Typohrafyya TsUMKa Tsentrosoyuza, 1989, 22 p.

11. Sapozhnyk D.Y. Otsenka kachestva tkaney s mnohotsvetny`m rysunkom. *Materyaly` mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsyy «Novoe v tekhnyke y tekhnolohyy tekstyl'noy promy`shlennosty»*, Vytebsk: Typohrafyya Vytebskoho tekhnolohycheskoho ynstytuta legkoy promy`shlennosty, 1994, pp. 101-103.

Рецензія/Peer review : 23.5.2015 р. Надрукована/Printed :31.8.2015 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Семак Б.Д.

РАДІОТЕХНІКА, ЕЛЕКТРОНІКА ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ

УДК 621.396.96

Ю.М. БОЙКО
Хмельницький національний університет
В. М. ТКАЧУК
Вінницький технічний коледж

РОЗРОБКА ТА АНАЛІЗ МОДИФІКОВАНИХ СХЕМ СИНХРОНІЗАЦІЇ БЛОКІВ ОБРОБЛЕННЯ СИГНАЛІВ ЗАСОБІВ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ

Проведено аналіз принципів реалізації процесу нерівномірної дискретизації з метою ефективного вирішення проблеми зміни частоти дискретизації на будь-яку довільну частоту дискретизації. Запропоновано метод перетворення частоти дискретизації за допомогою поліфазних фільтрів, які введено до складу блоку оброблення сигналів. Розроблено механізм та математичні моделі формалізації опису процесу побудови модифікованої конструкції поліфазних фільтрів для використання їх в пристроях синхронізації засобів телекомунікацій. Розглянуто питання ефективного перетворення частоти дискретизації між довільними відліками з метою мінімізації обчислювальної складності поліфазних структур та запропоновано каскадну конструкцію на поліноміальних інтерполяторах для блоків синхронізації засобів телекомунікацій. Розроблено модифіковану схему синхронізації блоків оброблення сигналів засобів телекомунікацій з використанням запропонованих поліфазних фільтрів. Сформовано Simulink-модель модифікованого пристрою синхронізації та імітаційним моделюванням отримано залежності для визначення результатів підвищення завадостійкості методом око-діаграм, констеляційних діаграм при застосуванні запропонованих схем.

Ключові слова: передискретизація, поліфазний фільтр, синхронізація, інтерполяція.

J.M. BOIKO
Khmelnytskyi National University
V. M. TKACHUK
Vinnytsia Technical College

DEVELOPMENT AND ANALYSIS OF THE MODIFIED SYNCHRONIZATION SCHEME SIGNAL PROCESSING UNITS OF TELECOMMUNICATIONS DEVICES

Abstract - The analysis of the principles of non-uniform sampling to solve the problem, change the sampling frequency at any arbitrary sample rate. A method for converting the sampling frequency using polyphasic filters are incorporated into the signal processing unit. Mathematical models formalizing the process of building retrofit design polyphasic filters for use in devices synchronization of telecommunications. The question of effective sampling rate conversion between any samples in order to minimize the computational complexity polyphasic structures and cascade design proposed for polynomial interpolation for blocks synchronization of telecommunications. A modified circuit block synchronization signal processing telecommunications using polyphasic proposed filters. Formed Simulink-model and modified device synchronization obtained by simulation for determining results depending improve noise immunity by eye charts, constellation diagrams in the application of the proposed schemes.

Keywords: resampling, polyphasic filter, synchronization, interpolation.

Вступ

При дискретизації сигналу, що згадується в контексті цифрової обробки сигналів, звичайно передбачається, що вибірка вважається детермінованою і періодичною. Перетворення частоти дискретизації $F = 1/T$ представляє собою зміну частоти дискретизації дискретного сигналу. Коли нова частота дискретизації вища за дійсну так, що $F' > F$ і $T' < T$, то загалом цей процес називається інтерполяцією, суть якої полягає в додаванні нулів кількістю (F'/F) -1 між двома сусідніми відліками. В результаті утворюється нова послідовність із частотою дискретизації F', до якої застосовується інтерполяційний фільтр. Коли нова частота дискретизації нижче за дійсну так, що $F' > F$ і $T' < T$, то цей процес називається децимацією. При цьому з послідовності $x(n)$ відкидаються (F'/F) -1 відліків між відліками $x(i)$ і $x(i + F'/F)$. Але, перед усуненням «зайвих» відліків виконують фільтрацію сигналу з метою усунення високочастотних складових, щоб не допустити виникнення їх накладень. Перетворення частоти дискретизації за допомогою інтерполяції або децимації може здійснюватися в ціле число раз. У випадках, коли коефіцієнт перетворення є раціональним числом M/N, застосовують послідовне виконання інтерполяції в M разів і децимації в N разів. При правильному виборі цілих коефіцієнтів M і N можна реалізувати практично будь-яке значення коефіцієнта перетворення.

Дискретизація може бути рівномірною, якщо крок дискретизації рівномірний, і нерівномірною. Нерівномірна дискретизація буває адаптивною, програмною або випадковою. При адаптивній дискретизації крок дискретизації вибирають залежно від характеру зміни сигналу в розглянутий проміжок часу, а програмна дискретизація проводиться за заздалегідь установленою програмою роботи.

Спеціальні інтерполяційні фільтри можна використати для розрахунку нових вибіркових значень $y(l)$ в довільних точках $t_l = (n_l + \mu_l)T_{in}$ між існуючими відліками $x(n_l)$ і $x(n_l + 1)$. Тут T_{in} – період вибірки. На рис. 1: $y_a(t)$ – вихідний неперервний сигнал, а $x_a(t)$ – сигнал отриманий за допомогою

дискретних відліків $x(n)$. Значення дискретного відліку позначено на рисунку як $n_l T_{in}$ та $\mu_l \in [0,1)$ – дробовий інтервал.

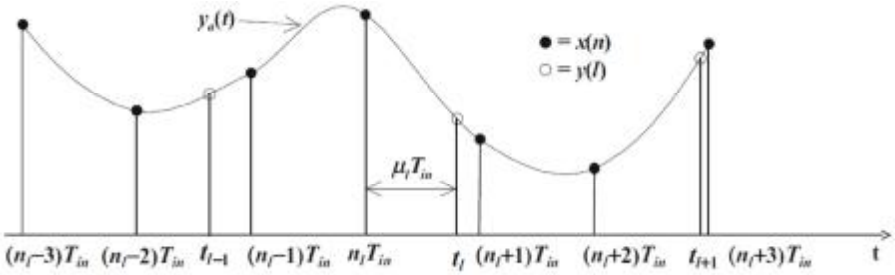


Рис. 1. Приклад інтерполяції в часовій області

Будемо використовувати вхідні параметри n_l і μ_l для визначення часових відліків t_l для $l-$ї вихідної вибірки $y(l) = y_a(t_l)$ і $t_l = (n_l + \mu_l)T_{in}$. На рис. 2 представлена узагальнена блок-схема інтерполяційного фільтру.

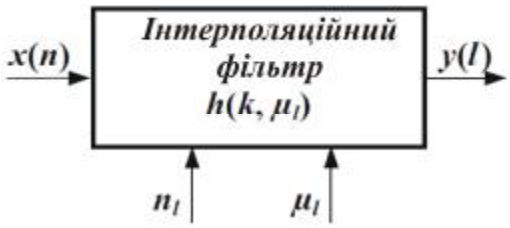


Рис. 2. Узагальнена блок-схема інтерполяційного фільтра

Найбільш відповідна структура поліфазного фільтра для відновлення нерівномірної дискретизації була запропонована Фарроу. Структура Фарроу базується на поліноміальній інтерполяції і забезпечує ефективне вирішення проблеми зміни частоти дискретизації на будь-яку довільну частоту дискретизації. Класичні методи поліноміальної інтерполяції побудовані на інтерполюванні значень функції багаточленом певного ступеня.

Правильна демодуляція квадратурних сигналів можлива лише когерентним способом, для чого необхідно максимально точно виконати умову синхронізації по фазі місцевого опорного генератора приймального пристрою з несучою. У випадку цифрового супутникового телекомунікаційного каналу немає можливості безпосередньо синхронізувати передавач і приймач [1–10], тому копію несучої в приймачі необхідно відновлювати з прийнятого сигналу, крім того важливо забезпечити правильну роботу пристрою тактової синхронізації [1, 2, 7].

Для підвищення ефективності синхронізації в роботі пропонується метод перетворення частоти дискретизації за допомогою поліфазних фільтрів які введено до складу блоку оброблення сигналів. Поліфазний фільтр являє собою набір невеликих фільтрів, що працюють паралельно, кожний з яких обробляє тільки підмножину відліків сигналу. При цьому не формується нова послідовність і не виконуються зайві обчислення, тому що для кожного відліку необхідно обчислити вихідний сигнал тільки одного з цих фільтрів [11, 12]. В цьому випадку на перший план виходять питання оптимізації обчислювальної здатності таких фільтрів, отже, необхідно розробити механізм та математичні моделі побудови модифікованої конструкції таких пристроїв для використання їх в пристроях синхронізації засобів телекомунікацій. Саме цим актуальним питанням присвячена стаття. З метою практичного дослідження пристроїв синхронізації телекомунікаційних систем в роботі використано методи математичного та імітаційного моделювання, з використанням засобів Simulink, Matlab, AWR, середовища Wolfram Mathematica, Mathcad.

Аналіз останніх досліджень і публікацій та розробка питання синтезу поліфазних фільтрів пристроїв синхронізації блоків обробки сигналів засобів телекомунікацій

Задача динамічного перетворення частоти дискретизації вирішується в два етапи: апроксимація сигналу з нерівномірною дискретизацією аналітичним виразом (інтерполяція по множині значень сигналу), та програмна реалізація.

Основне рівняння інтерполяції дискретного сигналу записується у вигляді [11, 12]:

$$y(lT_i) = y[(n_l + \mu_l)T_{in}] = \sum_{i=I_1}^{I_2} x[(n_l - i)T_{in}]h_I[(i + \mu_l)T_{in}], \quad (1)$$

де $\{x(n)\}$ – послідовність відліків сигналу з інтервалом T_{in}; $h_I(t)$ – імпульсна характеристика інтерполяційного нерекурсивного фільтру; i – індекс фільтру; n_l – вихідна координата, яка визначає $I = I_2 - I_1 + 1$ відліків сигналу для використання $l-$м інтерполятором; μ_l – дробовий інтервал дискретизації, який визначає коефіцієнти фільтра $l-$го інтерполянта.

Імпульсна характеристика інтерполяційного фільтру виражається в кожному інтервалі T_S за допомогою полінома ступеня *M*:

$$h_I(t) = h_i\left[(i+\mu_l)T_{in}\right] = \sum_{m=0}^{M} c_m(i)\mu_l^m \ . \quad (2)$$

Число поліноміальних коефіцієнтів $c_m(i)$ є постійним, яке не залежить від μ_l, і визначається виключно імпульсною характеристикою інтерполяційного фільтра $h_I(t)$.

Після математичних перетворень отримаємо вирази інтерполянтів:

$$y(l) = \sum_{i=I_1}^{I_2} x(n_l - i) \sum_{m=0}^{M} c_m(i)\mu_l^m = \sum_{m=0}^{M} \mu_l^m \sum_{i=I_1}^{I_2} c_m(i)x(n_l - i) = \sum_{m=0}^{M} \mu_l^m n(m). \quad (3)$$

$$n(m) = \sum_{i=I_1}^{I_2} c_m(i)x(n_l - i), \quad (4)$$

де $n(m)$ – відліки сигналу з виходу M+1 інтерполяційних нерекурсивних фільтрів з відповідними коефіцієнтами імпульсної характеристики $c_m(I_1)$, $c_m(I_1+1)...c_m(I_2)$.

Тоді передавальна функція такого нерекурсивного фільтра буде мати вигляд:

$$C_m(z) = \sum_{i=I_1}^{I_2} c_m(i)z^{-i} \ . \quad (5)$$

Таким чином, вираз (5) поліном від μ_l^m який буде єдиним змінним параметром структури. Структура яка описується виразами (3) та (4) є структурою Фарроу. До складу такої структури входить M+1 нерекурсивних фільтрів з постійними коефіцієнтами увімкненими паралельно виходи яких множаться на дробовий інтервал дискретизації μ_l^m, та додаються відповідно до рис. 3. Тут використано позначення $x(n_l - \frac{N}{2})$, N – довжина фільтрів. Характерною особливістю такої структури є те, що передавальні функції нерекурсивних фільтрів $C_m(z)$, $m = 0.1...M$ не залежать від μ_l.

Використаємо поліноми Лагранжа для побудови фільтрів Фарроу. Представимо неперервний сигнал $y_a(t)$ як суму добутків відліків $y(l)$ на поліном Лагранжа $X_I^{M-1}(t)$.

$$y_a(t) = \sum_{n=0}^{M-1} y(l) \cdot X_I^{M-1}(\mu_l). \quad (6)$$

тут M – степінь полінома, поліном дорівнює одиниці в момент дискретизації $l-$ го відліку і дорівнює нулю в інші моменти дискретизації.

Для M відліків сигналу використовуємо M різних поліномів. Записуємо поліноми Лагранжа [13]:

$$X_I^{M-1}(t) = \frac{\prod_{m=0, t\neq m}^{M-1} (\mu_l - m)}{\prod_{m=0, t\neq m}^{M-1} (t-m)}, \quad (7)$$

де t і m моменти дискретизації.

Для моментів дискретизації $t = (-2,-1,0,1)$ отримаємо: $t_0 = -2$, $t_1 = -1$, $t_2 = 0$; $t_3 = 1$. Використовуємо формулу (7) та отримаємо:

$$X_0^3(\mu_l) = \frac{(\mu_l+1)\cdot\mu_l\cdot(\mu_l-1)}{(-2+1)\cdot(-2)\cdot(-2-1)} = -\frac{1}{6}\cdot\mu_l^3 + \frac{1}{6}\cdot\mu_l;$$

$$X_1^3(\mu_l) = \frac{(\mu_l+2)\cdot\mu_l\cdot(\mu_l-1)}{(-1+2)\cdot(-1)\cdot(-1-1)} = \frac{1}{2}\cdot\mu_l^3 + \frac{1}{2}\cdot\mu_l^2 - \mu_l;$$

$$X_2^3(\mu_l) = \frac{(\mu_l+2)\cdot(\mu_l+1)\cdot(\mu_l-1)}{2\cdot1\cdot(-1)} = -\frac{1}{2}\cdot\mu_l^3 + \mu_l^2 + \frac{1}{2}\cdot\mu_l + 1; \quad (8)$$

$$X_3^3(\mu_l) = \frac{(\mu_l+2)\cdot(\mu_l+1)\cdot\mu_l}{(1+2)\cdot(1+1)\cdot(1)} = \frac{1}{6}\cdot\mu_l^3 + \frac{1}{2}\mu_l^2 + \frac{1}{3}\cdot\mu_l;$$

Неперервний сигнал опишемо кубічними поліномами наступного вигляду:

$$y_a(t) = \sum_{l=0}^{3} y(l)\cdot X_I^{M-1}(\mu_l) = y(0)\cdot X_0^3(\mu_l) + y(1)\cdot X_1^3(\mu_l) + y(2)\cdot X_2^3(\mu_l) + y(3)\cdot X_3^3(\mu_l), \quad (9)$$

або:

$$y_a(t) = y(0)\cdot\left(-\frac{1}{6}\cdot\mu_l^3+\frac{1}{6}\cdot\mu_l\right)+y(1)\cdot\left(\frac{1}{2}\cdot\mu_l^3+\frac{1}{2}\cdot\mu_l^2-\mu_l\right)+$$
$$+y(2)\cdot\left(-\frac{1}{2}\cdot\mu_l^3+\mu_l^2+\frac{1}{2}\cdot\mu_l+1\right)+y(3)\cdot(\frac{1}{6}\cdot\mu_l^3+\frac{1}{2}\mu_l^2+\frac{1}{3}\cdot\mu_l) \quad (10)$$

Тоді після підстановки (8) в (6) та шляхом приведення відносно ступенів μ_l^3 знаходимо поліноміальні коефіцієнти для структури Фарроу:

$$y(l) = x(n)\cdot\left(-\frac{1}{6}\cdot\mu_l^3+\frac{1}{6}\cdot\mu_l\right)+x(n-1)\cdot\left(\frac{1}{2}\cdot\mu_l^3+\frac{1}{2}\cdot\mu_l^2-\mu_l\right)+x(n-2)\times$$
$$\times\left(-\frac{1}{2}\cdot\mu_l^3+\mu_l^2+\frac{1}{2}\cdot\mu_l+1\right)+x(n-3)\left(\frac{1}{6}\cdot\mu_l^3+\frac{1}{2}\mu_l^2+\frac{1}{3}\cdot\mu_l\right)=y(0)+\mu_l\cdot y(1)+ \quad (11)$$
$$+\mu_l^2\cdot y(2)+\mu_l^3\cdot y(3)$$

де $y(0)=x(n-2)$, $y(1)=\frac{1}{6}\cdot x(n)-x(n-1)+\frac{1}{2}x(n-2)+\frac{1}{3}x(n-3)$,

$$y(2)=\frac{1}{2}x(n-1)+x(n-2)+\frac{1}{3}x(n-3),$$

$$y(3)=-\frac{1}{6}x(n)+\frac{1}{2}x(n-1)-\frac{1}{2}x(n-2)+\frac{1}{6}x(n-3).$$

Використаємо формулу (5) та представимо передавальну функцію поліфазного фільтру в наступному вигляді:

$$G_I(z)=C_0(z)+C_1(z)\cdot\mu_l+C_2(z)\cdot\mu_l^2+C_3(z)\cdot\mu_l^3,\ C_0(z)=z^{-2},\ C_1(z)=\frac{1}{6}-z^{-1}+\frac{1}{2}z^{-2}+\frac{1}{3}z^{-3},$$
$$C_2(z)=\frac{1}{2}z^{-1}+z^{-2}+\frac{1}{3}z^{-3}, C_3(z)=-\frac{1}{6}+\frac{1}{2}z^{-1}-\frac{1}{2}z^{-2}+\frac{1}{6}z^{-3}. \quad (12)$$

Коефіцієнти кубічного поліному (9) залежать від відліків вихідного сигналу. Слід зазначити, що $C_1(z)\div C_3(z)$ залежать від чотирьох попередніх значень. Таким чином коефіцієнти полінома (9), відповідно до формули (11) можна отримати використовуючи нерекурсивні (КІХ) фільтри третього порядку.

Використовуємо формулу (12) та коефіцієнти поліфазного фільтру. Отримаємо наступне:

$$C_3(z)=-\frac{1}{6}+\frac{1}{2}z^{-1}-\frac{1}{2}z^{-2}+\frac{1}{6}z^{-3}, \qquad C_3(z)=\frac{1}{6}\left(z^{-3}-z^0\right)+\frac{1}{2}\left(z^{-1}-z^{-2}\right),$$
$$C_1(z)+C_3(z)=\frac{1}{2}z^{-1}+\frac{1}{2}z^{-3}=\frac{1}{2}\left(z^{-1}+z^{-3}\right), \qquad C_1(z)=\frac{1}{2}\left(z^{-3}-z^{-1}\right)-C_3(z), \quad (13)$$
$$C_1(z)+C_2(z)+G_3(z)=z^{-3}-z^{-2}, \qquad C_2(z)=z^{-3}-z^{-2}-C_1(z)-C_3(z).$$

Такі перетворення дозволяють отримати наступний вигляд коефіцієнтів полінома (12):

$$C_0(z)=z^{-2}, C_1(z)=\frac{1}{2}\left(z^{-3}-z^{-1}\right)-C_3(z), C_2(z)=z^{-3}-z^{-2}-C_1(z)-C_3(z),$$
$$C_3(z)=\frac{1}{6}\left(z^{-3}-z^0\right)+\frac{1}{2}\left(z^{-1}-z^{-2}\right). \quad (14)$$

Модифікована схема поліфазного фільтра Фарроу може бути представлена рис. 3. Особливість такої схеми полягає в тому, що вона містить лише три операції множення.

Перепишемо поліноміальні коефіцієнти для структури Фарроу в наступному вигляді за допомогою (14):

$$C_0(\mu)=\frac{\mu^3}{6}-\frac{\mu}{6},$$
$$C_1(\mu)=-\frac{\mu^3}{2}+\frac{\mu^2}{2}+\mu,$$
$$C_2(\mu)=\frac{\mu^3}{2}-\mu^2-\frac{\mu}{2}+1, \quad (15)$$
$$C_1(\mu)=-\frac{\mu^3}{6}+\frac{\mu^2}{2}-\frac{\mu}{3}.$$

Тут, як ми визначили вище, дробовий інтервал μ лежить в межах $\mu\in[0,1)$. Ведемо три базових

полінома з параметром A, наступного виду:

$$X_1(\mu)=\mu,$$
$$X_2(\mu)=-A\mu^2+A\mu, \quad (16)$$
$$X_3(\mu)=-A\mu^3+A\mu.$$

тут $\mu\in[0,1)$ і є перемінним параметром кубічного інтерполятора. Відповідні коефіцієнти перепишемо у наступному вигляді:

$$C_{A,0}(\mu)=-\frac{1}{3}X_3(\mu)=\frac{1}{3}A\mu^3-\frac{1}{3}A\mu,$$
$$C_{A,1}(\mu)=X_3(\mu)-X_2(\mu)+X(\mu)=-A\mu^3+A\mu^2+\mu,$$
$$C_{A2}(\mu)=-X_3(\mu)+2X_2(\mu)-X_1(\mu)+1=A\mu^3-2A\mu^2+(A-1)\mu+1, \quad (17)$$
$$C_{A,1}(\mu)=\frac{1}{3}X_3(\mu)-X_2(\mu)=-\frac{1}{3}A\mu^3+A\mu^2-\frac{2}{3}A\mu.$$

Зміст введення параметра A в тому, що створюються можливості реалізації інтерполяційних пристроїв різної архітектури. Змінюючи параметр A можна отримати різні структури кубічних інтерполяторів, які будуть відрізнятись різними частотними характеристиками і різними реалізаціями. Крім того якщо $A=1$, кубічний інтерполятор із змінними параметрами має приблизну продуктивність кубічного інтерполятора Лагранжа, але з більш простою реалізацією. Саме на такій конструкції зосередимо увагу у наступних дослідженнях. Розглянемо можливості підвищення продуктивності інтерполяційного пристрою для системи синхронізації засобів телекомунікацій. Тут слід зазначити наступне, звичайно кубічний інтерполятор не завжди може задовольнити всі вимоги продуктивності, але однозначно, для підвищення продуктивності інтерполяційного пристрою слід використовувати багаточлен Лагранжа більш високого порядку, що неодмінно вплине на складність такої реалізації. Пропонується новий інтерполяційний пристрій який містить десять коефіцієнтів для кубічного інтерполятора із перемінними параметрами для випадку $A=1$ схема якого представлена на рис. 4.

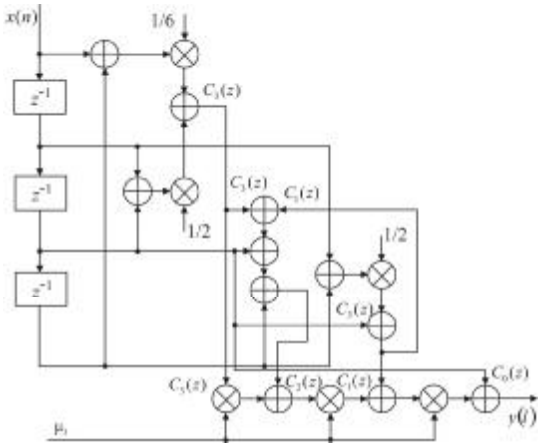


Рис. 3. Модифікована схема поліфазного фільтра Фарроу (варіант 1)

Схема на рис. 4 має наступну конфігурацію – дев'ять операцій зсуву та три операції множення при врахуванні перемінного параметру (дробовий інтервал μ), в базовій схемі кількість множень дорівнювало дев'яти, а в модифікованій, представленій на рис. 3, також трьом. Таким чином схема на рис. 4 має незначні ускладнення. Відповідні коефіцієнти для схеми:

$$C_0(\mu)=-\frac{1}{24}\mu^3+\frac{1}{24}\mu, C_1(\mu)=\frac{1}{8}\mu^3+\frac{1}{8}\mu, C_2(\mu)=-\frac{1}{4}\mu^3+\frac{1}{4}\mu, C_3(\mu)=\frac{1}{2}\mu^3-\frac{1}{3}\mu,$$
$$C_4(\mu)=-\mu^3+\mu^2+\mu, C_5(\mu)=\mu^3-2\mu^2+1, C_6(\mu)=-\frac{1}{2}\mu^3+\frac{3}{2}\mu^2-\mu, C_7(\mu)=\frac{1}{4}\mu^3+\frac{3}{4}\mu^2+\frac{1}{2}\mu,$$
$$C_8(\mu)=-\frac{1}{8}\mu^3+\frac{3}{8}\mu^2-\frac{1}{4}\mu, C_9(\mu)=\frac{1}{24}\mu^3-\frac{1}{8}\mu^2+\frac{1}{12}\mu.$$

Для зміни частоти дискретизації, або для зсуву дискретного сигналу по фазі на величину яка менше інтервалу дискретизації, необхідно представити дискретний сигнал у вигляді безперервної функції часу і провести його повторну дискретизацію (resampling) або як ще кажуть передискретизацію.

Розглянемо як ефективно перетворювати частоту дискретизації між довільними відліками. Необхідність перетворення частоти дискретизації від довільного множника буде розглядатись в контексті можливості використання такого процесу в пристрої синхронізації (бітової синхронізації). Попередньо проведемо дослідження можливостей використання поліфазних фільтрів при вирішенні задачі перетворення частоти дискретизації або ресемплінгу. Дослідження проводилось з метою пошуку конфігурації фільтруючих пристроїв для перетворення частоти дискретизації від 10 кГц до 55,1 кГц. На рис. 5 представлено АЧХ фільтруючих пристроїв для реалізації подібного перетворення частоти дискретизації на прикладі поліноміальної інтерполяції та інтерполяції на основі поліфазних фільтрів за структурою Фарроу синтезованих вище, мінімальне ослаблення в смузі затримки – 60 дБ. Результати операції ресемплінгу в цьому випадку можна характеризувати таким показником як кількість коефіцієнтів фільтру які повинні бути збережені в пам'яті, кількість яких в цьому випадку склало 6382, виконувалось 80 операцій множення і 75 додавання. Очевидно, що такий підхід вимагає досить значних об'ємів пам'яті та значну обчислювальну

складність. Якщо використати підхід на основі поліфазних фільтрів Фарроу то можна значно зменшити обчислювальну складність реалізації фільтруючих пристроїв. В порівнянні з поліноміальним фільтром, число коефіцієнтів які зберігаються в пам'яті в цьому випадку суттєво знижується від 6382 до 79. Однак, кількість операцій у вхідній вибірці значно збільшилася (з 80 до 435 множень в структурі обчислень і від 75 до 408 операцій додавання). На рис. 6 представлено імпульсні характеристики досліджуваних фільтрів.

Подальші дослідження реалізації фільтруючих пристроїв зосередимо на використанні гібридної конструкції. Використаємо поєднання каскадної конструкції фільтру реалізованого інтерполятором Фарроу і нерекурсивного поліноміального фільтру (КІХ), а також рекурсивного (БІХ) фільтру. Використовуємо кубічний поліном Лагранжа, описаний вище, для формування інтерполятора Фарроу. Подібно до проведеного вище дослідження, визначимо кількість коефіцієнтів фільтру які повинні бути збережені в пам'яті, мінімізація кількості яких буде визначати ефективність запропонованої конструкції.

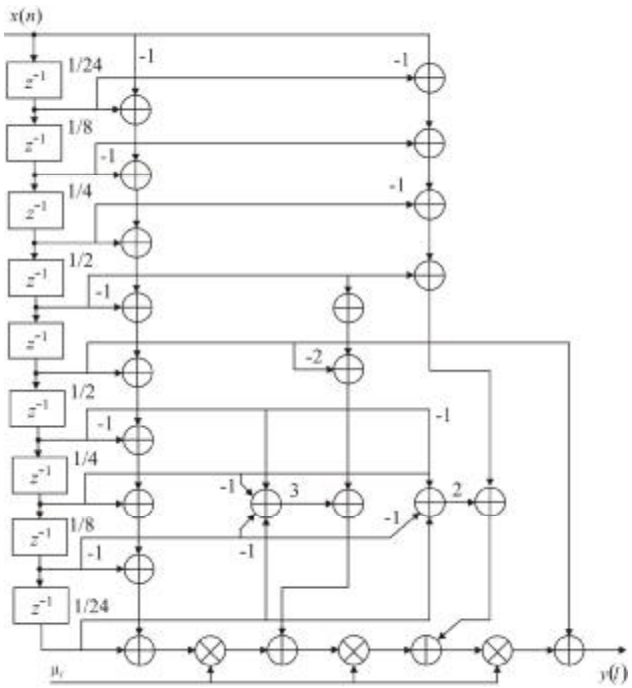


Рис. 4. Модифікована схема поліфазного фільтра Фарроу (варіант 2)

Результати досліджень наступні: кількість коефіцієнтів цієї гібридної конструкції є найнижчою (32 порівняно з 79 для одноступінчастої конструкції інтерполятора Фарроу і з 6382 для одноступінчастої конструкції поліноміального інтерполятора). Крім того, число операцій при обробці вхідних відліків збільшилася лише незначним чином (від 80 до 94 операцій множень у вибірці і з 75 до 86 операцій додавання у вибірці) в порівнянні з дослідженими одноступінчастими конструкціями.

Аналогічно, використовуючи каскадну конструкцію поліноміальних рекурсивних (НІХ) фільтрів та фільтрів на інтерполяторах Фарроу отримаємо, що кількість коефіцієнтів додатково знижується з 32 до 19, кількість операцій множення та додавання зменшується відповідно з 94 до 76 і з 86 до 81. На рис. 7 а, представлено порівняльні АЧХ фільтрів на поліноміальних інтерполяторах з каскадною конструкцією та на інтерполяторах Фарроу та на рис. 7б, порівняльні АЧХ каскадних конструкцій з поліноміальними нерекурсивними та рекурсивними фільтрами при вирішенні задачі ресемплінгу в засобах телекомунікацій.

Поліноміальний фільтр особливо добре підходить для ресемплінгу або децимації в ціле число разів, а для дробових перетворень швидкостей, коли фактори інтерполяції і децимації низькі, досить ефективні фільтри на поліфазних інтерполяторах Фарроу, які можуть ефективно здійснювати довільний (ірраціональний) ресемплінг. Мінімізацію обчислювальної складності фільтруючих пристроїв можна проводити шляхом застосування каскадної конструкції, поєднанням поліноміальних інтерполяторів з інтерполяторами за структурою Фарроу.

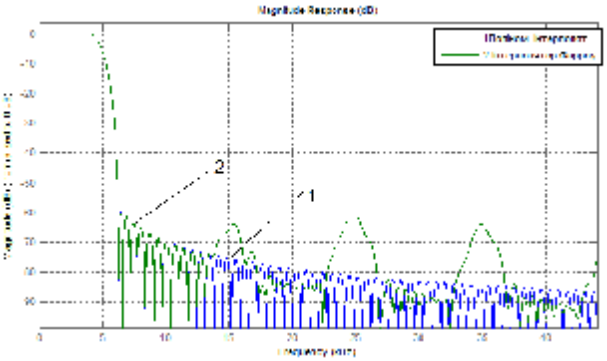


Рис. 5. Порівняльні АЧХ фільтруючих пристроїв: 1 – АЧХ фільтру реалізованого поліноміальним інтерполятором; 2 – АЧХ фільтру реалізованого інтерполятором Фарроу

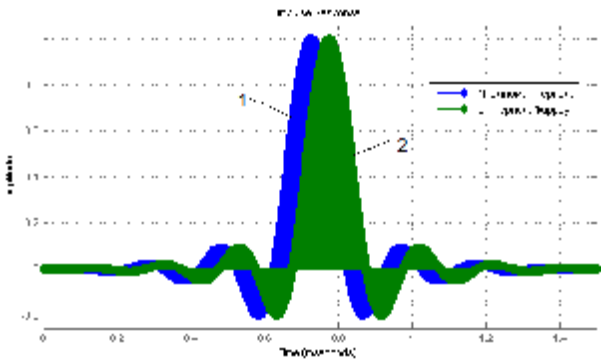
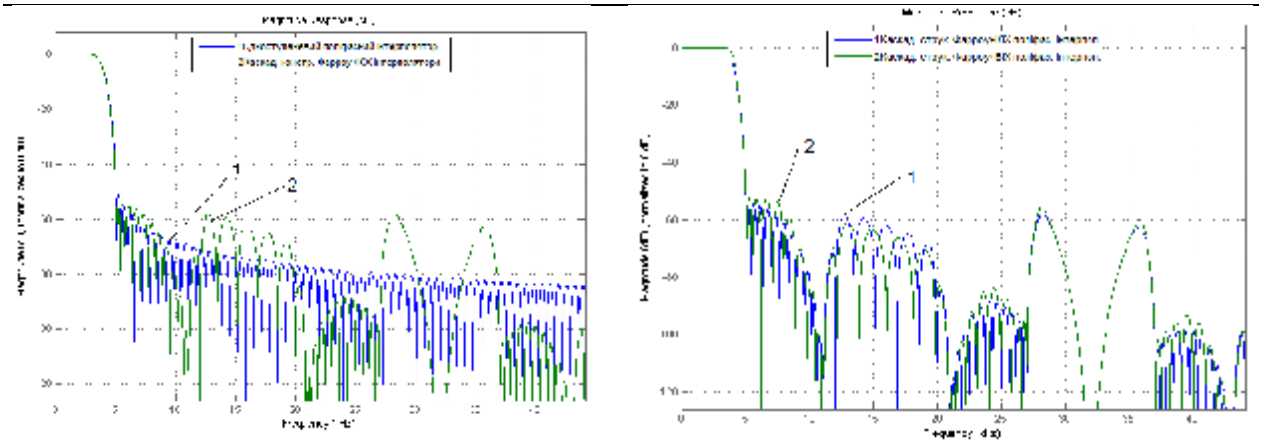


Рис. 6. Імпульсні характеристики фільтруючих пристроїв: 1 – реалізованого поліноміальним інтерполятором; 2 – реалізованого інтерполятором Фарроу



а б

Рис. 7. Порівняльні АЧХ каскадних поліфазних конструкцій фільтруючих пристроїв: а – на поліноміальних інтерполяторах з каскадною конструкцією; б – на інтерполяторах Фарроу

Використаємо аналітичний вираз (2) для імпульсної характеристики інтерполяційного фільтру, а також базову структуру фільтра рис. 3 та опишемо ще один підхід до модифікації структури інтерполятора Фарроу для системи синхронізації. Замість μ_l у (2) використаємо конструкцію з $(2\mu_l - 1)$ для утворення дробового інтервалу. Представимо імпульсну характеристику фільтру наступним чином:

$$h_i[(n+\mu_l)T_{in}] = \sum_{m=0}^{M} c_m(n)(2\mu_l - 1)^m , \tag{18}$$

тут $n = -N/2$, $-N/2+1$, ….., $N/2-1$. Позначимо, аналогічно до розглянутого вище за $c_m(n)$ невідомі коефіцієнти поліному. Якщо μ_l буде змінюватись від 0 до 1, то імпульсна характеристика $h_i(t)$ буде приймати на кожному інтервалі $[kT_{in}, (k+1)T_{in}]$ для $k = -N/2, \ldots, N/2-1$ наступну конструкцію:

$$h_i(t) = \sum_{m=0}^{M} c_m(k)\left(\frac{2(t-kT_{in})-1}{T_{in}}\right)^m , \tag{19}$$

в цьому випадку властивості симетрії $h_i(-t) = h_i(t)$ можна представити так:

$$c_m(n) = (-1)^m c_m(-n-1), \tag{20}$$

для $m = 0,1,\ldots,M$ і $n = 0,1,\ldots,N/2-1$.

Представимо імпульсну характеристику $h_i(t)$ наступним виразом:

$$h_i(t) = \sum_{n=0}^{N/2-1}\sum_{m=0}^{M} c_m(n) f(n,m,t), \tag{21}$$

тут $f(n,m,t)$ базисні функції.

$$f(n,m,t) = \begin{cases} \left(\dfrac{2(t-kT_{in})-1}{T_{in}}\right)^m, & nT_{in} < t < (n+1)T_{in} \\ \left(\dfrac{2(t+(n+1)T_{in})}{T_{in}} - 1\right)^m, & -(n-1)T_{in} \le t < -nT_{in} \\ 0, \quad \textit{інш.} \end{cases} \tag{22}$$

На рис. 8 показаний процес побудови імпульсної характеристики за допомогою зважених базисних функцій (22), а на рис. 9 – модифікована схема поліфазного фільтру.

Таким чином з формули (20) робимо висновок, що поліноміальні коефіцієнти $c_m(n)$ симетричні. Використовуємо для утворення дробового інтервалу конструкцію з добутком $(2\mu_l - 1)$ та отримаємо модифіковану структуру Фарроу яку представимо рис. 9. З рис. 9 встановлюємо наступну відмінність від вихідної структури яка представлена на рис. 3а: вихідні вибірки КІХ $n_M(n_l)$ множаться на $(2\mu_l - 1)$; КІХ – фільтри мають передавальні функції: $C_m(z) = \sum_{k=0}^{N-1} c_m(k - N/2) z^{-k}$ для $m = 0,1,\ldots,M$ які мають властивості симетрії у відповідності до (20); якщо $m = 0$ або парне, маємо таку умову симетрії:

$c_m(N/2-1+k)=c_m(-N/2-k)$ для $k=0,1,....,N/2-1$; у випадку непарних m: $c_m(N/2-1+k)=-c_m(-N/2-k)$ для $k=0,1,....,N/2-1$; використовуючи такі властивості симетрії зменшується кількість коефіцієнтів з для $(M+1)N$ до $(M+1)N/2$.

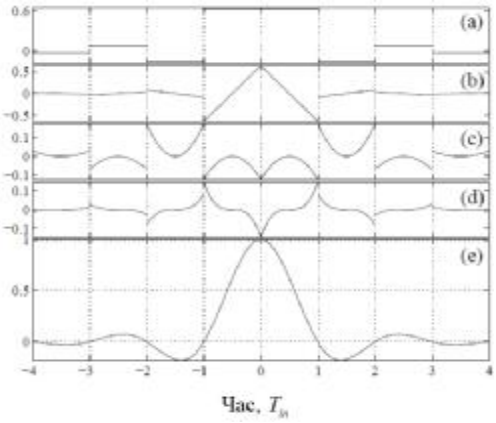


Рис. 8. Процес побудови загальної імпульсної характеристики для випадку $N=8$ і $M=3$ (довжина фільтру, ступінь інтерполяції відповідно): а – $m=0$; б – $m=1$; с – $m=2$; d – $m=3$; е – сумарна;

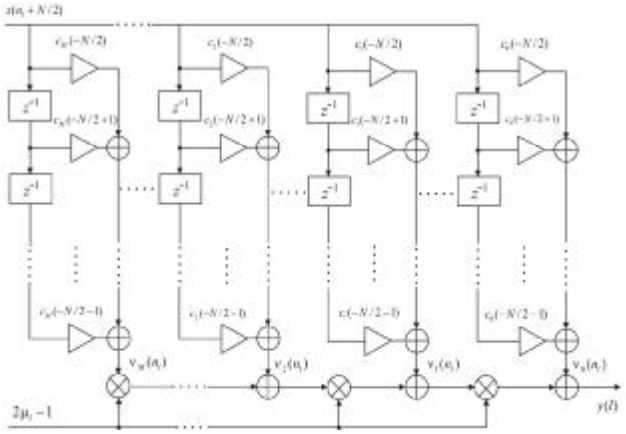


Рис. 9. Варіант модифікованої структури для інтерполятора Фарроу (варіант 3)

Розробка модифікованої схеми синхронізації блоків оброблення сигналів засобів телекомунікацій

Загальну структуру пристрою синхронізації представимо на рис. 10, тут враховуємо рис. 3 та 9, а також позначення на цих рисунках.

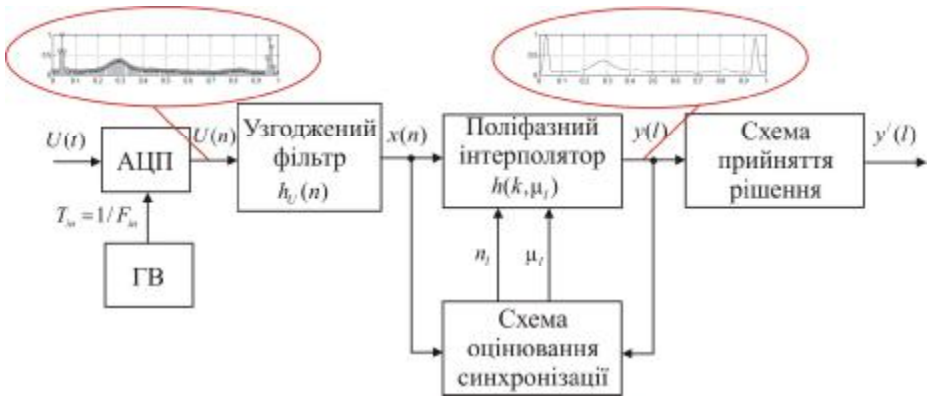


Рис. 10. Схема цифрового приймача із поліфазним інтерполятором: ГВ – генератор вибірок (тактів)

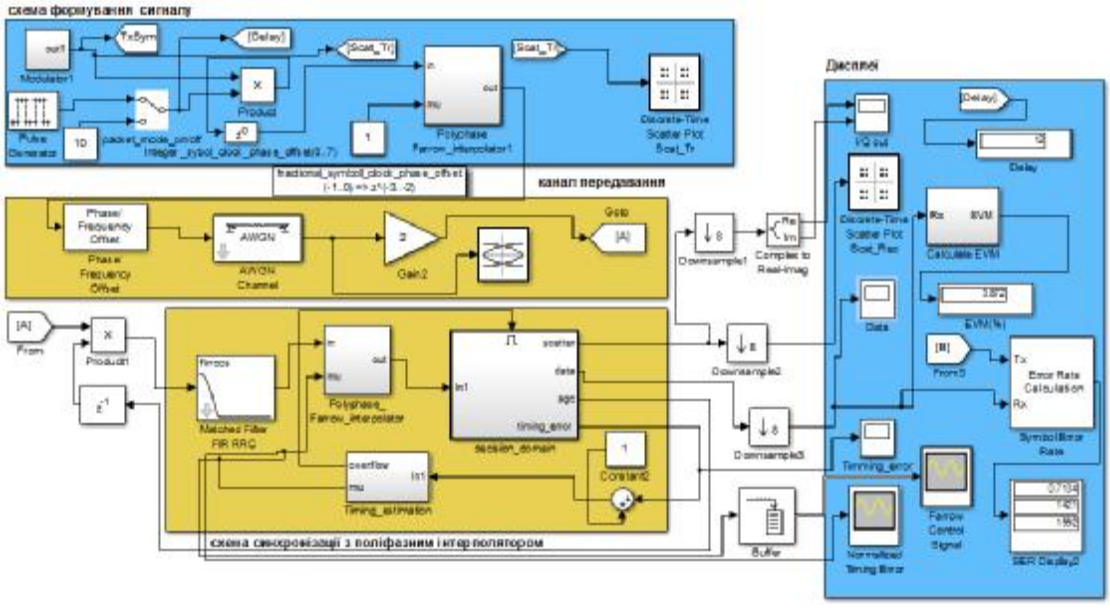


Рис. 11. Імітаційна схема системи передачі даних для дослідження пристрою синхронізації із поліфазним інтерполятором

Вибірки прийнятого сигналу здійснюються за допомогою фіксованого тактового сигналу дискретизації, таким чином відбір відліків несинхронізований з прийнятим сигналом. В цьому випадку легко змінити частоту дискретизації, причому частота дискретизації не повинна бути кратна частоті символів. Крім того немає необхідності в застосуванні системи фазового автоматичного підстроювання ФАПЧ [10].

На рис. 11 представлена розроблена імітаційна схема каналу передачі інформації до складу якого входить система синхронізації побудована на основі схем запропонованих на рис. 3, 4 та 9.

В схемі на рис. 11 сигнал утворюється в «схемі формування сигналу» до складу якої входить підсистема «модулятор». Тут вихідний сигнал після скремблювання потрапляє на кодер Грею, далі відбувається диференційне кодування, екстраполяція, передискретизація («Upsample») та обмеження сигналу за спектром фільтруючим пристроєм («FIR Filter»). Далі в схемі на рис. 11 вихідний сигнал потрапляє на підсистему поліфазного інтерполятора «Polyphase interpolator», в канал передачі інформації. Фазова помилка задається блоком «Phase offset».

Приймання переданої інформації виконується за допомогою пристрою оброблення сигналів основа якої схема синхронізації з поліфазним інтерполятором. До складу схеми, у відповідності до рис. 11 входить: узгоджений фільтр «Matched filter» (цифровий КІХ – фільтр нижніх частот, типу піднесений косинус, порядок – 32, тип вікна – Boxcar), поліфазний інтерполятор «Polyphase_Farrow_interpolator» підсистема якого представлена на рис. 12, підсистема оцінювання синхронізації де у відповідності до формули (1) формуються: n_l – вихідна координата, яка визначає $I = I_2 - I_1 + 1$ відліків сигналу для використання $l-$м інтерполятором; μ_l – дробовий інтервал дискретизації який визначає коефіцієнти фільтра $l-$го інтерполянта, використовуємо рис. 3, 4 та 9, для чого підсистема містить два входи «in» та «mu» відповідно.

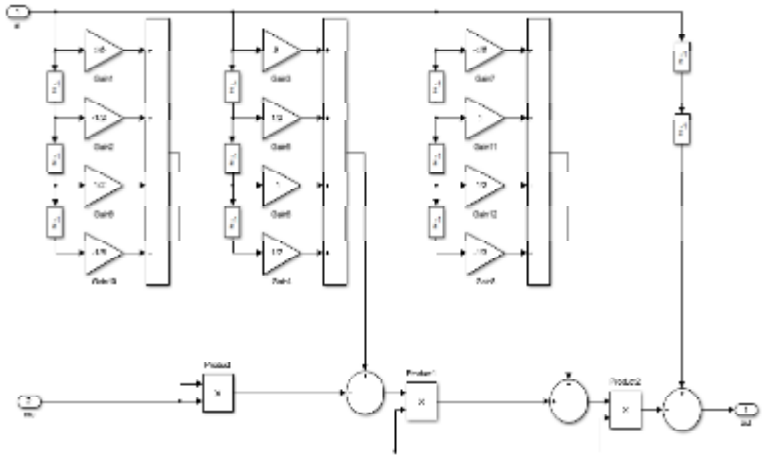
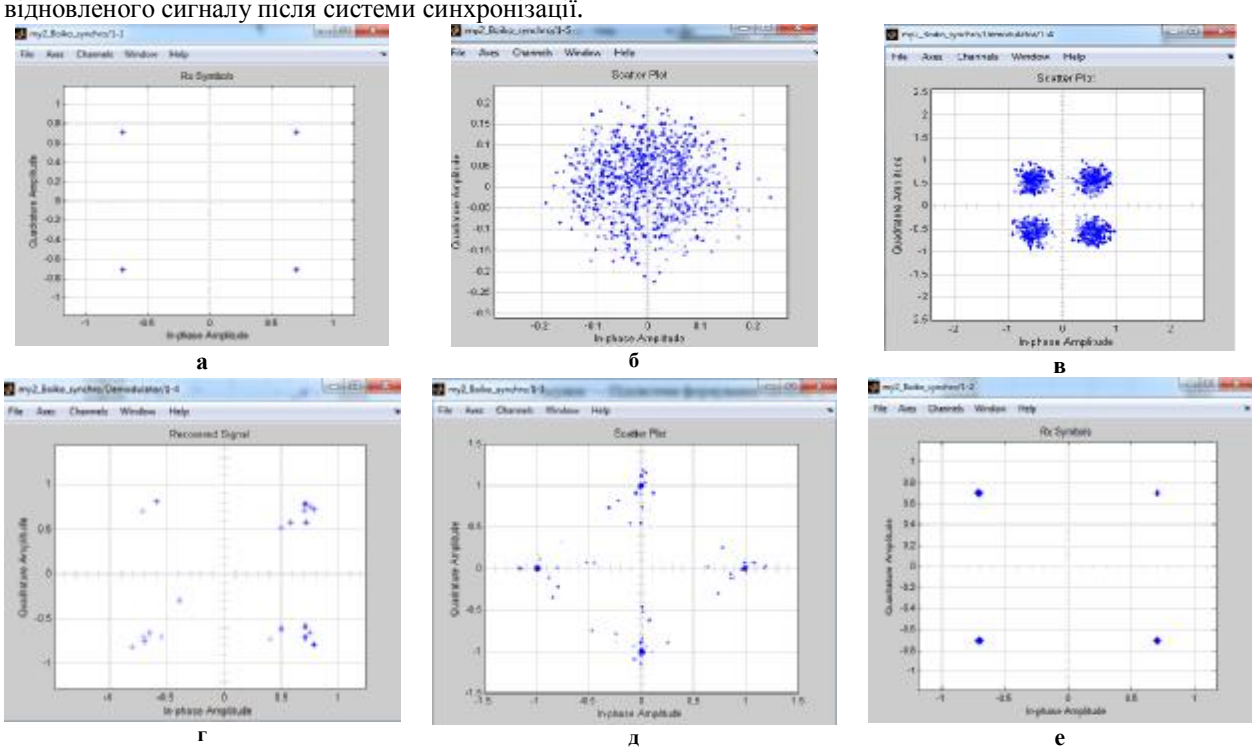


Рис. 12. Імітаційна схема поліфазного модифікованого інтерполятора Фарроу

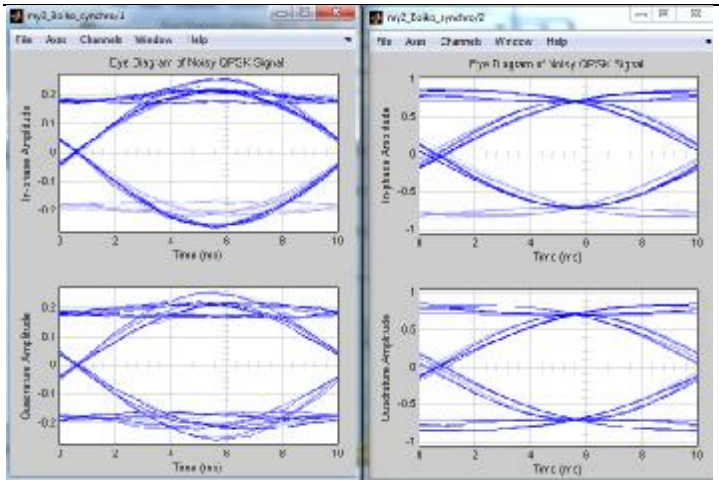
На рис. 13 представлені констеляційні діаграми отримані методом імітаційного моделювання, зокрема на рис. 13б, діаграма отримана після каналу передачі інформації, а на рис. 13е – діаграма відновленого сигналу після системи синхронізації.



а **б** **в**

г **д** **е**

Рис. 13. Констеляційні діаграми отримані при дослідженні схеми: а – сигналу на передавальному боці (QPSK); б – після каналу зв'язку; в – після демодулятора; г – після пристрою тактової синхронізації; д – після пристрою фазової синхронізації; е – відновленого сигналу після блоку оброблення сигналів



а **б**

Рис. 14. Око-діаграми для оцінювання спотворень сигналів (джитеру) на передавальному *а* та приймальному – *б*, боці каналу передачі інформації

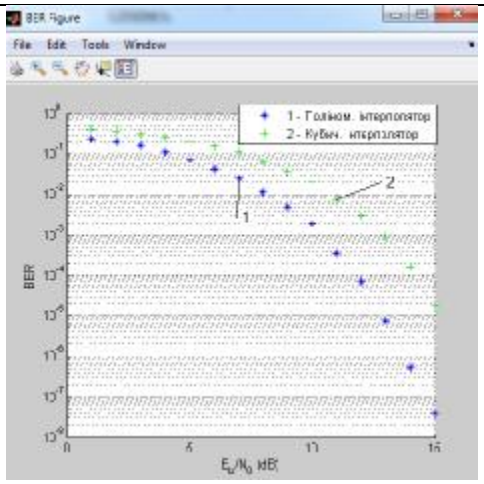


Рис. 15. Залежності для оцінювання завадостійкості для блока оброблення сигналів у випадку QPSK: 1 – поліноміальний (поліфазний інтерполятор, модифікований); 2 – кубічний інтерполятор за структурою Лагранжа

Спостерігаємо досить якісне відтворення переданого сигналу. На рис. 13г – констеляційна діаграма отримана методом математичного моделювання на приймальному боці в системі тактової синхронізації, а на рис. 13д, діаграма отримана для системи фазової синхронізації. Зокрема, з рис. 13г досить явно проглядаються наслідки виникнення ефекту зворотної роботи в пристрої оброблення сигналів, констеляційна діаграма класичної QPSK розвернута на 90°, що вимагає застосування способів компенсації зворотної роботи, або використання зміщеної (OQPSK) маніпуляції, які описані в роботах [1, 2]. Похибка за констеляційною діаграмою отримана за допомогою інструмента EVM (Error Vector Magnitude) змінювалась в процесі експерименту від 2 до 1% залежно від вибору дробового інтервалу дискретизації μ. На рис. 14 – око-діаграми, отримані методом імітаційного моделювання на передавальному боці *а*, та приймальному боці – *б*, каналу передачі інформації. Спостерігаємо задовільний розкрив око-діаграми на рис. 14б та зменшення джитеру в порівнянні з рис. 14а. Порівняння результатів дослідження завадостійкості схем синхронізації на основі модифікованої структури та кубічного інтерполятора Лагранжа для QPSK, представлені на рис. 15, дозволяє встановити, що виграш для рівня BER = 10^{-4} складає ≈2,2 дБ.

Висновки

Отже, підсумовуючи викладене, варто відмітити наступні результати досліджень:

- *Вперше отримано* формалізоване подання для математичного опису модифікованих конструкцій поліфазних фільтрів для використання їх в блоках оброблення сигналів засобів телекомунікацій. Особливість таких схем фільтрів, полягає в тому, що вони передбачають лише три операції множення.
- В результаті дослідження гібридної конструкції поліфазних фільтрів *отримано* наступне: кількість коефіцієнтів гібридної конструкції є найнижчою (32 порівняно з 79 для одноступінчастої конструкції інтерполятора Фарроу і з 6382 для одноступінчастої конструкції поліноміального інтерполятора. Крім того, число операцій при обробці вхідних відліків збільшилася лише незначним чином (від 80 до 94 операцій множень у вибірці і з 75 до 86 операцій додавання у вибірці) в порівнянні з дослідженими одноступінчастими конструкціями.
- *Вперше запропонований* метод побудови системи синхронізації блоків оброблення сигналів на основі модифікованої конструкції з використання поліфазних конструкцій фільтрів.
- *Вперше розроблено* імітаційну схеми системи передачі інформації з використанням модифікованих поліфазних фільтрів.
- В результаті досліджень *отримано*: похибка за констеляційної діаграмою змінювалась в процесі експерименту від 2 до 1% залежно від вибору дробового інтервалу дискретизації μ.
- *Встановлено,* що виграш для рівня BER=10^{-4} складає ≈2,2 дБ під час дослідження підвищення завадостійкості схем синхронізації на основі модифікованої структури та кубічного інтерполятора Лагранжа для QPSK.

Література

1. J.M. Boiko, A.I. Eromenko, V.M. Tkacuk, "Optimization of receiver synchronization devices of protected telecommunication data transmission systems", Bulletin of Vinnytsia Polytechnical Institute. Vinnytsia. 2014. Ed. 6. 125–134 p.

2. J.M. Boiko, A.I. Eromenko, "Synthesis problems of clock synchronization devices for receivers of

satellite telecommunication data transmission systems", Bulletin of National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute" Series: Radiotechnique. Radioapparatus building. 2014. Ed. 58. pp. 55–66.

3. Juliy Mikolayovych Boiko, Alexander Ivanovych Eromenko, "Improvements Encoding Energy Benefit in Protected Telecommunication Data Transmission Channels", Scientific Journal «Communications». Science Publishing Group, USA. Vol. 2, No. 1, 2014, pp. 7–14. doi: 10.11648/j.com.20140201.12.

4. J. Boiko, O. Eromenko. Noise immunity assessment in telecommunication systems with cascade encoding structures. in TCSET'2014 *IEEE* February 25 – March 1, 2014, Lviv, Slavske.

5. J. Boiko, O. Eromenko, Solutions Improve Signal Processing In Digital Satellite Communication Channels. in 20th International *IEEE* Conference on Microwaves, Radar, and Wireless Communications, Poland, Gdansk, June 16–18, 2014.

6. J.M. Boiko, Improving effectiveness for processing signals in data transmission channels with phase manipulation. in 23rd International *IEEE* Crimean Conference "Microwave & Telecommunication Technology" (September 9–13, 2013), Sevastopol.

7. Бойко Ю.М. Перспективи розвитку теорії пристроїв тактової синхронізації приймачів супутникових телекомунікаційних систем / Ю.М. Бойко, О.І. Єрьоменко // V-й Міжнародний радіоелектронній форум «Прикладна радіоелектроніка. Стан та перспективи розвитку» МРФ-2014, 14–17 жовтня 2014 р. – Харків : ХНУРЕ. – С. 238–241.

8. Бойко Ю.М. Основи функціонування багатоканальних систем передачі інформації : [навч. посібник для студентів ВНЗ] / О.М. Шинкарук, Ю.М. Бойко, І.І. Чесановський. – Хмельницький : ХНУ, 2011. – 245 с.

9. Бойко Ю.М. Приймання та оброблення сигналів : [навч. посібник для студентів ВНЗ] / О.М. Шинкарук, В.І. Правда, Ю.М. Бойко – Хмельницький : ХНУ, 2013. – 365 с.

10. J.M. Boiko, "Quality evaluation synchronization devices signal of telecommunications", Herald of Khmelnytskyi National University, scientific journal, Technical sciences. 2015, Issue 1, Volume 221. pp. 144–156, ISSN 2307-5732.

11. Бойко Ю.М. Моделювання модифікованих схем синхронізації блоків оброблення сигналів засобів телекомунікацій / Ю.М. Бойко // V Міжнародна науково-практична конференція «Обробка сигналів і негаусівських процесів», 20 – 22 травня. – Черкаси : ЧДТУ, 2015. – С. 166–169.

12. Бойко Ю.М. Визначення ефективності модифікованих схем синхронізації засобів телекомунікацій / Ю.М. Бойко // Матеріали XIV міжнародної науково-практичної конференції «ВОТТП-14-2015». – Одеса : Одес. нац. акад. зв'язку ім. Попова 5–10 червня – 2015. – С. 224–227.

13. Шарый С.П. Курс вычислительных методов : учебник по курсу вычислительных методов / Шарый С.П. – Новосибирск : Институт вычислительных технологий СО РАН, 2015. – 506 с.

References

1. J.M. Boiko, A.I. Eromenko, V.M. Tkacuk, "Optimization of receiver synchronization devices of protected telecommunication data transmission systems", Bulletin of Vinnytsia Polytechnical Institute. Vinnytsia. 2014. Ed. 6. 125–134 p.

2. J.M. Boiko, A.I. Eromenko, "Synthesis problems of clock synchronization devices for receivers of satellite telecommunication data transmission systems", Bulletin of National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute" Series: Radiotechnique. Radioapparatus building. 2014. Ed. 58. pp. 55–66.

3. Juliy Mikolayovych Boiko, Alexander Ivanovych Eromenko, "Improvements Encoding Energy Benefit in Protected Telecommunication Data Transmission Channels", Scientific Journal «Communications». Science Publishing Group, USA. Vol. 2, No. 1, 2014, pp. 7–14. doi: 10.11648/j.com.20140201.12.

4. J. Boiko, O. Eromenko. Noise immunity assessment in telecommunication systems with cascade encoding structures. in TCSET'2014 *IEEE* February 25 – March 1, 2014, Lviv, Slavske.

5. J. Boiko, O. Eromenko, Solutions Improve Signal Processing In Digital Satellite Communication Channels. in 20th International IEEE Conference on Microwaves, Radar, and Wireless Communications, Poland, Gdansk, June 16–18, 2014.

6. J.M. Boiko, Improving effectiveness for processing signals in data transmission channels with phase manipulation. in 23rd International IEEE Crimean Conference "Microwave & Telecommunication Technology" (September 9–13, 2013), Sevastopol.

7. Boiko J.M. Perspektivi rozvitku teoriy pristroiv taktovoi sinchronizaciy priymachiv suputnikovich telekomunikaciynich system / J.M. Boiko, O.I. Eromenko // Vth Miznarodnyi radioelektronniy forum "Prikladna radioelektronika. Stan ta perspektivi rozvitku" MRF-2014, 14-17 zovtnya 2014 r. Kharkiv, KNURE.

8. Shinkaruk O.M., Boiko J.M., Chesanovskii I.I. Osnovi funkcionuvannya bagatokanalnich sistem peredachi informacii: navch. posibnik dlya studentiv vichich navchalnich zakladiv. Khmelnitskyi, KNU, 2011. – 245 p.

9. Shinkaruk O.M., Pravda V.I., Boiko J.M. Primannya ta obroblennya signaliv: navch. posibnik dlya studentiv vichich navchalnich zakladiv. Khmelnitskyi, KNU, 2013. – 365 p.

10. J.M. Boiko, "Quality evaluation synchronization devices signal of telecommunications", Herald of Khmelnytskyi National University, scientific journal, Technical sciences. 2015, Issue 1, Volume 221. pp. 144–156, ISSN 2307-5732.

11. Boiko J.M. Modeluvannya modifikovanich shem sinchronizaciy blokiv obroblennya signaliv zasobiv telecomunikaciy. V Miznarodna naukovo-praktichna konferenciya «Obrobka signaliv i negausivs'kich procesiv». – Cerkasy: CDTU 20-22 travnya – 2015. P. 166-169.

12. Boiko J.V. Viznachennya efektivnosti modifikovanich shem sinchronizaciy zasobiv telecomunikaciy // VOTTP-14-2015. – Odessa: Odes. nac. akad. zv'yazku im. Popova 5-10 chervnya -2015. P. 224-227.

13. Shary S.P. Kurs vichislitelnych metodov: uchebnik po kursu vichislitelnych metodov. Novosibirsk: Institut vichislitelnych technologiy SO RAN., 2015. 506 s.

Рецензія/Peer review : 16.6.2015 р. Надрукована/Printed : 29.8.2015 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Мартинюк В.В.

УДК 351.746.1.355.535 (477)

І.І. ЧЕСАНОВСЬКИЙ, Д.О. ЛЕВЧУНЕЦЬ, А.Л. ПЕТРЕНКО
Хмельницький національний університет

ПОБУДОВА ЗАХИЩЕНИХ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ РАДІОМЕРЕЖ З МНОЖИННИМ ДОСТУПОМ

В даній статті розглядається метод захисту радіомереж з множинним доступом, що базується на використанні додаткового (фіктивного) джерела сигналів з метою зниження відношення сигнал/шум поза зоною легітимного доступу. Отримано основні енергетичні співвідношення в зоні нелегітимного доступу, які дають змогу оцінювати енергетичну скритність каналів зв'язку в умовах відсутності структурної. Проведено аналіз отриманих співвідношень, який показав, що під час вибору граничних умов роботи в легітимній зоні і застосування додаткового джерела завад в зоні нелегітимного прийому можна значно підвищити енергетичну скритність сигналів аж до унеможливлення їх виявлення за рахунок зниження завадостійкості відвідного каналу. Показано, що забезпечення захищеної роботи енергетично та структурно відкритих телекомунікаційних радіосистем можливе лише за рахунок штучного погіршення завадостійкості в певній частині зони покриття.

Ключові слова: телекомунікаційні системи, енергетична скритність, відношення сигнал шум, завадостійкість, структурна скритність, множинний доступ.

I.I. CHESANOVSKYY, D.O. LEVCHUNETS, A.L. PETRENKO
Khmelnytsky National University

CREATION OF PROTECTED TELECOMMUNICATIONS RADIO NETWORKS WITH MULTIPLE ACCESS

In this article considered method to protect radio networks with multiple access based on the use of additional (fictitious) signal source to reduce the signal / noise outside legitimate access. Received basic energy value in the area of illegitimate access that allow secrecy to evaluate the energy channels in the absence of structural. The analysis of correlations obtained, which showed that the choice of the boundary conditions of a legitimate application area and an additional source of illegitimate interference in the reception area can significantly increase energy secrecy signals up to prevent their detection by reducing the noise immunity of the outlet channel. It is shown that ensuring secure energy and structural work of public radio telecommunication systems is possible only through artificial deterioration of immunity to some of the coverage.

Keywords: telecommunication systems, power stealth, ratio signal noise, immunity, structural reticence, multiple access.

Ключовим напрямком розвитку сучасних телекомунікаційних мереж, є використання бездротових технологій, що поєднують високу пропускну здатність каналів, в умовах стохастичного множинного доступу, із мобільністю та неоднорідністю завантаження окремих сегментів. Поряд з цим, окремим, важливим аспектом функціонування засобів телекомунікацій, є необхідність забезпечення високої захищеності окремих каналів зв'язку від несанкціонованого доступу. Враховуючи особливості побудови та функціонування телекомунікаційних радіосистем з множинним доступом (ТРМД), що полягають в енергетичній відкритості (загальнодоступності) каналів, із відомих на сьогоднішній день методів [1, 4] захисту інформації, придатними до застосування є лише криптографічний та структурний, хоча відносно останнього, є значні сумніви в його придатності, що підтверджується практикою побудови таких систем. Це додатково можна обґрунтувати застосуванням ортогональних кодів (піднесучих), які виходячи із бази, завжди характеризуються кінцевою розмірністю векторного простору, в наслідок чого не представляють значних труднощів для здійснення атак в умовах енергетичної відкритості системи. Слід також зазначити, що енергетичне відкритість багатостанційної телекомунікаційної системи значно знижує стійкість засобів інформаційного (криптографічного) захисту, оскільки зловмиснику доступний цілий ряд інформаційних потоків, які є додатковою, ефективною базою для успішної реалізації атаки на систему.

На сьогоднішній день, широкого поширення при побудові ТРМД отримало мережеве обладнання стандарту IEEE 802.11, що передбачає застосування лише криптографічного захисту інформації. При цьому, структурі мереж такого типу притаманна певна корпоративність, що як правило, характеризується певною просторовою конфігурацією. А отже, як показано в [2–5] з'являється гіпотетична можливість забезпечення енергетичної скритності в зоні нелегітимності мережі (рис. 1).

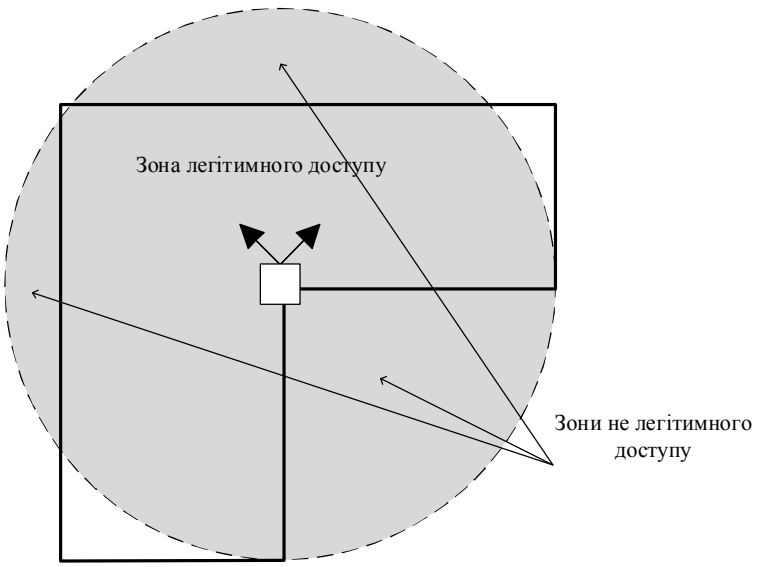


Рис. 1. Схема розподілу легітимної та нелегітимної зон доступності ТРМД

Оскільки, просторова конфігурація мережі дає змогу чітко виділити зони можливого нелегітимного доступу до мережі, за умови фізичного обмеження можливості доступу стороннього обладнання в зону легітимного доступу, потенційно можливо забезпечити енергетичну скритність системи за рахунок додаткових заходів, а саме: застосуванням спрямованих антен «базового» обладнання (застосування складної конфігурації зони покриття) або застосуванням сторонніх (фіктивних) мереж, що характеризуються вищою енергетикою в зонах не легітимного доступу.

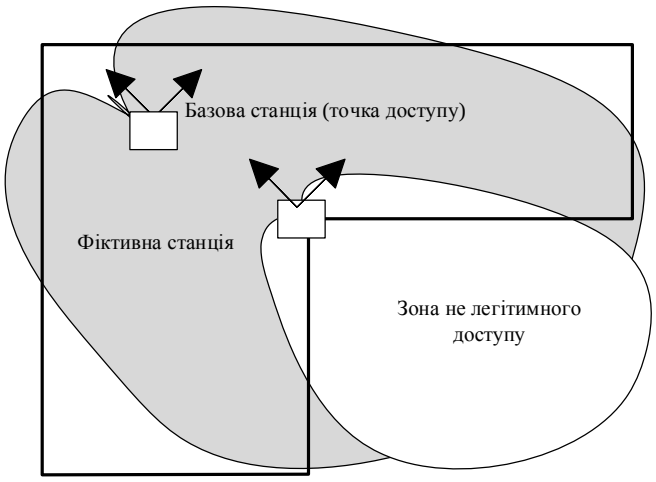


Рис. 2. Схема розподілу легітимної та нелегітимної зон доступності ТРМД при застосуванні фіктивних мереж

В роботі [2] розглядається варіант застосування генератору шуму для навмисного погіршення енергетичних співвідношень у відвідному каналі. Такий підхід є ефективним, але при забезпеченні певного ступеня корельованості шуму з інформаційним потоком на рівні структурної скритності сигналів. Проте, як було обумовлено вище, в мережах стандарту IEEE 802.11 основним інструментом захисту, є забезпечення інформаційної скритності, а отже для реального подавлення відвідного каналу необхідно забезпечити корельованість шуму і сигналу саме на інформаційному рівні. Для оцінки ефективності застосування такого підходу, а саме підходу, що передбачає структурну відкритість $p_{стр} = 1$ і максимальну потенційну інформаційну скритість $p_{інф} = \min$ необхідно провести аналіз енергетичної скритності p_e з метою пошуку оптимальної конфігурації зон легітимного та не легітимного доступу, а також параметрів інформаційного і фіктивного каналів в даних зонах. Відповідно схеми, що приведена на рис. 3, слід формалізувати задачу побудови системи виходячи із умови

$$\begin{aligned} p_{с.л}(q) &= 1 - p_{інф.л}\, p_{стр}\, p_{е.л}(q) = \min; \\ p_{с.н}(q) &= 1 - p_{інф.н}\, p_{стр}\, p_{е.н}(q) = \max. \end{aligned} \tag{1}$$

При такій формалізації, розв'язок задачі побудови захищеної мережі зводиться до пошуку оптимального вектору енергетичних (потужності передавачів і чутливості приймачів) та просторових (діаграм спрямованості антен при врахуванні багато променевості розповсюдження ЕМХ), що забезпечать прийнятне значення q (відношення сигнал/шум) в зоні легітимного доступу і значення q нижче критичного поза межами цієї зони.

Якщо припустити, що відвідний канал є симплексним і спрямованим лише на перехоплення інформації ($P_B = 0$), діаграма спрямованості антени базової станції є рівномірною в легітимній зоні і легітимний канал працює на рівні граничної енергетики ($E_{біт} = \min$) та мінімальній ($C = \min$) необхідній пропускній здатності , необхідна потужність передавача може бути визначена із формули

$$\frac{2P_{\min A}}{N_0} = \frac{P_Б G_Б G_A}{R_A (N_З D_З^{-1} + kT_0)}, \tag{2}$$

де $N_З, D_З$ – спектральна щільність завади та коефіцієнт спрямованої дії антени фіктивного передавача.

Враховуючи, що $G_З \approx 0$ в напрямку абонента, потужність базової станції при заданій чутливості приймача абонента визначається як

$$P_Б = \frac{R_A kT_0 2CE_{біт}}{G_Б G_A N_0}. \tag{3}$$

Для відвідного каналу, відношення сигнал/шум на вході приймача визначається

$$\frac{2P_{\min B}}{N_0} = \frac{P_Б G_Б G_B}{R_B (N_З + kT_0)}. \tag{4}$$

З урахуванням (3) і припускаючи, що чутливість приймачів легітимного і відвідного каналу однакові, отримується

$$\frac{2P_{\min B}}{N_0} = \frac{G_B}{G_A}\frac{R_A}{R_B}\frac{2CE_{біт}}{(N_З + kT_0)}. \tag{5}$$

Враховуючи, що спектральна щільність сигналу у всій смузі частот рівномірна $\frac{2P_{\min B}}{F} = V_B^2$, і замінюючи $C = 1/T$, вираз (5) може бути записаний

$$\frac{V_B^2}{N_0} = \frac{G_B}{G_A}\frac{R_A}{R_B}\frac{1}{FT}\frac{2E_{біт}}{(N_З + kT_0)}. \tag{6}$$

Аналізуючи останній вираз, можна прийти висновку, що при реалізації ТРМД з підвищеними

вимогами до скритності, основні зусилля мають бути спрямовані на забезпечення граничних умов роботи легітимного каналу за енергетичними показниками і пропускною здатністю. Саме за таких умов можна забезпечити виконання умови $\frac{V_B^2}{N_0} < 1$ при якій ймовірність енергетичного виявлення сигналів стрімко зменшується.

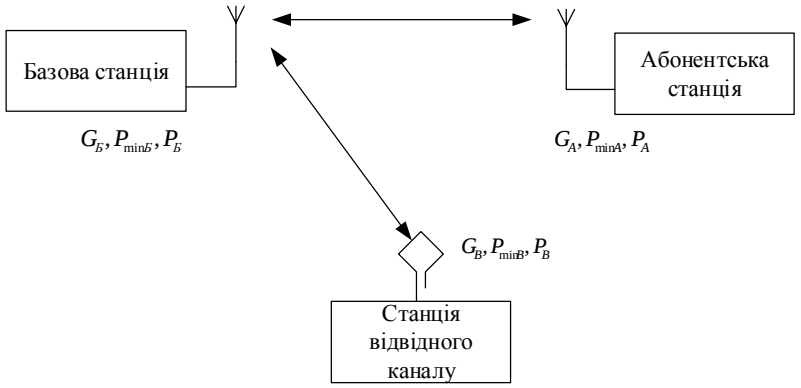


Рис. 3. Структура ТРМД з відвідним каналом

Враховуючи, що при великій базі сигналів, енергетичний приймач забезпечує коефіцієнт підсилення $\sqrt{T_c F}$, відношення сигнал/шум на його виході буде мати вигляд

$$q = \frac{G_B}{G_A}\frac{R_A}{R_B}\frac{1}{FT}\frac{2E_{біт}\sqrt{T_c F}}{(N_З + kT_0)}. \quad (7)$$

Якщо задатись порогом енергетичного виявлення сигналів в нелегітимному каналі λ, що забезпечує максимальне значення ймовірності виявлення сигналів при заданій ймовірності хибної тривоги, умова виявлення сигналів в нелегітимному каналі буде мати наступний вигляд

$$\frac{R_B}{R_A}\frac{N_З + N_0}{2E_{біт}}\frac{TF}{T_c} \le \frac{G_B}{G_A l}. \quad (8)$$

З отриманого виразу видно, що збільшення бази сигналу підвищує енергетичну скритність системи, проте у випадку стандартизованих мереж із відкритою структурою сигналів (відомим псевдовипадковим кодуванням) вплив бази сигналу на скритість системи повністю нівелюється застосуванням, в приймачі відвідного каналу, узгодженого алгоритму. При цьому, також видно, що збільшення енергії сигналів в основному каналі також призводить до зниження його скритності, що є логічним.

Оскільки, антени, що застосовуються у відвідних каналах завжди характеризуються вищими значеннями коефіцієнта підсилення, а робота в легітимній зоні відбувається на гранично низькій швидкості і відповідно енергетиці, єдиним інструментом підвищення енергетичної скритності (відповідно формулі 8), є створення максимально корельованої із сигналами штучної завади зі спектральною щільністю, що значно перевищує власні шуми на вході приймача. Саме наявність такої завади дає змогу компенсувати спрямованість антени приймача відвідного каналу шляхом порушення роботи узгодженого алгоритму.

Література

1. Абдул-Хуссейн М. К. Моделирование и экспериментальное определение вероятности обнаружения функционирования Wi-Fi радиоканала / М. К. Абдул-Хуссейн, А. А. Стрельницкий, В. А. Назаренко, В. М. Шокало, Е. В. Ягудина // Научный вестник Черновицкого университета. – 2011. – Том 1, выпуск 1. Физика. Электроника. – С. 13–16.

2. Помехозащищенность радиосистем со сложными сигналами / Г. И. Тузов, В. А. Сивов, В. И. Прытков и др. ; под ред. Г. И. Тузова. – М. : Радио и связь, 1985. – 264 с.

3. Адресные системы управления и связи. Вопросы оптимизации : монография / Г.И. Тузов, Ю.Ф. Урядников, В. И. Прытков и др. ; под ред. Г.И. Тузова. – М. : Радио и связь, 1993. – 382 с.

4. Лукьянчук, А. Г. Влияние механизмов распространения радиоволн на вероятность обнаружения сигналов микроволновых систем связи / А.Г. Лукьянчук, А.А. Стрельницкий, В.М. Шокало, Е.В. Ягудина // МНПК Современные информационные и электронные технологии. – 2011. – № 12. – С. 164.

5. Шеннон К. Теория связи в секретных системах / К. Шеннон // Работы по теории информации и кибернетике. – 1963. – № 2. – С. 333–369.

Preferences

1. Modelirovanie i eksperimentalnoe opredelenie veroyatnosti obnaruzheniya funktsionirovaniya Wi-Fi radiokanala. M. K. Abdul-Husseyn, A. A. Strelnitskiy, V. A. Nazarenko, V. M. Shokalo, E. V. Yagudina. Nauchnyiy vestnik Chernovitskogo universiteta. 2011. Tom 1, vyipusk 1. Fizika. Elektronika. S. 13-16.

2. Pomehozaschischennost radiosistem so slozhnyimi signalami. G. I. Tuzov, V. A. Sivov, V. I. Pryitkov i dr.; Pod red. G. I. Tuzova. M.: Radio i svyaz, 1985. 264 s.

3. Adresnyie sistemyi upravleniya i svyazi. Voprosyi optimizatsii: monografiya. G.I. Tuzov, Yu.F. Uryadnikov, V. I. Pryitkov i dr.; pod red. G.I. Tuzova. M.: Radio i svyaz, 1993. 382 s.

4. Lukyanchuk, A. G. Vliyanie mehanizmov rasprostraneniya radiovoln na veroyatnost obnaruzheniya signalov mikrovolnovyih sistem svyazi. A.G. Lukyanchuk, A.A. Strelnitskiy, V.M. Shokalo, E.V. Yagudina. MNPK Sovremennyie informatsionnyie i elektronnyie tehnologii. 2011. №12. S. 164.

5. Shennon K. Teoriya svyazi v sekretnyih sistemah. Rabotyi po teorii informatsii i kibernetike. 1963. № 2. S. 333-369.

Рецензія/Peer review : 5.8.2015 р. Надрукована/Printed : 30.8.2015 р.
Стаття рецензована редакційною колегією

УДК 621.391

В.І. ЛУЖАНСЬКИЙ, Л.В. КАРПОВА, Б.С. ПОДГОРНИХ
Хмельницький національний університет

МОДЕЛЮВАННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СТРУКТУР ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ З ДИНАМІЧНОЮ МАРШРУТИЗАЦІЄЮ ТА ЇХ ПОРІВНЯННЯ ЗА КРИТЕРІЄМ «ЕФЕКТИВНІСТЬ-ВАРТІСТЬ»

Проведено дослідження ефективності топологій телекомунікаційних мереж з динамічною маршрутизацією, огляд основних параметрів протоколів динамічної маршрутизації та стану їх показників ефективності. Також досліджено залежність ефективності структур телекомунікаційних мереж та вартості їх проектування. Надано науково-практичні рекомендації та вказано обмеження щодо застосування методу синтезу фізичної структури під час побудови та модернізації телекомунікаційних мереж. Надано перелік рекомендацій щодо передумов застосування методу модифікації логічної структури у телекомунікаційних мережах. Дотримання даних рекомендацій щодо застосування методів дозволить мінімізувати додаткове навантаження на мережу та підвищити ефективність використання мережевих ресурсів.

Ключові слова: маршрутизація, протоколи динамічної маршрутизації, ефективність топологій телекомунікаційних мереж, пропускна спроможність, критерій «ефективність – вартість».

V.I. LUZHANSKY, L.V. KARPOVA, B.S. PODGORNYKH
Khmelnytsky National University

SIMULATION AND RESEARCH OF THE EFFECTIVENESS OF THE STRUCTURES OF TELECOMMUNICATION NETWORKS WITH DYNAMIC ROUTING AND IT COMPARISONBY THE CRITERION OF EFFICIENCY-COST"

Investigation of the effectiveness of the topology of telecommunication networks with dynamic routing, overview of the basic parameters of dynamic routing protocols and the State of their performance indicators. Also, the dependence of the efficiency of the structures of telecommunication networks and the cost of their design. Courtesy of the scientific-practical recommendations and specify limits on the application of the method of synthesis of physical structures in the construction and modernization of telecommunication networks. Lists recommendations for conditions of application of the method of modification of logical structure in telecommunication networks. Compliance with these recommendations on the application of methods allows to minimize the additional load on the network and increase the efficiency of the use of network resources.

Keywords: routing, dynamic routing protocols, the efficiency of telecommunications networks topology, bandwidth, the criterion of "efficiency-cost".

Вступ. Швидка еволюція сучасних телекомунікаційних технологій майже щоденно створює нові послуги, які сприяють удосконаленню методів проектування та експлуатації засобів та мереж зв'язку. За останні декілька років значного поширення набули мобільні пристрої, такі як смартфони, нетбуки, та планшети.

На сучасному етапі життя відбувається бурхливий ріст корпоративних обчислювальних мереж. Найважливішою умовою підвищення конкурентоспроможності підприємств у ринкових умовах є впровадження нових, найбільш сучасних інформаційних та мережевих технологій, різноманітних методів прискорення маршрутизації, підтримки необхідної якості обслуговування, передачі голосового та відео трафіку, підвищення рівня безпеки мережі, та інше. Особливу важливість має ефективна маршрутизація повідомлень в умовах відмови окремих елементів мережі, сплесків трафіку і локальних перевантажень. Для більш ефективного перетворення мережевих ресурсів у параметри якості надання послуг зв'язку, потрібен не тільки значний їх об'єм, а також коректна фізична структура оптимального розподілу ресурсів мережі.

Станом на сьогоднішній день вибір найбільш оптимальної фізичної та удосконалення логічної структур з урахуванням вимог до вибору маршрутів для ефективного використання мережевих ресурсів є актуальною науковою задачею.

Постановка наукової задачі. Для розв'язання маршрутних задач у рамках існуючих протоколів запропоновано ряд комбінаторних алгоритмів, заснованих на використанні теорії графів для опису мережі зв'язку. Математична модель телекомунікаційих систем (ТКС) у цьому разі представляється зваженим орієнтованим графом, множину вершин якого складають мережні вузли, множина дуг моделює тракти передачі між вузлами мережі, потужність якої дорівнює n.

Основною перевагою комбінаторних алгоритмів розв'язання завдання пошуку найкоротшого шляху є невисока та заздалегідь відома обчислювальна складність їхньої реалізації. Найефективнішими та найпоширенішими з них є алгоритми Дійкстри (Dijkstra), Беллмана-Форда (Bellman-Ford), Флойда-Уоршелла (Floyd-Warshall) та велика кількість їх модифікацій. При цьому перші два алгоритми знаходять найкоротші шляхи від обраного вузла-відправника пакетів до інших вузлів, а третій алгоритм знаходить найкоротші шляхи від усіх вузлів до всіх інших вузлів.

Інтернет поділяється на автономні системи. Автономна система (Autonomous System – AS) – група мереж та маршрутизаторів під керуванням одного адміністратора. Маршрутизація всередині автономної

системи віднесена до *внутрішньої маршрутизації.*

Маршрутизація між автономними системами віднесена до *зовнішньої маршрутизації.* Кожна автономна система може вибрати протокол внутрішньої маршрутизації для того, щоб обробляти маршрутизацію всередині автономної системи. Однак для обробки маршрутизації між автономними системами вибирається тільки один протокол маршрутизації.

Вибір протоколу маршрутизації значною мірою залежить від наступних факторів: топологія та складність мережі; розміри мережі та необхідність у подальшому її масштабуванні; завантаженість мережі; вимоги до надійності мережі; вимоги до захисту інформації в мережі; необхідність підключення маршрутизованого сегменту до існуючої мережі; можливість організації програмних маршрутизаторів; кваліфікація та суб'єктивні уподобання обслуговуючого персоналу.

Наведено короткий опис основних протоколів динамічної маршрутизації, проаналізовано основні характеристики протоколів відповідно до їх специфікації, створено зведену порівняльну таблицю характеристик основних протоколів динамічної маршрутизації, також посилаючись на дослідження [3] створено статистичні діаграми основних характеристик роботи протоколів динамічної маршрутизації класу IGP, а саме порівняння протоколів RIP, IGRP, EIGRP, OSPF.

Протокол ***RIP*** (Routing Information Protocol – протокол маршрутної інформації). Протокол грунтується на дистанційно-векторному алгоритмі вибору маршрутів та у більшості реалізацій використовує найпростішу метрику — кількість проміжних маршрутизаторів до мережі призначення. Головною перевагою протоколу є легкість конфігурації, що не вимагає високої кваліфікації обслуговуючого персоналу. Протокол є відкритим та підтримується практично усіма виробниками мережевого обладнання.

Протокол ***IGRP.*** Закритий дистанційно-векторний протокол IGRP (Interior Gateway Protocol – внутрішній протокол маршрутизації) компанії Cisco Systems був спроектований для усунення ряду недоліків протоколу RIP, і мав ціль забезпечити кращу підтримку великих мереж (до 255 маршрутизаторів), що містять канали зв'язку з різними характеристиками смуги пропускання та величини затримки. Протокол використовує комбіновану метрику, яка включає затримку, смугу пропускання, надійність та завантаженість маршруту [3].

На рис. 1 зображено порівняльну характеристику основних протоколів динамічної маршрутизації за значенням часу виявлення змін у топології.

На рис. 2 зображено порівняльну характеристику основних протоколів динамічної маршрутизації за значенням максимальної кількості маршрутизаторів у мережі.

На рис. 3 зображено порівняльну характеристику основних протоколів динамічної маршрутизації за значенням часу поширення маршрутної інформації.

На рис. 4 зображено порівняльну характеристику основних протоколів динамічної маршрутизації за значенням часу збіжності протоколів.

Протокол ***EIGRP.*** Протокол EIGRP (Enhanced Interior Gateway Routing Protocol – покращений протокол вибору внутрішніх маршрутів) компанії "Cisco Systems" являє собою удосконалену версію початкового протоколу IGRP. Протокол є гібридним, заснований на алгоритмі оновлення Diffusing-Update Algorithm (DUAL). Він суміщає у собі найкращі сторони дистанційно-векторних протоколів (простота алгоритму вибору оптимального маршруту) і протоколів стану каналів зв'язку (швидка збіжність та економія смуги пропускання мережі за рахунок повідомлень тільки про стан зв'язків і про їх зміну) [3].

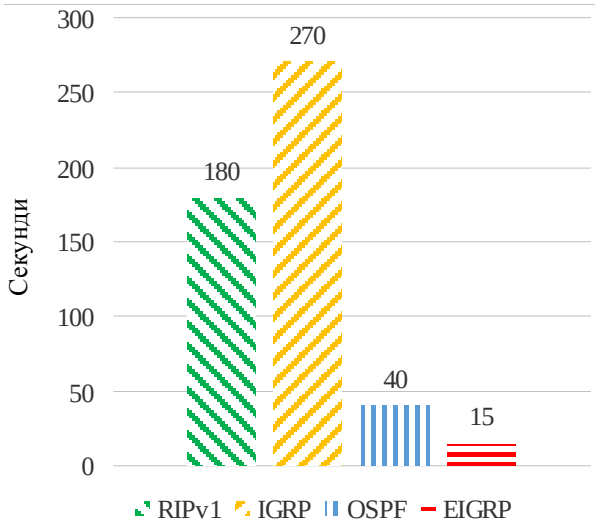


Рис. 1. Порівняльна характеристика основних протоколів динамічної маршрутизації за значенням часу виявлення змін у топології

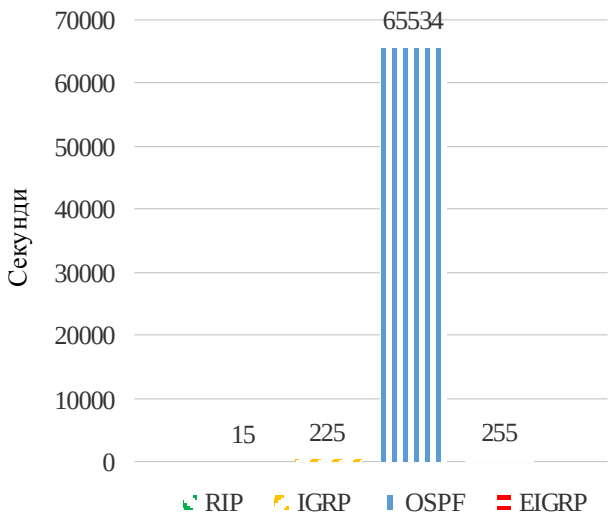


Рис. 2. Порівняльна характеристика основних протоколів динамічної маршрутизації за значенням максимальної кількості маршрутизаторів у мережі

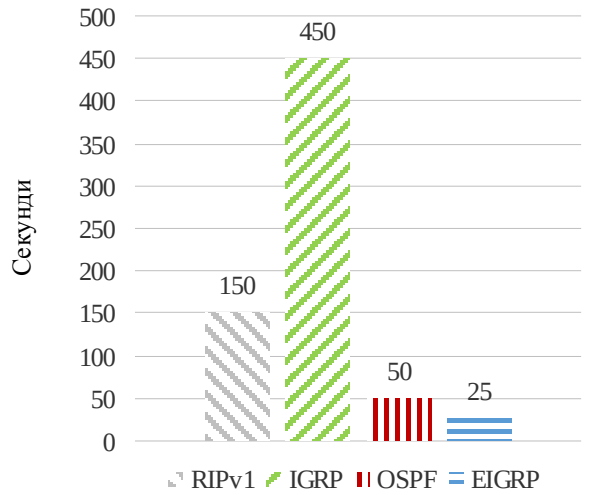


Рис. 3. Порівняльна характеристика основних протоколів динамічної маршрутизації за значенням часу поширення маршрутної інформації

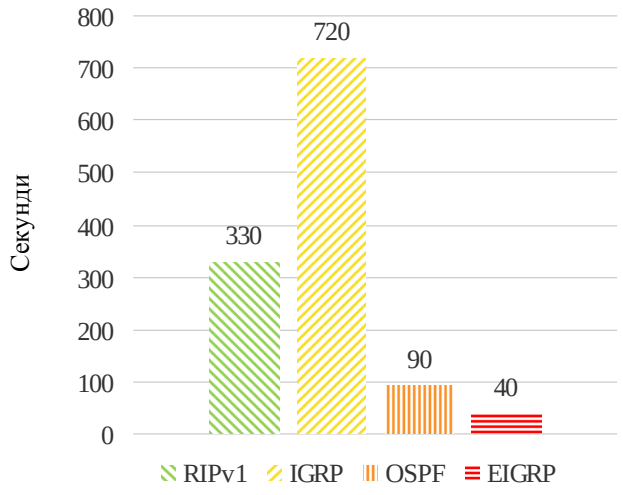


Рис. 4. Порівняльна характеристика основних протоколів динамічної маршрутизації за значенням часу збіжності протоколу

Протокол OSPF. Найбільш універсальним та гнучким у налаштуванні протоколом динамічної маршрутизації у корпоративних мережах на сьогоднішній день є відкритий протокол вибору першого найкоротшого шляху (Open Shortest Path First Protocol – Відкритий. Найкоротший шлях перший). Він заснований на алгоритмі стану каналів зв'язку і володіє високою стійкістю до змін топології мережі зі швидкою збіжністю. При виборі маршруту використовується метрика пропускної здатності складової мережі (тобто передача даних по найбільш швидкісних каналах зв'язку). Протокол може підтримувати різні вимоги IP-пакетів на якість обслуговування (пропускна спроможність, затримка та надійність) за допомогою побудови окремої таблиці маршрутизації для кожного із цих показників.

Нехай мережа представляється графом $G=(V, E)$, де $|V|$ – кількість вершин у графі, $|E|$ – кількість ребер у графі, тоді зі збільшенням значення $|V| \approx |E|$ кількість маршрутів, що використовують спільні ребра буде збільшуватись та, водночас, зросте імовірність одночасного існування потоків у даних ребрах.

Це еквівалентно перевантаженню сегмента мережі, або погіршенню рівня якості сервісу кожного з потоків. Структури, де $|E| \approx |V|$ мають низьку зв'язність, тому ребра максимально задіяні у маршрутах. Через низьку кількість ребер не завжди можуть існувати альтернативні маршрути, тож особливості фізичної топології мережі сильно впливають на вибір маршрутів. Кількість маршрутів, що припадає на кожне ребро приблизно однакова, що робить будь-яку частину мережі потенційно вразливою до перевантаження.

Протилежна ситуація, коли $|E| >> |V|$, сприяє появі суттєвого розкиду значень кількості маршрутів на ребро. У таких мережах явно виражена потенційно вразлива ділянка, проте у деяких випадках вона вказує на магістраль мережі, тому за обраним маршрутом є можливість забезпечити необхідний об'єм ресурсів для потоку. Характерною ознакою таких структур є дві протилежні ситуації: одні потоки отримують надлишкову кількість ресурсів мережі, яку ніколи не застосовують, також вона недоступна іншим потокам через вибрані маршрути; інші значною мірою залежать від існування та рівня сервісу суміжних потоків, та ведуть боротьбу за виділений ресурс.

Для мереж, де $|E| \approx |V|$ вибір типу фізичної топології є головним фактором при розподілі ресурсів для обраних маршрутів, оскільки, маршрути утворять логічну структуру з обмеженого набору шляхів, що за таких умов робить її максимально подібною до фізичної. У мережах із $|E| >> |V|$ фізична структура забезпечує множину альтернативних шляхів, з яких протоколи динамічної маршрутизації утворюють логічну структуру, яка не завжди може забезпечувати максимально ефективне використання ресурсів мережі. Для першого типу мереж необхідно правильно підібрати фізичну структуру, для другого – змінити логічну структуру шляхом вибору альтернативних маршрутів, що дозволять внести зміни у розподіл ресурсів.

Для проведення досліджень над структурою графу потрібно його створити у вигляді матриці суміжності S розміром $|V|$ x $|V|$ де заповнені або ненульові елементи відповідають ребрам графа. Елементами матриці суміжності S можуть виступати вагові коефіцієнти ребер, або для варіанту телекомунікаційної мережі матриця суміжності S відповідає матриці пропускних спроможностей ребер C. Елементи матриці S, прийматимуть значення "1" при наявності ребра між вершинами i та j, $i \neq j$ та "0" при відсутності. Для створення структури спрямованість ребер є не важливою, тому достатньо заповнити елементи над або під діагоналлю матриці S; в подальшому буде заповнюватись верхня діагональ. Кожен ненульовий елемент матриці S визначає ребро $e_{i,j}$, що входить до множини E. Кількість ребер в графі повинна задовольняти умову зв'язності, за основним визначенням якої між будь-якою парою вузлів повинен існувати шлях. Для цього граф повинен характеризуватись мінімальною кількістю ребер, яка рівна:

$$|E_{\min}| = |V| - 1. \quad (1)$$

Загальна кількість комірок, яку потрібно заповнити в матриці S становить:

$$|E_{\max}| = \frac{|V|^2 - |V|}{2}. \quad (2)$$

Отже, для побудови графу *G=(V, E)* з накладеною умовою зв'язності кількість ребер повинна бути від $|E_{\min}|$ до $|E_{\max}|$, що дозволить представити його як телекомунікаційну мережу.

При заданих $|V|$ та $|E|$ кількість утворених варіацій фізичних структур визначається відповідно до закону комбінацій як:

$$C_{|E_{\max}|}^{|E|} = \frac{|E_{\max}|!}{|E|! \cdot (|E_{\max}| - |E|)!} \quad (3)$$

Підґрунтям для методу синтезу фізичної структури є метод аналізу ієрархій (MAI), за допомогою якого отримано показник ефективності. MAI служить інструментом прийняття складних рішень відповідно до встановлених критеріїв та пріоритетів. Основним недоліком методу є те, що вхідні дані встановлює експерт та визначає оцінки при відповіді на запитання "Який з об'єктів є важливішим?" шляхом попарного порівняння кожного досліджуваного об'єкту. Кожна оцінка виражає міру переважання одного об'єкту над іншим відповідно до поставлених критеріїв.

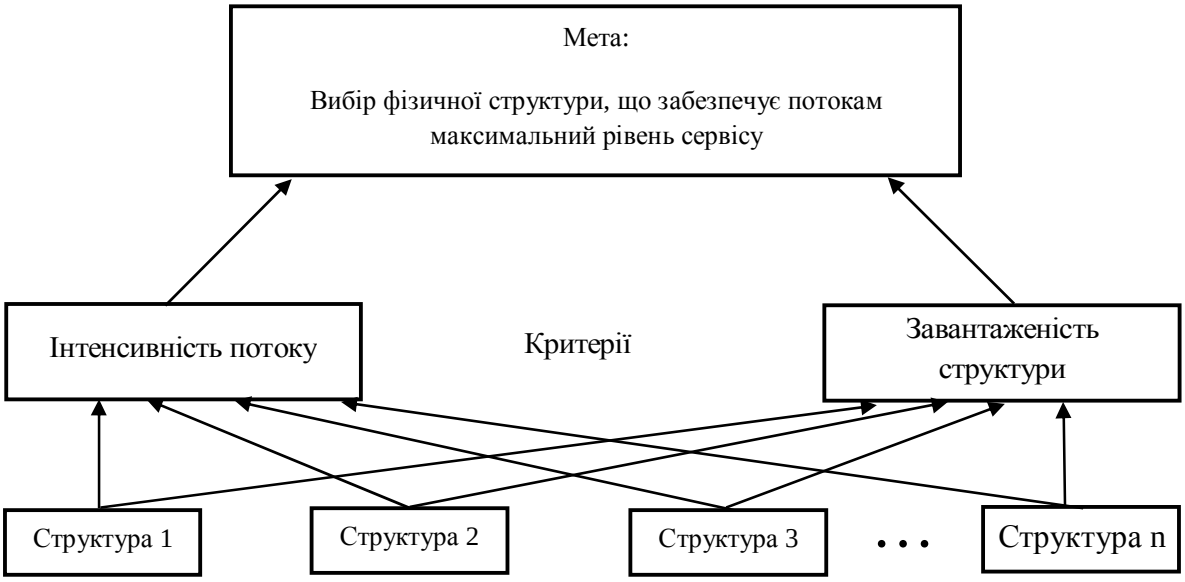


Рис. 5. Ієрархічна модель синтезу фізичної структури

Застосування методу аналізу ієрархій передбачає розбиття проблеми на ієрархічні рівні (рис. 6). Найвищий рівень, що є першим рівнем ієрархії, являє собою мету, яку потрібно досягнути при прийнятті рішення. У даному випадку метою є пошук найбільш ефективної структури, яка дасть змогу протоколам динамічної маршрутизації визначити найкоротші маршрути з найвищим рівнем параметрів якості сервісу для потоків. Поставлена мета відображає завдання знаходження мінімуму або максимуму відповідно до даних, які надходять з нижчого рівня ієрархії.

На другому рівні знаходяться критерії з допомогою яких досягається поставлена мета. Кількість критеріїв може бути довільною. У роботі обумовлено два критерії: інтенсивність потоку *I* та завантаженість мережі *L*. Особливістю MAI є те, що кожному критерію відповідає пріоритет або вага с, що впливає на кінцеве рішення. Така особливість є досить важливою для телекомунікаційних мереж, які хоча і будуються як мультисервісні, проте, завжди є частина переважаючого трафіку в загальному потоці. Також, основний поділ трафіку на чутливий та не чутливий до затримки вносить свої особливості у важливість характеристик якості сервісу, які будуть виступати критеріями при оцінці структур. Критеріями оцінки вибрано параметри якості сервісу тому, що мережа створюється для обслуговування потоків, які повинні транспортуватись через неї з мінімально необхідним рівнем сервісу, для задовільного сприйняття користувачем. Тобто, дотримання рівня якості сервісу для потоків буде визначати ефективність функціонування мережі.

На третьому рівні ієрархії постають альтернативи – це можливі рішення досліджуваної проблеми. У даному випадку альтернативами постають структури, серед яких обирають найкращу. Як вже зазначалось поняття найкращої структури згідно суб'єктивних уподобань є неправильним, тому буде введено додатковий рівень ієрархії. Таке введення не суперечить MAI та розглядається як деталізація об'єкту досліджень. Додатковим рівнем будуть виступати потоки, що на даному рівні розуміється як абстрактний об'єкт, який при взаємодії з верхнім рівнем, тобто структурою, набуває своїх характеристик, які є критеріями другого рівня та порівнюються на найвищому рівні.

На кожному рівні ієрархії MAI здійснюється опрацювання даних нижчого рівня, а результат

передається на вищий. На найвищому рівні ієрархії, згідно поставленої мети, приймається остаточне рішення при порівнянні показників ефективності кожної досліджуваної структури. Розрахунок показника P_k є простим за своєю сутністю та представлений залежністю (4) і є сумарним значенням зважених критеріїв.

$$P_k = \max\left[\sqrt[|V|]{\prod_{i=1,i=2}^{|V|} I_{i,j}^{\omega_1}} + \sqrt[|V|]{\prod_{i=1,i=2}^{|V|} L_{i,j}^{\omega_2}}\right], i \neq j \quad (4)$$

де P_k – показник ефективності структури;

I, L – матриці-критерії інтенсивності потоків та завантаженості;

ω_1, ω_2 – вага або пріоритет критерію;

i – кількість вузлів графу,

j – кількість ребер у графі.

P_k може змінюватись в межах, які залежатимуть від значень, що приймають критерії, тобто шкали оцінювання. При формуванні значення критерію буде здійснено його нормування до діапазону від "0" до "1", та в подальшому відповідно до ваги або пріоритету с критерію буде задаватись його частка у кінцевому показнику. Вона вказується експериментатором, який досконало розбирається у предметі досліджень та знає, які з критеріїв є важливішими над іншими.

Пріоритет може внести вагомі зміни у кінцевий показник, якщо відомо наскільки важливим є критерій для передачі потоків із заданим видом трафіку. При визначенні фізичної структури, не встановлюється прив'язка до конкретних видів трафіку, вона упускається. У відповідності до поставленої мети критерієм ефективності буде максимум показника P_k, тому наближення показника до «1» характеризує найбільш ефективну фізичну структуру, яка відповідно до обраних маршрутів забезпечить найвищі показники якості сервісу для потоків.

Критеріями порівняння структур виступають параметри якості сервісу, які є важливими при транспортуванні потоків. Основними характеристиками якості сервісу на яких основані сучасні метрики є наступні: пропускна спроможності, затримка та завантаженість.

Першим етапом у розробці досліджуваної моделі є створення неорієнтованого графа G=(V, E) телекомунікаційної мережі у вигляді матриці суміжності S. Для створення дослідної моделі, яка б могла надати достатню кількість результатів потрібно внести можливість задавати початкові параметри її роботи. Для генерації графа G=(V, E) такими параметрами будуть кількість вузлів $|V|$ та ребер $|E|$. Параметр кількості вузлів $|V|$ є первинним і може приймати будь-які натуральні значення $|V| \in$ N, окрім значення 1, оскільки мережею називається об'єднання пристроїв, то в неї повинні входити хоча б 2 пристрої з'єднані між собою ребром. Кількість ребер $|E|$ є вторинним параметром і безпосередньо залежить від кількості вузлів $|V|$. Як було обумовлено у другому розділі граф повинен відповідати умові зв'язності, тому для заданого значення кількості вузлів $|V|$ існує мінімальне значення кількості ребер, при якому виконується умова (1), і рівне $|E_{\max}|$. Максимальне значення кількості ребер повинно утворювати повнозв’язну структуру, з $|E_{\max}|$ (2), тобто заповнити всі комірки над або під діагоналлю матриці S розмірністю $|V|$ x $|V|$.

Межі дотримання кількості ребер від $|E_{\min}|$ до $|E_{\max}|$ потрібні для відповідності графа G=(V,E) телекомунікаційній мережі, а також для конкретизації вибірки досліджуваних фізичних структур. Кількість комбінацій ребер $C_{|E_{\max}|}^{|E|}$ (3) вказує на максимум варіацій фізичної структури без врахування їх зв’язності та містить велику кількість ізоморфних структур. Кількість незв'язних структур для заданих $|V|$ і $|E|$ є сталим числом, проте, розрахувати його наперед неможливо, так як невідомо математичної залежності.

Основним способом знаходження незв'язних структур є їх відсіювання за умовою відсутності шляху між будь-якою парою вузлів. Порівняння графів на ізоморфність є складним і тривалим процесом, тому його буде упущено. Отже, в результаті створити та проаналізувати $C_{|E_{\max}|}^{|E|}$ (3) структур, які будуть прототипами для дослідження роботи вибору методу вибору фізичної структури. Створення кожного графа у вигляді матриці суміжності *S* оперує лише двома величинами: наявністю або відсутністю ребра між заданою парою вершин *i* та *j*, $i \neq j$. В такому разі, буде використовуватись двійковий код, $2^{|E_{\max}|}$, в якому кількість ненульових розрядів є не меншою від $|E_{\min}|$.

В таблиці 1 представлено значення показника ефективності для згрупованих структур відповідно до утвореної топології. Більшість утворених структур із 5-ти вершин не мають літературної назви топології та об'єднуються під класом гібридних. Для їх позначення буде використана числова абревіатура згідно з рис. 6, де першим значенням буде кількість ребер структури, другим її порядковий номер на рис. 6. Для прикладу топологія 4.3 – це зірка згідно з рис. 6.

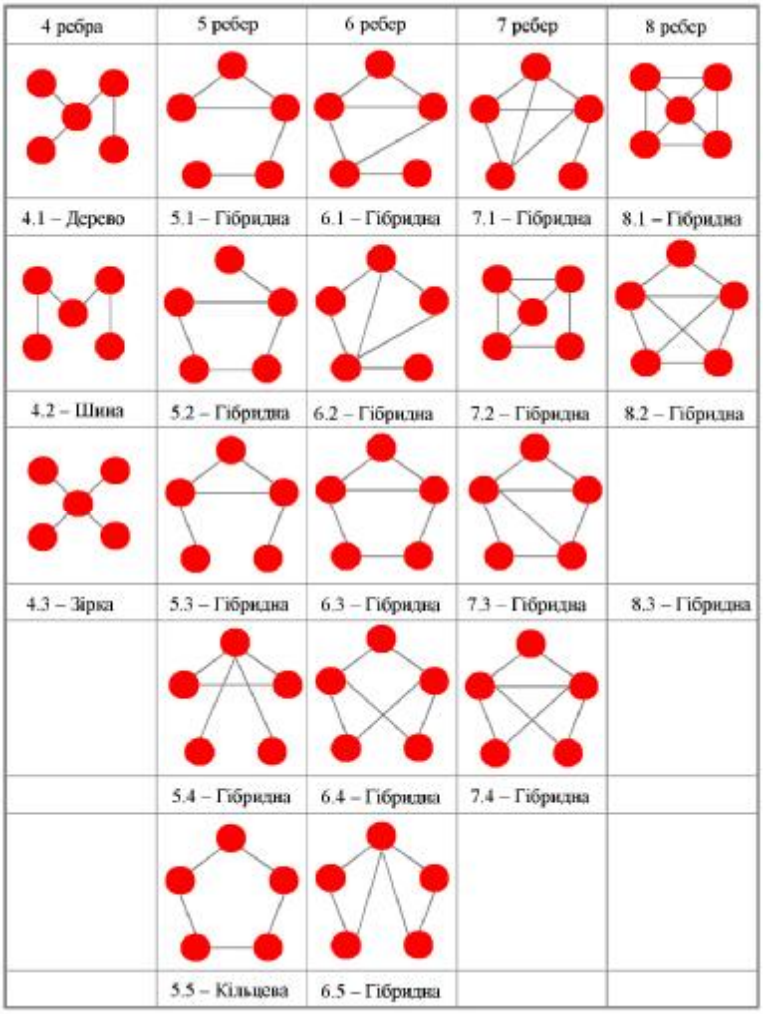


Рис. 6. Класифікація структур телекомунікаційних мереж з п'ятьма вершинами за кількістю ребер

Таблиця 1

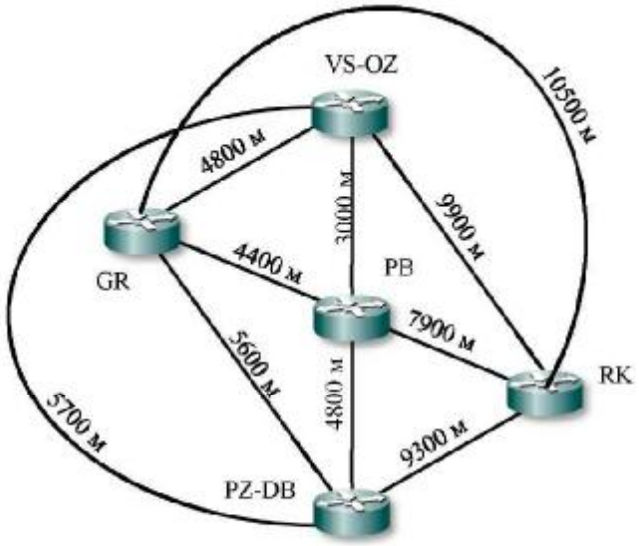
Значення показника ефективності для структур з п'ятьма вершинами

Кількість ребер $\|E\|$	Топологія, відповідно до рис. 7	Кількість зв'язних структур в топології	Показник ефективності структури P		
1	2	3	4		
4	Дерево, 4.1	5	0,5228		
	Шина, 4.2	60	0,5234		
	Зірка, 4.3	60	0,625		
5	Гібридна, 5.1	60	0,5206		
	Гібридна, 5.2	60	0,5742	0,5892	
	Гібридна, 5.3	60	0,5892		
	Гібридна, 5.4	30	0,6169		
	Кільце, 5.5	12	0,6667		
6	Гібридна, 6.1	60	0,6218	0,6443	
	Гібридна, 6.2	60	0,6225	0,6557	
	Гібридна, 6.3	60	0,6225	0,6723	
	Гібридна, 6.4	10	0,6557		
	Гібридна, 6.5	15	0,7076		
7	Гібридна, 7.1	20	0,6756		
	Гібридна, 7.2	30	0,6756	0,6756	0,6756
	Гібридна, 7.3	60	0,7259		
	Гібридна, 7.4	10	0.7586		
8	Гібридна, 8.1	15	0,7908	0,8299	
	Гібридна, 8.2	30	0,7908	0,8299	
9	Сітка, 9.1	5	0,9061		
10	Повнозв'язна, 10.1	1	1		

Як видно з таблиці 1, значення показника ефективності для структур із різною кількістю ребер може бути однаковим, а іноді, структури з меншою кількістю ребер стають більш ефективні. На рис. 7 показано діапазони зміни показників P для кожної групи структур. Рекомендується використовувати досліджений метод, як інструмент початкового відсіювання гірших топологій, а знайдені результати піддавати комп'ютерному моделюванню.

Проведено дослідження по визначенню ефективності структур з 4, 5 та 6-а вершинами. Для кожної структури був визначений показник ефективності та здійснено порівняльний аналіз структур між собою. За результатами дослідження структури чотирма ребрами отримали показники ефективності *P* у діапазоні від 0,558 – 0,625, зіркоподібна топологія є найкращою структурою з кількістю ребер рівною 4. Для структур з $|E| = 5$ показник ефективності коливається у діапазоні від 0,742 до 0,6667, серед даної групи структур найкращою топологією є кільцева, вона випереджає топологію зірка 4.3 на 4%. Структури з $|E| = 6$ та $|E| = 7$ отримали показники ефективності у діапазоні від 0,6218 до 0,0,7076 та від 0,6756 до 0,8299 відповідно. Серед структур з шістьма ребрами найбільш ефективною є гібридна топологія 6.5, яка є ефективнішою від топології та ефективніша за топологію 5.5 на 4% та на 8%, серед структур з сімома ребрами найефективнішою є гібридна топологія 7.4, що на 9% ефективніше за топологію 6.5 на 5%, за топологію 5.5 на 9%, та за топологію зірка 4.3 на 13%.

Для дослідження основних топологій телекомунікаційних мереж за критерієм «ефективність – вартість» спробуємо спроектувати телекомунікаційну мережу одного з інтернет-провайдерів міста Хмельницький. План-схема розміщення маршрутизаторів зображена на рисунку 8.



VS-OZ – Магістральний маршрутизатор, що обслуговує райони «Виставка» та «Озерна»;

GR – Магістральний маршрутизатор, що обслуговує район «Гречани»;

PB – Магістральний маршрутизатор, що обслуговує район вулиці Прибузька, та центральну частину міста Хмельницького;

RK – Магістральний маршрутизатор, що обслуговує район «Раковє»;

PZ-DB – Магістральний маршрутизатор, що обслуговує райони «Південно-західний» та «Дубово»;

Рис. 7. Схема розташування маршрутизаторів (вершин) та відстань між ними у мережі для дослідження

Для дослідження основних топологій телекомунікаційних мереж (рис. 7) буде створено зведену таблицю вартості побудови різних топологій телекомунікаційних мереж, та проведено порівняльну графічну характеристику за критерієм «ефективність-вартість».

Для спрощення процесу проектування топології мережі та розрахунку умовної вартості побудови відповідної топології обумовлено декілька критеріїв:

1) Топологія мережі буде складатися з 5 маршрутизаторів (вершин), кожен з яких буде відповідати за обслуговування окремого району міста;

2) У ролі маршрутизаторів обрано модель Cisco 12016E/80, що дозволяє забезпечити пропускну спроможність близько 80 Гбіт/с;

3) Вартість Cisco 12016E/80 становить 32500$;

4) Для спрощення розрахунків обрано оптоволоконний кабель як середовище передачі інформації, з урахуванням умов прокладання було обрано одномодовий 12-жильний оптичний кабель FinMark LT048-SM-07, вартістю 4.20 $ за 1 погонний метр;

5) умовна вартість прокладання 1 км оптоволоконного кабеля складає 190,3$;

Таблиця 2

Значення показника ефективності та умовної вартості конструювання різних топологій телекомунікаційних мереж

Кількість ребер $\|E\|$	Топологія, відповідно до рис. 7	Показник ефективності структури P	Нормоване значення вартості конструювання мережі S_n	Сумарна вартість конструювання мережі, S_m, \$
1	2	3	4	5
4	Дерево, 4.1	0,5228	0,61036	275762
	Шина, 4.2	0,5234	0,60259	272250
	Зірка, 4.3	0,625	0,55498	250739
5	Гібридна, 5.1	0,5206	0,70656	319223
	Гібридна, 5.2	0,5742 | 0,5892	0,71741	324125
	Гібридна, 5.3	0,5892	0,69878	315711
	Гібридна, 5.4	0,6169	0,65117	294200
	Кільце, 5.5	0,6667	0,657	296834
6	Гібридна, 6.1	0,6218 | 0,6443	0,71822	324491
	Гібридна, 6.2	0,6225 | 0,6557	0,66477	300346
	Гібридна, 6.3	0,6225 | 0,6723	0,7532	340295
	Гібридна, 6.4	0,6557	0,76	343368
	Гібридна, 6.5	0,7076	0,76	343368
7	Гібридна, 7.1	0,6756	0,79692	360050
	Гібридна, 7.2	0,6756 | 0,7259 | 0,7289	0,79595	359611
	Гібридна, 7.3	0,7259 | 0,7289	0,85522	386390
	Гібридна, 7.4	0.7586	0,85619	386829
8	Гібридна, 8.1	0,7908 | 0,8299	0,84259	380683
	Гібридна, 8.2	0,7908 | 0,8299	0,91061	411413
9	Сітка, 9.1	0,9061	0,95336	430729
10	Повнозв'язна, 10.1	1	1	451801

Рис. 8. Зведений графік взаємозалежності показника ефективності структур та їхньої вартості з сортуванням за значенням показника ефективності структур

В результаті дослідження були надані науково-практичні рекомендації, що за критерієм «ефективність-вартість» найбільш доцільно проектувати мережу з топологією зірка 4.3, показник вартості реалізації якої є найнижчим та рівний S_n = 0,55498, при цьому значення ефективності P для цієї структури складає 0,625.

Згідно проведених дослідів у розділі 3 вибір фізичної структури для мереж із низькою зв'язністю має значний вплив на подальше функціонування телекомунікаційної мережі. Обмеженість у виборі маршрутів або відсутність обхідних шляхів є ключовим фактором у неможливості змінити ситуацію після побудови мережі шляхом програмних методів. Хоча задача маршрутизації є неактуальною для мереж з низькою зв'язністю, однак, її використання дозволяє автоматизувати процес відновлення роботи мережі після виходу з ладу її компонентів. Тому, проектування ефективної фізичної структури із врахуванням особливостей динамічної маршрутизації дозволяє наперед передбачити шляхи передавання даних та врахувати перевантажені маршрутами сегменти при виборі пропускних спроможностей каналів.

Як було досліджено вище, зміна фізичної структури дає більший приріст ефективності ніж зміна логічної структури маршрутами з однаковою метрикою. Мережеві пристрої та лінії є основою утворення ресурсів мережі, однак, утворена ними фізична структура та обрані в них маршрути не дозволяють гарантувати залучення усього доступного ресурсу при обслуговуванні потоків. Тому, обов'язковим критерієм вибору структури повинна бути завантаженість мережі, яка вказує ефективність використання ресурсів структури.

Загалом, застосовувати метод синтезу фізичної структури слід із дотриманням наступних рекомендацій:

- застосовувати метод синтезу фізичної структури мережі потрібно на початковому етапі проектування, для вибору мінімальної множини робочих топологій із заданою кількість вершин та ребер;
- застосування методу передбачає сталість інтенсивності потоків, тому після вибору найбільш ефективної структури її потрібно змоделювати у симуляторах вищого рівня (OpNet, NS_3, NetSim, GloMoSim, OMNeT++);
- застосування методу упускає розгляд характеристик вузлів, тому більшість синтезованих структур будуть тяжіти до зіркоподібної, а врахування даного фактору можливе при модифікації ієрархії MAI з введенням додаткового критерію;
- залежно від прогнозованого типу переважаючого трафіку є можливість змінити вагові коефіцієнти критеріїв вибору фізичної структури;
- при виборі найбільш ефективних структур варто врахувати у виборі структури із меншою і більшою кількістю ребер, оскільки, неузгодженості у поєднанні фізичної і логічної структур можуть призвести до появи невикористаного ресурсу мережі, сумарне значення якого може компенсувати ефективність додаткового ребра;
- досліджений метод може бути використаний при модернізації мережі для пошуку більш ефективних рішень фізичної структури згідно існуючих вимог функціонування мережі;
- вибір алгоритмів динамічної маршрутизації можна змінювати в залежності від того чи задані пропускні спроможності ребер, для максимального наближення вибору маршрутів до результатів роботи протоколів динамічної маршрутизації.

В загальному даний метод синтезу фізичної структури є досить гнучкий за рахунок застосування MAI та може бути модифікований згідно поставленої цілі дослідження. Кількість критеріїв на другому рівні ієрархії є необмеженою і залежить від дослідника, тому варто поряд із інтенсивністю потоків та завантаженістю мережі ввести додаткові критерії якими можуть бути вартість побудови мережі, характеристики вузлів або параметри якості сервісу.

Метод модифікації логічної структури направлений на усунення недоліків метрики маршрутизації, та дозволяє врахувати у виборі маршрутів невикористані ресурси сегментів мережі. Передбачається використання методу лише за результатами роботи протоколу динамічної маршрутизації та внесенні відповідних змін у вигляді статичних маршрутів. Це передбачає початкову збіжність протоколу динамічної маршрутизації. Введення змін у таблицю маршрутизації буде ініціювати обмін службовою інформацією для повідомлення внесених змін. Варто враховувати наступні рекомендації при застосуванні методі модифікації логічної структури:

- важливим фактором є початкове відсіювання маршрутів вибраних за допомогою алгоритму MST, що суттєво знизить роботу методу;
- застосування алгоритму MST до матриці завантаженості будує найменш завантажене дерево у мережі, що є ефективним інструментом пошуку невикористаного мережевого ресурсу;
- застосування методу модифікації логічної структури з використанням матриці завантаженості ребер маршрутами можливе до початку роботи протоколу динамічної маршрутизації, оскільки, враховуються лише факт існування потоку у ребрі;
- також, застосування описаного методу з використанням матриці завантаженості з відносними представленням вимог потоків у вигляді пропускної здатності, виконується до початку роботи протоколів динамічної маршрутизації за результатами прогнозування інтенсивності кожного з вузлів;
- в подальшому, за результатами збору статистики трафіку, застосування методу модифікації логічної структури дозволить найбільш ефективно вибрати маршрути із залученням максимального об'єму

ресурсів фізичної структури;

- застосування методу оперує завантаженістю мережі, тому найбільш доцільніше його застосовувати для протоколів динамічної маршрутизації RIP та OSPF, у яких вона не враховується;

Дотримання даних рекомендацій щодо застосування методів дозволить мінімізувати додаткове навантаження на мережу та підвищити ефективність використання мережевих ресурсів.

Висновки

Розроблено модель формування фізичних та модифікації логічних структур відповідно до описаних у роботі методів. Для синтезу фізичної структури вхідними даними є кількість вузлів мережі або множина досліджуваних топологій, а кінцевим результатом є присвоєння кожній структурі показника ефективності. При модифікації логічної структури здійснюється пошук множини маршрутів та для кожного вказується показник розподілу ресурсів. Проведено дослідження по визначенню ефективності структур з 4, 5 та 6-а вершинами. Для кожної структури був визначений показник ефективності та здійснено порівняльний аналіз структур між собою. Проведено дослідження по модифікації логічної структури, побудованої згідно з дистанційно векторними протоколами динамічної маршрутизації, показано, що варіації логічної структури в межах еквівалентних маршрутів можуть збільшити ефективність структури на 7.3%, однак, застосування методу модифікації логічної структури вказує на вибір довшого маршруту, під час застосування якого розподіл мережевих ресурсів досягає свого максимуму (100%). Розраховано показники досліджуваних структур телекомунікаційних мереж за критерієм «ефективність – вартість».

Надано науково-практичні рекомендації та вказано обмеження щодо застосування методу синтезу фізичної структури при побудові та модернізації телекомунікаційних мереж. Надано перелік рекомендацій щодо передумов застосування методу модифікації логічної структури у телекомунікаційних мережах.

Література

1. Електронні засоби навчання. Телекомунікаційні системи та мережі. Структура й основні функції : том 1 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.znanius.com/3533.html

2. G. Malkin, F. Baker, "RIP Version 2 MIB Extension", RFC 1389, January 1993.

3. Муляр І. В. Оцінка протоколів динамічної маршрутизації для інтегрованих мереж / І. В. Муляр, А. І. Сбітнєв, А. В. Джулій, О. С. Лєнков // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. – 2013. – Вип. 43. – С. 158 – 165.

4. Климаш М.М. Теоретичні основи телекомунікаційних мереж : навчальний посібник / М.М. Климаш, Б.М. Стрихалюк, М.В. Кайдан. – Львів : Вид-во УАД, 2011. – 496 с.

References

1. Elektronni zasoby navchannya. Telekomunikacijni systemy ta merezhi. Struktura j osnovni funkciyi. Tom 1.

2. G. Malkin, F. Baker, "RIP Version 2 MIB Extension", RFC 1389, January 1993.

3. Mulyar I. V., Sbitnyev A. I., Dzhulij A. V., Lyenkov O. S. Ocinka protokoliv dynamichnoyi marshrutyzaciyi dlya intehrovanyx merezh. Zbirnyk naukovyx prac Vijskovoho instytutu Kyyivskoho nacional"noho universytetu imeni Tarasa Shevchenka. 2013. Vyp. 43. S. 158 – 165.

4. M.M. Klymash, B.M. Stryxalyuk, M.V. Kajdan, Teoretychni osnovy telekomunikacijnyx merezh: navchalnyj posibnyk, Lviv: Vydavnyctvo UAD, 2011. 496 s.

Рецензія/Peer review : 9.8.2015 р. Надрукована/Printed : 30.8.2015 р.
Рецензент: д.т.н., професор Мартинюк В.В.

УДК 681.325

П.В. ГУМЕННИЙ
Тернопільський національний економічний університет

ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ОРГАНІЗАЦІЇ АСОЦІАТИВНОЇ ПАМ'ЯТІ КОЛЕКТИВНОГО КОРИСТУВАННЯ НА ОСНОВІ ВЕРТИКАЛЬНО-ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ

В роботі розроблені теоретичні засади та принципи організації пам'яті колективного користування на основі вертикально-інформаційної технології із захистом даних від несанкціонованого доступу. Розроблено функціональну і структурну схему пам'яті колективного користування та здійснена її формалізації. Розроблений фрейм, який реалізує ідентифікований доступ до пам'яті колективного користування та розраховані складності ідентифікаційного модуля пам'яті колективного користування.

Ключові слова: вертикально-інформаційна технологія (ВІТ), теоретико-числовий базис (ТЧБ), пам'ять колективного користування (ПКК), комутаційна мережа (КМ), контролер комутаційної мережі (ККМ).

P.V. HUMENNIY
Ternopil national economical university

THEORETICAL FOUNDATIONS OF ASSOCIATIVE MEMORY SHARED BASED IN THE VERTICALLY INFORMATION TECHNOLOGY

Abstract – The aim is to develop a theoretical basis and practical solutions to implement the multi-access memory, which is implemented on the basis of vertical informational technologies in theoretical and numerical basis Galois and implement the identified access allows many users. The paper study the latest achievements in the development of memory modules and memory are the benefits of implementing collective use based on vertical information technology.

The method of memory collective access (MCA) is implementation of its formalization. Realized chart which clearly demonstrates the principle identified access subscriber's n to m memory banks on the basis of vertical information technology in coded Galois basis. The structure of the frame is implements remote memory access and calculated its options regarding the growing number of databases and the length of their addresses. Implemented functional block diagram of memory and collective use and designed-address identification module that protects data placement in memory from unauthorized access. Estimated time complexity authentication and register addressing memory pages shared use. The comparative assessment of collective memory architecture based on the use of information technology vertical relative to the star topologies, which showed increase system performance, continues to increase linearly depending on the increase in the flow of incoming tasks. Given that the number of incoming problems for the structure of the MCA is similar to the number of input channels MCA, the performance of the system will increase linearly. Developed collective memory use, by using code sequences Galois implements a simple scheme where each subscriber of works in "exclusive" mode of the MCA, without conflicts and clashes with other processing elements working.

The theoretical basis and schematic decisions create collective use memory beyond, in the implementation of distributed systems, microprocessor-based vertical information technology in coded Galois basis.

Keywords: vertical information technology (VIT), theoretical and digital basis (TDB), memory collective access (MCA), switching network (SN), switching network controller (SNC).

Вступ. У розвитку сучасних мікропроцесорних та спецпроцесорних систем з кожним роком відбуваються тенденції до вдосконалення. Застосовуються нові нано-технології, збільшується кількість ядер на одному кристалі, зростає розрядність процесора, застосовуються нові набори інструкції та інше. Відповідно до закону Мура, щільність упаковки транзисторів в чіпі процесора і обчислювальна потужність подвоюються кожні два роки. Звідси, підвищення швидкодії буде можливо тільки шляхом переходу від транзисторів до принципово нових компонентів нано-електроніки, або розробки нових науково-технічних рішень. Важливим компонентом процесорів являється пам'ять, яка має визначальний вплив на характеристики обчислювального пристрою. З розвитком процесорів істотні зміни відбулися і в будові пам'яті, значно покращились їх характеристики, разом з тим виникає потреба у створенні пам'яті з новими властивостями, якими не володіють наявні сучасні типи. Зокрема, під час виконання інтенсивних розподілених обчислень над масивами даних потрібно забезпечувати паралельний доступ до даних з багатьох каналів одночасно, із зчитуванням раніше прийнятих масивів даних для опрацювання в операційних пристроях, тобто паралельно забезпечувати паралельний багатопортовий доступ до пам'яті із забезпеченням захисту від сторонніх впливів.

Постановка проблеми. Більшість розробників при проектуванні мікропроцесорних пристроїв акцентують свою увагу на двійковій системі числення (теоретико-числовий базис Радемахера) [1]. Проте двійкова система числення має певні обмеження: наявність міжрозрядних зв'язків, велика розрядність шин адресу та даних(n = 32,64,128…), велика кількість зовнішніх зв'язків на ПЛІС [2]. Тому виникає перспектива у дослідженні та ефективному застосуванні інших теоретико-числових базисів, (ТЧБ) зокрема: Хаара, Крестенсона, Унітарного, Галуа [3]. З перелічених базисів особливо перспективним являється ТЧБ Галуа, як основа вертикально-інформаційної технології(ВІТ) [4]. Біт-орієнтовані спецпроцесори на основі вертикально-інформаційної технології потребують високошвидкісної багатопортової пам'яті колективного користування, яка зможе забезпечувати ідентифікований доступ, використовуючи властивості кодів поля Галуа. Виконання цієї функції на існуючих типах пам'яті є доволі складною задачею, а у більшості випадків нерозв'язною з прийнятними характеристиками задачею, що зумовлено їх потенційними обмеженнями [3]. Основною класифікаційною ознакою пам'яті є спосіб доступу до даних, який в ній реалізовано. Ця ознака

задає потенційні можливості стосовно багатопортового паралельного доступу до даних із захистом від несанкціонованого доступу, що забезпечують властивості кодів поля Галуа. Такий доступ не забезпечується жодним з сучасних типів пам'яті, а саме пам'яті з довільним, асоціативним та послідовним доступом. Тому існує потреба у розробці асоціативної багатопортової пам'яті колективного користування із захистом від несанкціонованого доступу на основі вертикально-інформаційної технології для розв'язання задач роботи з великими масивами даних.

Мета роботи. Розробка теоретичних засад та технічних рішень асоціативної багатопортової пам'яті колективного користування із захистом даних від несанкціонованого доступу.

Постановка завдання.

1. Дослідження вертикально-інформаційної технології.
2. Розробка функціональної та структурної схему пам'яті колективного користування на основі вертикально-інформаційної технології та здійснення її формалізації.
3. Реалізація ідентифікаційно-адресного модуля пам'яті колективного користування та фрейм який реалізує ідентифікований доступ.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. У роботах [5, 6] запропоновано принципи та варіанти побудови пам'яті впорядкованого доступу. Як і пам'ять з послідовним доступом, пам'ять із впорядкованим доступом орієнтована на роботу з масивами даних. У цій пам'яті забезпечується доступ до даних у програмно вставленому порядку, тобто індекс, який надходить до пам'яті разом з даними під час їх запису або зчитування позначає місце даних у вихідному масиві. Корпорацією Marvell World Trade Ltd. розроблена багатопортова пам'ять [7], що використовується у мережі та забезпечує приймання/передачу від одного або декількох джерел даних на на n комутаційних пристроїв. У роботі [8] запропоновано метод паралельного доступу до пам'яті колективного користування та пристрій, який його реалізує, у якому паралельний доступ M-абонентів до пам'яті колективного користування на основі багатопортової пам'яті здійснюється на основі комутації банків пам'яті та розмежування адресних кодів даних, які одночасно дублюються у багатьох банках пам'яті. Досліджуванні типи пам'яті реалізовані на основі двійкової системи числення, характеризуються надлишковістю даних, великою розрядністю адресних шин, що створює трудності при розведенні контактів пристрою на ПЛІС та неможливістю реалізації захисту даних від несанкціонованого доступу.

Теоретичні засади реалізації багатопортової пам'яті колективного користування на основі ВІТ.

Відома багатопортова пам'ять [8] функціональна схема якої представлена на рис. 1, суть якої полягає у тому, що доступ до даних реалізується на основі системи багатопортової пам'яті, яка має багато вхідних/вихідних портів даних для надання адресу тільки один раз на сторінці.

У банках пам'яті для зберігання даних кожна сторінка зберігається у всіх зазначених банках пам'яті, а зчитування даних виконується сторінка за сторінкою з використанням адресів для можливості розпаралелення введення/виведення даних та розмежування у портах введення/виведення у кожному з банків пам'яті, в тому числі згідно паралельної адресації доступу до всіх даних у межах кожної сторінки та комутаційної мережі, яка з'єднана з вхідними/вихідними даними портів. У банках пам'яті з послідовним перемиканням лінії передачі даних згідно адреси сторінок вибраних портів вводу/виводу, сторінка доступу ініціюється для передачі обраного банку даних вказаних портів введення /виведення інформації.

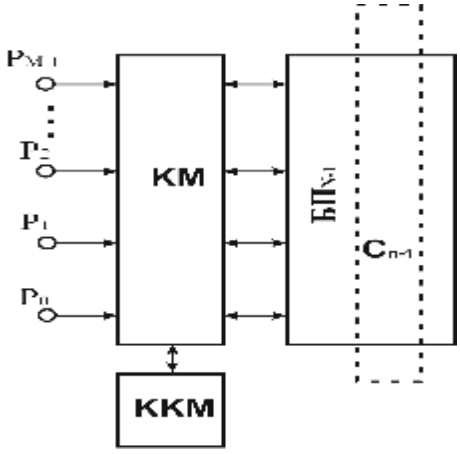


Рис. 1. Функціональна схема відомої багатопортової пам'яті колективного користування: $P_0 \ldots P_{M-1}$ – порти вводу виводу; КМ – комунікаційна мережа; ККМ- контролер комунікаційної мережі; БП – банки пам'яті; C_{n-1} – сторінки банків пам'яті

Недоліком такої багатопортової пам'яті [8] є велика надлишковість інформації, оскільки відбувається дублювання інформації сторінок в усіх банках пам'яті, низька швидкодія, зумовлена необхідністю комутації, оскільки зчитування виконується з затримкою шляхом послідовного з'єднання між портом і кожним банком пам'яті через комутаційну мережу. Такий спосіб не дозволяє реалізувати паралельний запис та одночасне колективне зчитування даних з будь-яких комірок одночасно при великому числі користувачів. Кодування адресів двійковими числами базису Радемахера, приводить до квадратичної складності реалізації способу пристроями з адресними дешифраторами комірок пам'яті. Даний пам'ять має обмежені функціональні можливості і велику апаратну складність адресних дешифраторів при великому числі користувачів.

Другим недоліком даної пам'яті [8] є відсутність захисту від несанкціонованого доступу та введення/виведення даних автентично не ідентифікованим абонентом в окремі банки даних, якими можуть бути поштові скриньки абонентів та конфіденційна інформація.

Звідси запропоновано метод паралельного доступу до пам'яті колективного користування, що базується на принципі [9], який полягає в тому, що у стартовій позиції всім М-абонентам дозволяється введення/виведення даних у будь-якому банку даних з будь-якої адресної зони. У процесі порівняння фреймів запиту, які формуються у вигляді біт-орієнтованих кодів поля Галуа, ідентифікуються автентичні

коди абонентів, що мають право запису даних у власні абонентські скриньки. Після цього відбувається ідентифікація адресних полів сторінок виводу кожного абонента та паралельний вивід даних усіх банків. При цьому кожен з абонентів паралельно зчитує заповнені адресні масиви даних з будь-якого банку шляхом порівняння адресних кодів з еталонним генератором кодонів Галуа [10].

Функціональна схема розробленої N-банкової пам'яті колективного користування з паралельним доступом M віддалених абонентів показана на рис. 2.

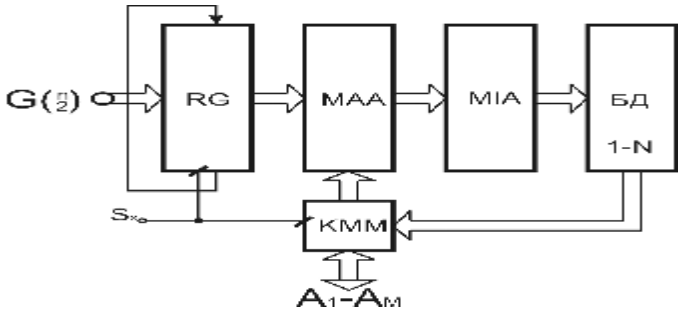


Рис. 2. Функціональна схема багатопортової пам'яті колективного користування паралельним доступом M віддалених абонентів

У функціональну схему багатопортової пам'яті входять наступні блоки:

$G\left(\frac{n}{2}\right)$ – код поля Галуа; S_x – синхросигнал; RG – регістр зсуву коду поля Галуа; БД – банки даних; MAA – модуль аутентифікації абонентів, власних скриньок даних у БД; MIA – модуль ідентифікації адресних сторінок банків даних; KMM – комутаційний мережевий мультиплексор; N, M – відповідно число абонентів та банків даних.

Формалізація методу паралельного доступу M-абонентів до пам'яті колективного користування N-банків даних виконується згідно послідовності фреймів:

$$F_0\{W/R, M_i, N_j, D_{e,k}\} \Rightarrow F_1 \Rightarrow F_2 \Rightarrow F_3 \Rightarrow F_4 ,$$

де W/R – код запиту вводу/виводу M_i -абонента до N_J-банку даних у границях *e,k*-сторінок;

F_1 – віддалені абоненти A_1-A_n в асинхронному режимі передають коди запитів до ПКК, які накопичуються у буферних регістрах контролерів комунікаційної мережі;

$F_2\{G_0, G_i, i \in \overline{1,n}\}$ – запис еталонного паралельного $2^n - 1$ розрядного коду поля Галуа та синхронне генерування всіх n- розрядних адресних кодонів Галуа;

$F_3\{A_j, A_{0j}\}$ – аутентифікація дозволу *j*-го абонента записувати дані у *j*-й банк даних, який є його абонентською скринькою шляхом порівняння $A_j = A_{0j}$;

$F_4\{D_{K,e}, D_{0K,e}\}$ – ідентифікація границь адресних сторінок виводу даних шляхом порівняння кодів запитів $D_{K,e}$ з еталонними адресними кодами банків даних $D_{0K,e}$.

На рис. 3 показана часова діаграма способу паралельного доступу до *M*-абонентів пам'яті колективного користування, який реалізує запропонований метод.

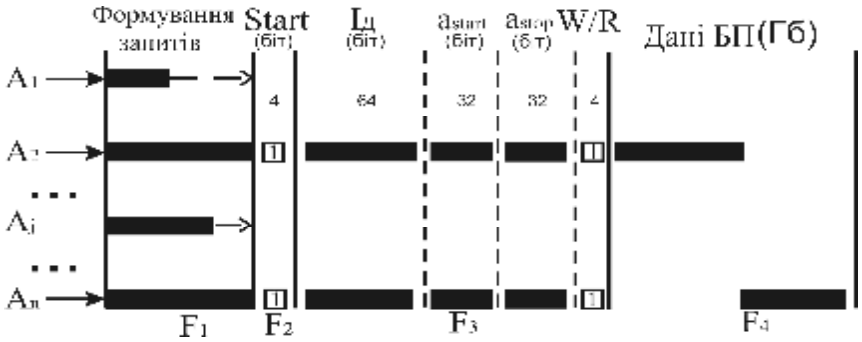


Рис. 3. Діаграма реалізації доступу до пам'яті колективного користування

Розроблена структура фрейму абонента для дистанційного доступу до ПКК (рис. 4).

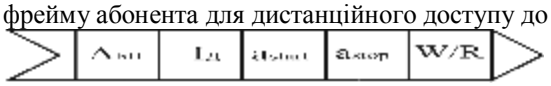


Рис. 4. Фрейм абонента для дистанційного доступу до ПКК

У структуру фрейму дистанційного доступу до ПКК входять наступні модулі:

$A_{БП}$ – адрес банку пам'яті A_j абонента, до якого сформований запит;

$I_Д$ – таємний ідентифікаційний код A_j абонента занесений в регістр банку пам'яті адміністратором ПКК по адміністративній шині;

a_{start}, a_{stop} – відповідно адресні коди діапазону сторінок вводу/виводу даних, які формуються контролером буферного регістра абонента і порівнюються з кодонами адресного генератора Галуа [11];

W/R – біт запиту для введення/виведення даних.

Розраховані параметри фрейму залежно від числа абонентів – *m*, числа банків – *n*, а також розрядності аутентифікаційного коду та об'єму даних у банках ($A_{\max}$). Коли $A_{БП}$= log2n, де n = 16, 64, 256, 1024, та відповідно $A_{БП}$= 4, 6, 8, 10 біт. Таємний ключ ідентифікації рівний $I_Д$=64 біти. Значення a_{start}, a_{stop} рівні об'єму банків даних:

1ГБ=32*2=64 біт;
2ГБ=33*2=66 біт;
4ГБ=34*2=68 біт;
8Гб=35*2=70 біт.

Значення запису/читання *W/R*=4біт.

Звідси довжина фрейму залежно від об'єму банків розраховується згідно виразу: $\Phi = A_{БП} + I_{Д} + a_{start} + a_{stop} + W/R$ (представлена на рис. 5). Розраховуємо значення довжини фрейму залежно від об'єму банків пам'яті:

$\Phi = 4+64+64+4 = 136$ біт, при кількості банків *n*=16;

$\Phi = 4+64+66+4 = 138$ біт, при кількості банків *n*=64;

$\Phi = 4+64+68+4 = 140$ біт, при кількості банків *n*=256;

$\Phi = 4+64+70+4 = 142$ біт, при кількості банків *n*=1024.

На рис. 5 представлена діаграма розрахунку довжини фрейму у залежності від кількості банків пам'яті.

Рис. 5. Довжина фрейму у залежності від кількості банків даних.
L – довжина фрейму, N – кількість банків даних

Розрахуємо довжину фрейму у залежності від довжини адреси банків пам'яті:

$$\Phi = 4+64+64+4 = 136;$$
$$\Phi = 6+64+66+4 = 140;$$
$$\Phi = 8+64+68+4 = 144;$$
$$\Phi = 10+64+70+4 = 148.$$

На рис. 6 представлена діаграма розрахунку довжини фрейму залежно від довжини адреси банків пам'яті:

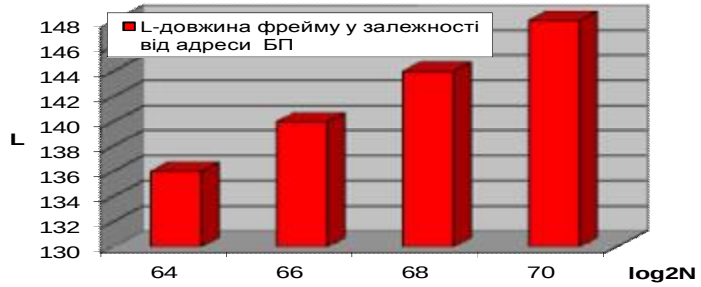


Рис. 6. Довжина фрейму у залежності від довжини адреси банків пам'яті

Розрахунок часової складності тривалості запитів до контролера комутаційної мережі (ККМ):

$$t_1 = 2n * \Phi + 6n, \quad (1)$$

де $2n$ –час спрацювання D-тригера регістра зсуву;

Φ – довжина фрейму;

$6n$ – час спрацювання двонаправленого тристабільного ключа.

На рис. 7 представлена діаграма часової складності тривалості запитів до контролера комунікаційної мережі.

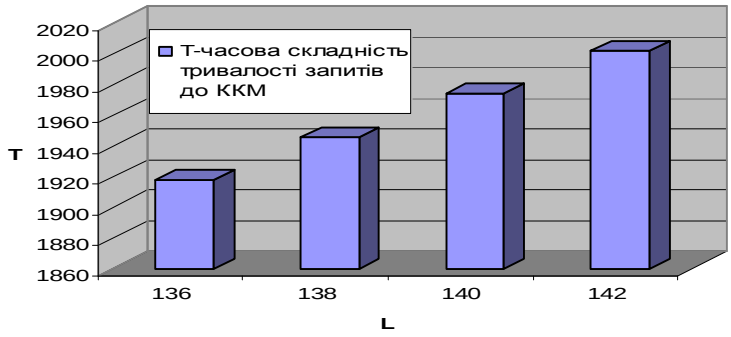


Рис. 7. Діаграма часової складності тривалості запитів до контролера комунікаційної мережі

На рис. 8 показана діаграма залежності часової складності тривалості запитів до контролера комунікаційної мережі у залежності від кількості банків і довжини банків у фреймі.

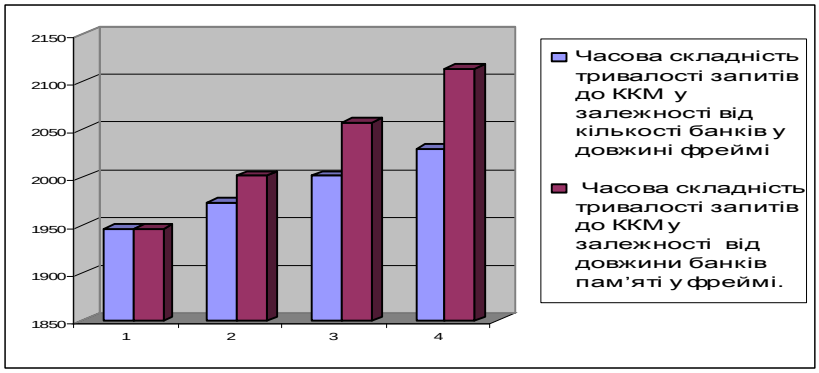


Рис. 8. Діаграма залежності часової складності тривалості запитів до контролера комунікаційної мережі від кількості банків і довжини банків даних

Розрахунок часової складності регістра еталонного коду Галуа розраховується згідно формули:

$$t_2 = 2n_M + 2n_T, \quad (2)$$

де $2n_M + 2n_T$ – час спрацювання мультиплексора та D-тригера регістра.

Часова складність регістра аутентифікації t_3 розраховується згідно формули:

$$t_3 = 2n_M + 2n_T + 2n_X + 2n_T + 1n + (64*2) + 12n_{PX} + 2n_T, \quad (3)$$

де $2n_M$ – час затримки на мультиплексорі введення еталонного коду Галуа; $2n_T$ – час затримки на D-тригері еталонного коду;

$2n_X$ – час затримки на логічному елементі “XOR”; $1n$ – час затримки на логічному елементі “І”; $(64*2)$ – час затримки на регістрі аутентифікації;

$12n_{PX}$ – час затримки на паралельному елементі “XOR”.

На рис. 9 на діаграмі показана часова складність t_3 регістра аутентифікації та час затримки його базових компонентів.

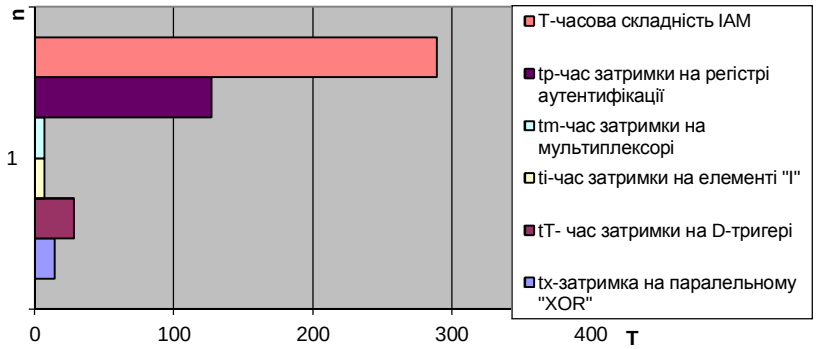


Рис. 9. Діаграма часової складності регістра аутентифікації та його компонентів

Часова складність адресації сторінок пам’яті t_4 розраховується для банків пам’яті об’ємом 1–8 ГБ згідно формули (4):

$$t_4 = 1n_I + (2n * A_{start}) + (2n * A_{stop}) + (12n * 2) + 2n_t + (2n * 3) + t_{БП}, \quad (4)$$

де $1n_I$ – час затримки на логічному елементі “І”;

$(2n * A_{start}) + (2n * A_{stop})$ – час затримки на адресі стартового і стопового біта; $12n$ – час затримки на паралельному елементі “XOR’’;

$2n_t$ – час спрацювання D-тригера;

$2n * 3$ – час затримки на тристабільному елементі;

$t_{БП}$ – час зчитування всього банку пам’яті з флешки.

На рис. 10 показана складність адресації сторінок пам’яті t_4 розраховується для банків пам’яті об’ємом 1–8 ГБ:

Рис. 10. Діаграма часової складності адресації сторінок пам'яті

Паралельний доступ до пам'яті колективного користування виконується шляхом кодування ідентифікаційної, службової та адресної інформації користувачів кодами поля Галуа [12], що дозволяє здійснити паралельний запис даних в абонентські поштові скриньки багатопортової пам'яті, а також здійснити одночасне паралельне зчитування з будь-якого адресованого масиву сторінки даних багатопортової пам'яті колективного користування (рис. 11).

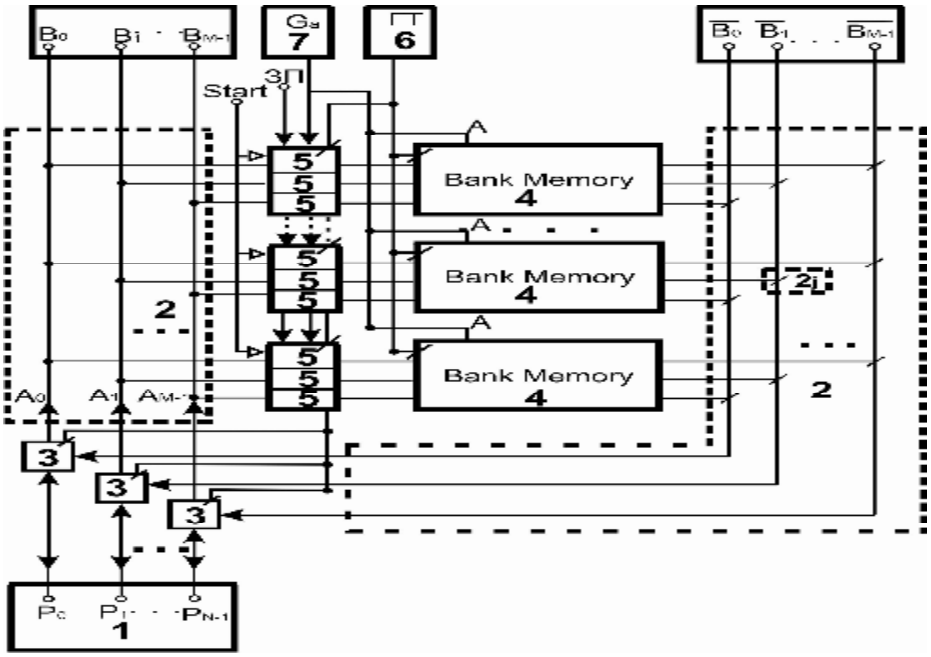


Рис. 11. Структура ПКК на основі ВІТ:
1 – порти вводу/виводу ПКК; 2 – комутаційна мережа; 3 – контролери комутаційної мережі;
4 – банки пам'яті; 5 – ідентифікаційно адресні модулі абонентів; 6 – генератор імпульсів синхронізації;
7 – Галуа кодонний адресний генератор банків пам'яті

Суть розробленого пристрою пояснюється тим, що на початку циклу доступу до ПКК, багатопортовий адресний дешифратор Галуа паралельно генерує всі еталонні ідентифікаційні коди, попередньо внесені через адміністративну шину в адреси абонентських скриньок вводу даних у кільцеві регістри, які порівнюються шляхом логічної операції "XOR" з кодами запитів обслуговування всіх абонентів. При цьому абонентам надається дозвіл запису даних у власну абонентську скриньку та дозвіл зчитування з будь-якого замовленого адресного простору пам'яті колективного користування під час співпадіння адресів замовлених сторінок з кодами сторінкового генератора Галуа (рис. 12).

Метод паралельного доступу великого числа абонентів здійснюється наступним чином через порти вводу/виводу – **1** ПКК (рис. 11) кожен з *M*-1 абонентів асинхронно вводить в регістр контролера комутаційної мережі – **3** код запиту, згідно представленої структури фрейму у підрозділі 3.2. По сигналу *Start* у кожному з банків пам'яті всі з виходів мультиплексора – **5.1** на D-тригер (T_{AM}) **– 5.2** зчитується адресний біт коду Галуа G_i, а всі інші тригери, включаючи тригери регістрів **5.6, 5.11, 5.12, 5.14, 5.15,** скидаються в "0" і запускається робота генератора імпульсів синхронізації **– 6**, при цьому, синхронно тактуються зсуви в регістрах контролера комутаційної мережі **– 3** та зсуви адресного регістра на D-тригер (T_{AM}) **– 5.2**, у результаті на виході елемента "XOR" – **5.3** порівнюються адресні кодони Галуа номерів банків пам'яті з бітами адресів, вибраних A_j абонентами, у випадку, коли ці коди співпадають, то у відповідному банку пам'яті – **4** тригер (T_{Aj}) – **5.4** залишається в стані "0", інверсний вихід якого дозволяє подальше зчитування ідентифікаційних кодів абонента сигналом дозволу з логічного елемента "І"– **5.5**. В разі неспівпадіння цих кодів тригер **– 5.4** по *S*-входу з виходу елемента *"XOR"***– 5.3** переключиться в стан "1", що призводить до заборони доступу даного абонента до цього банку пам'яті. При співпаданні кодів

абонента і адресного генератора Галуа **– 7** виконується порівняння на схемі – **5.8** ідентифікаційного автентичного коду абонента з регістра – **5.6** з його еталоном, записаним в кільцевому регістрі – **5.7**, у випадку співпадіння цього коду з ідентифікаційним кодом цього абонента на виході схеми порівняння – **5.8** в одиничний стан встановлюється тригер – **5.9**, який через логічний елемент "І"– **5.10** дозволяє ввід адресної інформації діапазону сторінок a_{start}–a_{stop} до відповідних банків пам'яті, а всім іншим абонентам забороняє вивід інформації з заданого банку пам'яті Після вводу адресної інформації сторінок банку пам'яті в регістрах **5.6-5.7** і установки тригера – **5.9** у відповідний стан виводу стартує Галуа кодонний адресний генератор (G_a) **–7** банків пам'яті. У процесі генерації вказаних адресів відбувається порівняння кодонів Галуа з адресами сторінок, записаних у регістрах **5.11, 5.12,** у схемі порівняння – **5.13** та у регістрах – **5.14, 5.15** у схемі порівняння –**5.16.** У результаті під час співпадіння стартових адресів у регістрах – **5.11, 5.12** на виходах схеми порівняння – **5.13**, а також порівняння – **5.14, 5.15** на виходах схеми порівняння – **5.16** формуються імпульси, які встановлюють тригер – **5.17** у відповідний стан "1" та "0", що забезпечує зчитування відповідного абонента керованих ключів – 2_j комунікаційної мережі – **2** і вивід замовленого масиву даних через контролер – **3** комунікаційної мережі відповідним абонентам.

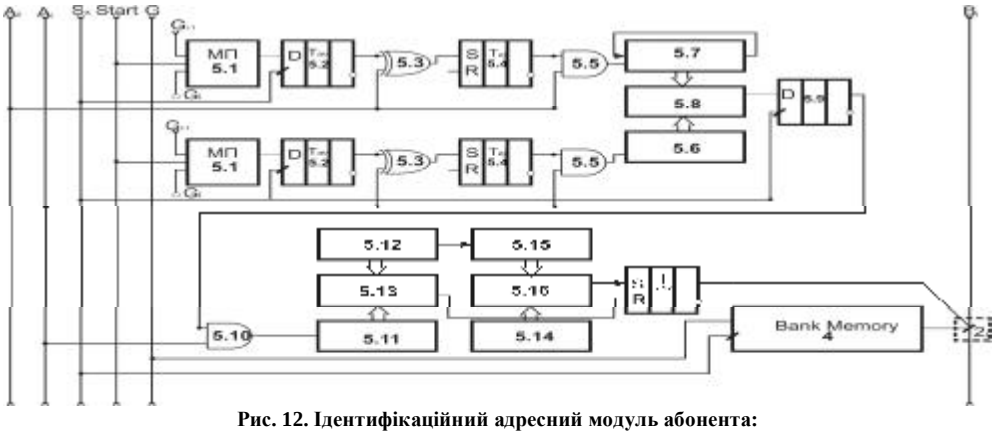


Рис. 12. Ідентифікаційний адресний модуль абонента:
5.1 – мультиплексор; 5.2, 5.4, 5.9, 5.17 – тригери; 5.5, 5.10 – логічний елемент "І"; 5.3 – логічний елемент "XOR";
5.7– кільцевий регістр; 5.8, 5.13, 5.16 – схеми порівняння

Таким чином, забезпечується здійснення паралельного доступу до пам'яті колективного користування великого числа користувачів шляхом надання можливості паралельного вводу інформації у власні абонентські скриньки та паралельного виводу абонентом з будь-якого адресного простору пам'яті колективного користування.

Для аналізу запропонованої структури розглядалися параметри продуктивності і часу відповіді системи обробки інформації (СОІ), які найбільш повно і точно визначають можливості системи при обробці відповідної кількості вхідних задач.

Продуктивність оцінюється кількістю задач, що вирішує система за одиницю часу [13]:

$$l = \frac{n}{t}, \tag{5}$$

де n – кількість задач, що обробляється системою за час t.

Якщо позначити інтенсивність вхідного потоку задач системи, як Λ, то залежність продуктивності системи від Λ, при врахуванні кількості вхідних задач, або послідовних інформаційних каналів для різних топологій процесорів, може бути розрахована згідно (5). На рис. 13 показано порівняння характеристик продуктивності у залежності від топології та інтенсивності процедур запису/читання. В області $0 \le \Lambda \le \lambda^x$ інтенсивність вихідного потоку повністю визначається інтенсивністю вхідного потоку: $\lambda = \Lambda$. При $\Lambda > \lambda^x$ система із-за обмеженості ресурсів (кількості і швидкодії пристроїв, а також об'єму пам'яті) не може протягом одиниці часу обслуговувати всі надіслані на обробку завдання. В результаті інтенсивність вихідного потоку λ, досягнувши крайнього значення λ^x, надалі залишається постійною при будь-яких значеннях $\Lambda > \lambda^x$. Значення λ^x визначає максимальну продуктивність системи для заданого класу задач і є характеристикою самої системи, яка не залежить від інтенсивності вхідного потоку задач (рис. 14).

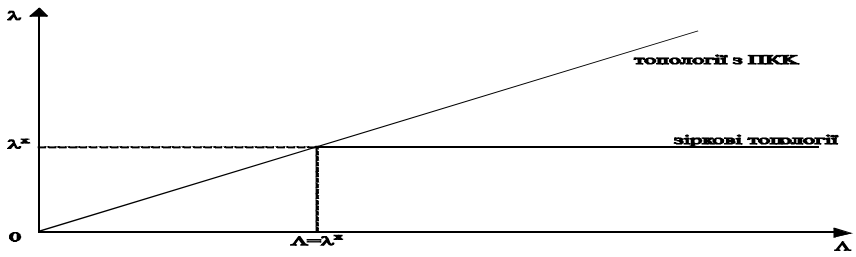


Рис. 13. Залежність продуктивності систем від інтенсивності вхідного потоку задач

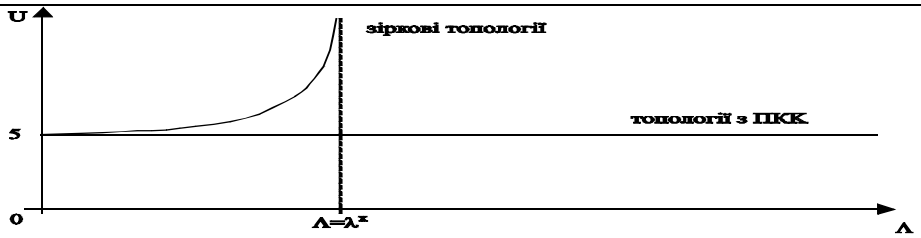


Рис. 14. Залежність часу відповіді системи від інтенсивності вхідного потоку задач

Для запропонованої ПКК такого обмеження не існує, що демонструють рис. 11. та рис. 12.

До значення $\Lambda = \lambda^x$ вплив інтенсивності вхідного потоку задач на продуктивність аналогічний вище розглянутим системам. При значеннях $\Lambda \geq \lambda^x$ продуктивність системи продовжує зростати за тим же самим законом, в залежності від збільшення потоку вхідних задач. Враховуючи, що кількість вхідних задач для структури з ПКК аналогічна кількості вхідних каналів в ПКК, продуктивність такої системи зростатиме лінійно в усьому діапазоні $0 \leq \Lambda \leq \infty$. Таке явище пояснюється тим, що за рахунок схемної реалізації кожний абонент працює в "монопольному" режимі із ПКК, без конфліктів і зіткнень з іншими працюючими процесорними елементами.

Час відповіді процесора, як випадкова величина, найбільш повно характеризується функцією розподілу $P\ (u<x)$ або функцією щільності імовірності $p\ (u)$ [14]. Здебільшого час відповіді оцінюється середнім значенням, яке визначається як статистичне середнє випадкової величини u_i i=1, 2, ..., n для кожної поточної задачі

$$U = \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{n} u_i \,. \tag{6}$$

Час відповіді складається з двох частин: часу виконання задачі і часу очікування. Час виконання задачі при відсутності паралельних процесів дорівнює сумарній довжині всіх етапів процесу (введення, звертання до зовнішньої пам'яті, процесорної обробки, виведення). Час виконання задачі залежить від складності обчислень $\Delta_1, \Delta_2, ..., \Delta_n$ і швидкодії $V_1, V_2, \ldots, V_n$ пристроїв 1, 2, ...N

$$d = \sum_{i=1}^{N} \Delta_i / V_i \,. \tag{7}$$

Час очікування – це сума відрізків часу, протягом яких задача чи канал знаходилися в стані очікування необхідних ресурсів. Очікування виникає при мультипрограмній обробці, коли ресурс, який потрібний для вирішення однієї задачі, зайнятий іншою задачею, і перша задача не виконується, очікуючи звільнення ресурсу. Цей режим аналогічний режиму багатоканального мережевого доступу до загальносистемного ресурсу. Розглянемо залежність середнього часу відповіді процесора U від інтенсивності вхідного потоку задач Λ [15]. При $\Lambda>0$ час відповіді $U=\delta$, де δ – визначається з формули (7). Із збільшенням Λ середній час відповіді монотонно зростає і може приймати достатньо велике значення, якщо інтенсивність вхідного потоку перевищує продуктивність процесора λ^x ($\Lambda>\Lambda^x$) протягом великого періоду часу.

Висновок. При використані ПКК з постійним зростанням кількості вхідних задач чи кількості вхідних процесорних елементів, що спілкуються з ПКК, час відповіді процесора не змінюється і завжди залишається постійним на рівні $U = \delta$. Таким чином, як показав аналіз, продуктивність і час відповіді системи, в першу чергу, залежать від структури і технічних характеристик загальносистемних ресурсів. Проте, на значення продуктивності і часу відповіді процесора не другорядним чином впливають засоби, що забезпечують доступ процесора до загальних ресурсів. Звідси пам'ять колективного користування забезпечує реалізацію багатопортового доступу із захистом даних від несанкціонованого доступу та подальші перспективи реалізації такої пам’яті засобами ПЛІС.

Література

1. Николайчук Я. М. Вертикальна інформаційна технологія в базисі Галуа – новий напрямок у розвитку комп’ютерних машин / Я.М. Николайчук, Р.І. Король. – Львів : ССU’2000, 2000. – С. 23–26.

2. Николайчук Я.М. Коди поля Галуа / Я.М. Николайчук. – Тернопіль : ТзОВ «Терно граф», 2012. – 576 с.

3. Гуменний П.В. Принципи організації пам'яті на основі вертикально-інформаційної технології / П.В. Гуменний // Вісник національного університету "Львівська політехніка". Комп'ютерні системи та мережі. – 2010. – № 688. – С. 90–95.

4. Патент на корисну модель № 83756 Україна, МПК G06F 1/00. Спосіб паралельного доступу до пам’яті колективного користування / Я.М. Николайчук, П.В. Гуменний. – опуб. 25.09.2013, бюл. № 18.

5. Мельник А.О Паралельна пам'ять зі впорядкованим доступом: застосування та варіанти побудови / А.О. Мельник // Радіоелектронні і комп’ютерні системи. – 2012. – № 7(59). – С. 119–124.

6. Мельник А.О. Структура організації пам’яті з впорядкованим доступом на основі налаштованих сортувальних мереж / А.О. Мельник // Інформатика та обчислювальна техніка. ВМУРОЛ. – 2011. – С. 34–36.

7. Patent № US8688877 B1 (USA) Multiport memory architecture/ Winston Lee, Sehat Sutardja, Donald Pannell: Marvell World Trade Ltd. 1 Apr 2014. Appl № 13/716,481.

8. Patent № US4930066 A (USA) Multiport memory system / Haruo Yokota - Marvell World Trade Ltd. 29 May, 1990. Appl № 07/344,507.

9. Николайчук Я.М. Теоретичні засади та принципи побудови арифметико-логічного пристрою на основі вертикально-інформаційної технології / Я. М. Николайчук, О. М. Заставний, П. В. Гуменний // Вісник Хмельницького національного університету. – 2012. – № 2. – С. 190–196.

10. Николайчук Я.М. Дослідження архітектури комп'ютерів: принципи побудови процесорів на основі вертикально-інформаційної технології / Я.М. Николайчук, П.В. Гуменний // Поступ в науку : збірник наукових праць Бучацького інституту менеджменту і аудиту. – 2009. – № 5. – С. 69–73.

11. Humenniy P. Research of memory devices: the principles of memory ozganization based on vertical-informatin technology. Proceedings of the 4-th International conference “Advanced Computer Systems and Networks: Design and Aplication” (ACSN-2009). Lviv. 2009. P. 296-298.

12. Гуменний П.В. Структура та системні характеристики багатопортової ПКД на основі вертикально-інформаційної технології у базисі Галуа / П.В. Гуменний // Поступ в науку : збірник наукових праць Бучацького інституту менеджменту і аудиту. – 2010. – № 6, Том 1. – С. 71–75.

13. J.-W. Lee, C.-Y. Meher, P. K. Patra. Concurrent Error Detection in Bit-Serial normal Basis Multiplication Over GF(2^m). Using Multiple Parity Prediction Schemes in Large Scale Integration (VLSI) Systems, IEEE Transactions on Very Large Scale integration (VLSI) Systems: 2009-08-25.

14. L.-L. Yang, L. Hanzo. Performance analysis of coded M-array orthogonal signaling using errors-and-erasures decoding over frequency-selective fading channels. IEEE J. Select. Areas Community. 2001. Vol. 19. P. 211-221.

15. Николайчук Я. М. Основи побудови обчислювальних систем на базі вертикальної інформаційної технології / Я. М. Николайчук // Тези науково-практичної конференції професорсько-викладацького складу. Івано-Франківськ. – 1999. – С. 90–92.

References

1. Nykolaichuk Ya. M., R.I. Korol. Vertical information technology in the base Galois - a new direction in development of computer machines. Lviv: CCU'2000, 2000, P. 23-26.

2. Nykolaichuk Ya. M. Galois field codes. Ltd. "Ternohraf", Ternopil, 2012. 576 P.

3. Humenniy P.V. The principles of memory-based vertical information technology. Journal of National University "Lviv Polytechnic", "Computer Systems and Networks". 2010. № 688. P. 90-95.

4. Patent for utility model. Number 83 756 (Uk), IPC G06F 1/00. A method of parallel memory access shared use, Ya. M. Nykolaichuk, P. V. Humenniy, pub. 09.25.2013, Bull. №18.

5. Meljnyk A. O. parallel with memory access orderly: applications and variants of. Radio electronic and computer systems. 2012. №7 (59). P.119-124.

6. Meljnyk A. O. Structure of memory ordered based access customized sorting networks. Informatics and Computer Science. VMUROL, 2011. P. 34-36.

7. Patent № US8688877 B1 (USA) Multiport memory architecture/ Winston Lee, Sehat Sutardja, Donald Pannell: Marvell World Trade Ltd. 1 Apr 2014. Appl № 13/716,481.

8. Patent № US4930066 A (USA) Multiport memory system / Haruo Yokota - Marvell World Trade Ltd. 29 May, 1990. Appl № 07/344,507.

9. Nykolaychuk Y.M., Humennyi P.V. Theoretical foundations and principles of arithmetic logic unit based on information technology vertical, Bull. of the Khmelnitsky National University. 2012. № 2, pp.190-196.

10. Nykolaichuk Ya.M., P. V. Humennyi Investigation of computer architecture: principles of processors based on vertical information technology, progress in science. Collected Works Buchatsky Institute of Management and Auditing. 2009. № 5. P. 69-73.

11. Humenniy P. Research of memory devices: the principles of memory ozganization based on vertical-informatin technology. Proceedings of the 4-th International conference “Advanced Computer Systems and Networks: Design and Aplication” (ACSN-2009). Lviv. 2009. P. 296-298.

12. Humenniy P.V. Structure and properties of multiport system PKD from vertical information technology in the basis of Galois /P. V. Humenniy // progress in science. Collected Works Buchatsky Institute of Management and audytu. 2010. № 6, Volume 1. P.71-75.

13. J.-W. Lee, C.-Y. Meher, P. K. Patra. Concurrent Error Detection in Bit-Serial normal Basis Multiplication Over GF(2^m). Using Multiple Parity Prediction Schemes in Large Scale Integration (VLSI) Systems, IEEE Transactions on Very Large Scale integration (VLSI) Systems: 2009-08-25.

14. L.-L. Yang, L. Hanzo. Performance analysis of coded M-array orthogonal signaling using errors-and-erasures decoding over frequency-selective fading channels. IEEE J. Select. Areas Community. 2001. Vol. 19. P. 211-221.

15. Nykolaichuk Ya. M. Fundamentals of computing systems based on vertical information technology. Abstracts of scientific conference of the faculty. Ivano-Frankivsk. 1999. P. 90-92.

Рецензія/Peer review : 17.6.2015 р. Надрукована/Printed : 30.8.2015 р.
Рецензент: д.т.н., професор Я.М. Николайчук

УДК 681.325

О.В. НЕЧИПОРЕНКО
Черкаський державний технологічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МЕТОДІВ СТИСНЕННЯ ЗВУКОВИХ ДАНИХ

В статті наведені результати досліджень характеристик основних руйнівних методів і алгоритмів стиснення звукових даних, проведена порівняльна оцінка їх властивостей для визначення найбільш ефективних форматів компресії звукових даних з втратами інформації.

Ключові слова: стиснення даних, методи стиснення звукових даних, MP3 (MPEG Layer 3), WMA (Windows Media Audio), OGG Vorbis, AAC (Advanced Audio Coding), WAV (Waveform Audio File Format).

O.V. NECHYPORENKO
Cherkassy State Technological University, Cherkassy, Ukraine

RESEARCH EFFICIENCY POPULAR AUDIO COMPRESSION METHOD

Abstract - The article presents the research results of basic characteristics of destructive methods and algorithms for compressing audio data. Features compression and lossy audio data marked advantages of compressed digital audio, compactness and durability. The basic properties of the most popular formats of audio compression losses: MP3 (MPEG Layer 3), WMA (Windows Media Audio), OGG Vorbis, AAC (Advanced Audio Coding). Analysis of audio compression was performed using two converters: Freemake Audio Converter and Format Factory. The analysis showed that the compression of the high quality of the first converter was best AAC format, and the second - OGG. Upon compression of low quality to best the first converter proved formats MP3 and AAC. By the time compression was the fastest compression to WMA, but very slow - MP3. However, for high quality WMA got worst compression ratio of both converters.

Keywords: data compression audio data compression methods, MP3 (MPEG Layer 3), WMA (Windows Media Audio), OGG Vorbis, AAC (Advanced Audio Coding), WAV (Waveform Audio File Format).

Вступ

Передача та зберігання інформації вимагають досить великих витрат. І чим з більшою кількістю інформації нам доводиться мати справу, тим дорожче це коштує. На жаль, велика частина даних, що потрібно передавати по каналах зв'язку і зберігати, має не саме компактне представлення. Однак таке найбільш просте у використанні подання даних вимагає вдвічі-втричі, а іноді і в сотні разів більше місця для їх збереження та передачі, ніж насправді потрібно [1].

Сучасні канали зв'язку вже давно дозволяють пересилати великі масиви даних за порівняно невеликий час, проте самою повільною і донині залишається передача даних між кінцевим користувачем і постачальником послуг зв'язку. Такі обсяги даних, які займає в нинішній час мультимедійна інформація, передавати за звичними каналами зв'язку доведеться дуже довго.

Збільшенню обсягів інформації також сприяє введення інформаційної надмірності, яка використовується для підвищення надійності функціонування обчислювальних систем. До негативних наслідків введення надмірності відносять підвищення інтенсивності потоку і збільшення ймовірності виникнення помилок, а також зменшення ймовірності їх виправлення [2].

Тому стиснення (компактне представлення) даних – це один з найбільш актуальних напрямків розвитку сучасних комп'ютерних систем і телекомунікацій.

Аналіз досліджень та публікацій

Метою стиснення є отримання компактного способу представлення початкових даних, який мінімізує об'єм займаної пам'яті за допомогою деякого їх перетворення. Для кожного з сучасних видів інформації (текст, бази даних, програмні коди, мультимедійна інформація) існують свої найбільш відповідні методи стиснення. Результати досліджень і аналізу методів для стиснення текстових даних наведені в роботах [3, 4], для стиснення мультимедійних даних – в роботах [5, 6].

Всі існуючі методи стиснення інформації умовно поділяють на дві основні групи. Перша з них об'єднує методи стиснення інформації без втрат (losless compression), а друга група – стиснення з втратами (lossy compression). Методи стиснення з втратою інформації зазвичай забезпечують набагато вищий ступінь стиснення, ніж оборотні методи, але їх не можна застосовувати до текстових документів, баз даних і, тим більше, до програмного коду. Неруйнівні методи стиснення інформації (без втрати) застосовують для стиснення будь-яких типів даних [4].

Загальновизнані неруйнівні методи стиснення даних, такі як кодування довжин серій (RLE), статистичні та словникові методи, можуть бути використані для компресії звукових файлів без втрат, але результат істотно залежить від конкретних аудіо даних. Деякі звуки будуть добре стискатися за допомогою RLE, але погано статистичними алгоритмами. Іншим звукам більше підходить статистичне стиснення, а при словниковому підході, навпаки, може статися розширення.

Можна домогтися кращих результатів при стисненні звуку з втратою частини звукової інформації, розвиваючи методи компресії, які враховують особливості сприйняття звуку. Вони видаляють ту частину даних, яка залишається нечутною для органів слуху. Такі підходи (придушення пауз і ущільнення) широко застосовуються на практиці і входять до багатьох міжнародних стандартів стиснення.

Мета роботи – проведення аналізу основних характеристик та оцінки ефективності роботи основних руйнівних методів стиснення звукових даних.

Матеріали досліджень

Стиснення (компресія) звукових даних являє собою процес зменшення швидкості цифрового потоку за рахунок скорочення статистичної та психоакустичної надмірності цифрового звукового сигналу.

Основна ідея, на якій засновані всі методики стиснення звукового сигналу з втратами – нехтування тонкими деталями звучання оригіналу, що лежать поза межами сприйняття людського вуха. Тут можна виділити кілька моментів [7]:

- рівень шуму, маскуючий ефект (звукове стиснення базується на факті, що людське вухо фактично втрачає звуки, які лежать в тому ж діапазоні частот, що і більш гучний звук; цей ефект носить назву маскуючого, він змінюється з відмінністю в гучності і частоті звуку);
- розподіл смуги звукових частот на підсмуги, кожна з яких далі обробляється окремо (програма кодування виділяє найгучніші звуки в кожній смузі і використовує цю інформацію для визначення прийнятного рівня шуму для цієї смуги; гучний звук в одній смузі може вплинути на маскуючий ефект і на прилеглі смуги);
- використання психоакустичної моделі (стиснення засновано на видаленні свідомо нечутних частот з більш ретельним збереженням звуків, які добре розрізняються людським вухом);
- використання суміщеного стерео (слуховий апарат людини може визначити напрямок лише середніх частот – високі та низькі звучать як би окремо від джерела. Ці фонові частоти можна кодувати в моно сигнал. Також використовується відмінність в складності потоків в каналах).

На основі цих ідей будуються алгоритми стиснення, що дозволяють досягати ступеня компресії 10:1 або вище практично без втрати в якості звучання. При кодуванні задають необхідний рівень компресії, а алгоритми стиснення отримують необхідне значення рівня стиснення за рахунок втрати якості.

Необхідний рівень стиснення зазвичай вказують у вигляді величини потоку даних (bit rate). Бітрейт – це обсяг інформації в одиницю часу, тобто скільки бітів ми витрачаємо на кодування звуку тривалістю 1 с [8].

Серед існуючих форматів стиснення звукових даних з втратами можна відзначити четвірку найбільш популярних форматів – MP3, AAC, OGG Vorbis і WMA.

MP3 (MPEG Layer 3) – ліцензований формат файлу для зберігання звукової інформації. Це найпопулярніший формат стиснення звукових даних на сьогоднішній день. Формат MP3 заснований на маскуючому ефекті і призначений для значного зменшення обсягу даних, який необхідний для прослуховування запису і збереження якості звуку максимально близького до вихідного. Такий файл із середнім бітрейтом (128 Кбіт/с) призводить до отримання файлу приблизно в 1/11 від початкового файлу, який має середній бітрейт близько 1411 Кбіт/с. Якість отриманого файлу залежить від бітрейту, з яким можуть створюватися mp3-файли. Найбільш прийнятним є бітрейт від 128–320 Кбіт/с, але для нормального якісного звучання достатньо лише 256 Кбіт/с.

Слід враховувати, що у форматі MP3 програми, що стискають звук, не є стандартизованими, тобто кожен грамотний програміст може реалізувати свою схему стиснення. А стандартам підкорюються тільки декодери, це призводить до того, що якість відтворення формату MP3 далеко не завжди залежить від плеєра – програвача файлу.

Особливістю MP3 є Variable Bit Rate – кодер змінює ступінь стиснення залежно від характеру звуку. Такий підхід призводить до зменшення підсумкового розміру файлу або, при збільшенні вимог до якості, при тому ж розмірі файлу дозволяє отримати краще звучання.

AAC (Advanced Audio Coding) – формат звукового файлу з меншою втратою якості при кодуванні, ніж MP3 при однакових розмірах. Формат також дозволяє стискати без втрати якості. Спочатку створювався як наступник MP3 з поліпшеною якістю кодування. Формат AAC, офіційно відомий як ISO / IEC 13818-7, вийшов у світ в 1997 як нова, сьома, частина родини MPEG-2. Існує також формат AAC, відомий як MPEG-4 Частина 3.

OGG Vorbis – вільний формат стиснення звуку, що вийшов влітку 2002 року. OGG Vorbis абсолютно безкоштовний, відкритий і вільний від патентів. OGG Vorbis володіє найбільш сучасною і якісною психоакустичною моделлю, через що співвідношення бітрейт/якість значно нижче, ніж у конкурентів. Як результат – якість звуку краще, а розмір файлу менше. При цьому OGG Vorbis підтримує до 255 окремих каналів з частотою дискретизації до 192 кГц і розрядністю до 32 біт (чого не дозволяє жоден інший формат стиснення звукових даних з втратами).

OGG Vorbis за замовчуванням використовує змінний бітрейт, при цьому його параметри не обмежені якимись жорсткими значеннями, і він може варіюватися навіть на 1 кбіт/с. Найвищий бітрейт чітко не обмежений, тому при максимальній якості кодування він може варіювати від 400 до 700 кбіт/с. Такою ж гнучкістю володіє частота дискретизації – користувачам надається можливість зробити будь-який вибір у межах від 2 до 192 кГц.

WMA (Windows Media Audio) – ліцензований формат файлу, розроблений компанією Microsoft для зберігання і трансляції звукової інформації. Номінально формат WMA характеризується хорошою здатністю стиснення, що дозволяє йому конкурувати за параметрами з форматами MP3, OGG Vorbis і AAC. Якість формату WMA не є однозначно еквівалетною, а перевага навіть перед MP3 однозначною, як це стверджується компанією Microsoft.

Характеристика, основні переваги і недоліки розглянутих популярних форматів стиснення звукових даних наведені в таблиці 1 та таблиці 2 відповідно.

Таблиця 1

Характеристика основних форматів стиснення звукових даних

Формат	Квантування, біт	Частота дискретизації, кГц	Число каналів	Бітрейт, Кбіт/с	Ступінь стиснення
MP3	плаваючий	до 48	2	до 320	~11:1 з втратами
AAC	плаваючий	до 96	до 48	до 529	з втратами
OGG Vorbis	до 32	до 192	до 255	до 1000	з втратами
WMA	до 24	до 96	до 8	до 768	2:1, є версія без втрат

Таблиця 2

Аналіз властивостей основних форматів стиснення звукових даних

Формат	Переваги	Недоліки
MP3	1. Заклав основу ідеї спрощення сигналу шляхом використання психоакустики, має кращі позиції за співвідношенням розмір/якість. 2. Величезна поширеність і популярність. 3. Доступність MP3 практично на всіх існуючих комп'ютерних платформах. 4. Використання змінного бітрейта, що дозволяє при меншому розмірі файлу отримати краще звучання. 5. Велика кількість кодерів.	1. Обмежений бітрейт (320 Кбіт/с), різке падіння якості при зниженні бітрейта. 2. Неможливість професійного застосування (кожне нове збереження розкодованого MP3-запису призводить до погіршення якості). 3. Відсутність у стандарті DRM-можливостей (управління авторськими правами). 4. Помітне падіння якості для сильно стиснутих музичних файлів. 5. Комерціалізованість (кожен виробник, який створює новий MP3-кодер, платить відрахування).
AAC	1. Має безліч доповнень, спрямованих на поліпшення якості вихідного звукового сигналу. 2. Дозволяє зберігати в закодованому звуковому сигналі інформацію про авторські права (watermarks). 3. Передбачає три профілю кодування (Main, LC і SSR), що впливають на час кодування і якість одержуваного цифрового потоку. 4. У порівнянні з MP3 помітно збільшена ефективність компресії, а якість звучання файлу при бітрейті 128 кбіт/с порівняна з якістю 192 кбіт/с MP3. 5. Дозволяє створювати багатоканальні файли. 6. При кодуванні на низьких бітрейтах є можливість створення файлів AAC HE (високої ефективності).	1. Технологія watermarks є перешкодою на шляху поширення файлів, створених за допомогою AAC. 2. Не є зворотно сумісним (NBC – non backwards compatible) з рівнями MPEG-1 не дивлячись на те, що являє собою продовження MPEG-1 Layer I, II, III. 3. Велика кількість кодерів AAC несумісні один з одним на тлі тривалого процесу стандартизації. 4. Формат AAC підтримує порівняно невелика кількість програми для кодування звукових файлів.
OGG Vorbis	1. Використовує оригінальний математичний алгоритм і власну психоакустичної модель. 2. Безкоштовний, відкритий і вільний від патентів. 2. Розрахований на стиснення даних на всіх бітрейтах без обмежень в режимі змінного бітрейта. Передбачена можливість зміни бітрейта потоку без його декодування. 3. Є можливість кодування декількох каналів аудіо (до 255), можливість редагування вмісту файлів. 4. Підтримується потокове відтворення (streaming) в Інтернеті. 5. Дає в середньому помітно кращі результати кодування на середніх і високих бітрейтах в порівнянні з MP3 (160 Кбіт/с і вище).	1. Для зберігання даних використовується власний універсальний формат. 2. Використання на низьких бітрейтах майже не виправдано. 3. Існує всього декілька кодерів OGG. 4. Після конвертації MP3 в OGG Vorbis до частин аудіосигналу, відкинутих MP3 кодеком, додаються частини, відкинуті кодеком OGG Vorbis, що призводить до погіршення якості. 5. Відмова від патентованих технологій не дозволяє кодеку OGG Vorbis домогтися надвисоких результатів.
WMA	1. Здатний давати більш високу якість звучання, ніж MP3 на порівняних бітрейтах, особливо, на низьких (нижче 128 Кбіт/с). 2. WMA-файли займають менше місця, ніж MP3, при порівнянній якості. 3. Наявність вбудованої DRM – цифрової системи управління авторськими правами. 4. Передбачено кодування без втрати якості, багатоканальне кодування об'ємного звуку і голосу. 5. Висока популярність серед користувачів Windows.	1. Помітно відстає реалізація апаратними програвачами, в порівнянні з MP3. 2. Вбудована DRM-система обмежує свободу користувача. 3. Кодер WMA всього один. 4. Формат WMA має велику кількість помилок різного роду.

Аналіз стиснення звукових файлів проводився з використанням двох конвертерів: Freemake Audio Converter [9] і Format Factory [10]. Результати експерименту для цих конвертерів наведені в таблиці 3 і таблиці 4 відповідно. Як початкові дані були обрані звукові файли у форматі WAV загальним розміром 71866 Кб.

WAV (Waveform Audio File Format) є основним форматом для багатьох систем відтворення цифрового звуку і використовується як стандартний формат звукових файлів в персональних комп'ютерах. До того ж, він має солідний набір специфікацій. Його повна назва – Microsoft RIFF/WAVE – Resource Interchange File Format/Wave – формат файлів передачі ресурсів / хвильова форма.

Таблиця 3

Компресія звукових даних Freemake Audio Converter

Формат стиснення	Бітрейт, Кбіт/с	Об`єм початкового файла, Кб	Об`єм стисненого файла, Кб	Коефіцієнт стиснення, %	Час стиснення, с
MP3	128	71866	2995	4,16	25
MP3	320	71866	7487	10,41	25
WMA	128	71866	3023	4,20	5
WMA	320	71866	7539	10,49	5
OGG	128	71866	3343	4,65	16
OGG	320	71866	7139	9,93	17
AAC	128	71866	3027	4,21	22
AAC	320	71866	3589	4,99	23

Таблиця 4

Компресія звукових даних Format Factory

Формат стиснення	Бітрейт, Кбіт/с	Об`єм початкового файла, Кб	Об`єм стисненого файла, Кб	Коефіцієнт стиснення, %	Час стиснення, с
MP3	128	71866	2996	4,16	11
MP3	320	71866	7489	10,42	9
WMA	128	71866	3227	4,49	5
WMA	320	71866	12898	17,94	5
OGG	128	71866	4703	6,54	19
OGG	320	71866	4703	6,54	18
AAC	128	71866	2996	4,16	7
AAC	320	71866	7482	10,41	6

Результати аналізу показали, що при стисненні з високою якістю (320 Кбіт/с) для першого конвертера найкращим виявився формат AAC, а для другого – OGG з показниками коефіцієнта стиснення 4,99% і 6,54% відповідно. При стисненні з низькою якістю (128 Кбіт/с) для першого конвертера найкращими виявилися формати MP3 і AAC. За часом компресії найшвидшою виявилася компресія в WMA, а самою повільною – MP3. Однак для 320 Кбіт/с WMA отримав найгірший показник коефіцієнта стиснення і в першому конвертері (10,49%) і в другому (17,94%).

Висновки

1. Розглянуто особливості компресії звукових даних з втратами. Очевидні переваги стисненого цифрового звуку: компактність (малі габарити сучасних носіїв цифрових даних) і довговічність (при зберіганні на цифровому носії дані на ньому не спотворюються з плином часу).

2. Проаналізовано основні властивості найбільш популярних форматів стиснення звуку, таких як MP3, WMA, OGG Vorbis і AAC. Поширення і подальший розвиток технологій lossy-кодування відкриває широкі можливості поширення та зберігання звукових даних.

3. Результати аналізу показали, що MP3 вимагає максимального значення бітрейта для максимальної якості треку, в такому випадку MP3 не зрізає частотний діапазон і вносить найменшу кількість спотворень у вихідний сигнал. WMA менше за інших схильний до кліпінга – хрипів на максимальній гучності, але й має найгірший коефіцієнт стиснення. OGG має хороші показники і навіть при низькому значенні бітрейту намагається зберегти весь спектр частот вихідної композиції. На першому місці за поширеністю є MP3 формат, друге місце займає WMA і OGG Vorbis, а третє – формат AAC. Розглянуті технології стиснення звукової інформації MP3, OGG, AAC і WMA – зручні та ефективні алгоритми, широко поширені і заслужено впроваджені в багатьох електронних звукових пристроях.

Література

1. Шелухин О.И. Сжатие аудио и видео информации [Електронний ресурс] : учебное пособие / О.И. Шелухин, А.В. Гузеев. – М., 2012. – Режим доступу : http://kibia.ru/teachers/sheluhin/4.pdf

2. Нечипоренко О. В. Синтез специализированных цифровых устройств по условию надежности на

основе систем счисления с постоянным числом единиц : монография / Нечипоренко О. В. – Черкассы : ВУЭМ, 2009. – 109 с.

3. Тарасов О.В. Дослідження ефективності блочно-статистичного методу стиснення інформації / О.В. Тарасов, Є.В. Онопко // Системи обробки інформації. – 2012. – Випуск 4 (102), том 1. – С. 72–75.

4. Нечипоренко О. В. Системный анализ и оценка методов сжатия данных для баз данных лазерных технологических комплексов / О. В. Нечипоренко, С. А. Миценко // Вісник Хмельницького національного університету. – 2014. – № 1. – С. 94–100.

5. Корпань Я. В. Методи та алгоритми компактного представлення графічної інформації в комп'ютерних системах / Я.В. Корпань // Технологічний аудит та резерви виробництва. – 2015. – № 3/2 (23). – С. 32–36.

6. Корпань Я. В. Аналіз методів та алгоритмів компресії-декомпресії цифрових відеоданих / Я. В. Корпань // Вісник Хмельницького національного університету. – 2015. – № 3. – С. 175–179.

7. Алгоритмы сжатия [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://mf.grsu.by/UchProc/livak/en/po/comprsite/theory_souvid.html

8. Методы сжатия и компрессии аудио-сигналов (виды, отличия, использование) [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://studopedia.org/3-100199.html

9. Freemake Audio Converter [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.freemake.com/ru/downloads/

10. Format Factory [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://format-factory.ru.softonic.com/

References

1. O.I. Sheluhin, A.V. Guzeev, Szhatie audio i video informatsii. Uchebnoe posobie. M. 2012. URL: http://kibia.ru/teachers/sheluhin/4.pdf

2. Nechiporenko O. V. Sintez spetsializirovannyih tsifrovyih ustroystv po usloviyu nadezhnosti na osnove sistem schisleniya s postoyannyim chislom edinits: monografiya, Cherkassyi: VUEM, 2009. 109 s.

3. O.V. Tarasov, E.V. Onopko, Doslidzhennya efektyvnosti blochno-statystychnoho metodu stysnennya informatsiyi, Systemy obrobky informatsiyi, 2012, vypusk 4 (102), tom 1. S. 72-75

4. O. V. Nechyporenko, S. A. Mitsenko, Sistemnyiy analiz i otsenka metodov szhatiya dannyih dlya baz dannyih lazernyih tehnologicheskih kompleksov, Herald of Khmelnytskyi National University. 2014. № 1. S. 94–100.

5. Korpan' Ya. V. Metody ta alhorytmy kompaktnoho predstavlennya hrafichnoyi informatsiyi v komp"yuternykh systemakh, Tekhnolohichnyy audyt ta rezervy vyrobnytstva, 2015. № 3/2 (23). S. 32-36.

6. Korpan' Ya. V. Analiz metodiv ta alhorytmiv kompresiyi-dekompresiyi tsyfrovykh videodanykh. Herald of Khmelnytskyi National University. 2015. № 3. S. 175–179.

7. Algoritmyi szhatiya. URL: http://mf.grsu.by/UchProc/livak/en/po/comprsite/theory_souvid.html

8. Metodyi szhatiya i kompressii audio-signalov (vidyi, otlichiya, ispolzovanie). URL: http://studopedia.org/3-100199.html

9. Freemake Audio Converter. URL: http://www.freemake.com/ru/downloads/

10. Format Factory. URL: http://format-factory.ru.softonic.com/

Рецензія/Peer review : 10.7.2015 р. Надрукована/Printed : 30.8.2015 р.
Рецензент: д.т.н., проф., Рудницький В.М.

УДК 621.382

Л.Б. ЛІЩИНСЬКА
Вінницький торговельно-економічний інститут Київського національного торговельно-економічного університету

ІНФОРМАЦІЙНІ ПРИСТРОЇ І СИСТЕМИ НА УЗАГАЛЬНЕНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧАХ ІМІТАНСУ

Розглянуто основні підходи для підвищення ефективності інформаційних пристроїв комп'ютерних та інформаційно-вимірювальних систем шляхом їх побудови на основі однокристальних багатопараметричних узагальнених перетворювачів імітансу.

Ключові слова: інформаційна система, інформаційний пристрій, узагальнений перетворювач імітансу, конвертор, інвертор.

L.B. LISCHYNSKAYA
Vinnytsia Trade and Economic Institute of Kyiv National Trade and Economic University

INFORMATION SYSTEMS AND DEVICES BASED ON GENERALIZED CONVERTER IMMITTANCE

Abstract - Basic approaches to improve information devices and information systems by building them on the basis of multi-chip converters generalized immittance were considered.

Designed bases of the building of the information devices and systems using the method of synthesis immittance conversion tables based on the concept of "fuzzy immittance". Studies have shown that there are two methods of synthesis of tables: by direct analytical solution; by decomposition patterns and consistent use of conversion tables immittance one- and two-parameter generalized immittance converters.

Ways of the building and the general structural schemes of the basic immittance logic elements based on information basis immittance are investigated. Based on the proposed approach shows the possibility of developing a number of information devices that have higher: immunity, speed, sensitivity, frequency selectivity, slope control and manufacturability.

Key words: information system, information device, generalized immittance converter, converter, inverter.

Постановка проблеми

При побудові інформаційних систем прийому та обробки інформації з радіочастотними каналами зв‘язку, об‘єднання з комп‘ютерними системами здійснюється шляхом аналого-цифрового і цифро-аналогового перетворювання. В цьому випадку, неминучі часткові втрати інформації і погіршення швидкодії таких систем. Такі системи мають обмеження, пов‘язані з отриманням інформації і перетворенням її в АЦП з похибкою, яка може бути знижена за рахунок значного ускладнення і подорожчання апаратури.

Одним із шляхів подолання цих недоліків є використання інформаційних систем, які здійснюють безпосередню обробку сигналів на носійній частоті, що дозволяє зменшити необхідний енергетичний рівень інформаційного сигналу та апаратурні витрати, виключити необхідність передачі інформаційних потоків з низькочастотними складовими частотного спектру.

Аналіз досліджень і публікацій

У галузі побудови таких інформаційних систем сформувалося два основні напрямки. Перший пов‘язаний з використанням нелінійних властивостей електронних і напівпровідникових компонентів при реалізації радіочастотних інформаційних пристроїв (ІП) [1, 2]. Другий напрямок базується на використанні для реалізації ІП напівпровідникових компонентів, які працюють у малосигнальному режимі, що виключає появу гармонічних завад [3, 4].

Подальшим розвитком цих перетворювачів стало використання для їх реалізації інтегральних операційних підсилювачів і конвеєрів струму. Але швидкодія і частотний діапазон їх застосування, внаслідок впливу перехресних зв‘язків, залишається не високим (менше 1–3 ГГц). Розвиток мікроелектроніки надвисоких частот ще більше загострив проблему реалізації таких пристроїв, пов’язану не тільки зі зменшенням їх добротності і вибірковості при мініатюризації, але й з погіршенням цих параметрів з ростом частоти. Ці недоліки подолані за рахунок використання однопараметричних узагальнених перетворювачів імітансу (УПІ), але вони мають обмежені функціональні можливості, які можуть бути розширені шляхом використання багатопараметричних узагальнених перетворювачів імітансу ($УПІ_N$), реалізованих на однокристальних багатоелектродних напівпровідникових структурах, здатних працювати до частот (100–200) ГГц, в яких використовуються відомі переваги однокристальних інформаційних пристроїв, що набули широкого розвитку у цифровій техніці.

Мета дослідження

Метою дослідження є підвищення ефективності інформаційних пристроїв комп'ютерних та інформаційно-вимірювальних систем шляхом їх побудови на основі однокристальних багатопараметричних узагальнених перетворювачів імітансу.

Викладення основного матеріалу

Для побудови інформаційних пристроїв і систем на основі однокристальних багатопараметричних узагальнених перетворювачів імітансу розроблені методи синтезу інформаційних пристроїв на базі багатопараметричних $УПІ_N$, в основу яких покладена запропонована концепція «нечіткого імітансу» [5] і таблиці перетворення імітансу багатопараметричних $УПІ_N$. Проведені дослідження показали, що можливі два методи синтезу таких таблиць: шляхом прямого аналітичного вирішення; шляхом декомпозиції структури і послідовного використання таблиць перетворення імітансу одно- і двопараметричних $УПІ_N$.

Складність першого методу збільшується зі зростанням N і у більшості випадків не має явного вирішення. Другий, табличний, метод передбачає використання таблиць перетворення імітансу

однопараметричних $УПІ_N$ на основі трьохелектродних напівпровідникових структур. Наприклад, для синтезу таблиць перетворення імітансу дво- і трипараметричних $УПІ_N$ на основі двозатворного польового транзистора (ПТ2), замінюючи його двома однозатворними ПТ (рис. 1) і використовуючи таблиці перетворення для однопараметричних $УПІ_N$, знаходимо характер перетвореної провідності, яка визначає другий перетворюваний опір двопараметричного $УПІ_3$, що реалізується на транзисторі VT2. З урахуванням характеру опорів Z1 і Z53, за допомогою таблиць перетворення двопараметричних УПІ знаходимо характер перетвореної провідності $Y_{вих.43}$.

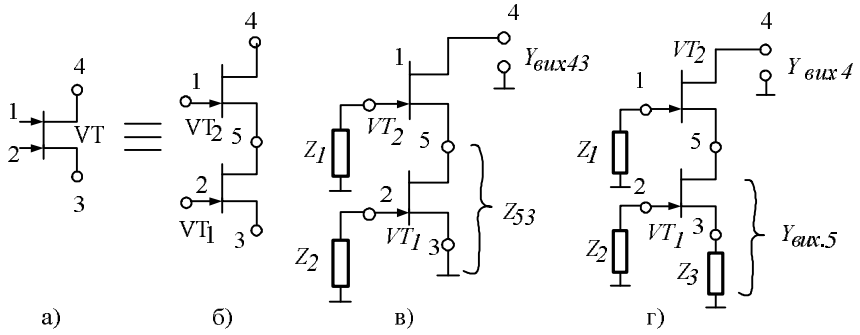


Рис. 1. Подання двозатворного ПТ2 (а) у вигляді двох однозатворних ПТ (б) і варіанти побудови на його основі двопараметричного (в) та трипараметричного (г) $УПІ_N$

Запропоновано метод створення логічних схем на основі нового інформаційного базису – імітансу [6]. Імітансна логіка дозволяє визначати логічний стан схеми за характером імітансних параметрів: $R^{(+)}$, $R^{(-)}$, $\left(G^{(+)}, G^{(-)}\right)$, $C^{(+)}$, $C^{(-)}$, $L^{(+)}, L^{(-)}$. У табл. 1 наведено приклади імітансного подання логічних «0» і «1».

Таблиця 1

Приклади імітансного подання логічних «0» та «1»

Логічний рівень	Імітансний рівень	Логічний рівень	Імітансний рівень	Логічний рівень	Імітансний рівень
Позитивна логіка					
0	$R^{(-)}$	0	$C^{(-)}$	0	$C^{(-)}$
1	$R^{(+)}$	1	$C^{(+)}$	1	$L^{(-)}$
Негативна логіка					
0	$L^{(+)}$	0	$C^{(+)}$	0	$L^{(-)}$
1	$L^{(-)}$	1	$C^{(-)}$	1	$C^{(-)}$

Враховуючи функціональну повноту системи логічних функцій «НІ», «І», «АБО» розроблена їх структурна реалізація і метод синтезу для позитивної імітансної логіки, що використовує в якості інформаційного базису дійсний імітанс. Наприклад, структурні схеми імітансних логічних R-елементів (рис. 2) являють собою $УПІ_N$, в яких перетворений імітанс $R_{вих}$ залежить від вхідного імітансу $R_Г$. Кількісно ця залежність визначається коефіцієнтом перетворення імітансу T_i.

Саме вибір і реалізація цих коефіцієнтів забезпечує виконання необхідних логічних функцій. Для реалізації імітансних логічних R-елементів «НІ» необхідно використовувати лише негативні конвертори та інвертори імітансу. Імітансні логічні R-елементи «АБО» та «І» можуть бути реалізовані на позитивних конверторах імітансу, за умови виконання певних обмежень на співвідношеннях між величиною вхідних імітансів, що визначають логічні рівні.

Введення до вхідного електричного кола імітансних логічних R-схем компенсуючих резисторів забезпечує автоматичне виконання необхідних співвідношень між значеннями вхідних імітансів. Заміна у схемах логічних елементів «АБО» та «І» позитивних конверторів та інверторів імітансу на негативні забезпечує реалізацію, відповідно, логічних функцій «АБО–НІ» та «І–НІ», при збереженні вимог до співвідношення параметрів перетворюваних імітансів. Аналіз метрологічного забезпечення, розробки і використання імітансних логічних елементів проведено у [7]. Кількісна оцінка завадостійкості імітансного логічного LC-елемента «НІ» [8], реалізованого на основі однотранзисторного УПІ, який працює у режимі інвертора імітансу, показала, що у діапазоні зміни опорної частоти 0,4–1,5 ГГц він має більше 80 % запас завадостійкості від нестабільності величини уявної складової високодобротного вхідного імітансу.

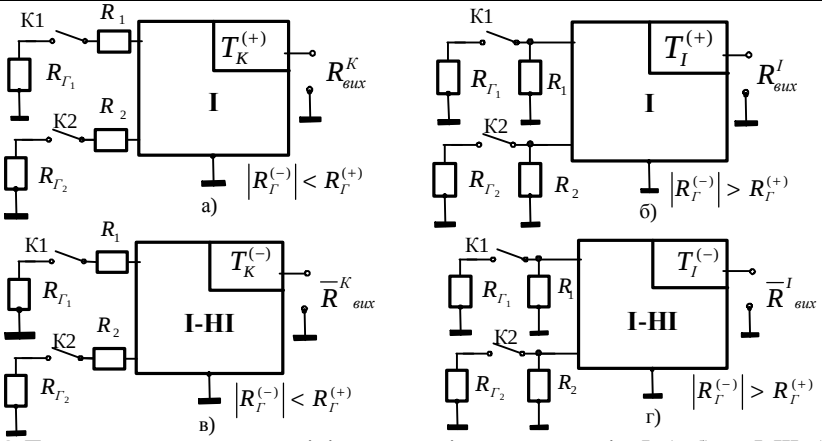


Рис. 2. Приклади структурних схем імітансних логічних R-елементів «І» (а, б) та «І–НІ» (в, г)

На основі запропонованих підходів розроблено і досліджено низку інформаційних пристроїв (управляючі елементи (УЕ), частотно-вибіркові пристрої (ЧВП), радіочастотні датчики (РЧД), напівпровідникові помножувачі індуктивності (НПІ), радіочастотні (РЧЛЕ), імітансні (ІЛЕ) і оптоімітансні (ОІЛЕ) логічні елементи, оптоімітансні (ОІП) і відеоімпульсно-імітансні (ВІП) перетворювачі на основі багатопараметричних $УПІ_N$, які мають, у порівнянні з аналогами, вищі: завадостійкість, швидкодію, чутливість, частотну вибірковість, крутизну управління і технологічність.

Висновки

1. Розроблені основи побудови інформаційних пристроїв і систем на багатопараметричних узагальнених перетворювачах імітансу з використанням методу синтезу таблиць перетворення імітансу багатопараметричних $УПІ_N$ на базі концепції «нечіткого імітансу».

2. Досліджені шляхи побудови і загальні структурні схеми базових імітансних логічних елементів («І», «АБО», «НІ», «АБО – НІ», «І – НІ») на основі інформаційного базису – імітансу.

3. На основі запропонованих підходів показана можливість розробки низки інформаційних пристроїв на базі багатопараметричних $УПІ_N$, які мають, порівняно з аналогами, вищі: завадостійкість, швидкодію, чутливість, частотну вибірковість, крутизну управління і технологічність.

Література

1. Нейман М. С. О сверхвысокочастотной вычислительной прерывной автоматике / М. С. Нейман // Электронные радиоимпульсные вычислительные системы дискретного действия. Труды МАИ. – 1962. – Вып. 149. – С. 3–8.

2. Кичак В. М. Синтез частотно-імпульсних елементів цифрової техніки : монографія / В. М. Кичак. – Вінниця : УНІВЕРСУМ – Вінниця, 2005. – 266 с. – ISBN 966-641-137-7.

3. Бенинг Ф. Отрицательное сопротивление в электронных схемах / Бенинг Ф. – М. : Сов. радио, 1975. – 286 с.

4. J. G. Linvill, Transistor Negative Impedance Converters. Proc. IRE (1953). Vol. 41. pp. 725–729.

5. Лищинская Л. Б. Обоснование концепции «нечёткого иммитанса» / Л. Б. Лищинская // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2010. – № 1. – С. 20–25.

6. Ліщинська Л.Б. Імітансна логіка / Л.Б. Ліщинська, М.А. Філинюк // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2010. – № 2(18). – С. 25–31.

7. Филинюк Н.А. Анализ метрологического обеспечения, разработки и применения иммитансных логических элементов / Н.А. Филинюк, Л.Б. Лищинская, Р. Ю. Чехместрук // Вісник Хмельницького національного університету. – 2014. – № 2. – С. 251–255.

8. L.B. Lishchynskaya, "Estimation of the Noise Immunity of Immitance Logic Elements", Journal of Communications Technology and Electronics, 2013, Vol. 58, No. 11, pp. 1096–1101.

References

1. Neiman M. S. O sverkhvusokochastotnoi vuchyslytelnoi preruvnoi avtomatyke. Elektronnue radyoympulsnue vuchyslytelnue systemu dyskretnoho deistvyia. Trudu MAY, Vol. 149, 1962. pp. 3-8.

2. Kychak V. M. Syntez chastotno-impulsnykh elementiv tsyfrovoi tekhniky, Vinnytsia: Universum, 2005, 266p.

3. Benynh F. Otrytsatelnoe soprotyvlenye v elektronnukh skhemakh. Moskow : Sov. radyo, 1975, 286p.

4. J. G. Linvill, Transistor Negative Impedance Converters. Proc. IRE (1953). Vol. 41. pp. 725–729.

5. Lishchynskaya L. B. Obosnovanye kontseptsyy «nechetkoho immytansa», Vymiriuvalna ta obchysliuvalna tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh, Issue 1, 2010, pp. 20–25.

6. Lishchynska L.B., Filyniuk M.A. Immitansna logika , Informatsiini tekhnolohii ta kompiuterna inzheneriia, 2010, Issue 2(18), pp. 25-31.

7. Filinyuk N.A., Lischinskaya L.B., Chehmestruck R. Y. Metrological supportanalysis, development and application of immitancelogic elements, Herald of Khmelnytskyi national university, Issue 2, 2014 (211), pp. 251–255.

8. L.B. Lishchynskaya, "Estimation of the Noise Immunity of Immitance Logic Elements", Journal of Communications Technology and Electronics, 2013, Vol. 58, No. 11, pp. 1096–1101.

Рецензія/Peer review : 30.6.2015 р. Надрукована/Printed : 30.8.2015 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Веселовська Н.Р.

УДК 621.313

С. М. БОЙКО, Д. А. МИХАЙЛИЧЕНКО
Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського
С. Я. ВИШНЕВСЬКИЙ
Вінницький національний технічний університет

ЛАБОРАТОРНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ДИФЕРЕНЦІЙНОГО ЗАХИСТУ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА

У статті запропоновано лабораторний комплекс для дослідження диференційного релейного захисту. Лабораторний комплекс багатофункціональний. На лабораторному стенді є можливість проводити дослідження диференційного релейного захисту на базі аналогових реле, комп'ютеризованих систем з різними типами програмного забезпечення та алгоритмами захисту та проводити аналіз диференційного релейного захисту на базі комбінованих аналогових реле та комп'ютеризованих систем. Запропонований лабораторний стенд рекомендується для використання при підготовці спеціалістів електроенергетичних спеціальностей та для проведення наукових досліджень.

Ключові слова: системи електропостачання, лабораторний комплекс, комп'ютеризовані системи, диференційний релейний захист, аналогові реле, вимірювальні трансформатори, імітування короткого замикання.

S.M. BOYKO, D.A. MYHAJLYCHENKO
Kremenchuk National University named after Michael Ostrogradskiy
S.Y. VYSHNEVSKY
Vinnytsia National Technical University

LABORATORY COMPLEX FOR THE RESEARCH OF DIFFERENTIAL PROTECTION OF POWER TRANSFORMER

Abstract – The article suggests the laboratory complex for the study of differential relay protection. Laboratory booth is a multifunctional complex. There is a possibility on the laboratory booth to carry out the research of differential relay protection based on the analogue relay, computerized systems with different types of software and algorithms of protection and to carry on analysis of differential relaying based on combined analogue switches and computerized systems. Proposed laboratory booth is recommended for preparation of specialists of the electric power specialties and for carrying out scientific research.

Keywords: systems of electricity supply, laboratory complex, computerized systems, differential relay protection, analogue switches, instrument transformers, short circuit simulation.

Вступ

Вимоги до надійності і якості електропостачання споживачів, покладають все більш високу відповідальність на релейний захист і автоматику енергосистем. На цьому фоні все більш актуальним стає завдання підвищення чутливості і швидкодії захисту силових трансформаторів. Особливості розв'язання даної задачі тісно пов'язані з широкомасштабним впровадженням мікропроцесорних систем захисту [1].

Можливі ушкодження в трансформаторах і на їхніх з'єднаннях та небезпечні режими роботи у процесі експлуатації електроенергетичної системи, обумовлюють необхідність установки для захисту трансформаторів сучасних пристроїв релейного захисту та автоматики [2].

Актуальність роботи. У зв'язку з впровадженням мікропроцесорних елементів в системах диференційного релейного захисту силових трансформаторів актуальною є розробка стендового обладнання, яке дозволить вивчити та дослідити технічні можливості та характеристики диференційного захисту силових трансформаторів, а також може бути використано для практичної підготовки фахівців електроенергетичних спеціальностей.

Метою роботи є аналіз функціональних можливостей лабораторного комплексу для дослідження диференційного захисту силового трансформатора.

Матеріал і результати досліджень

У ряді випадків, коли при наскрізних коротких замиканнях через трансформатори струму диференційного захисту проходять струми короткого замикання, струми небалансу, і відповідно струми спрацьовування, виходять дуже великими, то при цьому диференційний захист може не забезпечувати необхідної чутливості в мінімальному, а іноді і в нормальному режимах роботи [3–5].

Для підвищення чутливості диференційного захисту в таких випадках використовуються реле з гальмівною дією типу ДЗТ, на яких розташована одна або декілька гальмівних обмоток, що дає можливість збільшення струму спрацьовування реле [6].

Диференційні захисти силових трансформаторів виконують в основному на базі аналогових реле серії РНТ і ДЗТ. Розрахунок захисту полягає у визначенні струмів спрацьовування захисту і реле, числа витків обмоток реле і коефіцієнта чутливості.

Спроектований лабораторний стенд, що розглядається, відповідає таким критеріям як універсальність, має достатню технічну базу не лише для проведення лабораторних робіт, а й ознайомлення студентів із реальними технічними пристроями, що використовуються на виробництві, має можливості

модульного доповнення, розширення функціональних можливостей [7].

На базі лабораторного стенду реалізовано повздовжній диференційний захист трансформатора. В схемі реалізовано коротке замикання в зоні дії диференційного захисту та наскрізне коротке замикання (поза зоною дії диференційного захисту).

Функціональна схема лабораторного комплексу представлена на рис. 1. До його складу входять наступні елементи: трансформатор напруги (ТН); погоджувальний пристрій (ПП); реле диференційного захисту (РДЗ); пристрій диференційного захисту (ПДЗ); цифрово-аналоговий перетворювач (ЦАП); аналогово-цифровий перетворювач (АЦП); комп'ютер (ЕОМ); робочий пристрій (РП); навантаження (Н); пристрої (ІП1-3), що імітують коротке замикання; аналогове вимірювальне обладнання (А1-2, V1-2); датчики для контролю струму та напруги мережі стенда (ДС, ДН).

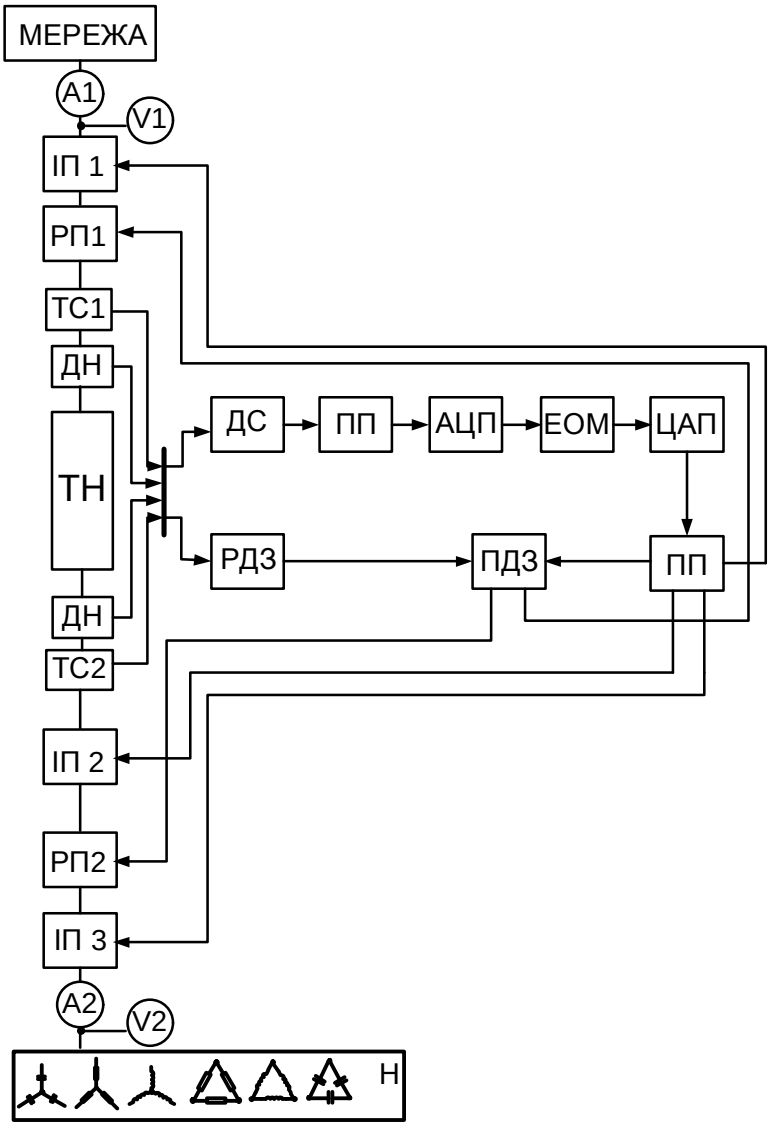


Рис. 1. Структурна схема лабораторного стенду по дослідженню диференційного захисту силового трансформатора

На базі лабораторного стенду дослідження роботи диференційного релейного захисту відбувається завдяки імітації короткого замикання, за допомогою імітуючих пристроїв в зоні дії диференційного захисту та поза зоною його дії. Є можливість досліджувати аналогові пристрої релейного захисту та комп'ютеризовану систему диференційного релейного захисту, завдяки якій управляти лабораторним стендом та фіксувати результати досліджень. Також підключення навантажень різного типу та номіналу, дає можливість імітувати реальні та можливі режими роботи диференційного захисту силового трансформатора та, за допомогою аналогових приладів та електронної системи збору даних, досліджувати вплив різних режимів роботи диференційного захисту при різних типах навантаження [8].

Лабораторний стенд є багатофункціональним і працює таким чином. Після підключення лабораторного стенду до мережі відбувається запуск ЕОМ та програмного забезпечення, живлення трансформатора напруги, АЦП, ЦАП та підключення навантаження відповідного типу та необхідного номіналу.

При проходженні струму на стороні високої та низької напруги трансформатора, його значення фіксуються датчиками струму за допомогою вимірювальних трансформаторів струму, які подають

відповідний струм (тобто струм згідно їх коефіцієнту трансформації) на РДЗ та паралельно на узгоджувальний пристрій ПП в схемі з ЕОМ.

В схемі з ЕОМ сигнал з ПП надходить до аналогово-цифрового перетворювача АЦП, який і надає цифровий сигнал на ЕОМ, де відповідне програмне забезпечення дає змогу регулювати уставки струму, швидкість спрацювання та інше управління захистом [9].

При перевищенні допустимого струму на одній із сторін напруги трансформатора, при імітації короткого замикання за допомогою імітуючих пристроїв ІП, спрацьовує захист відповідно до встановлених уставок струму, що попередньо розраховуються [10].

Після знеструмлення робочого пристрою, котушки пускача, розмикаються його контакти (РП1-РП2), які відключають трансформатор від мережі.

На базі лабораторного стенду реалізовано повздовжній диференційний захист силового трансформатора. В схемі реалізовано коротке замикання в зоні дії диференційного захисту та наскрізне коротке замикання (поза зоною дії диференційного захисту).

Проводячи лабораторний експеримент є можливість візуально спостерігати показники напруги мережі, струму споживача, струму навантаження та струму небалансу. Також є можливість одержання та аналізу даних про показники струмів прямої, зворотної та нульової послідовності фаз А і С за допомогою додаткових пристроїв.

Схема диференційного захисту може бути реалізована на базі будь-якого реле диференційного захисту.

Є можливість налагоджування уставок реле диференційного захисту, шляхом попереднього розрахунку, за допомогою відповідної методики та вивчати різні системи диференційного захисту та їх елементи.

Схемне рішення, що реалізоване на базі лабораторного стенду, застосовується для захисту на об’єктах електропостачання.

Мета запропонованого рішення полягає в поліпшенні надійності роботи релейного захисту, а саме диференційного захисту, шляхом дублювання роботи новітньої релейної автоматики, основаної на базі мікроконтролерної техніки, аналогових пристроїв.

Виходячи з того, що значна кількість релейного захисту на сьогоднішній день є аналоговими, то з економічної точки зору, враховуючи тенденцію поширення мікропроцесорного релейного обладнання, не потрібно значних затрат на реалізацію цього рішення.

Забезпечення надійності і простоти в обслуговуванні полягає в тому, що при відключенні одного виду захисту, буде працювати інший. Тим самим немає необхідності у знеструмленні об’єкта захисту на час ремонтних робіт чи монтажу обладнання.

Спроектований лабораторний стенд дозволяє проводити наступні лабораторні роботи [11]:

- дослідження енергетичних характеристик та перехідних процесів при роботі на різне за характером навантаження;
- дослідження диференційного захисту силового трансформатора у різних режимах роботи;
- дослідження динамічних та статичних характеристик реальних режимів роботи, шляхом імітуванням короткого замикання у в зоні та поза зоною диференційного захисту;
- дослідження технічних характеристик аналогових та цифрових систем управління релейного захисту та автоматики;
- дослідження енергетичних характеристик системи при спрацюванні релейного захисту в різних режимах роботи з різним типом навантаження, шляхом створення змінного навантаження;
- дослідження енергетичних характеристик диференційного захисту силового трансформатора у різних режимах роботи з різним типом навантаження, шляхом імітуванням короткого замикання у в зоні та поза зоною диференційного захисту.

Висновки

В роботі розвивається погляд на релейний захист як на складну інтелектуальну систему. Тому запропонований лабораторний комплекс для дослідження диференційного захисту силового трансформатора підвищує якість навчання, оскільки дозволяє вивчати технологічні можливості нового обладнання, досліджувати функціональні можливості та наочно демонструвати різні режими роботи диференційного захисту з використанням аналогових та мікропроцесорних пристроїв захисту та імітувати реальні режими роботи мережі.

Література

1. Y. Liamets, A. Podchivaline, A. Chevelev, G. Nudelman, J. Zakonjsek, Informational tasks of relay protection, Sydney, Australia, CIGRE SC B5 Colloquium and Meeting. 2003. Report 213.

2. Лямец Ю. Я. Теория уставок / Ю.Я. Лямец, Е. Б. Ефимов, Г. С. Нудельман // Актульные проблемы релейной защиты : сб. докл. науч. практ. конф. – М., 2001. – С. 106–111.

3. Кержаев Д. В. Исследование распознающей способности дифференциального принципа релейной защиты / Д. В. Кержаев, Д. В. Блинов // Сборник докладов первой международной конференции молодых

специалистов ABS 2009. – С. 86–89.

4. Лямец Ю. Я. Иерархия режимов электроэнергетических систем в методологии обучения релейной защиты / Ю. Я Лямец, Д. В. Кержаев // Вестник Чувашского университета. – 2007. – № 2. – С. 134–147.

5. Y. Liamets, D. Kerzhaev, S. Ivanov, A. Podshivalin, J. Zakonjsek, G. Nudelman, Electrical power system conditions hierarchy in methodology of relay protection education, Madrid, Spain,Colloquium SC B5 CIGRE Committee. 2007.

6. Дьяков А. Ф. Микропроцессорная релейная защита и автоматика электроэнергетических систем / А.Ф. Дьяков, Н.И. Овчаренко. – М. : Издательство МЭИ, 2000. – 156 с.

7. Y. Liamets, A. Pavlov, S. Ivanov, G. Nudelman, Virtual relays: theory and application to distance protection, CIGRE SC B5 Colloquium. Australia, Sydney, 2003. Paper 308.

8. Ефимов Е. Б. Оптимальная фазовая селекция коротких замыканий в линиях электропередачи : автореферат канд. диссертации / Е.Б. Ефимов. – Чебоксары : ЧувГУ. 2002.

9. Y. Liamets, D. Kerzhaev, S. Ivanov, A. Podchivaline, J. Zakonjsek, G. Nudelman, Electrical power system conditions hierarchy in methodology of relay protection education. CIGRE SC B5 Colloquium, Spain, Madrid, 2007, Paper 311.

10. Лямец Ю.Я. Дифференциально-фазная защита как объект обучения / Ю.Я. Лямец, Д.В. Зиновьев // Труды АЭН ЧР. – 2007. – № 1. – С. 10–14.

11. Игуменщев В.А. Научно-исследовательские проблемы в области энергетики и энергосбережения / В.А. Игуменщев // Сб. тр. Всерос. конф. с элементами научной школы для молодежи. – Уфа : УГАТУ, 2010. – С. 26–28.

References

1. Y. Liamets, A. Podchivaline, A. Chevelev, G. Nudelman, J. Zakonjsek, Informational tasks of relay protection, Sydney, Australia, CIGRE SC B5 Colloquium and Meeting. 2003. Report 213.

2. Liamets Yu. Ya., Efymov E. B., H. S. Nudelman H. S. Teoryia ustavok. Aktualnye problemy releinoi zashchyty: Sb. dokl. nauch. prakt. konf. - Moskow, 2001, pp.106-111.

3. Kerzhaev D. V, Blynov D. V. Yssledovanye raspoznaiushchei sposobnosty dyfferentsyalnoho pryntsypa releinoi zashchyty Sbornyk dokladov pervoi mezhdunarodnoi konferentsyy molodykh spetsyalystov ABS 2009, pp. 86-89.

4. Liamets Yu. Ya, Kerzhaev D. V. Yerarkhyia rezhymov elektroenerhetycheskykh system v metodolohyy obuchenyia releinoi zashchyty, Vestnyk Chuvashskoho unyversyteta, 2007, №2, pp. 134-147.

5. Y. Liamets, D. Kerzhaev, S. Ivanov, A. Podshivalin, J. Zakonjsek, G. Nudelman, Electrical power system conditions hierarchy in methodology of relay protection education, Madrid, Spain,Colloquium SC B5 CIGRE Committee. 2007.

6. Diakov A. F., Ovcharenko N.Y. Mykroprotsessornaia releinaia zashchyta y avtomatyka elektroenerhetycheskykh system, Moscow, Yzdatelstvo MEI, 2000, 156 p.

7. Y. Liamets, A. Pavlov, S. Ivanov, G. Nudelman, Virtual relays: theory and application to distance protection, CIGRE SC B5 Colloquium. Australia, Sydney, 2003. Paper 308.

8. Efymov E. B. Optymalnaia fazovaia selektsyia korotkykh zamykanyi v lynyiakh elektroperedachy: avtoreferat kand. dyssertatsyy, Cheboksary, ChuvHU, 2002.

9. Y. Liamets, D. Kerzhaev, S. Ivanov, A. Podchivaline, J. Zakonjsek, G. Nudelman, Electrical power system conditions hierarchy in methodology of relay protection education. CIGRE SC B5 Colloquium, Spain, Madrid, 2007, Paper 311.

10. Liamets Yu.Ya., Zynovev D.V. Dyfferentsyalno-faznaia zashchyta kak obiekt obuchenyia, Trudy AEN ChR, 2007, №1, pp. 10-14.

11. Yhumenshchev V.A. Nauchno-yssledovatelskye problemy v oblasty enerhetyky y enerhosberezhenyia, Sb. tr. Vseros. konf. s elementamy nauchnoi shkoly dlia molodezhy, Ufa, UHATU, 2010, pp. 26-28.

Рецензія/Peer review : 10.7.2015 р. Надрукована/Printed : 30.8.2015 р.
Рецензент: д.т.н., проф., Сінчук О.М.

УДК 621.317

В.В. МАРТЫНЮК, В.В. КОТЕНЕВ
Хмельницкий национальный университет

АНАЛИЗ ПРИБОРОВ КОНТРОЛЯ ЗАЩИТНОГО ПОТЕНЦИАЛА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРЕВАТЕЛЕЙ ВОДЫ

В работе выполнен анализ существующих приборов контроля защитного потенциала ЭНВ от простых к более сложным. Установлено, что большинство известных приборов контроля защитного потенциала ЭНВ базируются на создании защитного потенциала ЭНВ, который возникает на поверхности ЭНВ вследствие прохождения внешнего тока. Проанализированы преимущества и недостатки существующих приборов контроля защитного потенциала ЭНВ с точки зрения повышения достоверности контроля и эффективности антикоррозионной защиты ЭНВ.

Ключевые слова: электрический нагреватель воды, защитный потенциал, достоверность контроля, катодная защита внешним током.

V.V. MARTYNYUK, V.V. KOTENEV
Khmelnytskyi National University

ANALYSIS OF THE DEVICES FOR THE PROTECTION POTENTIAL CONTROL OF THE ELECTRIC WATER HEATERS

Abstract – The paper analyzed the existing devices for the protection potential control of the electric water heater from simple to more complex. It is established that most of the existing devices for the protection potential control of the electric water heater are based on the occurrence of the protection potential by means of flowing of the outer current. The advantages and disadvantages of the existing devices for the protection potential control of the electric water heater are analyzed in terms of their usage, the control reliability and the efficiency of the corrosion protection of electric water heaters.

Keywords: electric water heater, protection potential, control reliability, cathodic protection of the outer current.

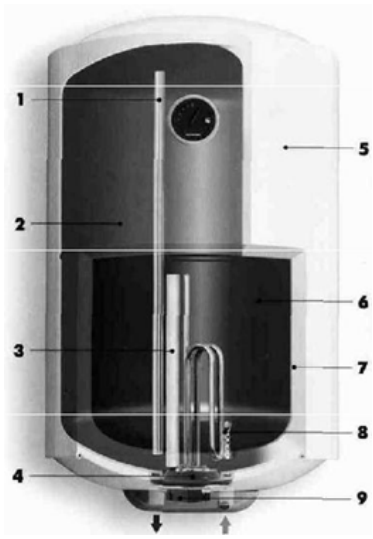
Введение

Электрические нагреватели воды (ЭНВ) являются одним из наиболее распространенных видов эмалированной бытовой нагревательной аппаратуры. По типу ЭНВ разделяют на: проточные, накопительные (емкостные) и проточно-накопительные. Конструкции и принцип действия всех емкостных ЭНВ практически одинаковы (рис. 1) [1].

ЭНВ состоят из внутреннего и наружного стальных баков, пространство между которыми заполняется теплоизоляционными материалами. Во внутренний бак встроены нагреватели воды, термостат, предохранительный клапан [1].

Внутренний бак изготавливают из малоуглеродистой листовой стали толщиной 1,5 – 2,0 мм, а затем покрывают защитным стеклоэмалевым покрытием [2]. При контакте стального внутреннего бака с горячей водой в местах повреждения стеклоэмалевого защитного покрытия происходит интенсивная коррозия металлической поверхности, что приводит к разрушению изделия.

Основной причиной, сокращающей срок эксплуатации емкостных ЭНВ и приводящей к выходу их из строя, является коррозия их внутренних стальных баков [3]. Стеклоэмалевое покрытие не обеспечивают полной защиты ЭНВ от коррозии, потому что в процессе их эксплуатации из-за циклических термических нагрузок могут образовываться микротрещины и другие малоразмерные дефекты [4].



1– выходная трубка для горячей воды; 2 – внутренний стальной бак со стеклоэмалевым покрытием; 3 – магниевый анод; 4 – стальной фланец, на котором смонтированы: нагревательный элемент, магниевый анод и термостат; 5 – внешний стальной бак с полимерным покрытием; 6 – стеклоэмалевое покрытие; 7 – пенополиуретановая теплоизоляция; 8 – трубка ля подачи холодной воды; 9 – термостат
Рис. 1. Конструкция ЭНВ

Для предотвращения коррозии дефектных участков покрытия внутреннего стального бака ЭНВ (не защищенных стеклоэмалевым покрытием) используется метод катодной защиты. Причем с целью упрощения используется самая простая его реализация – протекторная защита [1].

В качестве протектора используется металл не склонный к пассивации, со значительно более отрицательным стандартным электродным потенциалом, чем защищаемый. На практике наибольшее распространение получили протекторы из магния или его сплавов. Механизм протекторной защиты состоит в следующем: магниевый протектор выполняет роль анода, а на поверхности защищаемого объекта (незащищенных участков стального бака) протекает катодный процесс восстановления кислорода [1].

Протекторная защита от коррозии ЭНВ с помощью магниевых анодов имеет существенный недостаток, который заключается в низкой ЭДС протектора, что ограничивает применение протекторов в

плохо проводящих средах. Другим недостатком протекторной защиты есть безвозвратные потери металла и возможное загрязнение окружающей среды, а также трудоемкость процесса замены магниевых анодов ЭНВ, что приводит к дополнительным финансовым расходам в процессе эксплуатации ЭНВ.

Более эффективным методом коррозионной защиты ЭНВ, по сравнению с протекторной защитой, является катодная защита внешним током (КЗВТ). Часто КЗВТ применяют одновременно с нанесением защитных покрытий. Уменьшение скорости саморастворения металла при его внешней поляризации называют защитным эффектом.

Основным критерием КЗВТ является защитный потенциал, а также методы и устройства его контроля. Защитным потенциалом называется потенциал, при котором скорость растворения металла принимает предельно низкое значение, допустимое для данных условий эксплуатации [5].

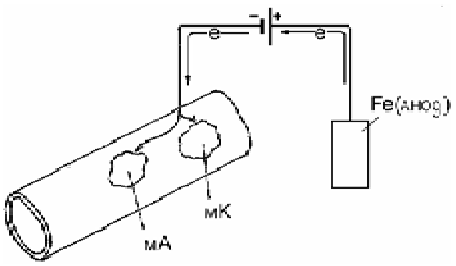
Достоверность контроля защитного потенциала КЗВТ имеет большое значение для повышения эффективности устройств антикоррозионной защиты ЭНВ. Чем выше достоверность контроля защитного потенциала КЗВТ, тем точнее устройство КЗВТ сможет поддерживать этот потенциал в процессе эксплуатации ЭНВ, а их коррозия будет минимально допустимой.

Катодная защита внешним током

КЗВТ – это способ защиты конструкции принудительной катодной поляризацией с помощью внешнего источника постоянного тока (рис. 2) [6].

Катодная поляризация защищаемой конструкции должна осуществляться таким образом, чтобы стационарные потенциалы металла находились в пределах от -0,85 В до -1,15 В по медно-сульфатному электроду сравнения.

Отрицательный полюс внешнего источника тока подключают к защищаемой конструкции, которая выполняет роль катода. Анод электрической цепи – специальное анодное заземление, подключенное к положительному полюсу источника тока.



МА – микроанод, МК – микрокатод
Рис. 2. Схема КЗВТ

При КЗВТ на аноде из железа идет процесс растворения анода. На микроанодах происходит подавление анодного процесса, т.е. коррозии защищаемой конструкции. Характеристикой КЗВТ является величина защитного эффекта (1) [7]:

$$З_э = \frac{K_0 - K_1}{K_0} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где K_0 – скорость коррозии металла без защиты;

K_1 – скорость коррозии металла при КЗВТ.

Источниками внешнего тока при КЗВТ служат станции катодной защиты, которые бывают регулируемые и нерегулируемые. Нерегулируемые станции катодной защиты применяются в том случае, когда изменения сопротивления в цепи тока практически отсутствуют. Указанные станции работают в режиме поддержания постоянного потенциала или тока и применяются для защиты резервуаров, хранилищ, высоковольтных кабелей в стальной броне, трубопроводов и др. Они получили название преобразователей потенциала с ручным управлением [8].

Такие системы защиты могут быть использованы, если параметры защищаемого объекта остаются стабильными во времени. Тогда задается от источника постоянная величина защитного потенциала, нерегулируемая во времени. Если параметры защищаемого объекта меняются во времени, то следует при организации КЗВТ использовать автоматические катодные станции, поддерживающие потенциал защищаемого объекта в заданном режиме [8].

Автоматические катодные станции оборудованы устройством для стабилизации заданной разности потенциалов между защищаемым объектом и землей. Структурная схема автоматической станции катодной защиты представлена на рис. 3 [8].

С помощью блока, задающего потенциал 1, устанавливается требуемый защитный потенциал. Это значение потенциала сравнивается с помощью блока сравнения 2 с потенциалом защищаемой конструкции, измеренной по отношению к тому же электроду сравнения 4 с помощью блока измерения потенциала 3. Разность потенциалов после усиления блоком усилителя 5 подается на блок управления 6, корректирующего силу поляризующего тока, идущего от выпрямителя 7.

Расчет напряжения катодной защиты выполняю по формуле (2) [7]:

$$U = \Delta E_{в.а} + \left|\Delta E_к\right| + \sum_{i=1}^{n} \Delta U_{R_i} + \left|E_{в.а}^{p} - E_{кор}\right|, \quad (2)$$

где $\Delta E_{в.а}$ – анодная поляризация вспомогательного анода;

$\Delta E_к$ – катодная поляризация защищаемой конструкции, определяется как $E_з - E_{кор}$;

$E_{в.а}^{p}$ – равновесный потенциал вспомогательного анода;

$E_{кор}$ – коррозионный (стационарный) потенциал металла конструкции;

$\sum_{i=1}^{n} \Delta U_{R_i}$ – сумма омических падений напряжений на участках цепи катодной защиты.

$$\sum_{i=1}^{n} \Delta U_{R_i} = I\left(R_к + R_{эл} + R_{в.а} + R_{пр}\right), \quad (3)$$

где I – ток внешнего источника питания;

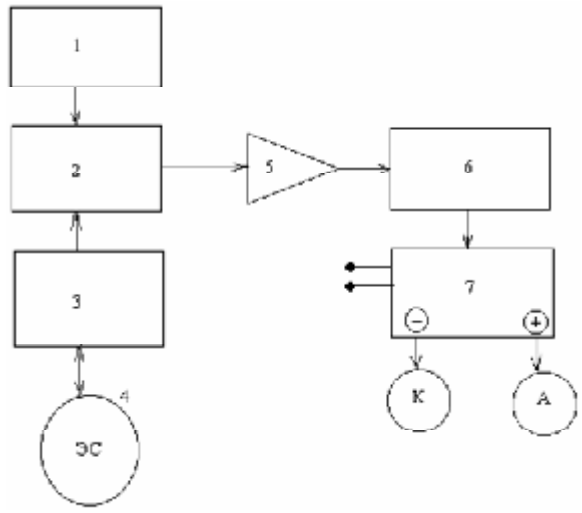
$R_к$ – сопротивление защищаемой конструкции;

$R_{эл}$ – сопротивление электролита между конструкцией и вспомогательным анодом;

$R_{в.а}$ – сопротивление вспомогательного анода;

$R_{пр}$ – сопротивление соединительных проводов.

Недостатком схемы автоматической станции катодной защиты является большая погрешность измерения вследствие влияния постоянно приложенного защитного потенциала, возникновение автоколебаний при автоматической регулировке, а также необходимость регулярной юстировки электрода сравнения и затраты на него. Преодоление указанных недостатков схемы автоматической станции катодной защиты возможно при помощи использования катодной защиты от коррозии с потенциостатом, который работает по прерыванию [10].



1 – блок задания потенциала; 2 – блок сравнения потенциалов; 3 – блок измерения потенциала; 4 – электрод сравнения (ЭС); 5 – блоком усилителя; 6 – блок управления; 7 – выпрямитель; А – анод; К – катод

Рис. 3. Схема автоматической станции катодной защиты

Принцип действия катодной защиты от коррозии с потенциостатом, который работает по прерыванию, заключается в периодическом прерывании защитного тока. В момент прерывания анод используется в как электрод сравнения и измеряет образованный потенциал между электродом сравнения и катодом [10]. Использование прерывания защитного тока позволит исключить в схеме автоматической катодной защиты электрод сравнения, что значительно уменьшит себестоимость схемы.

Величина измеренного потенциала сравнивается с заданным значением защитного потенциала, а различие по величине этих значений будет использовано для изменения защитного тока в активной фазе. В этом случае будет достигнуто заданное значение противокоррозионного потенциала на поверхности катода и исключается нежелательное образование свободного водорода вследствие чрезмерной поляризации защищаемого объекта.

Недостатком катодной защиты от коррозии с потенциостатом, который работает по прерыванию, заключается в образовании в активной фазе на поверхности анода слоя кислорода. Образование слоя кислорода в активной фазе на поверхности анода препятствует измерению потенциала на катоде сразу же после начала прерываний. Для устранения этого недостатка применяется способ временной задержки начала измерений до приемлемого уровня снижения поверхностного кислородного заряда [10].

Экспериментальные исследования катодной защиты от коррозии с потенциостатом, который работает по прерыванию, показывают [10], что после начала прерывания измерения потенциала необходимо проводить не раньше, чем 30 мкс для достижения квази постоянного уровня напряжения на катоде. При этом время прерывания должно быть меньше, чем 10 мс.

При работе установки катодной защиты в приэлектродном слое, прилегающем к защищаемой поверхности, в результате протекания электродной реакции происходят изменения, прежде всего меняется pH приэлектродного слоя.

Изменение pH приводит к тому, что на поверхности защищаемого объекта делается возможным выпадение карбоната кальция. Образование осадков особенно заметно при эксплуатации защиты в морской воде или в жесткой пресной воде.

Катодные осадки карбонатов трудно растворимы и оказывают благоприятное воздействие на работу катодной станции, т.к. на оголенных участках сооружения образуется естественная хорошо прилегающая изоляционная пленка. Это ведет к уменьшению необходимого защитного тока [10].

Использование катодной защиты сопряжено с опасностью так называемой перезащиты. В этом случае вследствие слишком сильного смещения потенциала защищаемой конструкции в отрицательную сторону может резко возрасти скорость выделения водорода. Результатом этого является водородное охрупчивание или коррозионное растрескивание материалов и разрушение защитных покрытий.

Приборы контроля защитного потенциала ЭНВ

Приборы контроля защитного потенциала ЭНВ бывают аналоговые и цифровые. Несмотря на то, что такие приборы изготовляются многими европейскими и американскими фирмами, достоверность контроля защитного потенциала ЭНВ этих приборов недостаточна, поэтому эффективность антикоррозионной защиты ЭНВ на сегодняшний день является также недостаточной.

Проанализируем принцип работы и работы прибора контроля защитного потенциала ЭНВ ACES (Anti Corrosion Electronic System) итальянской компании CGR. Эта компании выпускает две разновидности

таких устройств: для котлов с эмалированным покрытием емкостью до 1000 и до 5000 литров (рис. 4).

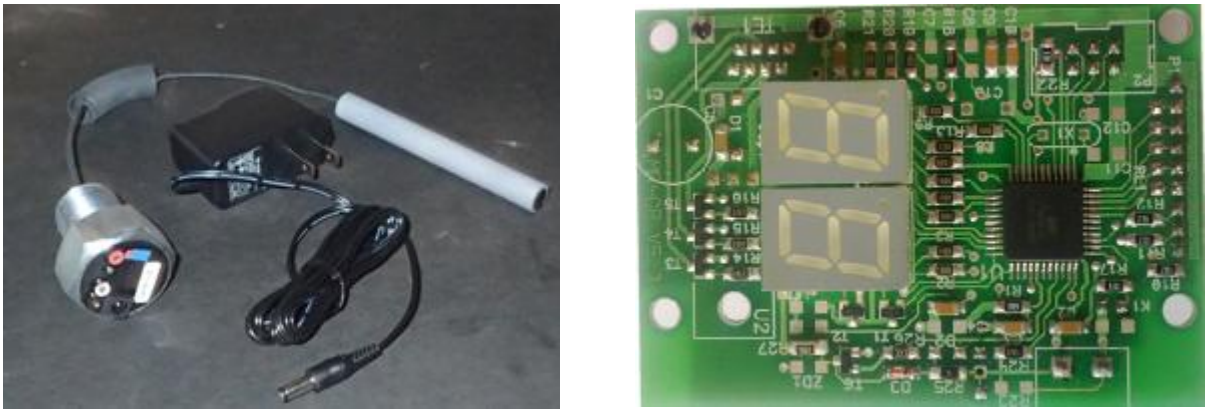
а) **б)**

а) ACES для котлов с эмалированным покрытием емкостью до 1000 литров; б) ACES для котлов с эмалированным покрытием емкостью до 5000 литров

Рис. 4. Приборы контроля защитного потенциала ЭНВ ACES (Италия)

Катодная антикоррозийная защита ЭНВ осуществляется путем создания защитного потенциала с помощью внешнего тока. Процесс контроля потенциала обеспечивается постоянным измерением разности потенциалов котла и титанового анода. После это с помощью расчетов определяется необходимая сила внешнего тока. Такой принцип дает возможность использовать только один анод, который создает внешний ток между ЭНВ и анодом, а также определяет защитный потенциал ЭНВ.

Другими аналогичными приборами контроля защитного потенциала ЭНВ является прибор Powered Anode Standard (США) (рис. 5, а) и прибор Termotehnika (Словения) (рис. 5, б).



а) **б)**

а) прибор Powered Anode Standard (США); б) прибор Termotehnika (Словения)

Рис. 5. Приборы контроля защитного потенциала ЭНВ Powered Anode Standard (США) и Termotehnika (Словения)

Экспериментальные исследования автором проанализированных выше приборов контроля защитного потенциала ЭНВ показывают, что их параметры и характеристики не обеспечивают эффективного контроля защитного потенциала ЭНВ. К основным недостаткам проанализированных промышленных приборов контроля защитного потенциала ЭНВ относятся:

а) недостаточный уровень защитного потенциала ЭНВ при разных значениях проводимости воды;

б) хаотическое управления внешним током защиты и неповторяемость результатов измерений защитного потенциала ЭНВ;

в) выбросы переполяризации защитного потенциала ЭНВ, а также нерегулярность в его индикации.

Выводы

Проведенный анализ приборов контроля защитного потенциала ЭНВ позволяет сделать следующие выводы:

1. Контроль защитного потенциала ЭНВ является основным фактором снижения скорости коррозии ЭНВ и продления срока их эксплуатации и имеет огромное значение для повышения экономической эффективности использования ЭНВ.

2. Повышение достоверность контроля защитного потенциала КЗВТ имеет очень важное значение для повышения эффективности устройств антикоррозионной защиты ЭНВ. Чем выше достоверность контроля защитного потенциала КЗВТ, тем точнее можно устройство КЗВТ сможет поддерживать этот потенциал в процессе эксплуатации ЭНВ, а их коррозия будет минимально допустимой.

3. Основными недостатками существующих приборов контроля защитного потенциала ЭНВ является большая погрешность измерения вследствие влияния постоянно приложенного защитного потенциала, возникновение автоколебаний при автоматической регулировке, а также необходимость регулярной юстировки электрода сравнения и затраты на него.

4. Использование прерывания защитного тока в приборах контроля защитного потенциала ЭНВ позволит исключить в схеме автоматической катодной защиты электрод сравнения, что значительно уменьшит себестоимость таких приборов.

Литература

1. Шалыгина О.В. Проблемы защиты нагревательной аппаратуры от коррозии / О.В. Шалыгина, А.Ю. Бровин, Г.И. Миронова // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». – Харків : НТУ «ХПІ», 2011. – № 2. – С. 22 – 26.

2. Брагина Л.Л. Технология эмали и защитных покрытий / Л.Л. Брагина, А.П. Зубехин, Я.И. Белый. – Х. : НТУ «ХПИ», 2003. – 484 с.

3. Брагина Л.Л. Разработка стеклоэмалевых покрытий для защиты внутренних баков электроводонагревателей / Л.Л. Брагина, О.В. Шалыгина, Я.А. Покроева // Информац. вестник ООО «УАЭ» «Стеклоэмаль и эмалирование металлов». – 2010. – № 5. – С. 61–69.

4. Авдеенко А.П. Коррозия и защита металлов : справочное пособие / А.П. Авдеенко, А.Е. Поляков, А.Л. Юсина, С.А. Гончарова. – Краматорск : ДГМА, 2004. – 112 с.

5. Сухотин А.М. Коррозионная стойкость оборудования химических производств. Коррозия под действием теплоносителей, хладагентов и рабочих тел / А.М. Сухотин, А.Ф. Богачев. – Ленинград : Химия, 1988. – 360 с.

6. Мальцева Г.Н. Коррозия и защита оборудования от коррозии : учеб. пособие / под редакцией С.Н. Виноградова. – Пенза : Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2000. – 211 с.

7. Коррозия и защита металлических конструкций и оборудования : учеб. пособие / И.М. Жарский, Н.П. Иванова, Д.В. Куис, Н.А. Свидунович. – Минск : Высш. шк., 2012. – 303 с.

8. Экилик В.В. Теория коррозии и защиты металлов / В.В. Экилик. – Ростов : Изд-во РГУ, 2004. – 67 с.

9. H. Rickert, G. Holzäupfel, Ch. Fianda. Elektrochemische Untersuchungen zum kathodischen Korrosionsschutz mit Unterbrecherpotentiostaten, Werkstoffe und Korrosion. 1987. V. 38, Issue 11, P. 691–695.

10. Пат. 0630426 ЕС, МКИ6 С23F 13/22. Process for maintaining a cathodic protection against corrosion, and device for carrying out said process / G. Cadignani & CGR. – № 92919515 ; заявлено 12.08.92 ; опубл. 15.11.95. – 9 с.

References

1. O.V. Shalygina, A.U. Brovin, G.I. Mironova. Problemy zaschity nagrevatelnoj apparatury ot korrozii. Visnyk Nacionalnogo tehnichnogo universytetu «HPI». Kharkiv: NTU «HPI», 2011. № 2. S. 22 – 26.

2. L.L. Bragina, A.P. Zubehin, Y.I. Belyj. Tehnologiya emalej i zaschitnyh pokrytij. H.: NTU «HPI», 2003. 484 s.

3. L.L. Bragina, O.V. Shalygina, Y.A. Pokroeva. Razrabotka stekloemalevyh pokrytij dlya zaschity vnutrennih bakov elektrovodonagrevatelej. Informac. vestnik OOO «UAE» «Steloemal i emalirovanie metallov». 2010. № 5. S. 61-69.

4. A.P. Avdeenko, A.E. Polyakov, A.L. Usina, S.A. Goncharova. Korroziya i zaschita metallov: Spravochnoe posobie. Kramatorsk: DGMA, 2004. 112 s.

5. A.M. Suhotin, A.F. Bogachev. Korrozionnaya stojkost oborudovaniya himicheskih proizvodstv. Korroziya pod dejstviem teplonositelej, hladagentov i rabochih tel. Leningrad: Himiya, 1988. 360 s.

6. Malceva G.N. Korrozija i zashchita oborudovanija ot korrozii: Uchebnoe posobie. Pod redakciey S.N. Vinogradova. Penza: Izd-vo Penz. gos. un-ta, 2000. 211 s.

7. I.M. Zgarskij, N.P. Ivanova, D.V. Kuis, N.A. Svidunovich. Korrozija i zashchita metallicheskih konstrukcij i oborudovaniya: Uchebnoe posobie. Minsk: Vyssh. schk., 2012. 303 s.

8. Ekilik V.V. Teotiya korrozii i zaschity metallov. Rostov: Izd-vo RGU, 2004. 67 s.

9. H. Rickert, G. Holzäupfel, Ch. Fianda. Elektrochemische Untersuchungen zum kathodischen Korrosionsschutz mit Unterbrecherpotentiostaten, Werkstoffe und Korrosion. 1987. V. 38, Issue 11, P. 691–695.

10. Pat. 0630426 EC, МКИ6 C23F 13/22. Process for maintaining a cathodic protection against corrosion, and device for carrying out said process. G. Cadignani & CGR. № 92919515; Date of filing: 12.08.92; Date of publication of application: 15.11.95. 9 p.

Рецензія/Peer review : 3.7.2015 р. Надрукована/Printed : 30.8.2015 р.
Стаття рецензована редакційною колегією

УДК 004.75

В.В. ЯЦКІВ, Т.Г. ЦАВОЛИК
Тернопільський національний економічний університет

ДВОВИМІРНІ КОРЕКТУЮЧІ КОДИ НА ОСНОВІ МОДУЛЯРНОЇ АРИФМЕТИКИ

В роботі представлено двовимірні коректуючі коди на основі модулярної арифметики (МА). Наведено алгоритм кодування та декодування даних з використанням двовимірних коректуючих кодів. Наведено приклади виявлення помилок при різних варіантах розміщення помилок в матриці даних. Проведені дослідження показали, що запропоновані коректуючі коди дозволяють ефективно виявляти та виправляти пакети помилок.

Ключові слова: система залишкових класів, модулярна арифметика, коректуючі коди.

V.V. YATSKIV, T.H.TSAVOLYK
Ternopil National Economic University, Ukraine

TWO-DIMENSIONAL CORRECTIVE CODES BASED ON MODULAR ARITHMETIC

The aim is to develop and research two-dimensional correcting codes based on modular arithmetic. In this work, two-dimensional codes on the basis of corrective modular arithmetic. To work out the algorithm of encoding and decoding data with using two-dimensional correcting codes. Examples of error detection in different variants placement errors in the data matrix.

Proposed corrective dimensional codes based on modular arithmetic providing error detection and correction n, which are in the same row or column matrix of data 2n-1 errors that are in the same row and column and block error size (n-1)x(n-1). Research shown that the proposed corrective codes can effectively detect and fix packs errors.

Keywords: residue number system, modular arithmetic, corrective codes.

Постановка задачі

З розвитком та широким впровадженням безпровідних технологій задача підвищення надійності передачі даних набуває все більш важливого значення. Відповідно контроль цілісності даних, які передаються та обробляються сучасними цифровими системами є актуальною науковою задачею, зокрема в безпровідних сенсорних мережах (БСМ). БСМ є розділеною та самоорганізованою мережею сенсорів і виконавчих пристроїв, які об'єднані між собою безпровідними радіо або оптичними каналами зв'язку.

В даний час для досягнення надійної та ефективної передачі дані в БСМ застосовуються різні методи кодування [1]. Однак враховуючи функціональні обмеження апаратного забезпечення вузлів БСМ вимоги до коректуючих кодів в БСМ є більш жорсткими порівняно з іншими технологіями безпровідної передачі даних, зокрема вони повинні забезпечувати:

- низьку складність алгоритмів кодування / декодування;
- низькі апаратні вимоги до реалізації алгоритмів (швидкодія мікроконтролера, обсяг пам'яті);
- адаптивна зміна кількості перевірочних символів при зміні параметрів каналу.

Оброблення та передавання даних в системі залишкових класів (СЗК) має ряд переваг, завдяки незалежності, малорозрядності та рівноправності залишків, можливості паралельного виконання арифметичних операцій. Враховуючи переваги СЗК при обробці та передаванні даних, особливий інтерес для використання в БСМ представляють коректуючі коди на основі модулярної арифметики [4, 5].

Аналіз досліджень та публікацій

Крім вище названих переваг в СЗК також розроблені ефективні коректуючі коди, які здатні виявляти та виправляти пакети помилок [2, 3] (рис. 1). Однак для їх використання в існуючих цифрових системах передавання даних, зокрема в БСМ, необхідно попередньо перетворити дані в СЗК, що потребує додаткових затрат часу та обчислювальних ресурсів.

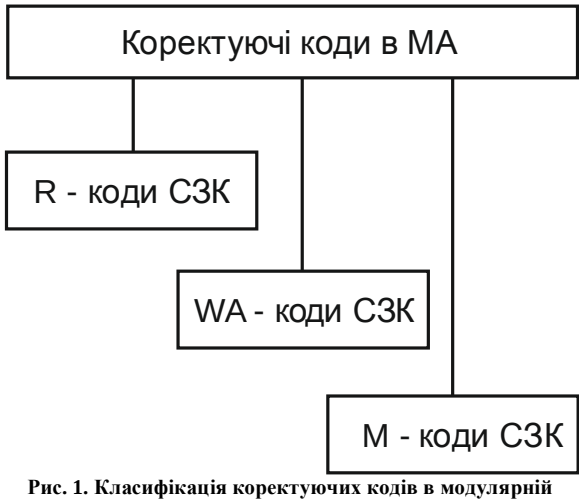


Рис. 1. Класифікація коректуючих кодів в модулярній арифметиці

Розглянемо систему залишкових класів з модулями $p_1, p_2, \ldots, p_i, \ldots, p_n$ в якій число A представляється набором залишків по відповідних модулях

$$A = (b_1, b_2, \ldots, b_i, \ldots, b_n),$$

де $b_i = A \pmod{p_i}$.

Модулі p_i вибираються з умови, що найбільший спільний дільник $\gcd(p_i, p_j) = 1$, при $i \neq j$, а $p_1 < p_2 < \mathbf{K}\, p_i\, \mathbf{K} < p_n$.

З даного набору модулів перші k модулів використовуються для кодування даних а $r = n - k$ модулів використовуються для виявлення та виправлення помилок. Набір із k модулів утворює робочий діапазон:

$$P = \prod_{i=1}^{k} p_i ,$$

при цьому загальний діапазон визначається як

$$\wp = P \cdot \prod_{i=1}^{n-k} p_i = \prod_{i=1}^{n} p_i .$$

У коректуючих кодах СЗК (R – коди СЗК) значення контрольного розряду визначається [3, 4]

$$b_{k+1} = A \pmod{p_{k+1}},$$

тобто, обчислення контрольного розряду потребує звернення до початкового значення числа A, а це потребує додаткових обчислювальних ресурсів.

R – коди СЗК мають також обмеження, які накладаються умовою вибору зростаючої послідовності взаємно простих модулів. При цьому необхідно щоб перевірочні модулі були однакової розрядності. В іншому випадку виникає проблема ефективного (оптимального) збереження перевірочних символів.

В [6] розроблені слабо арифметичні коди СЗК (WA – коди СЗК), які мають обмеження при контролі виконання арифметичних операцій, однак можуть ефективно використовуватись для виявлення та виправлення помилок в процесі передавання даних, так як дозволяють простіше формувати контрольні символи.

В слабо арифметичних кодах СЗК значення контрольного розряду визначається

$$\bar{b}_{k+1} = (v_1 \cdot b_1 + v_2 \cdot b_2 + \ldots + v_i \cdot b_i + \ldots + v_k \cdot b_k) \pmod{p},$$

де v_i – коефіцієнти взаємно прості з p; b_i – залишки по відповідних модулях p_i, $i = 1,\ldots,k$.

Припустимо, що в процесі передавання відбулась помилка в одному із залишків і замість A отримали A':

$$A' = (b_1, b_2, \mathbf{K}, b_i', \mathbf{K}, b_k, \bar{b}_{k+1}) .$$

Значення контрольного розряду обчислюємо за формулою

$$\bar{b}'_{k+1} = \left(v_1 \cdot b_1 + v_2 \cdot b_2 + \mathbf{K} + v_i \cdot b_i' + \mathbf{K} + v_k \cdot b_k\right) \pmod{p}.$$

Обчислимо різницю між розрахованим і прийнятим контрольними символами $\delta = \bar{b}'_{k+1} - b_{k+1}$. Отже, при $\delta = 0$ – помилка відсутня; при $\delta \neq 0$ – є помилка.

Для виявлення помилки в будь якому з блоків необхідно, щоб кожному значенню δ_i відповідало одне значення помилки x_i. Для виконання даної умови коефіцієнти v_i повинні бути взаємно прості з p.

Недоліком слабо арифметичних кодів СЗК є те що дані, які необхідно обробляти або передавати мають бути представлені в СЗК, що обмежує їх використання.

В [7] розроблено та досліджено модифіковані коди СЗК (М – коди СЗК), які зберігають переваги слабо арифметичних кодів, але обробляють вхідні дані представлені в позиційній системі числення (двійковій, вісімковій, десятковій), що значно спрощує та розширює їх область застосування.

Формулювання цілей

Метою даної роботи є розробка та дослідження двовимірних коректуючих кодів на основі модулярної арифметики.

Двовимірні коректуючи коди

В даній роботі запропоновані двовимірні коректуючі коди на основі модулярної арифметики, які базуються та модифікованих коректуючих кодах СЗК, але на відміну від останніх забезпечують двовимірний контроль помилок, що підвищує їх коректуючі можливості. Під двовимірним контролем в роботі розуміється формування перевірочних символів по рядках та стовпцях матриці даних.

Перевірочний символ по горизонталі обчислюється за формулою:

$$b_{i,n+1} = \left(v_1 \cdot b_{i,1} + v_2 \cdot b_{i,2} + \ldots + v_i \cdot b_{i,i} + \ldots + v_n \cdot b_{i,n}\right) \pmod{p}, \quad (1)$$

де v_i – взаємно прості числа з p, p – контрольний модуль.

Значення контрольного модулю вибираємо із умови [7]:

$$p \geq 2 \cdot n \cdot \left(2^m - 1\right), \quad (2)$$

де m – розрядність інформаційного символу, n – кількість інформаційних символів.

Перевірочний символ по вертикалі обчислюється за формулою:

$$b_{n+2,j} = \left(v_1 \cdot b_{1,j} + v_2 \cdot b_{2,j} + \ldots + v_i \cdot b_{i,j} + \ldots + v_n \cdot b_{n,j}\right) \pmod{p}. \quad (3)$$

Двовимірний контроль помилок представимо у вигляді матриці:

$$\begin{array}{cccccc|c} b_{1,1} & b_{1,2} & \dots & b_{1,j} & \dots & b_{1,n} & b_{1,n+1} \\ b_{2,1} & b_{2,2} & \dots & b_{2,j} & \dots & b_{2,n} & b_{2,n+1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_{i,1} & b_{i,2} & \dots & b_{i,j} & \dots & b_{i,n} & b_{i,n+1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_{n,1} & b_{n,2} & \dots & b_{n,j} & \dots & b_{n,n} & b_{n,n+1} \\ \hline b_{n+2,1} & b_{n+2,2} & \dots & b_{n+2,j} & \dots & b_{n+2,n} & \end{array}.$$

На приймальній стороні, декодер за формулами (1, 3) обчислює перевірочні символи $b'_{i,n+1}$ і $b'_{n+2,j}$ по отриманих даних. В результаті обчислення отримаємо матрицю:

$$\begin{array}{cccccc|c} b_{1,1} & b_{1,2} & \mathbf{K} & b'_{1,j} & \mathbf{K} & b_{1,n} & b'_{1,n+1} \\ b_{2,1} & b_{2,2} & \mathbf{K} & b'_{2,j} & \mathbf{K} & b_{2,n} & b'_{2,n+1} \\ \mathbf{K} & \mathbf{K} & \mathbf{K} & \mathbf{K} & \mathbf{K} & \mathbf{K} & \mathbf{K} \\ b_{i,1} & b_{i,2} & \mathbf{K} & b'_{i,j} & \mathbf{K} & b_{i,n} & b'_{i,n+1} \\ \mathbf{K} & \mathbf{K} & \mathbf{K} & \mathbf{K} & \mathbf{K} & \mathbf{K} & \mathbf{K} \\ b_{n,1} & b_{n,2} & \mathbf{K} & b'_{n,j} & \mathbf{K} & b_{n,n} & b'_{n,n+1} \\ \hline b'_{n+2,1} & b'_{n+2,2} & \mathbf{K} & b'_{n+2,j} & \mathbf{K} & b'_{n+2,n} & \end{array}$$

Виявлення помилок відбувається на основі аналізу синдрому, який обчислюється за формулою

$$\delta_{i,j} = (b'_{i,j} - b_{i,j}) \bmod p,$$

або

$$d_i = \begin{vmatrix} (b'_{1,n+1} - b_{1,n+1}) \bmod p \\ (b'_{2,n+1} - b_{2,n+1}) \bmod p \\ \mathbf{K} \\ (b'_{i,n+1} - b_{i,n+1}) \bmod p \\ \mathbf{K} \\ (b'_{n,n+1} - b_{n,n+1}) \bmod p \end{vmatrix}, \quad d_j = \begin{vmatrix} (b'_{n+2,1} - b_{n+2,1}) \bmod p \\ (b'_{n+2,2} - b_{n+2,2}) \bmod p \\ \mathbf{K} \\ (b'_{n+2,j} - b_{n+2,j}) \bmod p \\ \mathbf{K} \\ (b'_{n+2,n} - b_{n+2,n}) \bmod p \end{vmatrix},$$

де $b'_{i,n+1}$ – перевірочний символ обчислений по прийнятих даних.

Отже, якщо $\delta_{i,j} = 0$ – помилки немає, відповідно

$$d_i = \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ \mathbf{K} \\ 0 \\ \mathbf{K} \\ 0 \end{vmatrix} \text{ і } d_j = \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ \mathbf{K} \\ 0 \\ \mathbf{K} \\ 0 \end{vmatrix} \text{ – помилки немає.}$$

В іншому випадку, якщо $\delta_{i,j} \neq 0$ то на перетині відповідного рядка та стовпця відбулась помилка. Отже, не нульове значення синдрому однозначно вказує на спотворений інформаційний символ.

При двох і більше спотворених інформаційних символах в одному рядку (при умові, що одна помилка в стовпці) виправлення помилок відбувається по аналізу синдрому відповідного стовпця.

Аналогічно, якщо спотворено два і більше інформаційних символи, які розміщені в одному стовпці то виправлення помилок відбувається по аналізу синдрому відповідного, рядка.

Для виправлення помилок в інформаційних символах розміщених в $n-1$ рядку і $n-1$ стовпцю необхідно розв'язати рівняння:

$$(v_1 \cdot (b'_{i,1} - b_{i,1}) + v_2 \cdot (b'_{i,2} - b_{i,2}) + \dots + v_i \cdot (b'_{i,j} - b_{i,j}) + \dots + v_n \cdot (b'_{i,n} - b_{i,n})) \bmod p = d_{i,1} \quad (4)$$

якщо найбільший спільний дільник $\gcd(v_i, p) = 1$, тобто (v_i, p) - взаємно прості числа то рівняння (4) має єдиний розв'язок, який буде відповідати правильним інформаційних символам.

Розглянемо приклад передавання даних, які сформовані у вигляді матриці розміром $n \times n$, при $n = 8$, $m = 8$, де n – розмірність матриці даних, m – розрядність інформаційних символів.

$$\begin{array}{cccccccc|c} b_{1,1} & b_{1,2} & b_{1,3} & b_{1,4} & b_{1,5} & b_{1,6} & b_{1,7} & b_{1,8} & b_{1,9} \\ b_{2,1} & b_{2,2} & b_{2,3} & b_{2,4} & b_{2,5} & b_{2,6} & b_{2,7} & b_{2,8} & b_{2,9} \\ b_{3,1} & b_{3,2} & b_{3,3} & b_{3,4} & b_{3,5} & b_{3,6} & b_{3,7} & b_{3,8} & b_{3,9} \\ b_{4,1} & b_{4,2} & b_{4,3} & b_{4,4} & b_{4,5} & b_{4,6} & b_{4,7} & b_{4,8} & b_{4,9} \\ b_{5,1} & b_{5,2} & b_{5,3} & b_{5,4} & b_{5,5} & b_{5,6} & b_{5,7} & b_{5,8} & b_{5,9} \\ b_{6,1} & b_{6,2} & b_{6,3} & b_{6,4} & b_{6,5} & b_{6,6} & b_{6,7} & b_{6,8} & b_{6,9} \\ b_{7,1} & b_{7,2} & b_{7,3} & b_{7,4} & b_{7,5} & b_{7,6} & b_{7,7} & b_{7,8} & b_{7,9} \\ b_{8,1} & b_{8,2} & b_{8,3} & b_{8,4} & b_{8,5} & b_{8,6} & b_{8,7} & b_{8,8} & b_{8,9} \\ \hline b_{9,1} & b_{9,2} & b_{9,3} & b_{9,4} & b_{9,5} & b_{9,6} & b_{9,7} & b_{9,8} & \end{array}.$$

Значення взаємно простих коефіцієнтів v_i та контрольного модулю p, знайдені експериментально за допомогою розробленого програмного забезпечення, становлять $p = 131071$, $v_1 = 211$, $v_2 = 257$, $v_3 = 263$, $v_4 = 269$, $v_5 = 271$, $v_6 = 277$, $v_7 = 281$, $v_8 = 283$, $p = 131071$.

В таблиці 1 приведені значення синдрому, для всіх можливих варіантів помилок x_i, розрахованих за формулою:

$$\delta_{i\,j} = v_j \cdot x_i \,(\mathrm{mod} p), \quad 1 \le j \le 8 \ .$$

Для інформаційних символів розрядності 8 біт значення помилки знаходиться в діапазоні: $-255 \le x_i \le 255$.

Таблиця 1

Значення синдрому для восьми інформаційних символів

Значення помилки: x_i	Значення синдрому: $d_{i\,1}$	Значення синдрому: $d_{i\,2}$	Значення синдрому: $d_{i\,3}$	Значення синдрому: $d_{i\,4}$	Значення синдрому: $d_{i\,5}$	Значення синдрому: $d_{i\,6}$	Значення синдрому: $d_{i\,7}$	Значення синдрому: $d_{i\,8}$
1	211	257	263	269	271	277	281	283
2	422	514	526	538	542	554	562	566
3	633	771	789	807	813	831	843	849
4	844	1028	1052	1076	1084	1108	1124	1132
…				…				…
255	53805	65535	67065	68595	69105	70635	71655	72165
-1	130860	130814	130808	130802	130800	130794	130790	130788
-2	130649	130557	130545	130533	130529	130517	130509	130505
-3	130438	130300	130282	130264	130258	130240	130228	130222
-4	130227	130043	130019	129995	129987	129963	129947	129939
…				…				…
-255	77266	65536	64006	62476	61966	60436	59416	58906

Алгоритм кодування складається з наступних кроків:

1. З даних, які підлягають передачі формується матриця розміру $n \times n$.
2. Вибирається перевірочний модуль p та взаємно прості коефіцієнти $v_1,\ldots,v_i,\ldots,v_n$.
3. За формулою (1) обчислюються перевірочні символи по рядках матриці.
4. За формулою (2) обчислюються перевірочні символи по стовпцях матриці.

Алгоритм виявлення помилок складається з наступних кроків:

1. З отриманих даних, формується матриця розміру $n \times n$.
2. За формулою (1) обчислюються перевірочні символи по рядках матриці.
3. За формулою (2) обчислюються перевірочні символи по стовпцях матриці.
4. Обчислюється синдром $\delta_{i,j} = (b'_{i,j} - b_{i,j}) \,\mathrm{mod} p$ по рядках і стовпцях матриці даних.
5. При $\delta_{i,j} = 0$, відповідно $b_{i,j} = b'_{i,j}$, отже помилки немає.
6. Якщо $\delta_{i,j} \neq 0$, помилка виявлена.

Алгоритм виправлення помилок складається з наступних кроків:

При спотворенні одного інформаційного символу значення синдрому на перетині рядка і стовпця не дорівнює нулю.

Розглянемо можливі випадки спотворення інформаційних символів.

1. Синдром не дорівнює нулю тільки в одному рядку і стовпці. Спотворення зазнав символ на перетині відповідного рядка і стовпця. Виправлення помилок відбувається по таблиці синдромів (табл.1).

2. Значення синдрому $\delta_{i,j} \neq 0$ в двох і більше рядках і одному стовпці. Спотворення зазнали

інформаційні символи, які знаходяться в одному стовпці. Виправлення помилок відбувається по таблиці синдромів (табл. 1).

3. Значення синдрому $\delta_{i,j} \neq 0$ в двох і більше стовпцях і одному рядку. Спотворення зазнали інформаційні символи, які знаходяться в одному рядку. Виправлення помилок відбувається по таблиці синдромів (табл. 1).

4. Значення синдрому $\delta_{i,j} \neq 0$ в двох і більше рядках і стовпцях. Для виправлення помилок необхідно розв'язати рівняння:

$$(v_1 \cdot (b'_{1,1} - b_{1,1}) + v_2 \cdot (b'_{1,2} - b_{1,2} + \ldots + v_i \cdot (b'_{i,j} - b_{i,j} + \ldots + v_n \cdot (b'_{1,n} - b_{1,n}))) \bmod p = d_{1,j} \,. \quad (5)$$

Припустимо, що помилки відбулися в чотирьох символах, розміщених на перетині двох рядків і двох стовпців, так як при відсутності помилки $b'_{i,j} - b_{i,j} = 0$, то з рівняння (5) запишемо систему рівнянь:

$$\begin{cases} (v_1 \cdot (b'_{1,1} - b_{1,1}) + v_2 \cdot (b'_{1,2} - b_{1,2})) \bmod p = \delta_{1,1} \\ (v_1 \cdot (b'_{2,1} - b_{2,1}) + v_2 \cdot (b'_{2,2} - b_{2,2})) \bmod p = \delta_{2,1} \\ (v_1 \cdot (b'_{1,1} - b_{1,1}) + v_2 \cdot (b'_{2,1} - b_{2,1})) \bmod p = \delta_{1,2} \\ (v_1 \cdot (b'_{1,2} - b_{1,2}) + v_2 \cdot (b'_{2,2} - b_{2,2})) \bmod p = \delta_{2,2} \end{cases} \quad (6)$$

розв'язком даної системи рівнянь будуть скоректовані інформаційні символи $b_{1,1}$, $b_{1,2}$, $b_{2,1}$, $b_{2,2}$. Так як коефіцієнти v_i і p – взаємно прості числа то система рівнянь (6) має єдиний розв'язок в цілих числах.

Висновки

Запропоновані двовимірні коректуючі коди на основі модулярної арифметики забезпечують виявлення та виправлення n помилок, які знаходяться в одному рядку або стовпці матриці даних, $2 \cdot n - 1$ помилок, які знаходяться в одному рядку і стовпці а також блок помилок розміром $(n-1) \times (n-1)$.

Література

1. S. L. Howard, C. Schlegel, K. Iniewski, "Error control coding in low-power wireless sensor networks: When is ECC energy-efficient?", EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking. 2006. Vol. 2. P. 1–14.

2. Omondi, B. Premkumar, Residue Number System: Theory and Implementation. Imperial College Press, 2007. 296 p.

3. Акушский И.Я. Машинная арифметика в остаточных классах / И. Я.Акушский, Д.И. Юдицкий. – М. : Сов. радио, 1968. – 460 с.

4. Vik Tor Goh, Mohammad Umar Siddiqi, Multiple error detection and correction based on redundant residue number systems, Communications, IEEE Transactions, 2008. P. 325–330.

5. Ya.M. Nykolaychuk, M.M. Kasianchuk, I.Z. Yakymenko, "Theoretical Foundations for the Analytical Computation of Coefficients of Basic Numbers of Krestenson's Transformation", Cybernetics and Systems Analysis. 2014. Vol. 50. P. 649–654.

6. Акушский И.Я. Вопросы помехоустойчивого кодирования в непозиционном коде / И.Я. Акушский, И.Т. Пак // Вопросы кибернетики. – 1977. – Т. 28. – С. 36–56.

7. Yatskiv V., Yatskiv N., Su Jun, Sachenko A., Hu Zhengbing, "The Use of Modified Correction Code Based on Residue Number System in WSN", Proceedings of the 7-th2013 IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems, IDAACS'2013, Berlin, Germany. 2013. Volume 1. P. 513–516.

8. Яцків В. В. Методи виконання модулярних операцій та їх реалізація на ПЛІС / В. В. Яцків // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2014. – № 6. – С. 218–224.

References

1. S. L. Howard, C. Schlegel, K. Iniewski, "Error control coding in low-power wireless sensor networks: When is ECC energy-efficient?", EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking. 2006. Vol. 2. P. 1–14.

2. Omondi, B. Premkumar, Residue Number System: Theory and Implementation. Imperial College Press, 2007. 296 p.

3. I.YA. Akushskiy, D.I. Yuditskiy, Mashinnaya arifmetika v ostatochnykh klassakh, M.: Sov. Radio. 1968. 460 s.

4. Vik Tor Goh, Mohammad Umar Siddiqi, Multiple error detection and correction based on redundant residue number systems, Communications, IEEE Transactions, 2008. P. 325–330.

5. Ya.M. Nykolaychuk, M.M. Kasianchuk, I.Z. Yakymenko, "Theoretical Foundations for the Analytical Computation of Coefficients of Basic Numbers of Krestenson's Transformation", Cybernetics and Systems Analysis. 2014. Vol. 50. P. 649–654.

6. Y. YA. Akushskyy, Y.T. Pak, "Voprosy pomekhoustoychyvoho kodyrovanyya v nepozytsyonnom kode", Voprosy kybernetyky. 1977. T. 28. S. 36-56.

7. Yatskiv V., Yatskiv N., Su Jun, Sachenko A., Hu Zhengbing, "The Use of Modified Correction Code Based on Residue Number System in WSN", Proceedings of the 7-th2013 IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems, IDAACS'2013, Berlin, Germany. 2013. Volume 1. P. 513–516.

8. V. V. Yatskiv, "Metody vykonannya modulyarnykh operatsiy ta yikh realizatsiya na PLIS", Herald of khmelnytskyi National University, 2014. Issue 6. P. 218–224.

Рецензія/Peer review : 22.5.2015 р. Надрукована/Printed : 29.8.2015 р.
Рецензент: д.т.н., професор Березький О.М.

УДК 004.89

Т.О. САВЧУК, С.І. ПЕТРИШИН
Вінницький національний технічний університет

КЛАСТЕРИЗАЦІЯ СТАНІВ КОМП'ЮТЕРНОЇ ТЕХНІКИ З ВИКОРИСТАННЯМ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ

У статті запропоновано інформаційну технологію кластеризації станів комп'ютерної техніки, яка базується на інформаційній моделі процесу кластеризації станів такої техніки та удосконалених методах кластеризації станів комп'ютерної техніки K-MEANS і ФОРЕЛ.

Ключові слова: інформаційна технологія, кластеризація, стани комп'ютерної техніки, K-MEANS, ФОРЕЛ.

T.A. SAVCHUK, S.I. PETRISHYN
Vinnytsia National Technical University

CLUSTERING STATES OF COMPUTER EQUIPMENT USING INFORMATION TECHNOLOGY

Abstract – The article offers information technology of clustering of states of computer equipment based on the information model of clustering process of such states and improved methods of clustering of computer equipment K-MEANS and FOREL. The basic steps of the automated intelligent processing of data about the states of computer techniques for the clustering purpose were proposed by the author. The article includes a block diagram of information cluster technology of computer equipment states. Experimental studies and results of implementation of the developed information technology showed that the quality of clustering of states while using the proposed clustering of information technology of states of computer techniques has increased by 11.5%.

Keywords: information technology, clustering, state of computer equipment, K-MEANS, FOREL.

Вступ

У зв'язку зі швидким науково-технічним прогресом значно збільшилась кількість комп'ютерної техніки (КТ), яка на сьогоднішній день використовується у різних сферах з різною метою. Через це зростає ймовірність виникнення ситуацій, які характеризуються порушенням виконання основних функцій такої техніки, або, взагалі, виходом її з ладу. Отже, актуальною є розробка інформаційних технологій аналізу станів КТ з метою прийняття ефективних рішень щодо подальшої її експлуатації [1].

Аналіз станів КТ може проводитись такими способами [2, 3]:

- Дані про стан КТ опрацьовує експерт, що на основі досвіду та знань приймає рішення щодо подальшої її експлуатації. Особливостями підходу є мала швидкість опрацювання інформації, необхідність в підготовлених експертах; суб'єктивність оцінювання стану, що виникає внаслідок впливу рішень одних експертів на рішення інших.
- Аналіз даних про стани КТ проводиться на основі інформаційно-довідкових таблиць, де визначено значення параметрів, та на основі отриманої інформації визначаються прогнозовані значення цих параметрів. В ході використання означеного підходу стан аналізується поетапно, а тому можуть бути не розглянуті параметри проміжних станів, які можуть значно впливати на розвиток та наслідки такого стану, і, як наслідок, отримання недостовірного результату аналізу та надання помилкових рекомендацій щодо подальшої експлуатації КТ.
- Дані про стан КТ аналізуються шляхом визначення аналітичних залежностей між різними його параметрами. На основі визначених законів знаходяться правила зміни значень параметрів, що визначають кінцевий стан в залежності від значень початкових даних та умов, за яких протікатиме функціонування КТ. Метод відрізняється високою точністю аналізу, проте низькою швидкодією внаслідок великої кількості варіантів впливу кожного початкового параметра на стан КТ.

Для розв'язання задачі аналізу станів КТ доцільним є використання підходу, що базується на визначенні аналітичних залежностей між параметрами таких станів, оскільки він характеризується високою точністю, із застосуванням сучасних ІТ, що дозволить підвищити швидкість та якість розв'язання такої задачі.

Отже, основними проблемами при розв'язанні задачі аналізу станів КТ є низька швидкодія та вплив суб'єктивних факторів. Це визначає необхідність автоматизованого розв'язання поставленої задачі, що можна реалізувати при використанні ІТ кластеризації станів КТ.

Інформаційна технологія кластеризації станів КТ – це сукупність методів, виробничих процесів та програмно-технічних засобів кластеризації станів КТ, об'єднана технологічним процесом, яка забезпечує збирання, зберігання, обробку і поширення інформації для зниження трудомісткості процесів використання інформаційних ресурсів, підвищення їх надійності та оперативності [3–8].

ІТ кластеризації станів КТ належить до таких класів:

- за способом реалізації – нова ІТ,
- за ступенем охоплення завдань управління – технологія для електронної обробки даних,
- за класом реалізованих технологічних операцій – технологія для роботи з СКБД;
- за типом користувацького інтерфейсу – мережева.

Основними функціями, які повинна виконувати ІТ кластеризації станів КТ, є [5]: пошук і збирання інформації; аналіз інформації; вироблення нової інформації; структурування і зберігання інформації.

Серед переваг використання ІТ при кластеризації станів КТ можна навести такі:

- висока швидкість опрацювання даних;
- невеликі затрати на обслуговування;
- зменшення впливу людського фактора на виконану роботу;
- можливість передачі інформації на великі відстані за невеликі проміжки часу;
- можливість роботи користувачів індивідуально з програмним забезпеченням.

Отже, з урахуванням недоліків методів кластеризації станів КТ та переваг ІТ можна зробити висновок про доцільність застосування таких технологій під час розв'язання задачі кластеризації в ході підготовки інструкцій з обслуговування такої техніки. Така документація є необхідною в процесі ремонту та інших видів сервісного обслуговування комп'ютерної техніки для подальшого прийняття рішень щодо її експлуатації.

Постановка задачі: розробити інформаційну технологію кластеризації станів комп'ютерної техніки, в основу якої буде покладено інформаційну модель процесу кластеризації таких станів, а також удосконалені методи кластеризації станів комп'ютерної техніки K-MEANS і ФОРЕЛ, що дозволить підвищити якість кластеризації таких станів.

Розробка інформаційної технології кластеризації станів комп'ютерної техніки

Інформаційна технологія кластеризації станів КТ – сукупність методів, програмно-технологічних засобів кластеризації таких станів, об'єднаних у технологічний ланцюжок, що забезпечує збирання, зберігання та обробку інформації про стани КТ для отримання інформації нової якості про такі стани – програмного забезпечення (рис. 1) [8–11].

Основні кроки автоматизованої інтелектуальної обробки даних про стани КТ з метою їх кластеризації такі.

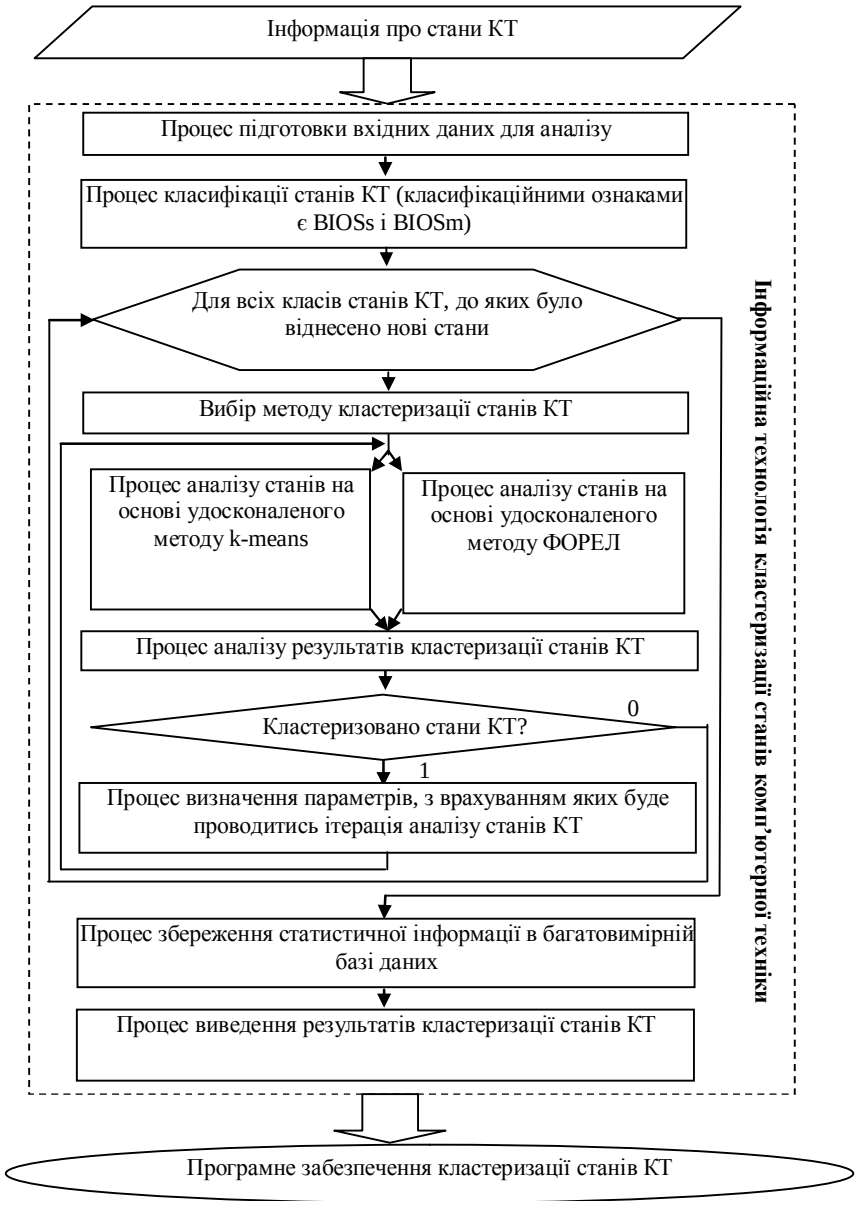


Рис. 1. Структурна схема інформаційної технології кластеризації станів комп'ютерної техніки

1. Завантаження вхідних даних про стан/множину станів для проведення кластеризації.

2. Підготовка вхідних даних про завантажені стани, що передбачає проведення нормування значень всіх параметрів та характеристик таких станів, яке проводиться з використанням способів, що описані в підрозділі 2.2 дослідження.

3. Класифікація станів КТ (стани з бази даних та нові стани) за класифікаційними ознаками BIOSs і BIOSm.

4. Для всіх класів станів КТ, до яких було віднесено нові стани, виконувати кроки 5–15.

5. Залежно від наявності або відсутності відомостей про кількість кластерів буде виконуватись розбиття множини станів КТ з використанням удосконаленого методу K-MEANS (перейти до 7 кроку) або удосконаленого методу ФОРЕЛ (перейти до 6 кроку).

1. Проведення кластерного аналізу станів КТ за допомогою удосконаленого методу кластеризації ФОРЕЛ. В процесі аналізу використовуються всі відомі параметри та характеристики станів. Для визначення відстані між станами застосовується зважена евклідова відстань.

2. Проведення кластерного аналізу станів КТ за допомогою удосконаленого методу кластеризації K-MEANS. В процесі аналізу використовуються всі відомі параметри та характеристики станів. Для визначення відстані між станами застосовується зважена евклідова відстань.

3. Перевірка результату на наявність таких станів, які виокремлені в окремий кластер, тобто таких, які знаходяться на великій відстані від всіх сформованих кластерів або на однаковій відстані до двох чи більше кластерів і за допомогою методу кластеризації були віднесені до окремого кластера.

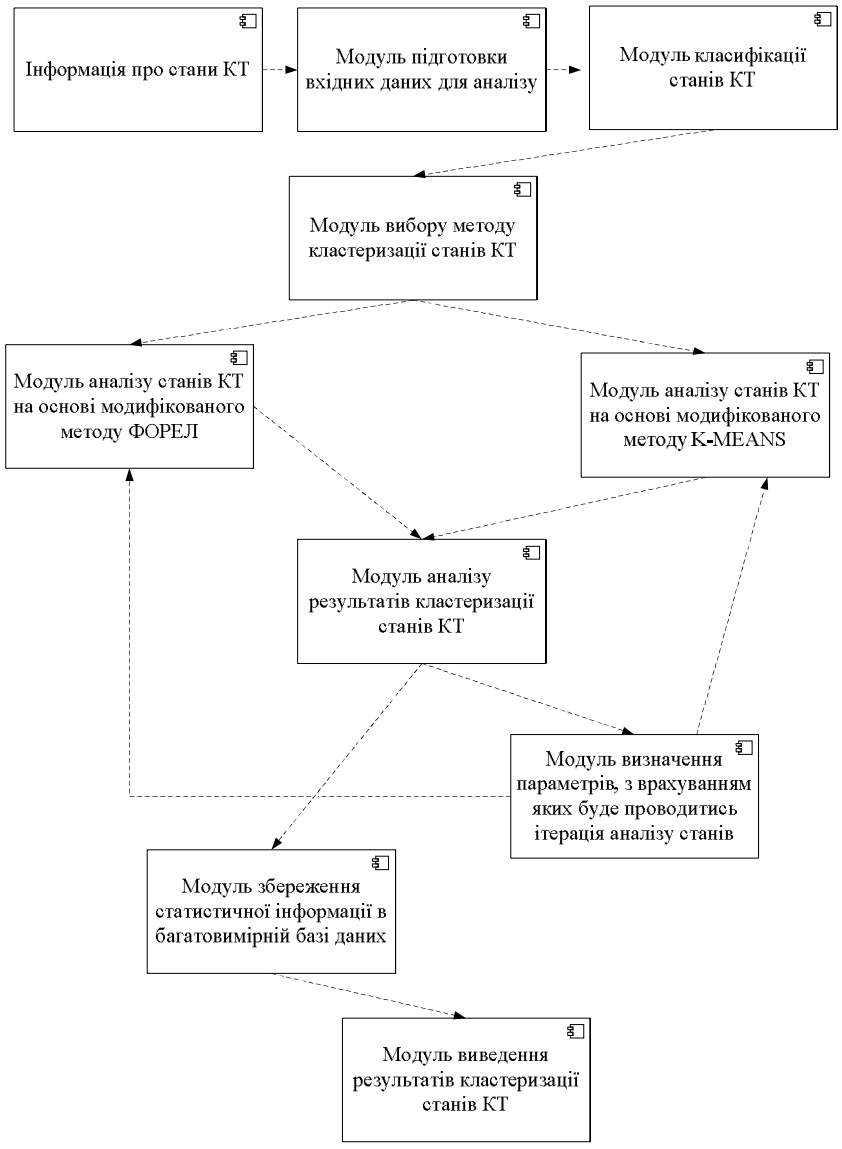


Рис. 2. UML діаграма компонентів ІТ кластеризації станів КТ

4. БД аналізованих станів КТ доповняється станами, які були проаналізовані, окрім тих, які знайдені на 8 кроці.

5. Якщо є знайдені кластери з одного стану, то перевіряється є цей стан новим, чи він є збереженим в БД. Якщо він не є новим, то відбувається перехід до 17 кроку, інакше – до 11.

6. Всі параметри та характеристики, за якими проводилась кластеризація станів КТ, класифікуються користувачем за їх ваговими коефіцієнтами, кількість класів також визначається користувачем. Для зручності класи параметрів та характеристик нумеруються від 1 до *h*. До класу з номером 1 входять параметри та характеристики, ваговий коефіцієнт яких наближається до максимального, а до класу з номером *h* – до мінімального.

7. Виконання кроків 5–7 з використанням параметрів з класів від 1 до *(h-1)* та значенням *h*, що дорівнює *(h-1)*.

8. Перевірка, чи знайдений на 8 кроці стан віднесений до кластера, потужність якого більша за 1.

9. Якщо стан віднесений до кластера, потужність якого більша за 1, то БД аналізованих станів КТ доповняється станом, який знайдений на 8 кроці, та відбувається перехід до кроку 16.

10. Якщо *h>1*, виконується крок 13, інакше знайдений на 8 кроці стан відносять до нового кластера та виконується крок 16.

11. БД аналізованих станів КТ доповнюється кластеризованими станами.

12. Подання результатів кластеризації станів КТ користувачу для формування висновку щодо

подальшої експлуатації КТ та формування супровідної документації.

Отже, розроблено ІТ кластеризації станів КТ, що дозволило підвищити якість кластеризації за рахунок використання запропонованої ІМ процесу кластеризації та удосконалених методів кластеризації станів КТ K-MEANS і ФОРЕЛ.

Висновки

Експериментальні дослідження та результати впровадження розробленої ІТ показали, що якість кластеризації станів при використанні запропонованої ІТ кластеризації станів КТ підвищилась в 1,115 разу, тобто на 11,5%.

Література

1. Перспективы развития компьютерных систем [Электронный ресурс] – Режим доступа : http://www.itstan.ru/komp-tehnika/perspektivy-razvitija-kompjuternyh-sistem.html.

2. Лецкий Э. К. Информационные технологии на железнодорожном транспорте : уч. для вузов ж.-д. транспорта / Лецкий Э. К., Панкратов В. И., Яковлев В. В. и др. ; под ред. Яковлева Э. К., Поддавашкина Э. С., Яковлева В. В. – М. : УМК МПС РФ, 2001. – 668 с. – ISBN 5-89035-030-7.

3. Трофимов В. В. Информационные технологии / В. В. Трофимов – М. : Юрайт, 2011. – 624 с. – ISBN 978-5-9916-0887-9.

4. Партыка Т. Л. Вычислительная техника / Т. Л. Партыка, И. И. Попов. – [2-е изд., перераб. и доп.]. – М. : ФОРУМ: ИНФА-М, 2007. – 608 с. : ил. – ISBN 5-91134-050-X.

5. Румянцева Е. Л. Информационные технологии / Е. Л. Румянцева, В. В. Слюсарь. – М. : «Форум», 2007. – 256 с. – ISBN 978-5-8199-0305-6.

6. Лихачева Г. Н. Информационные технологи : учебно-практическое пособие / Г. Н. Лихачева, М. С. Гаспариан. – М. : Изд. центр ЕАОИ, – 2007. – 189 с. – ISBN 978-5-374-00032-0.

7. Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Термины и определения : ГОСТ 34.003-90.

8. Информационные технологии [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://technologies.su/.

9. Петришин С. І. Інформаційна технологія кластерного аналізу надзвичайних ситуацій на залізничному транспорті / С. І. Петришин // Тези студентських доповідей рекомендованих до опублікування XLII НТК професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів університету. – Вінниця, 2013.

10. Петришин С. І. Технологія ідентифікації проблемних ситуацій та їх станів в складних технічних системах / С. І. Петришин // Тези студентських доповідей рекомендованих до опублікування XLIII НТК професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів університету. – Вінниця, 2014.

11. T. O. Savchuk, S. I. Petrishyn, Laura Sugurova, Andrzej Smolarz, "Identification of technogenic emergency situations in railway transport using cluster analysis", Przegl№d Elektrotechniczny, Warsaw, 2014. № 11/2014. P. 177–184. URL: http://pe.org.pl/articles/2014/11/46.pdf.

References

1. Perspektyvy razvytyya kompyuternykh system. URL : http://www.itstan.ru/komp-tehnika/perspektivy-razvitija-kompjuternyh-sistem.html.

2. Letskyy E. K., Pankratov V. Y., Yakovlev V. V. i dr., Ynformatsyonnye tekhnolohyy na zheleznodorozhnom transporte : uch. dlya vuzov zh.-d. transporta; pod red. Yakovleva E. K., Poddavashkyna E. S., Yakovleva V. V. M.: UMK MPS RF, 2001. 668 s. ISBN 5-89035-030-7.

3. Trofymov V. V. Ynformatsyonnye tekhnolohyy, M.: Yurayt, 2011. 624 s. ISBN 978-5-9916-0887-9.

4. T. L. Partyka, Y. Y. Popov, Vychyslytelnaya tekhnyka, 2-e yzd., pererab. y dop., M.: FORUM: YNFA-M, 2007. 608s.: yl. ISBN 5-91134-050-X.

5. E. L. Rumyantseva, V. V. Slyusar, Ynformatsyonnye tekhnolohyy, M.: «Forum», 2007. 256 s. ISBN 978-5-8199-0305-6.

6. H. N. Lykhacheva, M. S. Hasparyan, Ynformatsyonnye tekhnolohy : uchebno-praktycheskoe posobye, M.: Yzd. tsentr EAOY, 2007. 189 s. ISBN 978-5-374-00032-0.

7. Informatsyonnaya tekhnolohyya. Kompleks standartov na avtomatyzyrovannye systemy. Avtomatyzyrovannye systemy. Termyny y opredelenyya – HOST 34.003-90.

8. Ynformatsyonnye tekhnolohyy. URL : http://technologies.su/.

9. Petryshyn S. I. Informatsiyna tekhnolohiya klasternoho analizu nadzvychaynykh sytuatsiy na zaliznychnomu transporti, Tezy student·skykh dopovidey rekomendovanykh do opublikuvannya XLII NTK profesorsko-vykladatskoho skladu, spivrobitnykiv ta studentiv universytetu. Vinnytsya, 2013.

10. Petryshyn S. I. Tekhnolohiya identyfikatsiyi problemnykh sytuatsiy ta yikh staniv v skladnykh tekhnichnykh systemakh, Tezy student·skykh dopovidey rekomendovanykh do opublikuvannya XLIII NTK profesorsko-vykladatskoho skladu, spivrobitnykiv ta studentiv universytetu. Vinnytsya, 2014.

11. T. O. Savchuk, S. I. Petrishyn, Laura Sugurova, Andrzej Smolarz, Identification of technogenic emergency situations in railway transport using cluster analysis, Przegl№d Elektrotechniczny – Warsaw, 2014. № 11/2014. P. 177–184. URL: http://pe.org.pl/articles/2014/11/46.pdf.

Рецензія/Peer review : 14.7.2015 р. Надрукована/Printed : 29.8.2015 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Параска Г.Б.

УДК 621.397

І.В. СЛОБОДЯН
Вінницький національний технічний університет

ПРИСТРІЙ ДЛЯ ЧИТАННЯ-ЗАПИСУ ІНФОРМАЦІЇ ЕНЕРГОНЕЗАЛЕЖНОЇ КОМІРКИ ПАМ'ЯТІ НА БАЗІ ХАЛЬКОГЕНІДНОГО СКЛОПОДІБНОГО НАПІВПРОВІДНИКА

Розглянуто стан і проблеми розвитку енергонезалежних цифрових пристроїв зберігання інформації на базі халькогенідного склоподібного напівпровідника. Запропоновано нову структурну схему пристрою для читання/запису інформації комірки пам'яті на базі халькогенідного склоподібного напівпровідника, в яку додатково введено блок перевірки даних, що дозволить підвищити надійність та радіаційну стійкість цифрових пристроїв зберігання інформації.

Ключові слова: цифрова пам'ять, халькогенідний склоподібний напівпровідник, структурна схема.

I.V. SLOBODIAN
Vinnytsia National Technical University, Ukraine

READER-WRITER OF DATA OF NON VOLATILE MEMORY CELLS BASED ON CHALCOGENIDE GLASSY SEMICONDUCTORS

Abstract – The aim of the research – to improve the reliability and radiation hardness of digital storage devices by creating a new scheme of read-write storage elements based on chalcogenide glassy semiconductor (CGS).

Under the simplest variant of the existing design of the device, nonvolatile memory includes a storage element, ie memory cell (MC) on the basis CGS, circuit of control programmable data, circuit of limiter voltage, current-to-voltage converter and buffer circuit. Limiter voltage controls the voltage MC not allowing exceed maximum values during the operation of reading. Current-to-voltage converter, which in turn is connected to a circuit of limiter voltage converts the current pulse of reading in the MC voltage pulse. The buffer circuit provides the definition of phase state of MC, that logic zero or one, by sensing the pulse voltage coming from the converter.

In this new design of scheme of device introduced additional a block of control programmable data of storage element, which connected to the scheme of limiting voltage and to MC on the basis CGS, allows to control current phase state of the MC based on CGS (logical "0" or "1") in transactions programming (read / write) by measuring the exact value of the current after application of the reference voltage several hundred millivolts. This approach allows to detect an error and establish its cause. The reason for failure can be defect programming of the storage element or an error of the amplifier. Also, application of the reference voltage initiates the process of to-crystallization of material of CHF that allows to fix crystalline state in the storage element and this increases the stability of the device.

Thus, new design of device for reading and writing data of memory cell which based on chalcogenide glassy semiconductors allows provide enhanced functionality of the device, its reliability and accuracy of transactions read-write.

Keywords: digital memory, chalcogenide glassy semiconductor, block diagram.

Вступ

Принцип використання матеріалів для електронної пам'яті, що стирається і записується під дією електричних сигналів, при цьому змінюючи фазовий стан даного матеріалу є давно відомим. Такі фазозмінні матеріали можуть перемикатися під дією електричного струму між першим фазовим станом, у якому матеріал є аморфним і другим, де матеріал, як правило, є кристалічним. Матеріал з таким фазовим переходом проявляє різні електричні властивості залежно від його стану. Наприклад, в аморфному стані, фазозмінний матеріал виявляє низьку електричну провідність, на противагу до кристалічного стану. Матеріал з фазовим переходом може перемикатися між різними визначеними електричними станами згідно локального порядку по всьому спектру значень в діапазоні від повністю аморфного стану до повністю кристалічного. Іншими словами, перемикання станів фазозмінних матеріалів не обмежується або повністю аморфним, або повністю кристалічним станами, а поетапними кроками, забезпечуючи "сіру шкалу", яка представлена безліччю станів локального порядку, що охоплює спектр від повністю аморфного стану до повністю кристалічного [1].

Запам'ятовуючий матеріал комірки пам'яті (КП), що є монолітною, однорідною структурою, сформованою з халькогенідних матеріалів, що містять хімічні елементи: телур (Te), селен (Se), сурма (Sb), нікель (Ni), і германій (Ge). Використання таких хімічних елементів зводить до мінімуму радіаційну та електромагнітну залежність КП на базі халькогенідного склоподібного напівпровідника (ХСН). Такий пристрій може перемикатися між двома різними фазовими станами провідності за наносекунди у відповідь на прикладення невеликої кількості електричної енергії вимірюваної пікоджоулями. Досліди показують, що вплив жорсткого електромагнітного випромінювання наближеного до космічного практично не вносять змін до фазового стану КП. Також даний тип пам'яті дійсно енергонезалежний і може зберігати інформацію без необхідності періодичного її оновлення, як, наприклад, у flash-технології. Більш того, записана інформація зберігається навіть при відключенні живлення безпосередньо від КП на базі ХСН [2].

Аналіз досліджень та публікацій

Відомий пристрій статичної оперативної пам'яті (SRAM), складається із лінії команд перемикання, що з'єднана з елементом зберігання, який в свою чергу з'єднаний з підсилювачем зчитування. Лінія команд перемикання управляє вхідною і вихідною інформацією елемента зберігання. Елемент зберігання виготовлений з перехресно-з'єднаних перетворювачів, як це добре відомо фахівцям в даній області. Під час

операції запису, лінія команд перемикання переходить на відповідний рівень сигналу, щоб дозволити запис інформації в елемент зберігання. Операція читання даних із елементу зберігання здійснюється через підсилювач зчитування [3].

Пристрій халькогенідної оперативної пам'яті (CRAM) включає в себе перемикач командної шини, халькогенідний елемент зберігання, лінію команд перемикання розрядної шини, обмежувач напруги, дзеркало струму, перетворювач струм-напруга і буфер. Халькогенідний елемент зберігання (ХЕЗ) інформації включає в себе комірку пам'яті (КП), виконану із матеріалу, що містить халькогенідні хімічні елементи, вибрані з груп телуру (Te), селену (Se), сурми (Sb) і германію (Ge) [4].

Виділення невирішених частин

Основними недоліком вищеописаного пристрою пам'яті типу SRAM, що обмежує його надійність є те, що інформація записана в елемент зберігання буде втрачена, якщо подача електричної енергії на весь пристрій перерветься хоча б на мить. Недоліком пам'яті типу CRAM є обмежені функціональні можливості пристрою, так як неможливо відрізнити помилку зчитування інформації з КП (дефект підсилювача зчитування) від дефекту самої КП та відсутність операції перевірки записаної або зчитаної інформації у КП, що створює необхідність додатково вводити в структуру пристрою блок контролю даних.

Формулювання цілей

В основу дослідження поставлена задача створення пристрою для читання/запису інформації енергонезалежної КП на базі ХСН, у якому за рахунок спрощення загальної структури та введення нових елементів і зв'язків розширюються функціональні можливості, підвищується надійність та радіаційна стійкість пристрою.

Поставлена задача вирішується тим, що в пристрій для читання/запису інформації енергонезалежної КП на базі ХСН, який містить ХЕЗ, обмежувач напруги, перетворювач струм-напруга, буфер, введено вхід дозволу запису, вхід стовпця адрес запису, вхід введення інформації, блок управління записом, блок живлення, вхід рядка адрес, вхід лічильника, декодер рядків, рядково-пропускний польовий n-канальний транзистор, блок контролю даних, що містить підсилювач зчитування і електронно-керовані ключі програмування, читання, запису, часу, лічильника та обмеження напруги, вихід виведення інформації, блок управління зчитуванням, вхід дозволу зчитування та вхід стовпця адрес зчитування.

Основна частина

На рисунку 1 подано структурну схему пристрою для читання/запису інформації енергонезалежної КП на базі ХСН. Пристрій для читання/запису інформації енергонезалежної КП на базі ХСН містить вхід дозволу запису 1, вхід стовпця адрес запису 2, вхід введення інформації 3, блок управління записом 4, блок живлення 5, ХЕЗ 10, вхід рядка адрес 13, вхід лічильника 14, декодер рядків 15, рядково-пропускний польовий n-канальний транзистор 16, блок контролю даних 9, що містить підсилювач зчитування 12 і електронно-керовані ключі програмування 6, читання 7, запису 8, часу 11, лічильника 17 та обмеження напруги 18, перетворювач струм-напруга 19, буфер 20, вихід виведення інформації 21, обмежувач напруги 22, блок управління зчитуванням 23, вхід дозволу зчитування 24 та вхід стовпця адрес зчитування 25, причому вхід дозволу запису 1, вхід стовпця адрес запису 2 та вхід введення інформації 3, з'єднані із входом блока управління записом 4, вихід якого з'єднаний із входом блока живлення 5, вихід якого з'єднаний із входом ХЕЗ 10, вхід рядка адрес 13 та вхід лічильника 14 з'єднані із входом декодера рядків 15, вихід якого з'єднаний із затвором рядково-пропускного транзистора 16, виток якого з'єднаний із землею, а сток із виходом ХЕЗ 10, вхід підсилювача зчитування 12 з'єднаний із виходом електронно-керованого ключа часу 11, вхід якого з'єднаний із виходом ХЕЗ 10, також вхід електронно-керованого ключа часу 11 з'єднаний із входом електронно-керованого ключа програмування 6, вихід якого з'єднаний із входом електронно-керованого ключа читання 7 та із входом електронно-керованого ключа запису 8, виходи яких з'єднані із виходом електронно-керованого ключа обмеження напруги 18 та із входом перетворювача струм-напруга 19, вихід якого з'єднаний із входом буфера 20, вихід якого з'єднаний із виходом виведення інформації 21, вхід електронно-керованого ключа обмеження напруги 18 з'єднаний із входом електронно-керованого ключа лічильника 17, вихід якого з'єднаний із виходом підсилювача зчитування 12, вхід дозволу зчитування 24 та вхід стовпця адрес зчитування 25 з'єднані із входом блока управління зчитуванням 23, вихід якого з'єднаний із входом обмежувача напруги 22, вихід якого з'єднаний із входом електронно-керованого ключа лічильника 17.

Пристрій працює наступним чином. ХЕЗ 10 з'єднаний із землею через рядково-пропускний n-канальний транзистор 16 VTn. Декодер рядків 15 отримує вхідні адреси і сигнал тактового лічильника для керування затвором рядково-пропускного n-канального транзистора 16 VTn.

Блок управління зчитуванням 23 має два окремі входи: вхід дозволу зчитування 24 і вхід стовпця адрес зчитування 25 та генерує сигнал стовпця зчитування для управління самим процесом зчитування. Амплітуда згенерованого імпульсу струму визначається за допомогою фази ХЕЗ 10. Провідний (кристалічний) стан елемента 10 зондується і імпульс струму потім перетворюється на імпульс напруги за допомогою перетворювача струм – напруга 19. Імпульс напруги буферизується перед виходом за допомогою буферної схеми 20. Напруга на елементі 10 строго обмежена так, як заздалегідь задане значення напруги через обмежувач напруги 22 подається на затвор транзистора 16 VTn. ХЕЗ 10 і n-канальний

транзистор 16 VTn з'єднані між джерелом живлення і землею. Під контролем блоку управління зчитуванням 23, блок перетворювача струм-напруга 19 зчитує дані з ХЕЗ 10. Коли вхід дозволу зчитування 24 та вхід стовпця адрес зчитування 25 блоку управління зчитуванням 23 знаходиться в логічній «1» здійснюється вибір адреси зчитування із адресного входу декодера рядків 15, при цьому обмежувач напруги 22 увімкнутий. Одночасно з цим рядково-пропускний транзистор 16 VTn також вмикається і разом із адресним входом 13 і входом тактового лічильника 14 у схемі рядкового декодера 15 мають значення логічної «1».

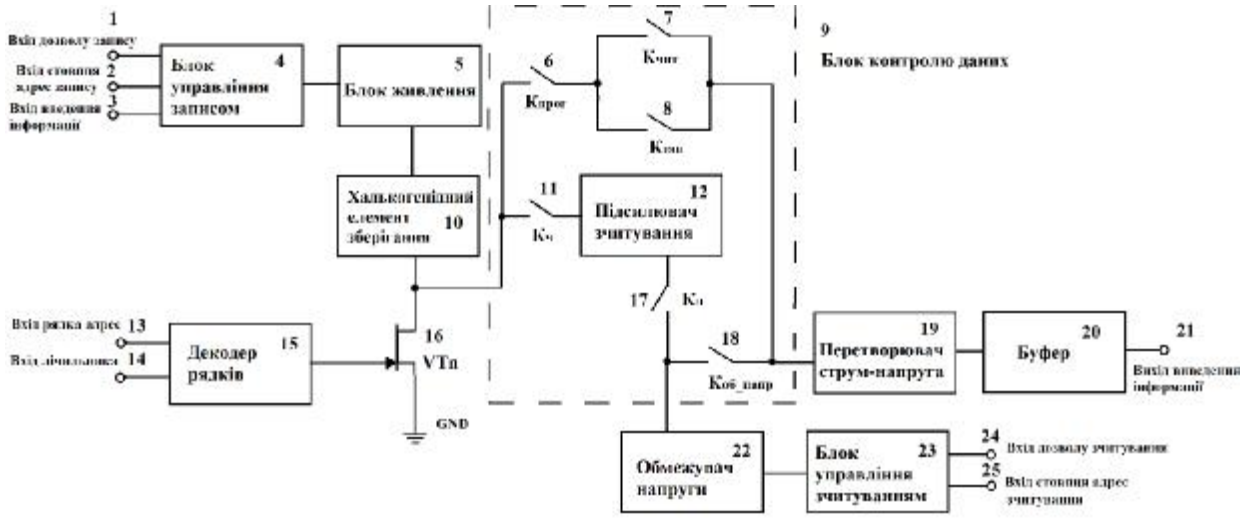


Рис. 1. Структурна схема пристрою

Під контролем блоку управління записом 4, блок живлення 5 здійснює запис інформації на ХЕЗ 10. Коли вхід дозволу запису 1 і вхід стовпця адрес запису 2 у блоці управління 4 мають логічну «1», разом із обраними адресами блок живлення 5 буде ввімкнутий в залежності від того, яке значення сигналу, чи логічна «1», чи логічний «0» буде на вході введення інформації 3 у блоці управління записом 4. Якщо тактовий сигнал входу лічильника 14 рядкового декодера 15 знаходиться у логічній «1», то водночас з обраною адресою вмикається рядково-пропускний транзистор 16 VTn. Оскільки рядково-пропускний транзистор 16 VTn ввімкнуто і, або блок живлення 5 ввімкнуто, то певна кількість струму починає текти через ХЕЗ 10, що забезпечує в ньому зміну фазового стану від аморфного до кристалічного або навпаки. Щоб досягати встановлення аморфної або кристалічної фази у ХЕЗ 10 необхідний струм 1 мА і 0,5 мА відповідно.

Перетворювача струм-напруга 19 може включати в себе p- та n-канальні транзистори та обов'язково інвертор. Перетворювача струм-напруга 19 генерує сигнал вихідних даних на буфер 20, після чого зчитана інформація стає доступною через вихід виведення інформації 21. Декодер рядків 15 приймає вхідний адрес і сигнал тактового лічильника для управління затвором рядково-пропускного n-канального транзистора 16 VTn.

Так як обмежувач напруги 22 для зчитування і рядково-пропускний транзистор 16 VTn увімкнуті, струм повинен текти з блоку живлення 5 через обмежувач напруги, ХЕЗ 10, і транзистор 16 VTn, який генерує імпульс струму, на землю. Амплітуда згенерованого імпульсу струму визначається за допомогою фази ХЕЗ 10. Провідний (кристалічний) стан елемента 10 потім зондується і імпульс струму перетворюється на імпульс напруги за допомогою перетворювача струм-напруга 19. Перед виходом імпульс напруги буферизується за допомогою буфера 20. Напруга на ХЕЗ 10 строго обмежена так, як заздалегідь задане значення напруги подається через вихід обмежувача напруги 22 на затвор транзистора 16 VTn.

Є два важливих обмеження на операції читання: по-перше, напруга на ХЕЗ 10 не може перевищувати рівень порогової напруги (інакше, фаза елемента 10 може бути змінена); і, по-друге, струм зчитування, протікаючий через елемент зберігання 10 повинен бути менший, ніж значення, яке може змінити його фазу.

Блок контролю 9 дозволяє визначати рівень сигналу у ХЕЗ 10, який в підсумку порівнюється із зчитаним, що дає можливість виявити помилку в програмованих даних і встановити її причину. Причиною збою програмування може бути дефект самого елемента зберігання або помилка роботи підсилювача зчитування. У блоці контролю даних 9 електронно-керовані ключі часу 11 та лічильника 17 керуються підсилювачем зчитування 12, електронно-керований ключ програмування 6 керується декодером рядків 15, електронно-керований ключ зчитування 7 керується блоком управління зчитуванням 23, електронно-керований ключ запису 8 керується блоком управління записом 4, електронно-керований ключ обмеження напруги 18 керується обмежувачем напруги 22. У режимі аналогового зчитування, всі внутрішні шляхи струму в елементі зберігання 10 відключаються при відкритті електронно-керованих ключів запису 8, часу 11, лічильника 17, обмеження напруги 18, і це дозволяє здійснювати точне вимірювання струму, що протікає через ХЕЗ 10 після прикладення до нього невеликої зовнішньої напруги, що знаходиться переважно в діапазоні декількох сотень мілівольт. Всі електронно-керовані ключі, крім ключа обмеження напруги 18 відкриті під час вимірювання опору ХЕЗ 10. У режимі аналогового запису, закритими залишаються тільки ключі запису 8 та програмування 6. Після операції запису, яка була виконана в елементі зберігання 10 за допомогою блоків та елементів 1, 2, 3, 4, 5, 13, 14, 15, 16, блок контролю даних 9, здійснює контроль струму

із підсилювача зчитування 12 за допомогою обмежувача напруги 22, причому струм задається прикладеною напругою. Блок контролю даних 9 дозволяє перетворювати опорний струм, утворений прикладеною питомою напругою із обмежувача напруги 22, в значення опору ХЕЗ 10 для перевірки цілісності (бездефектності) зазначеної КП на базі ХСН. Діапазон питомої напруги обмежувача, що прикладена до зазначеної КП на базі ХСН вимірюється в діапазоні кількох сотень мілівольт. Аналоговий доступ до пам'яті ХЕЗ 10 породжує певне значення струму, яке залежить від величини прикладеної вхідної напруги. Це дозволяє підвищити стійкість фазового стану елемента зберігання 10 за рахунок докристалізації та надійність зчитування даних за рахунок неможливості коливання значень вихідного струму, що характеризує конкретний фазовий стан елемента зберігання 10.

Також блок контролю даних 9 у КП на базі ХСН може забезпечити прямий доступ програмування (зчитування або запис) до кожного ХЕЗ 10 з використанням аналогових блоків доступу 4, 5, 15, 19, 20, 22, 23. Програмування енергонезалежної пам’яті на базі ХСН з використанням блоку контролю програмованих даних 9 є відносно повільним, але більш точним та ефективним. Аналогові блоки доступу програмування 4, 5, 15, 19, 20, 22, 23 разом із блоком контролю 9 можуть бути вбудовані в кожен модуль пам’яті. Цей спосіб дасть можливість створювати матриці пам’яті, що матимуть аналогові блоки доступу із логікою декодування адреси аналогічно до цифрових схем, таким чином опір халькогенідних елементів зберігання може вимірюватися паралельно. Покроковий метод проходження всього адресного простору матриці пам'яті забезпечить стійкість фазових станів КП на базі ХСН. Також варто відзначити, що блок контролю даних 9 здійснює управління струмом запису/читання за рахунок обмежувача напруги 22, що дозволяє здійснити процес докристалізації елементів зберігання 10 під час операції запису, який в свою чергу підвищить стійкість фаз вже запрограмованих халькогенідних елементів зберігання 22 та підвищить точність зчитування даних за рахунок унеможливлення флуктуацій напруги між логічними станами «0» та «1».

Висновки

Таким чином, даний пристрій забезпечує зчитування та запис для доступу до однієї КП на базі ХСН з високою точністю перевірки програмованих даних. Хоча для ілюстрації даного пристрою показано лише один елемент зберігання 10, слід розуміти, що два халькогенідні елементи зберігання 10 можуть бути пов'язані з логічним бітом інформації, використовуючи подвійне з’єднання або "диференціальну" версію з’єднання описаної вище несиметричної схеми. Подвійна диференціальна схема аналогічна до вищеописаної одиночної за винятком того, що там існує додаткове введення даних з власною схемою читання і записом для зберігання інформації із доповненням кожного біта вхідних даних в елементі зберігання 10, також додатково введена схема диференціального підсилювача для зондування додаткових бітів збереженої інформації. Диференціальний варіант виконання є більш кращим і доповненим для кожного логічного біта інформації і забезпечує більш високу завадостійкість і тим самим забезпечує більш високу надійність збереження для кожного записаного біта інформації в разі дефекту вхідних сигналів або загального кристалу енергонезалежної пам'яті на базі ХСН.

Література

1. Кичак В.М. Математична модель комірки пам’яті на базі халькогенідних склоподібних напівпровідників / В.М. Кичак, Н.Г. Курилова, І.В. Слободян // Міжнародний науково-технічний журнал «Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах». – 2009. – № 1 (33). – С. 113–116.

2. Слободян І.В. Швидкість програмування енергонезалежної пам’яті на базі ХСН [Електронний ресурс] І.В. Слободян // Наукові праці Вінницького національного технічного університету. – 2014. – № 3. – С. 1–10. – Режим доступу : http://praci.vntu.edu.ua/article/view/3753.

3. Касперски К. Техника оптимизации программ. Эффективное использование памяти / Крис Касперски. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2003. – 464 с.

4. Попович А. Халькогенидная энергонезависимая память CRAM / Александр Попович // Компоненты и технологии. – 2010. – № 2 (103). – С. 52–54.

References

1. V.M. Kychak, N.H. Kurylova, and I.V. Slobodian, “Matematychna model komirky pamiati na bazi khalkogenidnyh sklopodibnyh napivprovidnykiv”, Mizhnarodnyi naukovo-tekhnichnyi zhurnal “Vymiriuvalna ta obchysliuvalna tekhnika v tekhnologichnykh protsesakh”, №1 (33), 2009, pp. 113–116.

2. I.V. Slobodian, “Shvydkist prohramuvannia enerhonezalezhnoi pamiati na bazi KhSN”, Naukovi pratsi Vinnytskoho natsionalnoho universytetu, №3, 2014, pp. 1–10. (08.03.2015) http://praci.vntu.edu.ua/article/view/3753.

3. K. Kasperski, Texnika optimizacii programm. Effektivnoe ispolzovanie pamyati, St. Petersburg: BKhV- Petersburg, 2003.

4. A. Popovich, “Xalkogenidnaya energonezavisimaya pamyat CRAM”, Komponenty` i texnologii, № 2 (103), 2010, pp. 52–54.

Рецензія/Peer review : 5.8.2015 р. Надрукована/Printed : 30.8.2015 р.
Рецензент: д.т.н., проф., Осадчук О.В.

УДК 681.32

С.В. ІВАСЬЄВ, Я.М. НИКОЛАЙЧУК, І.З. ЯКИМЕНКО, І.Р. КОЛІСНИК
Тернопільський національний економічний університет

ЗБІЖНІСТЬ ЕКСТРЕМУМІВ ЗАЛИШКОВОЇ ФУНКЦІЇ В ОКОЛІ РОЗВ'ЯЗКУ ЗАДАЧІ ФАКТОРИЗАЦІЇ

Проведений аналіз існуючих методів розкладу на множники та тестів простоти. Досліджено збіжність кількості екстремумів залишкової функції в околі розв'язку задачі факторизації. Представлено модель збіжності кількості екстремумів. Розглянуто ряд прикладів визначення околу розв'язку задачі фаторизації. Досліджено залишкову функцію при переборі дільників. Виявлено симетричність екстремумів залишкової функції в зоні розв'язку.

Ключові слова: факторизація, залишкова функція, перебір дільників, зона розв'язку.

S.V. IVASIEV, YA.M. NICOLAYCHUK, I.Z. YAKYMENKO, I.R. KOLISNYK
Ternopil national economical university

CONVERGENCE EXTREMES RESIDUAL FUNCTION IN THE NEIGHBOURHOOD PROBLEM SOLVING FACTORIZATION

Abstract – The analysis of existing methods Factorization tests and simplicity. The convergence of extremes quantity of residual function in the neighbourhood factorization problem solution. The model number extremes convergence. A number of examples of determination vicinity factorization problem solution. Investigated residual function when iterating divisors. Discovered symmetry extremes residual functions in the area of interpretation.

Keywords: factorization, residual function, bust dividers, seating solution.

Вступ

В задачах шифрування інформаційних потоків (ІП), як і в прикладних проблемах теорії чисел (факторизації, тестах простоти), дослідженнях стійкості асиметричних алгоритмів шифрування важливим і трудомістким процесом є розробка методів та алгоритмів виявлення діапазону розв'язку задачі факторизації [1].

Проведений аналіз існуючих методів розкладу на множники та тестів простоти говорить про те, що розв'язання даної задачі далеке від досконалості. З розвитком інформаційних технологій зростають розмірності вхідних параметрів криптосистем, що в свою чергу призводить до збільшення обчислювальної складності при генерації та опрацюванні багато розрядних простих чисел. Тому розробка ефективного методу пошуку простих чисел та методів знаходження околу розв'язків факторизації є актуальною задачею, що дозволить зменшити часову складність RSA подібних асиметричних алгоритмів шифрування.

1. Аналіз складностей алгоритмів факторизації

Найбільш поширеним алгоритмом факторизації чисел є повний перебір можливих дільників. В даному випадку обчислювальна складність дорівнює $O(N^{1/2})$ [2].

Досить розповсюдженими є Ферма–подібні алгоритми зі складністю[2] $O(\exp(N))$.

В праці [2] приведений ρ-алгоритм Поларда, який характеризується меншою обчислювальною складністю, а саме $O(N^{1/4})$.

Джон Діксон запропонував декілька методів [2]:

1) метод безперервних дробів складність якого ;

2) метод квадратичного решета зі складністю [2] $O(\exp[c\ln(N)^{1/3}\ln(\ln(N))^{2/3}])$;

3) метод на основі еліптичних кривих, який має обчислювальну складність $O(\exp[c\ln(N)\ln(\ln(N))])^{1/3}$ [2].

У результаті дослідження слід виділити, що найефективнішим щодо швидкодії є метод квадратичного решета числового поля.

Питання про існування алгоритму факторизації з поліноміальною складністю на класичному комп'ютері є однією з важливих відкритих задач сучасної теорії чисел. В той же час, для спорідненої задачі про розпізнавання простоти числа існує поліноміальне рішення — AKS тест простоти [3].

Рішення задачі факторизації з поліноміальною складністю можливо на квантовому комп'ютері за допомогою алгоритму Шора.

2. Дослідження залишкової функції при переборі дільників

В результаті дослідження процесу факторизації прямим перебором було отримано наступні результати. Нехай задане число P_0, яке потрібно факторизувати. Знайдемо:

$$P^* = \left|\sqrt{P_0}\right| \quad \text{– непарне число;}$$

Тоді обчислюємо значення згідно співвідношення $P_1 = P_0 \bmod P^*$, $P_n = P_0 \bmod P^* + 2_n$, $n \in Z$.

Наступним кроком буде побудова послідовності

$$P_2 = P_1 + Q_1, P_3 = P_2 + Q_2, \ldots, P_n = P_{n-1} + Q_{n-1}$$

де $Qi = 2i, i = 1, \ldots, n-1$

Аналогічним чином знаходимо значення $P_{1*} = P_0 \bmod(P*-2i), i = 1, \ldots, n-1.$

$$P_1* = P_0 \bmod P* = P_1$$
$$P_2* = P_0 \bmod(P*-2)$$
$$P_3* = P_0 \bmod(P*-4)$$

де P_i* назвемо залишковою функцією.

Слід відмітити, що в результаті таких перетворень значення залишків постійно зростає і різко падає, після чого залишки знову починають зростати. Таку залежність можна представити за допомогою залишкоподібної (пилкоподібної) функції, представленої на рис. 1.

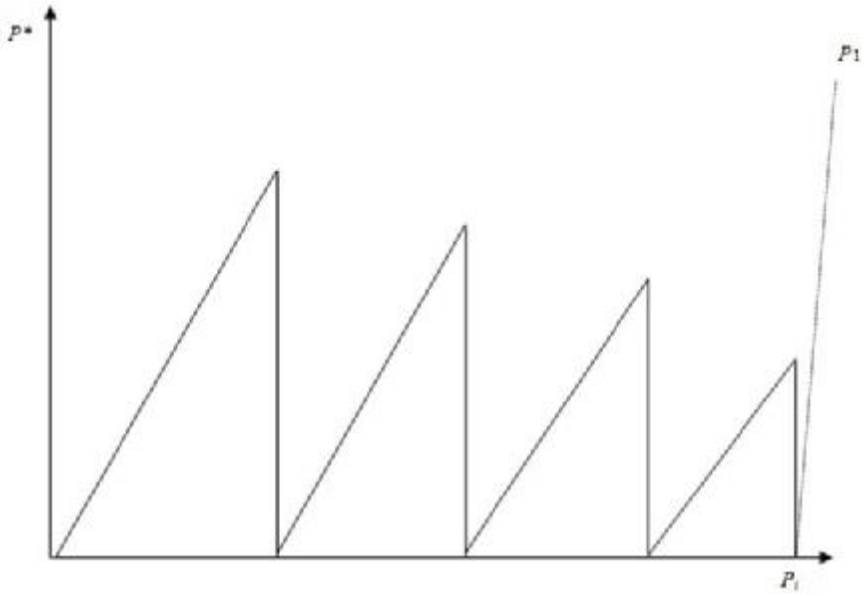


Рис. 1. Пилкоподібна функція

З рис. 1 видно, що кількість зростань залишків стабільно наближається до зони розв'язку і це, в свою чергу, дозволить її локалізувати. Даний підхід зменшує діапазон та обчислювальну складність пошуку розв'язання задачі факторизації багаторозрядних чисел.

В результаті проведених досліджень отримаємо таблицю значень кількості змін залишкової функції $P*_n$ на початку перебору при вхідних даних:

P_0 445023604703_{10} $1100111100111010111100101001111110111111_2$

$P*$ 667101_{10} 10100010110111011101_2

P_1 10010101001111100001_2

P_2 10110001101110111111_2

Віднімаємо 2 від $P*$

Таблиця 1

Кількості змін залишкової функції на початку перебору

1	186	261	157	123	105	93	85	77	73	68	64	61	58	56	54	52	51	48	48
46	44	44	43	41	41	40	39	38	38	36	37	35	35	35	34	33	33	32	32
32	31	31	30	30	30	29	29	29	28	28	28	27	27	27	27	26	26	26	26
25	25	25	25	25	24	24	24	24	23	24	23	23	23	23	22	22	23	22	22
21	22	21	22	21	21	21	21	21	20	20	21	20	20	20	20	20	19	20	19
19	20	19	19	19	18	19	19	18	19	18	18	18	19	18	17	18	18	18	17
18	17	17	18	17	17	17	17	17	17	16	17	17	16	17	16	17	16	16	16
16	16	16	16	16	16	15	16	16	15	16	15	16	15	15	15	16	15	15	15
15	15	15	14	15	15	14	15	15	14	15	14	14	15	14	14	15	14	14	14
14	14	14	14	14	13	14	14	14	13	14	13	14	13	14	13	14	13	13	14
13	13	13	13	14	13	13	13	13	12	13	13	13	13	13	12	13	13	12	13
12	13	12	13	12	13	12	12	13	12	12	12	13	12	12	12	12	12	12	12
12	12	12	12	12	12	11	12	12	12	11	12	12	11	12	12	11	12	11	12

Продовження табл. 1

11	11	12	11	12	11	11	11	12	11	11	11	11	12	11	11	11	11	11	11
11	11	11	11	11	11	10	11	11	11	11	10	11	11	10	11	11	10	11	11
10	11	10	11	10	11	10	11	10	10	11	10	10	11	10	10	11	10	10	10
10	11	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
10	9	10	10	10	10	9	10	10	10	9	10	10	9	10	9	10	10	9	10
9	10	9	10	9	10	9	10	9	9	10	9	9	10	9	9	10	9	9	10
9	9	9	9	10	9	9	9	9	9	10	9	9	9	9	9	9	9	9	9
9	9	9	9	9	9	9	8	9	9	9	9	9	8	9	9	9	9	8	9
9	9	8	9	9	8	9	9	8	9	9	8	9	8	9	8	9	8	9	9
8	9	8	8	9	8	9	8	9	8	8	9	8	9	8	8	9	8	8	8
9	8	8	9	8	8	8	8	9	8	8	8	8	9	8	8	8	8	8	8
8	8	9	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	7	8	8	8	8
8	8	8	8	8	7	8	8	8	8	8	7	8	8	8	7	8	8	8	7
8	8	8	7	8	8	7	8	8	7	8	7	8	8	7	8	7	8	8	7
8	7	8	7	8	7	8	7	8	7	8	7	8	7	8	7	7	8	7	8
7	7	8	7	7	8	7	8	7	7	7	8	7	7	8	7	7	7	8	7
7	7	8	7	7	7	8	7	7	7	7	7	8	7	7	7	7	7	7	7
8	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
7	7	7	7	7	7	7	7	7	6	7	7	7	7	7	7	7	6	7	7
7	7	7	6	7	7	7	7	6	7	7	7	6	7	7	7	6	7	7	7

Даний процес продовжуємо, на основі аналітичних співвідношень доти, поки не локалізуємо зону розв'язку, тобто:

$$P^*_n = P_0 \bmod(P^* - 2n), n \in Z$$

$$P_2^* = P_1^* + Q_1^*, P_3^* = P_2^* + Q_2^*, \ldots, P_n^* = P_{n-1}^* + Q_{n-1}^*$$

$$Q_1 = |P_2 - P|, Q_2^* = |P_3 - P_2|, \ldots, \; Q_{n-1} = |P_n - P_{n-1}|$$

$$Q_1^* = |P_2^* - P_1^*|, Q_2^* = |P_3^* - P_2^*|, \ldots, \; Q_{n-1}^* = |P_n^* - P_n^* - 1|$$

$$Q_1 = |P_0 \bmod(P^* + 2) - P_0 \bmod P^*|$$

$$Q_2 = |P_0 \bmod(P^* + 4) - P_0 \bmod(P^* + 2)|$$

$$Q_{n-1} = |P_0 \bmod(P^* + 2_n) - P_0 \bmod(P^* + 2_n - 2)|$$

$$Q_1^* = |P_0 \bmod(P^* - 2) - P_0 \bmod P^*|$$

$$Q_2^* = |P_0 \bmod(P^* - 4) - P_0 \bmod(P^* - 2)|$$

…

$$Q_{n-1}^* = |P_0 \bmod(P^* - 2_n) - P_0 \bmod P^* - 2_n + 2|$$

Для того, щоб знайти значення P_1 і P_2, $(P_0 = P_1 P_2)$, потрібно, щоб послідовності Q_{n-1}^* збігались до 0. Результати дослідження можна відобразити у вигляді діаграми, представленої на рис. 2.

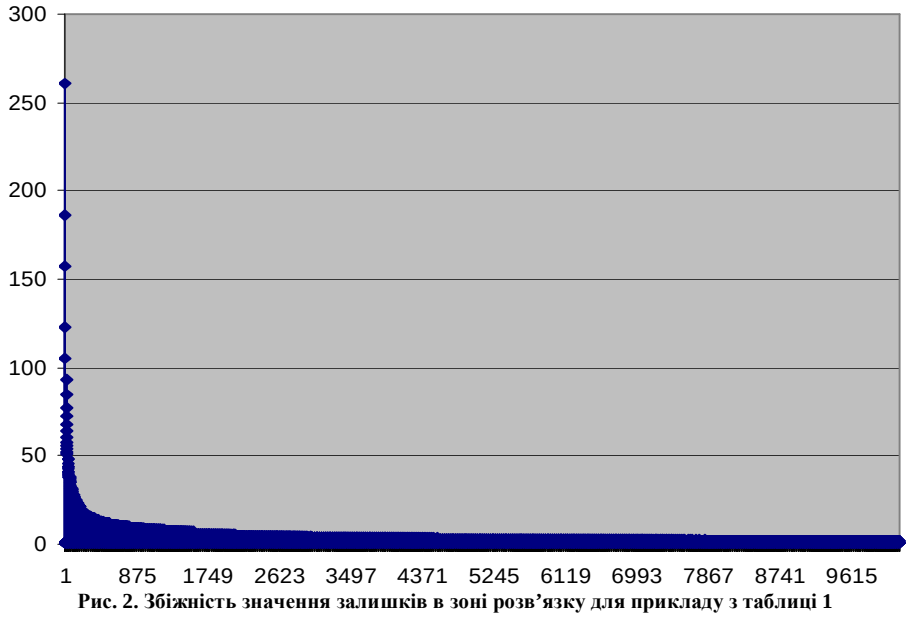


Рис. 2. Збіжність значення залишків в зоні розв'язку для прикладу з таблиці 1

В загальному випадку крок, при якому послідовності будуть збігатися, можна змінювати, тобто додавати і віднімати не тільки 2, а й інші значення. Тоді дані послідовності можна переписати наступним чином:

$$Q_{1k} = \left|P_0 - (P^* + k) - P_0 \bmod P^*\right|$$
$$Q_{2k} = \left|P_0 - (P^* + 2k) - P_0 \bmod P^* + k\right|$$
…
$$Q_{(n-1)k} = \left|P_0 - (P^* + kn) - P_0 \bmod (P^* + kn - k)\right|$$

Відповідно

$$Q_{1k}{}^* = \left|P_0 - (P^* + k) - P_0 \bmod P^*\right|$$
$$Q_{2k}{}^* = \left|P_0 - (P^* + 2k) - P_0 \bmod P^* - k\right|$$
…
$$Q_{(n-1)k}{}^* = \left|P_0 - (P^* + kn) - P_0 \bmod (P^* + kn + k)\right|$$

Даний перебір здійснюється до тих пір, поки $P^* \to 0$, $n \to Q_i$, де Q_i – значення при якому $P^* - Q_i = P_1$. P_1 – розв'язок задачі факторизації. В таблиці 2 представлено значення змін залишкової функції $P^*{}_n$ в зоні розв'язку.

Таблиця 2

Кількості змін залишкової функції в зоні розв'язку

1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2
2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2
2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2
2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2
2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2
2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2
2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2
2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	1	2
2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2
2	1	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2
2	2	1	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2
2	2	2	1	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2
2	2	1	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2
2	1	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	1
2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	1	2	2	2
2	2	1	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	1	2
2	2	2	2	1	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2
1	2	2	2	2	1	2	2	2	2	1	2	2	2	2	1	2	2	2	2
1	2	2	2	2	1	2	2	2	2	1	2	2	2	2	1	2	2	2	2
1	2	2	2	2	1	2	2	2	2	1	2	2	2	2	1	2	2	2	1
2	2	2	2	1	2	2	2	2	1	2	2	2	1	2	2	2	2	1	2
2	2	2	1	2	2	2	1	2	2	2	2	1	2	2	2	1	2	2	2
2	1	2	2	2	1	2	2	2	2	1	2	2	2	1	2	2	2	1	2
2	2	2	1	2	2	2	1	2	2	2	1	2	2	2	1	2	2	2	2
1	2	2	2	1	2	2	2	1	2	2	2	1	2	2	2	1	2	2	2
1	2	2	2	1	2	2	2	2	1	2	2	2	1	2	2	2	1	2	2
2	1	2	2	2	1	2	2	2	1	2	2	1	2	2	2	1	2	2	2
1	2	2	2	1	2	2	2	1	2	2	2	1	2	2	2	1	2	2	2
1	2	2	1	2	2	2	1	2	2	2	1	2	2	2	1	2	2	1	2
2	2	1	2	2	2	1	2	2	1	2	2	2	1	2	2	2	1	2	2
1	2	2	2	1	2	2	2	1	2	2	1	2	2	2	1	2	2	1	2
2	2	1	2	2	1	2	2	2	1	2	2	1	2	2	2	1	2	2	1
2	2	2	1	2	2	1	2	2	2	1	2	2	1	2	2	2	1	2	2
1	2	2	1	2	2	2	1	2	2	1	2	2	1	2	2	2	1	2	2
1	2	2	1	2	2	2	1	2	2	1	2	2	1	2	2	2	1	2	2
1	2	2	1	2	2	1	2	2	2	1	2	2	1	2	2	1	2	2	1
2	2	1	2	2	2	1	2	2	1	2	2	1	2	2	1	2	2	1	2

В результаті таких обчислень отримаємо відображення значень залишків функції P^*_n в околі розв'язку, які проілюстровані на рис. 2.

В зоні розв'язку графік буде мати вигляд, показаний на рис. 3.

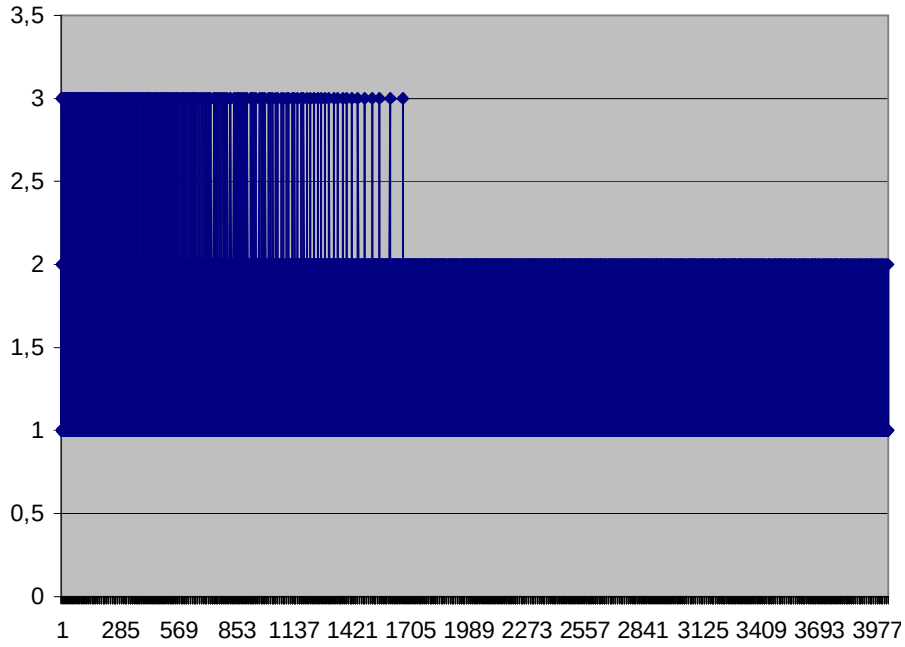


Рис. 3. Збіжність значення залишків в зоні розв'язку, деталізовано

Інші дослідження показують аналогічну збіжність в зоні розв'язку. Це дозволяє значно спростити процес факторизації прямим перебором.

При досягненні розв'язку, тобто $P^*_n = 0$, продовжуємо процес отримання залишків для $P^*_{n+1}, \ldots, P^*_{n+k}$. В результаті проведених чисельних експериментів, слід зазначити, що спостерігається симетричність екстремумів залишкової функції P^*_n відносно розв'язку задачі факторизації (рис. 4).

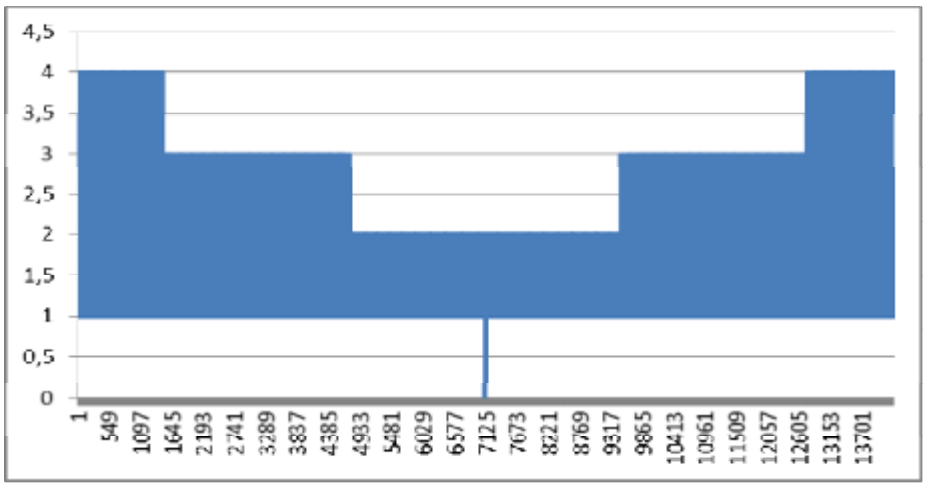


Рис. 4. Симетричність екстремумів залишкової функції в зоні розв'язку для заданого прикладу

В результаті реалізації запропонованого методу факторизації багаторозрядних чисел на основі використання ТЧБ Крестенсона нижче показано збіжність в зоні розв'язку для чисел RSA 100.

Результати чисельного експерименту свідчать про те, що кількість екстремумів до розв'язку симетрична кількості екстремумів після розв'язку. Побудуємо графічну модель, що буде відображати цю властивість (рис. 5).

Згідно з результатами досліджень можна розпочати пошук вірогідного відрізка з розв'язком, тим самим зменшити вибірку перебору на декілька порядків.

Отже, якщо ми знайдемо два симетричних відрізки на однаковій відстані від розв'язку, то вони вкажуть на сам розв'язок.

Таблиця 3

Симетричність кількості змін залишкової функції в зоні розв’язку

Кількість екстремумів до розв'язку	Кількість екстремумів після розв'язку												
1	1	8	8	1	1	8	8	1	1	8	8	1	1
8	8	1	1	8	8	1	1	8	8	1	1	8	8
1	1	8	8	1	1	8	8	1	1	8	8	1	1
8	8	1	1	8	8	1	1	8	8	1	1	8	8
1	1	8	8	1	1	8	8	1	1	8	8	1	1
8	8	1	1	8	8	1	1	8	8	1	1	8	8
1	1	8	8	1	1	8	8	1	1	8	8	1	1
8	8	1	1	8	8	1	1	8	8	1	1	8	8
1	1	8	8	1	1	8	8	1	1	8	8	1	1
8	8	1	1	8	8	1	1	8	8	1	1	8	8
1	1	8	8	1	1	8	8	1	1	8	8	1	1
8	8	1	1	8	8	1	1	8	8	1	1	7	7
1	1	8	8	1	1	8	8	1	1	8	8	1	1
8	8	1	1	8	8	1	1	8	8	1	1	8	8
1	1	7	7	1	1	8	8	1	1	8	8	1	1
8	8	1	1	8	8	1	1	8	8	1	1	8	8
1	1	8	8	1	1	8	8	1	1	8	8	1	1
8	8	1	1	8	8	1	1	8	8	1	1	8	8
1	1	8	8	1	1	8	8	1	1	8	8	1	1
8	8	1	1	8	8	1	1	8	8	1	1	8	8
1	1	8	8	1	1	7	7	1	1	8	8	1	1
8	8	1	1	8	8	1	1	8	8	1	1	8	8
1	1	8	8	1	1	8	8	1	1	8	8	1	1
8	8	1	1	8	8	1	1	8	8	1	1	8	8
1	1	8	8	1	1	7	7	1	1	8	8	1	1
8	8	1	1	8	8	1	1	8	8	1	1	8	8
1	1	8	8	1	1	8	8	1	1	8	8	1	1
8	8	1	1	8	8	1	1	8	8	1	1	8	8
1	1	8	8	1	1	7	7	1	1	8	8	1	1

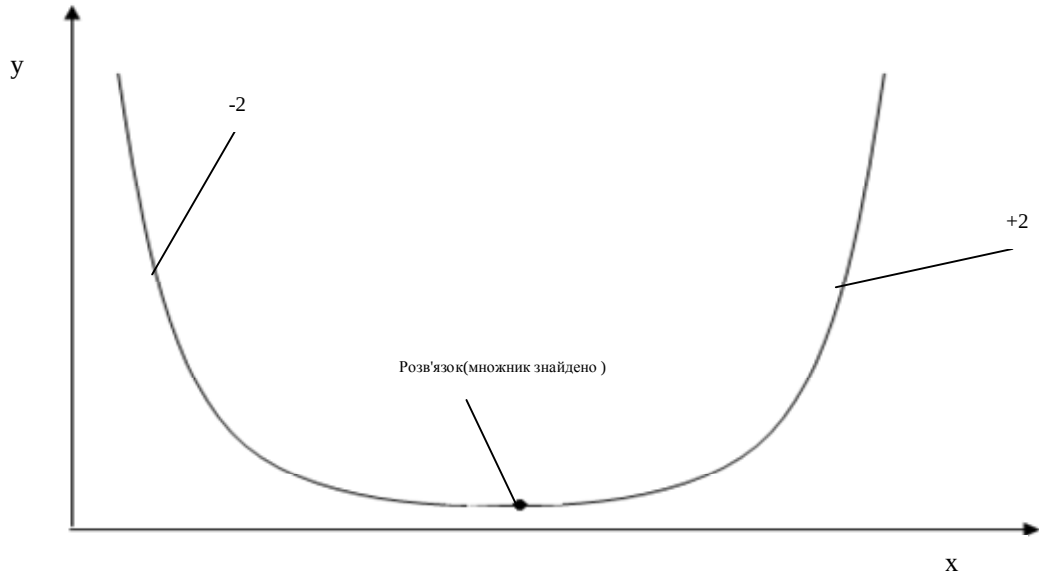


Рис. 5. Модель симетричності кількості екстремумів в зоні рішення RSA 100

Розглянемо ще декілька прикладів з багаторозрядними числами.

P_0 1110000001000000111011100010101010100111001101110010000101010110010001111101 1

$P*$ 1010100101101100100001100001111000110 11

P_1 1100111000101010111100101001101111001 01

P_2 1000101100111010100010101001101010111 11

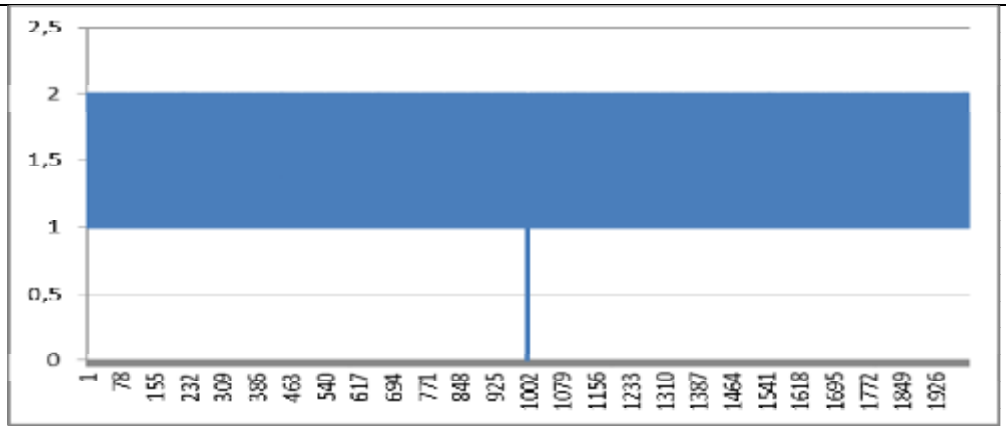


Рис. 6. Збіжність екстремумів залишкової функції для прикладу 1

P_0 11100001000001110010110101101000011100110010110011010011010100110101010000010110110011111110000011

P^* 10101001101101110101100011101001010001010001010000

P_1 11001110011100010101011110010100110111100101010001

P_2 10001011100001011111110000001111010001111000010011

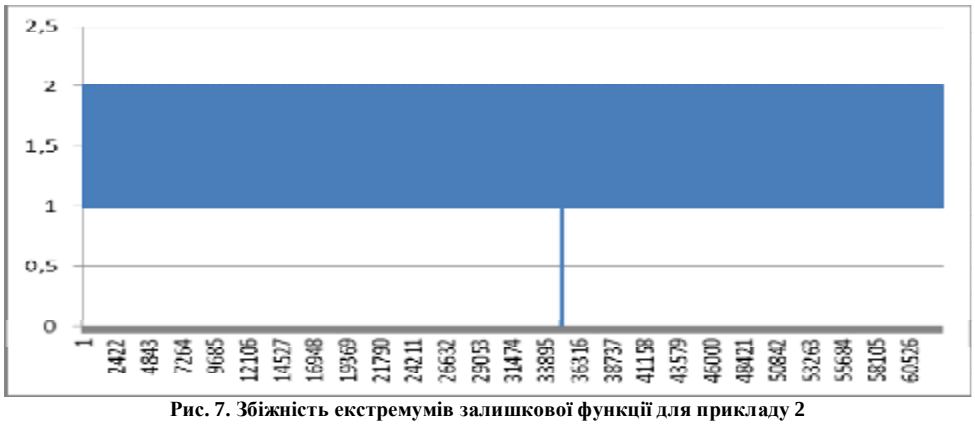


Рис. 7. Збіжність екстремумів залишкової функції для прикладу 2

Для багаторозрядних чисел подібні дослідження провести досить складно, тому доцільно досліджувати залишкову функцію з багаторозрядним кроком. Наприклад проведемо дослідження для RSA 100, результати подібного дослідження зображені на рис. 8.

Рис. 8. Результати дослідження екстремумів залишкової функції для RSA 100 з використанням багаторозрядного кроку

Аналіз чисельного експерименту (рис. 4, рис. 6, рис. 7) свідчить, що розв'язок задачі факторизації запропонованим методом.

$$P_0 \bmod P^* = X_1 \quad (1)$$
$$P_0 \bmod P^* - 2 = X_2$$
$$P_0 \bmod P^* - 2 = X_n$$

Шукаємо доти, поки $X_n \le X_{n+1}$ (2), тоді переходимо на наступний етап, на якому початкове значення лічильника $i = 0$, продовжуємо дані дії (1).

Такий ітераційний процес показує збіжність даної послідовності до розв'язку поставленої задачі факторизації, відображає симетричність залишкової функції $f(Q^*)$.

Висновки

Розроблений метод дозволяє виявити та локалізувати зону розв'язку задачі факторизації для багаторозрядних чисел за рахунок симетричності екстремумів залишкової функції, що в свою чергу забезпечить значне зменшення експоненційної складової процесу факторизації на декілька порядків.

Література

1. Теорія джерел інформації : монографія / Я.М. Николайчук. – Тернопіль : ТНЕУ, Економічна думка. – 2008 – 536 с.

2. Касянчук М.М. Теорія алгоритмів RSA та Ель–Гамаля в розмежованій системі числення Рademахера–Крестенсона / М.М. Касянчук, І.З. Якименко, О.І. Волинський, І.Р. Пітух // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки – 2011. – № 3.– С. 265–273.

3. Задірака В.К. Комп'ютерні технології криптографічного захисту інформації на спеціальних цифрових носіях / В.К. Задірака, А.М. Кудін, В.О. Людвиченко, О.С. Олексюк. – К. ; Т. : Підруч. і посіб., 2007. – 272 с.

References

1. Y.M. Nykolaichuk, Teoriia dzherel informatsii: monohrafiia. Ternopil: TNEU, Ekonomichna dumka, 2008, 536 p.

2. M.M. Kasianchuk, I.Z. Yakymenko, O.I. Volynskyi, I.R. Pitukh, "Teoriia alhorytmiv RSA ta El–Hamalia v rozmezhovanii systemi chyslennia Rademakhera–Krestensona", Herald of Khmelnytsky National University, Technical sciences, 2011, Issue 3, p. 265–273.

3. V.K. Zadiraka, A.M. Kudin, V.O. Liudvychenko, O.S. Oleksiuk. Kompiuterni tekhnolohii kryptohrafichnoho zakhystu informatsii na spetsialnykh tsyfrovykh nosiiakh. Kyiv-Ternopil, Pidruch. i posib., 2007, 272 p.

Рецензія/Peer review : 7.7.2015 р. Надрукована/Printed : 30.8.2015 р.
Рецензент: д.т.н., проф. М.П. Дивак

УДК 621.316.925

О.Є. РУБАНЕНКО, О.В. СІКОРСЬКА, В.О. КОМАР
Вінницький національний технічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ПОБУДОВИ ЕКВІВАЛЕНТІВ ЛОКАЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМ

На основі аналізу особливостей локальних електричних систем (ЛЕС), в яких експлуатуються лінії електропередач 6-110 кВ та розосереджені джерела енергії (РДЕ), в статті звертається увага на складність автоматизації процесів оптимального керування нормальними режимами цих систем, що викликані широким впровадженням РДЕ. Одним зі шляхів покращення умов такого керування є вдосконалення математичних моделей нормальних режимів ЛЕС. Результати моделювання можуть бути використані в задачах оптимізації алгоритмів роботи систем автоматичного та автоматизованого керування режимами, для визначення вектора керувальних впливів на РПН трансформаторів ЛЕС, на керовану потужність РДЕ і т. п.

Зазначено, що збільшення розмірів моделей енергосистеми, викликане масовими підключеннями РДЕ до ЛЕС викликає труднощі, що пов'язані з отриманням даних для цих моделей. Отже, еквівалентування стає одним з рішень для майбутнього моделювання енергетичних систем. Наведені в статті результати аналізу таких відомих методів еквівалентування, як: метод вузлової ліквідації, метод модального вузла, метод когерентності, метод ідентифікації, СР-методи, методи діакоптики та інших свідчать про те, що вони спрощують розрахунки режимів ЕЕС у складі яких є ЛЕС з РДЕ, однак потребують повноти даних щодо статичних та динамічних параметрів ЛЕС. Це ускладнює їх застосування для вирішення поставленої в статті задачі з урахуванням впливу такого керування на напруги на шинах підстанцій в ЛЕС.

Ключові слова: локальні електричні системи, динамічні еквіваленти, розосереджені джерела енергії, математичні моделі.

O.E. RUBANENKO, O.V. SIKORSKA, V.O. KOMAR
Vinnytsia National Technical University

RESEARCH METHODS FOR BUILDING EQUIVALENTS OF LOCAL ELECTRIC SYSTEMS

Abstract – Based on analysis of the characteristics of local electric systems (LES) which operated 6-110 kV power lines and dispersed energy sources (DES), the article draws attention to the complexity of optimum control automation normal modes of systems that caused widespread introduction DES. One way to improve the conditions of the management is to improve mathematical models of normal modes LES. Simulation results can be used in problems of optimization algorithms of automatic and automated management modes to determine the vector of control impacts on LES's transformers load regulation, power managed to DES, etc.

Indicated that increasing the size of grid patterns caused widespread connections to LES DES causes difficulties associated with obtaining data for these models. So equivalentiation is one solution for future energy systems modelling. The figures in the article the analysis of known methods equivalentiation, as nodal elimination method, the method of modal hub coherence method, the method of identification, SR-methods and other methods diakoptics have certain shortcomings and cannot always be applied to solve the problem discussed in the article.

Keywords: local electrical systems, dynamic equivalents, dispersed energy sources, mathematical models.

Вступ

Функціонування сучасних розподільних електричних мереж (РЕМ) характеризується локальним зростанням споживання електроенергії, появою двосторонніх перетікань енергії, підвищеними вимогами до забезпечення надійності та керованості. Крім того, стають більш жорсткими екологічні обмеження для енергетичної галузі в цілому. В таких умовах загострюються проблеми раціонального використання енергетичних і матеріальних ресурсів, вирішення яких покликане підвищити економічність та екологічність роботи електроенергетичних систем (ЕЕС) шляхом впровадження відновлюваних джерел енергії в електричні мережі у вигляді розосереджених джерел енергії (РДЕ) та їх оптимального керування.

Причому частка останніх в енергобалансі енергосистем зростає і в деяких електричних мережах вже сьогодні досягає 20–30% і більше. До РДЕ, що працюють безпосередньо в мережах 10–6–0,4 кВ, відносяться як традиційні джерела невеликої потужності, так і альтернативні. Таким чином, розподільна електрична мережа поступово перетворюється в мережу з характерними особливостями локальної електричної системи (ЛЕС), яка отримує живлення як від власних розосереджених джерел електроенергії, так і від централізованого джерела – електроенергетичної системи.

Масові підключення РДЕ до існуючих розподільчих мереж в останні роки призвели до значного зростання складності енергосистем. Це також змінило динамічні властивості енергетичних систем. Обидва ці фактори призводять до збільшення розмірів моделей енергосистеми, які мають важливе значення для аналізу роботи енергосистеми в цілому.

Велика кількість елементів в заступних схемах сучасних електричних систем, які містять ЛЕС, інколи настільки ускладнює задачу розрахунку їх режимів, що складно знайти розв'язок цієї задачі в загальному вигляді [1, 2].

Через труднощі, що пов'язані з отриманням даних для цих моделей, еквівалентування стає цікавим рішенням для майбутнього моделювання енергетичних систем. Завданням методів еквівалентування є збереження основних динамічних характеристик енергосистеми, при оптимальному скороченні її розміру.

Постановка задачі досліджень

Метою роботи є виявлення можливості застосування існуючих методів еквівалентування для розробки моделей еквівалентів локальних електричних мереж в складі ЕЕС.

Результати досліджень

Моделі електроенергетичних систем (ЕЕС) є основними інструментами для різних типів операцій системного аналізу, наприклад, для аналізу стійкості, для проектування систем керування, для перевірки системної автоматики, тощо. Теоретично, повна модель енергосистеми може використовуватися на кожному кроці розрахунку нормального режиму. Проте, на практиці конструювання, впровадження та відновлення такої моделі є надто складним завданням. У зв'язку зі збільшенням розміру і складності сучасних ЕЕС, неможливо врахувати динаміку та проблеми стійкості повної моделі електроенергетичної системи. Рішенням цієї проблеми знову ж таки є еквівалентування [1].

Використання методів еквівалентування в задачах розрахунку режимів електричної системи з ЛЕС передбачає виділення в цій системі окремих підсистем – ЛЕС, виділення підсхем ЛЕС в загальній заступній схемі електричної системи.

На рис. 1 показано алгоритм процесу створення еквіваленту моделі нормального режиму ЛЕС.

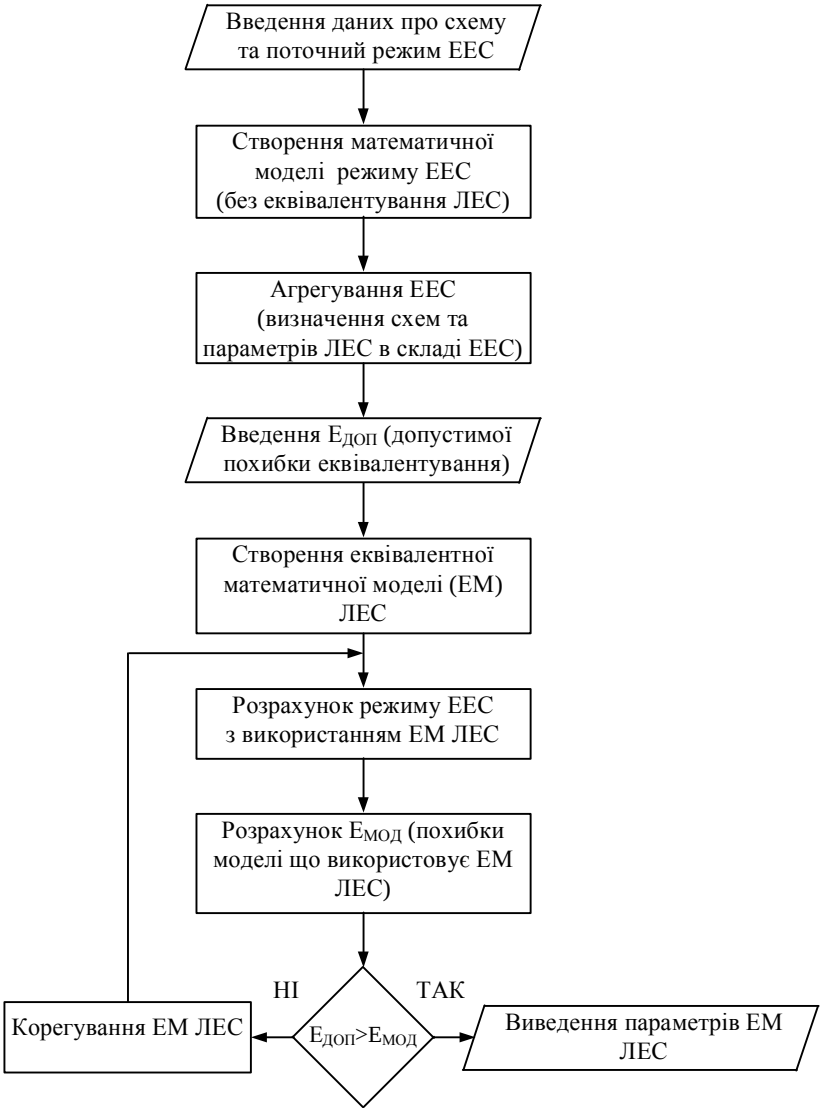


Рис. 1. Блок-схема алгоритму створення еквіваленту режиму ЛЕС

Відомо багато методів створення моделей ЛЕС, виділення підсистем (ЛЕС) зі складної електричної системи. З метою вибору з них метода, який би забезпечив мінімальну похибку моделі і розрахунку режимів ЕЕС з використанням еквівалентних моделей ЛЕС проаналізуємо методи розбиття складної електричної системи на підсистеми та методи заміни окремих з цих підсистем (в нашій задачі – ЛЕС) спрощеними – еквівалентними початковим, підсистемами (еквівалентами ЛЕС). Їх класифікація показана на рис. 2.

Виділення зі схеми ЕЕС підсистем (ЛЕС) здійснюється як за вітками, так і вузлами. Розповсюдженні методи виділення ЛЕС зі схеми ЕЕС:

- при яких ЛЕС мають загальну точку (наприклад, коли ЛЕС зв'язані між собою в одному вузлі);
- ділення після якого ЛЕС з'єднані між собою послідовно;

- ділення після якого повністю усувається зв'язок між ЛЕС;
- ділення при якому в початковій схемі ЕЕС виділяються пригранічні вузли.

При виділенні ЛЕС в складі ЕЕС суттєвими є кількість і розміри ЛЕС, тому що від цього залежить складність процесу визначення режимів їх роботи. Оптимальним є таке виділення ЛЕС при якому загальний час на отримання рішення буде мінімальний. З метою зменшення часу розрахунку, знаходження параметрів оптимального, наприклад за показником загальносистемних втрат активної потужності в ЕЕС, в початковій складній схемі ЕЕС виділені ділянки ЛЕС замінюються значно спрощеними їх еквівалентами. Таким чином розрахункова схема ЕЕС також спрощується.

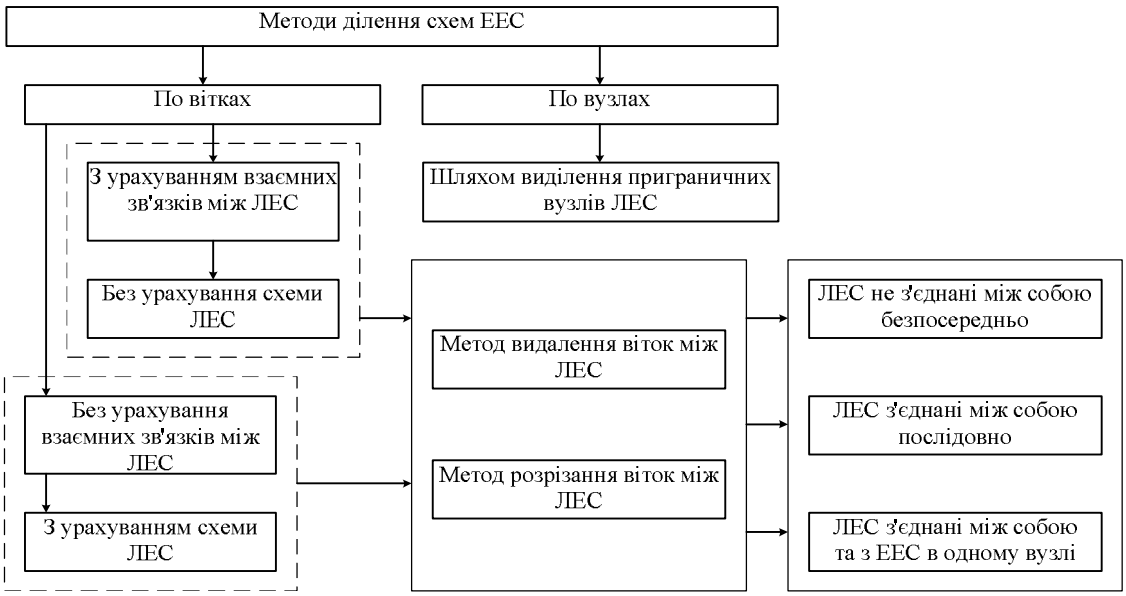


Рис. 2. Методи виділення ЛЕС з ЕЕС

Аналіз існуючих методів еквівалентування потрібен для визначення можливості його застосування в задачах розрахунку режимів як ЕЕС, так і ЛЕС в їх складі (рис. 3).

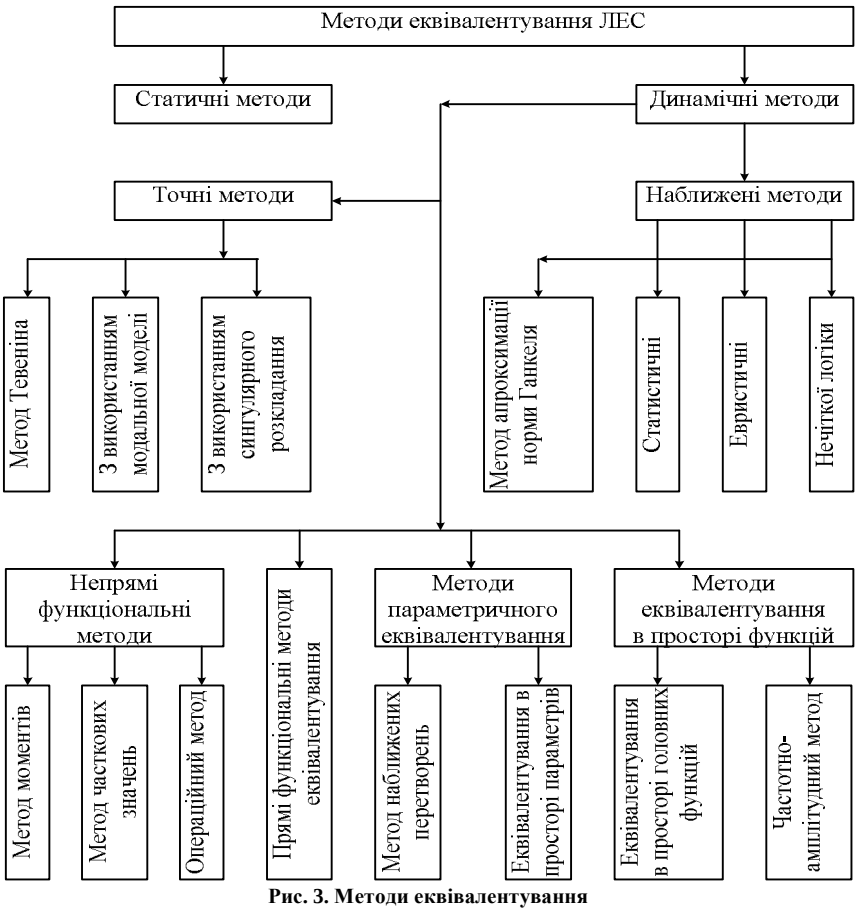


Рис. 3. Методи еквівалентування

Широко відомі методи статичного і динамічного еквівалентування [1, 4] електроенергетичних систем (ЕЕС). Динамічне еквівалентування, це вилучення частини мережі і заміна її еквівалентною моделлю, яка має достатньо близькі динамічні характеристики до оригіналу (повної) моделі, що важливо в задачах оптимального керування режимами ЕЕС з РДЕ ЛЕС.

Також існують прямі та непрямі функціональні методи еквівалентування. В прямому функціональному методі незалежною змінною є час, при цьому порівнюються на входах початкової та еквівалентної ЛЕС при зміні навантажень [1].

Знаходження аналітичних виразів залежності напруг та потужностей на виході ЛЕС від часу та від струмів навантажень у випадку коли не завжди відомі параметри структурної схеми ЛЕС може виявитись надто складним. Тому цей метод для практичного використання може бути використаним лише при простій структурі ЛЕС, як наприклад у випадку заміни початкової ЛЕС одним генератором.

Перевагою прямого функціонального методу є можливість прямого оцінювання точності еквівалентного процесу в ЛЕС, а також в тому, що відповідна цьому оцінюванню оптимальна сукупність параметрів еквівалентної моделі ЛЕС отримується автоматично без додаткового пошуку.

Прямі функціональні методи забезпечують мінімум квадратичного відхилення параметрів результатів моделювання з використанням еквівалентної моделі від результатів моделювання на початковій моделі.

Методи, які використовують незалежні змінні такі, як оператор Лапласа (p), або частоту ω в перетворенні Лапласа називають непрямими функціональними методами. Класифікація найбільш важливих з них показана на рисунку.

У методі моментів необхідні параметри визначаються простіше ніж у прямому методі, але залишається складність визначення аналітичного виразу залежності реакції ЛЕС на збурювальні процеси.

В методі часткових значень немає необхідності визначати інтеграли зміни початкових параметрів ЛЕС в часі, але необхідно знаходити рішення нелінійних рівнянь. Цей метод не містить прямих оцінок точності, але схожий до методу інтерполяції функцій. Його використовують для заздалегідь гладких функцій перехідного процесу зміни початкових параметрів ЛЕС при збурювальних впливах.

Операційний метод використовується тільки для лінеаризованих моделей ЛЕС. Втрата інформації у зв'язку з використанням лінеаризованих моделей ЛЕС, як критерій еквівалентності, неминуче призведе до додаткової похибки. Даний метод доцільно використовувати для еквівалентування окремих груп фізично схожих елементів (наприклад СЕС, або ГЕС з асинхронними генераторами).

Методи параметричного еквівалентування застосовується для перетворення різних схем. Наближене мережеве еквівалентування відноситься лише до параметрів зв'язків електричних систем. В ньому не використовуються інерційні константи і не враховується фізика основних електричних елементів. В цьому методі вирішується питання про відокремлення генераторів від споживачів. Це важливо для еквівалентування ЛЕС [1].

Метод еквівалентування в просторі параметрів не зв'язаний з лінеаризацією системи і базується на відмінній від інших характеристиці головних елементів ЛЕС, достатньою кількістю важливих параметрів, з урахуванням того або іншого усталеного режиму. До таких параметрів відносяться інерційні сталі і взаємні індуктивності зв'язків, числові характеристики (наприклад, питомі показними демпфування, коефіцієнти підсилення автоматичного регулювання тощо). З математичної точки зору еквівалентування в просторі параметрів означає вимогу оптимальної заміни сукупності *n*-точок багатомірного простору сукупність *m*-точок в тому просторі. В якості зручного критерію оптимальності використовують узагальнення на багатомірному просторі методу моментів, який для дійсних сукупностей знаходить широке використання в теорії ймовірностей. Цей метод може використовуватись лише за умови повної подібності рівнянь динаміки початкової і еквівалентної моделі ЛЕС [4].

Метод вузлової ліквідації реалізується на моделюванні навантаження з постійним опором і вилученні їх, використовуючи спеціальний алгоритм для еквівалентування. Метод модального вузла реалізується на спрощенні системи шляхом об'єднання однакових режимів і вилучення режимів, що не є спільними для загальної групи режимів. Метод когерентності реалізується на визначенні однотипних генераторів і об'єднання їх в єдиний еквівалентний генератор [1, 2].

Для всіх вище згаданих методів необхідна детальна інформація про структуру і параметри мережі. Проте, в реальній енергосистемі така інформація не є доступною і повною, особливо у випадку РДЕ.

Метод ідентифікації може розв'язати цю проблему, розглядаючи систему як чорний ящик (чотириполюсник). Він безпосередньо впливає на еквівалентні моделі енергосистеми і базується на збережених вхідних/вихідних даних [4].

Аналітичні моделі дозволяють отримати або явні залежності для шуканих величин, або, у тому разі, коли це не вдається, визначити чисельні рішення для конкретних початкових умов і кількісних характеристик моделі. Для вирішення таких завдань широко використовуються ЕОМ. Проте синтез аналітичних моделей для великих ЕЕС складний. У зв'язку з цим використовується імітаційне моделювання, яке розглядається як експеримент зі складною математичною моделлю, яка описує поведінку системи, реалізований на ЕОМ, тобто моделюється натурний експеримент.

Тому перспективними є методи імітаційного моделювання. Імітаційна модель ЛЕС в складі ЕЕС має такі особливості: меншу розмірність (порівняно з ЕЕС) по кількості змінних і зв'язків між елементами

моделі; стохастичний характер навантажень та генерування РДЕ у вузлах ЛЕС, нелінійність, обмеження різних типів (за генерованою потужністю РДЕ, пропускною здатністю ЛЕП та навантажувальною здатністю трансформаторів, за рівнями напруг у вузлах ЛЕС і т. п.), різний математичний опис елементів моделі (синхронних та асинхронних генераторів малих ГЕС, інверторів СЕС), реакції РДЕ на зміни навантажень та реакції вузлових напруг на зміни генерованої РДЕ потужності, що залежать від часу.

Імітаційне моделювання дозволяє: експериментально дослідити складні внутрішні взаємодії в досліджуваній ЛЕС і, водночас взаємодії різних ЛЕС в складі ЕЕС; вивчати вплив на функціонування ЕЕС інформаційних та організаційних змін, змін характеру взаємодії із зовнішнім середовищем; краще зрозуміти процеси зміни параметрів в ЕЕС, викликані змінами режимів ЛЕС; оцінити які з ЛЕС найбільш впливають на загальносистемні показники (наприклад на загальносистемні втрати активної потужності) і як вони взаємодіють; оцінювати поведінку ЕЕС в нових ситуаціях, перевіряти нові стратегії та правила прийняття рішення оперативно-диспетчерським персоналом; проводити стохастичне моделювання, зокрема методом Монте-Карло [6].

Таким чином, імітаційне моделювання орієнтоване не тільки на дослідження заданої моделі, а й на ідентифікацію параметрів і в цьому сенсі є аналогом натурного моделювання.

Визначення параметрів еквіваленту ЛЕС

При відомих параметрах РДЕ в ЛЕС (наприклад ЕРС генераторних станцій) заміна цих РДЕ однією еквівалентною станцією призводить до спрощення схеми, причому узагальнені параметри цієї схеми (а також ЕРС еквівалентної станції) повинні задовольняти певні умови і критерій еквівалентності [3].

В якості критерію еквівалентності приймаємо однаковість параметрів початкового режиму віток і вузлів до перетворення заступної схеми ЛЕС і після його виконання. Цей критерій може бути записаний у наступній узагальненій матричній формі:

$$\left.\begin{aligned} \dot{\mathbf{U}}_{\mathbf{yp0}} &= \dot{\mathbf{U}}^{\mathbf{e}}_{\mathbf{yp}} \\ \overline{\mathbf{S}}_{\mathbf{m0}} &= \overline{\mathbf{S}}^{\mathbf{e}}_{\mathbf{m}} \end{aligned}\right\}, \tag{1}$$

де $\dot{\mathbf{U}}_{\mathbf{yp}\,0}$ та $\dot{\mathbf{U}}^{\mathbf{e}}_{\mathbf{yp}}$ – вектори-стовбці комплексних значень напруг у вузлах приєднання ЛЕС до ЕЕС до перетворення заступної схеми ЛЕС і після його виконання; $\overline{\mathbf{S}}_{\mathbf{m0}}$ та $\overline{\mathbf{S}}^{\mathbf{e}}_{\mathbf{m}}$ – вектори-стовбці комплексних значень повних потужностей у вітках приєднання ЛЕС до ЕЕС до перетворення заступної схеми ЛЕС і після його виконання.

Виконання даної умови забезпечує незмінність початкового режиму, що розглядається, для моделі ЕЕС після представлення ЛЕС її спрощеною моделлю.

Повинна виконуватись вимога однаковості значень сумарної потужності станцій перетворюваної схеми ЛЕС до перетворення і після перетворення при зміні режиму відповідно до графіка навантаження. Це потребує збереження однаковості суми потужностей об'єднаних РДЕ і потужності еквівалентної станції ЛЕС у всьому діапазоні режимів, які розглядаються.

Тому виконання умови критерію еквівалентності повинно забезпечити тотожність режиму віток і вузлів приєднання початкової і перетвореної схем ЛЕС (ПСЛЕС) не тільки для початкового, але і для всіх інших аналізованих режимів. У такому випадку цей критерій еквівалентності повинен бути доповнений додатковим критерієм:

$$\overline{S}^{e}_{ЛЕС} = \sum_{j=1}^{m} \overline{S}_j\,, \tag{2}$$

де $\overline{S}^{e}_{ЛЕС}$ – повна генерована потужність еквівалентної станції ЛЕС; $\overline{S}_j$ – повні потужності РДЕ, що об'єднанні в еквіваленту станцію ЛЕС; j – кількість РДЕ.

Для заміни однією еквівалентною станцією ЛЕС декількох РДЕ цієї ЛЕС необхідне виконання таких вимог:

$$\overline{\mathbf{Y}}^{\mathbf{j}}_{\mathbf{mm}} = \overline{\mathbf{Y}}^{\mathbf{j,e}}_{\mathbf{mm}}, \tag{3}$$

де $\overline{\mathbf{Y}}^{\mathbf{j,e}}_{\mathbf{mm}}$ – діагональна матриця взаємних провідностей віток приєднання і віток еквівалентних станцій ЛЕС; $\boldsymbol{m}$ – кількість віток приєднання РДЕ та вітки еквівалентної станції ЛЕС до ЕЕС.

Дана рівність означає, що еквівалентні параметри ПСЛЕС повинні визначатись при незмінній, заздалегідь прийнятій умові про однаковість власних і взаємних провідностей віток приєднання ПСЛЕС до і після перетворення:

$$\overline{\mathbf{Y}}^{\mathbf{j}}_{\mathbf{mj}}\dot{\mathbf{E}}_{\mathbf{j}} = \overline{\mathbf{Y}}^{\mathbf{j,e}}_{\mathbf{me}}\dot{\mathbf{E}}_{\mathbf{e}}\,, \tag{4}$$

де $\overline{\mathbf{Y}}^{\mathbf{j,e}}_{\mathbf{me}}$ – діагональна матриця взаємних провідностей віток приєднання і вітки еквівалентного генератора РДЕ ЛЕС; $\dot{\mathbf{E}}_{\mathbf{e}}$ – вектор-стовбець, всі елементи якої дорівнюють ЕРС еквівалентної станції ЛЕС (даний вираз включає в себе параметри перетворення заступної схеми, а також ЕРС еквівалентної станції, що є шуканими величинами при еквівалентуванні).

$$\dot{\mathbf{E}}_{\mathbf{e}}^{2}\overline{\mathbf{Y}}_{\mathbf{ee}}^{*\mathbf{j,e}}=\sum_{\mathbf{j=1}}^{\mathbf{n}}\left[\dot{\mathbf{E}}_{\mathbf{j}}\left(\sum_{\mathbf{j=1}}^{\mathbf{n}}\dot{\mathbf{E}}_{\mathbf{j}}^{*}\overline{\mathbf{Y}}_{\mathbf{jj}}\right)\right], \tag{5}$$

де $\overline{\mathbf{Y}}_{\mathbf{ee}}^{*\mathbf{j,e}}$ – діагональна матриця взаємних провідностей віток приєднання після еквівалентування; $\overline{\mathbf{Y}}_{\mathbf{jj}}$ – діагональна матриця провідностей віток, що приєднання до *j*-го РДЕ.

$$\dot{\mathbf{E}}_{\mathbf{e}}\overline{\mathbf{Y}}_{\mathbf{ep}}^{*\mathbf{j,e}}=\sum_{\mathbf{j=1}}^{\mathbf{n}}\dot{\mathbf{E}}_{\mathbf{j}}^{*}\overline{\mathbf{Y}}_{\mathbf{jp}}\ (p=1,2,\mathbf{K},m). \tag{6}$$

де p – номер вітки приєднання РДЕ.

Розглянемо, приклад коли ЛЕС приєднується до ЕЕС по одній вітці (рис. 4).

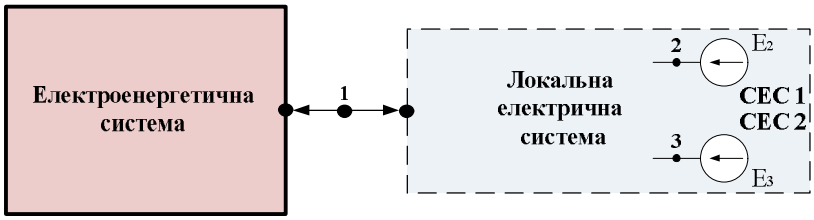


Рис. 4. Схематичне зображення приєднання ЛЕС до ЕЕС

За такої ситуації повинна виконуватись умова:

$$\overline{Y}_{11}^{e}=\overline{Y}_{11}.$$

Ця умова означає, що власна провідність вітки з'єднання в еквівалентній схемі повинна бути рівною власній провідності цієї вітки у початковій схемі перетворюваної підсистеми. Значення цієї провідності визначається по результатам розрахунку режиму початкової заступної схеми, в якій ЕРС всіх генераторних станцій (РДЕ) приймаються рівними нулю, а у вузлі приєднання підтримується деяка напруга. У цьому випадку

$$\overline{Y}_{11}=\frac{I_1}{\dot{U}_1}.$$

У такому випадку умова еквівалентності матиме вигляд:

$$\dot{E}_e\overline{Y}_{1e}=\sum_{j=2}^{n}\dot{E}_j\overline{Y}_{1j} \tag{7}$$

де $\overline{Y}_{1e}$ та $\dot{E}_e$ – шукані параметри заступної схеми і її режиму; $\dot{E}_j$ – ЕРС станцій, які в перетвореній схемі повинні бути замінені однією еквівалентною; $\overline{Y}_{1j}$ – взаємна провідність між вітками станції *j* і віткою приєднання.

Електрорушійні сили $\dot{E}_j$ і провідності $\overline{Y}_{1j}$ розраховуються відповідно до початкової схеми перетворюваної підсистеми і при знаходженні еквівалентних параметрів $\overline{Y}_{1e}$ та $\dot{E}_e$ вважаються невідомими.

Вище наведена умова еквівалентності отримана із умови рівності струму у вітці приєднання у початковій і перетвореній схемах незалежно від значення напруги у вузлі приєднання, а тому $\dot{U}_1=0$.

У цьому випадку кожна частина умови еквівалентності визначає струм у вітці приєднання. Для еквівалентної схеми у відповідності з визначенням взаємної провідності $\overline{Y}_{1e}$ отримуємо рівність, яка повністю відповідає умові еквівалентності:

$$I_{1e}=\dot{E}_e\overline{Y}_{1e}.$$

Цей вираз означає, що один і той самий струм можна отримати при різних значеннях ЕРС $\dot{E}_e$ і провідності $\overline{Y}_{1e}$.

Звернемо увагу на умову еквівалентності (6), яка для схеми з однією віткою приєднання має вигляд:

$$\dot{E}_e\overline{Y}_{ej}^{*}=\sum_{j=2}^{n}\dot{E}_j\overline{Y}_{j1}^{*}. \tag{8}$$

Взаємна провідність $\overline{Y}_{e1}=\overline{Y}_{1e}$ та ЕРС $\dot{E}_e$ для перетвореної схеми повинні одночасно задовольняти умови (7) та (8), якщо при еквівалентуванні ставитися задача забезпечити в перетвореній схемі як інваріантність потужності у вітці приєднання (умова (7)), так і інваріантність сумарної потужності об'єднаннях станцій (умова (8)). Однак, провідності та ЕРС, що одночасно задовольняють ці дві умови,

знайти неможливо.

Дійсно, з вище наведених умов, справедлива рівність:

$$E_e y_{1e} = \left| \sum_{j=2}^{n} \dot{E}_j \overline{Y}_{1j} \right|; \qquad E_e y_{e1} = \left| \sum_{j=2}^{n} \dot{E}_j \overline{Y}_{1j}^{*} \right|. \tag{9}$$

Перше рівняння системи (9) отримано із умови незмінності режиму вітки приєднання при перетворенні системи. Друге рівняння знайдене на основі критерію незмінності сумарної генерованої потужності в перетворюваній підсистемі. Тому відсутність значень E_e та $y_{1e} = y_{e1}$, які б задовольняли обидва рівняння системи (9), є результатом твердження неможливості отримання у загальному вигляді єдиної моделі перетворюваної підсистеми, що задовольняла б одночасно вимоги інваріантності режиму як вітки приєднання, так і генераторних станцій. Варто зазначити, що такий висновок повністю відповідає аналогічному висновку, що стосується елементарного перетворення для об'єднання декількох джерел ЕРС.

В прийнятих умовах, в яких все навантаження представлене в перетвореній схемі тільки незмінними опорами, еквівалентне представлення перетворюваної підсистеми можливе за допомогою двох заступних схем, що мають однакові параметри, але відрізняються модулями ЕРС еквівалентного генератора. В цих схемах модулі комплексної взаємної провідності між віткою еквівалентного генератора і віткою приєднання можуть прийматися довільно. Однак практично, доцільно знаходити цю провідність по заступній схемі перетворюваної підсистеми, об'єднавши вітки генераторних станцій, а потім вилучати всі проміжні вузли. При відомій провідності $y_{1e} = y_{e1}$ з першого рівняння системи (9) можна знайти:

$$E_e^{(1)} = \frac{1}{y_{1e}} \left| \sum_{j=2}^{n} \dot{E}_j \overline{Y}_{1j} \right|; \tag{10}$$

тоді як з другого рівняння цієї системи рівнянь

$$E_e^{(e)} = \frac{1}{y_{e1}} \left| \sum_{j=2}^{n} \dot{E}_j \overline{Y}_{1j}^{*} \right|. \tag{11}$$

Електрорушійна сила $E_e^{(1)}$, що отримана з умови незмінності режиму вітки приєднання, повинна додаватися до ПСЛЕС під час виконання розрахунків, що визначають режими вітки приєднання. Під час визначення потужності у вітці еквівалентної станції до заступної схеми повинна додаватися ЕРС $E_e^{(e)}$.

В обох випадках власна провідність вітки приєднання визначається у відповідності з умовою $\overline{Y}_{11}^{e} = \overline{Y}_{11}$. Власна провідність вітки генераторної станції визначається з даного рівняння:

$$(E_e^{(e)})^2 \overline{Y}_{ee}^{*} = \sum_{j=2}^{n} E_j^2 \overline{Y}_{jj}^{*} - \sum_{j=2}^{n} \dot{E}_j \sum_{j=2}^{n} \dot{E}_j^{*} \overline{Y}_{jj}^{*} \tag{12}$$

З цього рівняння випливає при відомій ЕРС $E_e^{(e)}$:

$$\overline{Y}_{ee}^{*} = \frac{1}{(E_e^{(e)})^2} \left(\sum_{j=2}^{n} E_j^2 \overline{Y}_{jj}^{*} - \sum_{j=2}^{n} \dot{E}_j \sum_{j=2}^{n} \dot{E}_j^{*} \overline{Y}_{jj}^{*} \right) \tag{13}$$

.

Знайдені власні і взаємні провідності дозволяють представити еквіваленту модель перетворюваної ЛЕС у вигляді П-подібної заступної схеми.

Можливий також інший вигляд заступної ПСЛЕС, що забезпечує інваріантність як потужності у вітці приєднання, так і сумарної потужності РДЕ. Таку схему можна отримати, якщо навантаження в еквівалентній ПСЛЕС представити не тільки незмінними опорами, а й деяким задавальним струмом, що є у вузлі приєднання ЛЕС. При такому підході умови незмінності генерованої потужності РДЕ залишаються такими ж, як при відсутності задавального струму у вузлі приєднання ЛЕС. Тому рівняння (5), (6), (12) та (13), можуть і у цьому випадку використовуватися для визначення еквівалентних параметрів ПСЛЕС. Проте, умова інваріантності потужності у вітці приєднання запишеться у іншому вигляді:

$$\sum_{j=2}^{n} \dot{E}_j \overline{Y}_{1j}^{*} - \dot{U}_1 \overline{Y}_{11} = \dot{E}_e \overline{Y}_{1e} - \dot{U}_1 \overline{Y}_{11}^{(e)} + J_{1e} \quad ,$$

звідки випливає:

$$\overline{Y}_{11}^{(e)} = \overline{Y}_{11};$$

$$\dot{E}_e \bar{Y}_{1e} + J_{1e} = (\sum_{j=2}^{n} \dot{E}_j \bar{Y}_{1j})^{e^{jY_{1e}}} \quad (14)$$

.

Варто зазначити, що (14) та друге рівняння системи (9) можуть задовольнятися одночасно. Причому, визначається не тільки модуль, але і аргумент комплексної провідності. Модуль ЕРС $\dot{E}_e$ визначається за формулою (11), а її аргумент знаходиться:

$$d_e = g_{e1} + y_{e1}.$$

З рівняння (14) задавальний струм знаходиться:

$$J_{1e} = -E_e y_{1e} e^{j(\delta_e - \psi_{e1})} + (\sum_{j=2}^{n} \dot{E}_j \bar{Y}_{1j}) e^{jY_{1e}} . \quad (15)$$

Однак, таке спрощення коли все навантаження представлене в перетвореній схемі тільки незмінними опорами або деяким задавальним струмом, що є у вузлі приєднання, не завжди допустиме. Тому виникають труднощів, які виявляються у випадку побудови лінеаризованої еквівалентної моделі ЛЕС. Основним недоліком цього методу є необхідність аналітичного представлення моделі еквівалентної ЛЕС, яка реагує на зміну збурювальних впливів [3].

Кожний з розглянутих методів еквівалентування та створення еквівалентних математичних моделей ЛЕС має свої переваги і недоліки. Синтез методів і моделей еквівалентування можливий шляхом їх комплексного застосування в задачах розрахунку параметрів режимів ЕЕС.

Висновки

Існуючі методи еквівалентування ЛЕС можуть бути застосовані під час розробки еквівалентних моделей ЛЕС. Вони спрощують розрахунки режимів ЕЕС у складі яких є ЛЕС з РДЕ, однак потребують повноти даних, щодо статичних та динамічних параметрів ЛЕС. Це ускладнює їх застосування під час автоматичного чи автоматизованого керування режимами ЕЕС з урахуванням впливу такого керування на напруги на шинах підстанцій в ЛЕС.

Література

1. Ishchenko A., Myrzik J.M.A., Kling W.L., “Dynamic Equivalencing of Distribution Networks with Dispersed Generation”, IEEE Transactions on Power Systems, Volume 06, 2006, pp. 1–8.

2. Yiming Mao and Karen Miu, “Radial Distribution System Short Circuit Analysis with Lateral and Load Equivalencing: Solution Algorithms and Numerical Results”, IEEE Transactions on Power Systems, Volume 01, 2000, pp. 449–453.

3. Жуков Л. А. Установившиеся режимы сложных электрических сетей и систем: Методы расчётов / Л. А. Жуков, И. П. Стратан. – М. : Энергия, 1979. – 416 с.

4. Feng Ma, Xiaochuan Luo and Vijay Vittal, “Application of Dynamic Equivalencing in Large-scale Power Systems”, IEEE Transactions on Power Systems, Volume 05, 2011, pp. 1–10.

5. Основы моделирования сложных систем : учеб. пособие для студентов вузов / под общ. ред. И. В. Кузьмина. – К. : Вища школа, 1981. – 360 с.

6. Ganesh N. Ramaswamy, Christophe Evrard, George C. Verghese, Ollivier Fillatre and Bernard C., “Lesieutre Extensions, Simplifications, and Tests of Synchronic Modal Equivalencing (SME)”, IEEE Transactions on Power Systems, Volume 02, 1997, pp. 896–905.

References

1. Ishchenko A., Myrzik J.M.A., Kling W.L., “Dynamic Equivalencing of Distribution Networks with Dispersed Generation”, IEEE Transactions on Power Systems, Volume 06, 2006, pp. 1–8.

2. Yiming Mao and Karen Miu, “Radial Distribution System Short Circuit Analysis with Lateral and Load Equivalencing: Solution Algorithms and Numerical Results”, IEEE Transactions on Power Systems, Volume 01, 2000, pp. 449–453.

3. Zhukov L. A. and Stratan I. P., Ustanovivshiyesya rezhimy slozhnykh elektpicheskikh setey i sistem: Metody raschotov, M. : Energiya, 1979.

4. Feng Ma, Xiaochuan Luo and Vijay Vittal, “Application of Dynamic Equivalencing in Large-scale Power Systems”, IEEE Transactions on Power Systems, Volume 05, 2011, pp. 1–10.

5. Kuz'min I. V., Osnovy modelirovaniya slozhnykh sistem: Ucheb. posobiye dlya studentov vuzov, K. : Vyshcha shkola , 1981.

6. Ganesh N. Ramaswamy, Christophe Evrard, George C. Verghese, Ollivier Fillatre and Bernard C., “Lesieutre Extensions, Simplifications, and Tests of Synchronic Modal Equivalencing (SME)”, IEEE Transactions on Power Systems, Volume 02, 1997, pp. 896–905.

Рецензія/Peer review : 17.7.2015 р. Надрукована/Printed : 30.8.2015 р.
Стаття рецензована редакційною колегією

УДК 621.311:3.003

В.П. ХОРОЛЬСЬКИЙ, М.І. ШПАНЬКО
Криворізький національний університет

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯМ СТАЦІОНАРНИХ УСТАНОВОК ШАХТ

Запропоновано для впровадження на шахтах криворізького залізорудного басейну типову інтелектуальну систему управління електроспоживанням стаціонарних установок. Прогнозування витрат електроенергії активної та реактивної потужностей, розпізнавання виробничих ситуацій та випереджене керування оптимальними режимами роботи стаціонарних установок виконано за допомогою штучних нейронних мереж. Обґрунтовано доцільність використання робастних алгоритмів прогнозування довгострокових витрат електроенергії стаціонарними установками шахт ПАТ «КРИВБАСЗАЛІЗРУДКОМ». Використано інтерактивні механізми управління режимами електроспоживання підприємства з підземним видобутком аглоруди, які забезпечують координацію функцій динамічної експертної системи та енергодиспетчера щодо розв'язання задач електроспоживання у відповідності з технологічними ситуаціями, що виникають на СУ шахт.

Ключові слова: електроспоживання, прогнозування, система управління, робастні алгоритми, стаціонарні установки шахт.

V.P. KHOROLSKYI, M.I. SHPANKO
National University of Kryvyi Rih, Ukraine

INTELLECTUAL CONTROL SYSTEM POWER CONSUMPTION STATIONARY MINES

Abstract - An introduction to the mines Kryvbas typical smart power consumption management fixed installations. Forecasting electricity consumption of active and reactive power, recognition, work situations and forwarded optimal control modes stationary made using artificial neural networks. The expediency of using robust algorithms for predicting long-term costs of electricity Stationary mines PJSC "KRYVBASZALIZRUDKOM". Used integrative power consumption mode control enterprises with underground mining of sintering ore, providing coordination functions of the expert system and dynamic power operator on solving the problems of power consumption in line with technological situations arising at SU mines.

Keywords: power, forecasting, management system, robust algorithms Stationary mines.

Вступ

У процесі проектування інтелектуальних систем управління електроспоживанням (ІСУЕ) стаціонарних установок (СУ) шахт (головними водовідливними установками (ГВУ), вентиляційними установками (ВУ), компресорними станціями (КС)) виникає необхідність врахування невизначеності при прогнозуванні витрат електрики, спираючись не на кількість і потужність цих установок (приймачів електроенергії), а на заданий об'єм виробленої ними технологічної продукції чи виконаної корисної роботи (перекачаної води, стисненого повітря, свіжого повітря) [1]. Відомі розробки систем управління електроспоживанням підприємств, в яких за допомогою ІСУЕ в режимі дружного інтерфейсу оператор (енергодиспетчер) через інтерфейс користувача , одержує детальну інформацію про стан електроустановок , технологічних параметрів, температурних режимів електроприводів з використанням мережевих моделей-фреймів, тобто структури даних призначених для уявлення про об'єкт електроспоживання деякої стандартної ситуації [2]. З іншого боку енергоменеджерам потрібна інформація про електроспоживання установок шахт за довгостроковий період (наприклад прогноз місячного електроспоживання на один рік вперед) з точки зору прийняття управлінських рішень, щодо планування виробничих процесів та режимів роботи шахти і підприємства в цілому. Таким чином, виникає актуальна задача розробки інтелектуальних систем управління електроспоживанням СУ шахт в умовах невизначеності з прогнозом параметрів (витрат електроенергії, шахтної води, стисненого повітря, свіжого повітря, продуктивності скіпового підйому тощо) та випередженого керування ними.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Дослідженню проблеми теорії і практики управління процесами електроспоживання підприємствами присвячені наукові праці Б.І. Кудріна [2], В.Є. Шестеренко [3], Г.Г. Півняка [4], електрокерування приводами СУ шахт В.М. Чермалиха, В.В. Каневського, Д.Й. Родькіна [5] та інших. У той же час, з метою впровадження ідеології інтелектуального робототехнологічного управління СУ шахт необхідні нові дослідження щодо побудови самоорганізуючих багатоагентних систем управління електроспоживанням з використанням моніторингу витрат технологічних чинників з прогнозуванням витрат електрики у темпі з процесом [6]. Тому метою статті є дослідження алгоритмів прогнозування витрат електрики, її якості в інтелектуальній системі управління стаціонарними установками шахти та прийняття управлінських рішень щодо ефективності електроспоживання в періоди обмеження потужності енергосистеми.

Виклад основного матеріалу. Інтелектуальне гірничорудне підприємство 20–30 років нашого століття з підземними технологіями видобутку аглоруди та її дозбагаченням представляє собою автоматизоване виробництво з ефективним енергоменеджментом електропостачання та інтелектуального управління стаціонарними установками шахт. Аналіз електроспоживання головними водовідливними установками, компресорними станціями, вентиляційними установками, скіповими підйомними установками та дробарно-сортувальними фабриками ПАТ «КРИВБАСЗІЗРУДКОМ» за 2014 показав, що в якості їх

електроприводів використовують високовольтні синхронні та асинхронні двигуни змінного струму та двигуни постійного струму (підйомні машини). На рис. 1 наведена діаграма електроспоживання однієї із шахт підприємства за технологічними чинниками виробництва продукції, з якої слідує, що до найбільш високого рівня електроспоживання віднесені скіпові підйомні, вентиляційні та водовідливні установки. Характерною особливістю стратегічного розвитку технологій підземного виробництва аглоруди до 2030 року є збільшення глибини шахт до 1500–1600 м. Успішне освоєння глибинних горизонтів пов'язане не лише з впровадженням автоматизованих (робототехнологічних) комплексів видобутку, транспортування аглоруди та їх енергопостачання, але і забезпеченістю дільниць шахт електрикою, стисненим повітрям, шахтною атмосферою зі заданими мікрокліматичними умовами праці на робочих місцях.

Рис. 1. Діаграма електроспоживання за технологічними напрямками шахти ПАТ «КРИВБАСЗАЛІЗРУДКОМ» березня місяця 2015 р.

Останні чинники повинні відповідати міжнародним стандартам: ISO-9000, ISO 28000, ISO 27000, ISO 50001, ISO-14000, менеджменту стандартів промислової безпеки OHSAS 18000, а відповідно системи інтелектуального управління повинні забезпечити ефективні режими роботи СУ шахт.

На рис. 2 наведена система інтелектуального управління електропостачанням СУ шахт та її дільниць. Живлення підземних споживачів електроенергією здійснюється від ГПП напругою 6 кВ за двома вводами [3] та з РП до 1 кВ та напругою 220/380, 660 В.

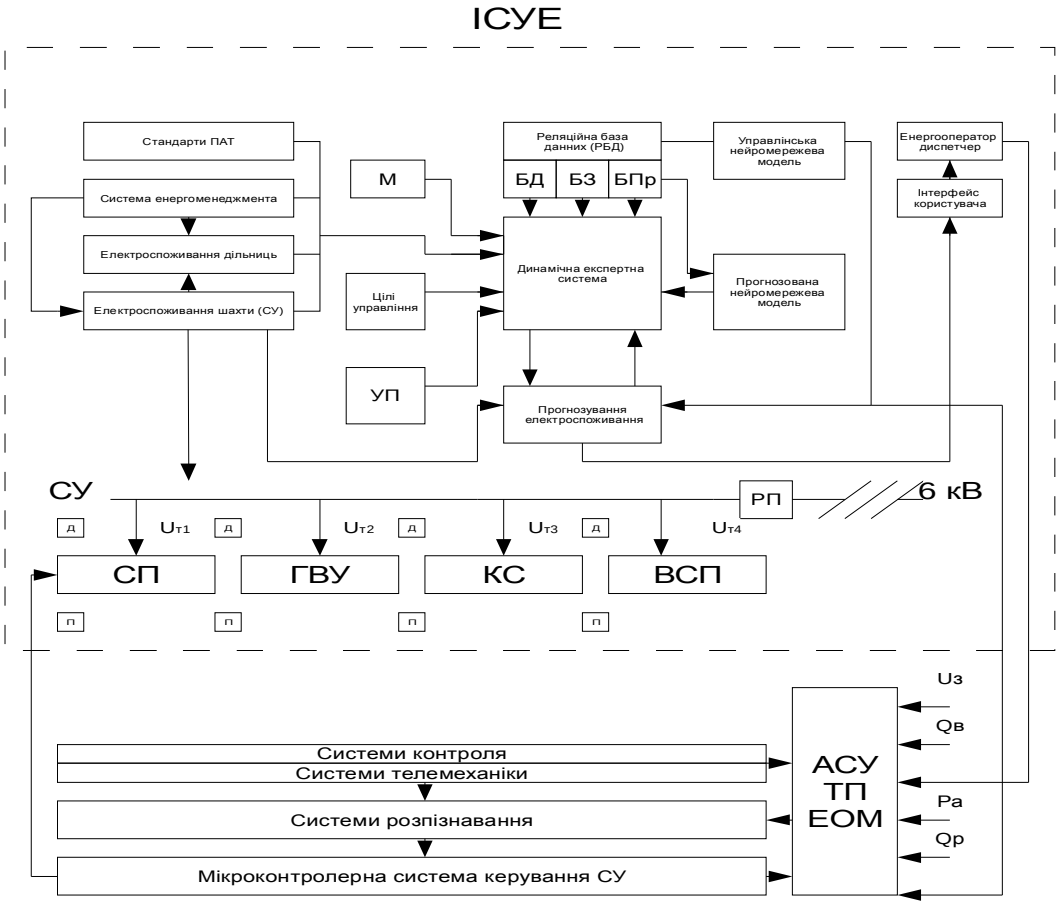


Рис. 2. Функціональна схема інтелектуальної системи управління електроспоживанням
СУ – стаціонарні установки; Д – датчики; СП – скіповий підйом; ГВУ – головні водовідливні установки; КС – компресорні станції; ВСП – вентиляційні системи провітрювання; М – мотивація; УП – управління персоналом; БД – база даних; БЗ – база знань; БПр – база правил; РП – розподільчий пункт; П – перетворювачі

Головним завданням ІСУЕ і автоматизованих систем управління технологічними процесами (АСУТП) є:

- забезпечення виробництва аглоруди заданої якості і одержання прибутку;
- мотивація управлінського персоналу до економії енергоресурсів і виконання цілей публічного акціонерного товариства (ПАТ), його місії щодо постійного підвищення якості життя персоналу, зменшення електроспоживання на 20–30%;
- на стратегічному періоді до 2020 року виконати впровадження міжнародних стандартів у

виробництво та захист екологічного середовища.

Такий багатокритеріальний підхід до управління електроспоживанням шахти, її дільниць і СУ спонукає до використання сучасної парадигми управління – інтелектуального актогенеза [7]. У таких системах дискретність управління і прогноз є невід'ємними властивостями найпростішого «інтелекту» АСУТП стаціонарних установок і систем управління електроспоживанням, що досягається за рахунок реляційних баз даних (РБД), бази знань (БЗ), бази правил (БПр), динамічної експертної системи і систем прогнозування, виконаних за допомогою нейромережевих моделей та робастних довгострокових моделей витрат електрики і параметрів, які характеризують продуктивність шахти, питомі витрати електрики, P_{max}, $P_{ном}$, Q_{max}, $Q_{ном}$ тощо. Крім цього на кожній із СУ установлені системи контролю параметрів (датчики Д), що визначають їх виробничі показники, стан та роботоспроможність, витрати електроенергії, потужності, напруги $u_{т1}$, $u_{т2,}$ $u_{т3,}$ $u_{т4}$ та інших технологічних змінних необхідних для побудови адаптивних систем керування на базі мікроконтролерів типу SIMATIC 55 95F та розпізнавання технологічних (нормальних, аварійних, після аварійних) ситуацій в системі управління електроспоживанням стаціонарних установок. В якості виконавчих механізмів на кожній із СУ встановлені перетворювачі П, якими управляють мікроконтролери нижнього рівня керування, пов'язаних з управлінськими нейромережевими моделями і центральним персональним комп'ютером (ЕОМ) АСУТП.

В ІСУЕ важливу роль відіграють алгоритми довгострокового прогнозування витрат електроенергії та енергоефективності СУ та інших технологічних змінних, які визначають роботу головних водовідливних установок, компресорних станцій, вентиляційних систем провітрювання та шахтного скіпового підйому. Розглянемо більш детальніше роботу цього алгоритму на прикладі довгострокового прогнозування витрат електроенергії головних водовідливних установок шахт.

Прогнозування витрат електроенергії за допомогою трендів – один із методів статистичного прогнозування, коли тренд, використовують для короткострокових та довгострокових прогнозів [7].

Точність короткострокових прогнозів, які побудовані лише по підібраній кривій тренду, як правило, недостатня для управління складними процесами. При довгостроковому прогнозуванні для одержання адекватного прогнозування необхідно виконання наступних умов:

- часовий інтервал, для якого побудований тренд, достатній для визначення тенденцій;
- аналогічний процес має стійкість і характеризується транспортними запізненнями та квазістаціонарністю;
- не очікується сильних зовнішніх впливів на процес, електроспоживання стаціонарних установок (СУ) шахт.

Тоді, одержання прогнозів, тобто значення процесу, що вивчається, будемо виконувати шляхом підстановки в рівняння тренду $x(t) = tr(t)$та визначення значення незалежної змінної t, яке відповідає періоду упередження τ. Одержуємо точкову оцінку прогнозного показника по рівнянню, яке описує тенденцію електроспоживання стаціонарними установками шахт.

Одержаний прогноз є середньою оцінкою для прогнозного інтервалу часу, тому що тренд характеризує деякий середній рівень в кожний момент часу.

На практиці, як правило, одиночні прогнози виконуються з використанням лінійного тренду:

$$tr_t = a_0 + a_1 t \tag{1}$$

де a_0 та a_1 – коефіцієнти лінійного тренду.

У сучасних технологічних додатках до управління енергоефективністю промислових підприємств гірничо-металургійного комплексу, використання методів прогнозування з оцінкою лінійного тренду по методу найменших квадратів не дає точних результатів. Тому в роботі будемо використовувати ROBUST алгоритми для підвищення точності ідентифікації складних моделей прогнозування. Алгоритми достатньо складні і в їх основу покладені методи ітераційної корекції початкових коефіцієнтів a_0 та a_1, одержаних по методу найменших квадратів.

Розглянемо більш детальніше методику реалізацію ROBUST – алгоритму для прогнозування витрат електроенергії шахтними стаціонарними установками підприємств ГМК.

Нехай задані два вектора значень – незалежний $\bar{y}:\{\overline{y_1}, \overline{y_2}, \dots, \overline{y_n}\}$ та залежний $\bar{x}:\{\overline{x_1}, \overline{x_2}, \dots, \overline{x_n}\}$.

У подальшому будемо визначати початкові значення $\overset{\circ}{a_0}$та $\overset{\circ}{a_1}$ по формулі (2). Вектор $\bar{y}$ перетворюється у двомірну матрицю розмірністю $2 \times n$ наступним чином

$$T = \begin{bmatrix} 1 & \overline{y_1} \\ 1 & \overline{y_2} \\ \dots\dots & \dots \\ \dots\dots & \dots \\ 1 & \overline{y_n} \end{bmatrix} \tag{2}$$

Після чого виконується ***QR*** – перетворення матриці T (обчислення унітарної матриці і верхньої трикутної матриці). В основі такого перетворення прийнято уявлення матриці у вигляді $T = QR$, де ***Q*** – ортогональна матриця (Q^1=Q^T), а ***R***- верхня трикутна матриця.

Відомо декілька методик проведення ***QR*** – перетворень [8], серед них звернемо увагу на методику перетворень Хаусхолдера. Результатами перетворень є матриці $Q\,[2 \times n]$ та $R\,[2 \times 2]$. Даний метод

дозволяє обернути в нуль групу піддіагональних елементів стовбців матриці.

Перетворення вказане вище, виконується з використанням матриці Хаусхолдера та має наступний вигляд:

$$H = E - \frac{2}{\xi^T \xi} \xi \xi T \tag{3}$$

де ξ – випадковий нульовий вектор – стовбець, E – одинична матриця. $\xi\xi^T$ – квадратна матриця того ж розміру.

Зрозуміло, що будь яка матриця такого виду є симетричною і ортогональною. При цьому довільний вибір вектору ξ дає можливість побудувати матрицю, яка відповідає деяким додатковим властивостям і вимогам. Розглянемо випадок, коли необхідно спрямувати в нуль усі елементи будь-якого вектору крім першого, тобто побудувати таку матрицю Хаусхолдера, що:

$$\tilde{a} = Ha, \to a = (a_1, a_2, \dots, a_n)^T, \to \tilde{a} = (\tilde{a_1}, 0, \dots, 0)^T \tag{4}$$

Тоді вектор ξ визначається наступним чином:

$$\xi = a + sign(a_1)\|a\|_2 e_1. \tag{5}$$

де $\|a\|_2 = (\sum_i a_i^2)^{1/2}$ – евклідова норма вектору

$e_1 = (1, 0, \dots, 0)^T$.

Використовуючи описану вище процедуру з метою обчислення піддіагональних елементів кожного із стовбців вихідної матриці, ми можемо одержати зафіксоване число кроків її ***QR*** – розкладання. Розглянемо більш детальніше цю процедуру. Нехай $B_0=T_н$, побудуємо перетворення Хаусхолдера $H_1(B=H_1B_0)$, яке переводе матрицю B_0 у матрицю A_1 з нульовими елементами першого стовпця під головною діагоналлю;

$$B_0 = \begin{bmatrix} b_{11}^0, & b_{12}^0, \dots, b_{1n}^0 \\ b_{21}^0, & b_{22}^0, \dots, b_{2n}^0 \\ \dots\dots\dots\dots\dots\dots \\ b_{n1}^0, & b_{n2}^0, \dots, b_{nn}^0 \end{bmatrix} \to_{H_1} B_1 = \begin{bmatrix} b_{11}^1, & b_{12}^1, \dots, b_{1n}^1 \\ 0, & b_{22}^1, \dots, b_{2n}^1 \\ \dots\dots\dots\dots\dots\dots \\ 0, & b_{n2}^1, \dots, b_{nn}^1 \end{bmatrix} \tag{6}$$

Матриця Хаусхолдера H_1 повинна визначатись по першому стовбцю матриці B_0, тобто в якості вектору α у виразі (5) нами прийнято вектор $(b_{11}^0, b_{12}^0, \dots, b_{1n}^0)^T$.

Тоді компоненти вектору ξ обчисляються наступним чином:

$$\xi_1^1 = b_{11}^0 + sign(b_{11}^0)\left(\sum_{j=1}^n (b_{j1}^0)^2\right)^{1/2}, \tag{7}$$

$$\xi_1^1 = b_{i1}^0, \quad i = \overline{2, \ n}$$

Матриця Хаусхолдера H_1 обчислюється відповідно (3)

$$H_1 = E - \frac{2}{\xi 1^T \xi 1} \xi \xi 1^T \tag{8}$$

На другому кроці розглянутого процесу побудуємо перетворення Хаусхолдера $H_2(B_2=H_2B_1)$, який обнуляє розташовані нижче головної діагоналі елементи другого стовпця матриці B_1.

Якщо взяти в якості вектору a вектор $(b^1_{22}, b^1_{32}, \dots, b^1_{n2})^T$ розмірності $n-1$, то одержимо наступні вирази для компонентів вектору:

$$\xi_1^2 = 0$$

$$\xi_2^2 = b_{22}^1 + sign(b_{22}^1)\left(\sum_{j=2}^n (b_{j2}^1)^2\right)^{\frac{1}{2}}, \tag{9}$$

$$\xi_2 = b_{i1}, \quad i = \overline{3, \ n}$$

Повторюючи процес n-1 раз, одержимо наступне значення розкладання $T = QR$, де

$$Q = (H_{n-1}, H_{n-2}, \dots, H_0)^T = H_1, H_2, \dots, H_{n-1}, R = B_{n-1} \tag{10}$$

Процедура ***QR*** – розкладання багатократно використовується в ***QR*** – алгоритмі обчислення власних значень. Виконаємо наступний ітераційний процес:

$B^o = T$,

$B^o = Q^o R^o$ – виконується QR – розкладання

$B^{(1)} = R^o Q^{(o)}$ – виконується перемноження матриць

……..

$B^{(к)} = Q^{(к)} R^{(к)}$ – розкладання,

$B^{(к)} = R^{(к)} Q^{(к)}$ – перемноження.

Таким чином, кожна ітерація реалізується за два етапи. На першому етапі виконується розкладання матриці $B^{(к)}$ у добуток ортогональної $Q^{(к)}$, верхньої трикутної $R^{(к)}$ матриці, а на другому – одержанні матриці перемножуються у зворотному порядку.

При відсутності у матриці кратних власних значень послідовність $B^{(к)}$ сходиться до верхньої трикутної матриці (у випадку, коли всі власні значення дійсні) або до верхньої квазітрикутної матриці (якщо маємо комплексно спряжені пари власних значень).

Таким чином, кожному дійсному власному значенню буде відповідати стовпець, який наближається

до нуля піддіагональними елементами. В роботі у якості критерію збіжності ітераційного процесу нами використані наступні нерівності:

$$\sum_{i=m+1}^{n}((b_{im}^{(K)})^2)^{1/2} \le \varepsilon \quad (11)$$

При цьому можливі власні значення приймаються рівними діагональному елементу даного стовпця.

Кожній комплексно-спряженій парі відповідає діагональний блок розмірністю 2х2, тобто матриця $B^{(к)}$ має блочно-діагональну структуру.

Принципово те, що елементи цих блоків змінюються від ітерації до ітерації без очевидної закономірності, в той же час, як комплексно-спряжені власні значення, які визначаються кожним блоком, мають тенденцію до збіжності. Цю обставину необхідно враховувати при формуванні критерію виходу із ітераційного процесу. Якщо у процесі ітерацій прослідковується комплексно-спряжені пари власних значень, а відповідному блоку, який утворений елементами ***J***-го і ***(J+1)***-го стовбців $B^{(к)}_{JJ}$, $B^{(к)}_{JJ+1}$, $B^{(к)}_{JJ+2}$, $B^{(к)}_{J+1J+1}$, то незважаючи на значні зміни у процесі ітерацій самих цих елементів, власні значення, що відповідають даному блоку і визначені із рішення квадратного рівняння виду $(B^{(к)}_{JJ} - \lambda^{(к)})\,(B^{(к)}_{J+1J+1} - \lambda^{(к)}) = B^{(к)}_{JJ+1}\,B^{(к)}_{J+1}$, починаючи з деякого ***K***, відрізняються незначно. У якості закінчення ітерацій для таких блоків можуть бути використані наступні умови:

$$|\lambda^{(к)} - \lambda^{(к-1)}| \le \xi \quad (12)$$

Недоліком алгоритму який розробляється є значне число операцій (пропорційно n^3, де ***n*** – розмірність матриці), необхідних для ***QR***– факторизація матриці на кожній ітерації. Ефективність ***QR*** – алгоритму можливо підвищити, якщо попередньо за допомогою перетворення подібності привести матрицю до верхньої Хессенбергової форми. При цьому проводиться наступна операція:

$$B^{(0)} = H^{T}BH \quad (13)$$

де $B^{(0)}$ – матриця Хессенберга, яка має наступну структуру:

$$\begin{bmatrix} x & x & x & \dots & x & x \\ x & x & x & \dots & x & x \\ 0 & x & x & \dots & x & x \\ 0 & 0 & x & \dots & x & x \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & x & x \end{bmatrix}, \quad (14)$$

де ***x*** – чинник, який позначає не нульові елементи.

У нашому випадку принциповим є те, що у подальшому, в процесі ***QR*** – ітерацій, матриці $B^{(к)}$ зберігають верхню Хессенбергову форму, що дозволяє більш економніше проводити їх ***QR*** – розкладання.

Після визначення матриць ***Q*[2xn]** та ***R*[2x2]** у ROBUST – алгоритмі слідує наступне визначення початкового коригуючого вектору:

$$[E] = [T]/[R]$$
$$[H] = [E]\text{x}[E]\ , \quad (15)$$

Одержана матриця **[*H*]** має розмірність [2 x n]. Вектор $\{h\}$обчислюється наступним чином:

$$\{h\} = \begin{bmatrix} H_{1j} + H_{11} \\ H_{2j} + H_{22} \\ \dots\dots\dots\dots \\ H_{nj} + H_{n2} \end{bmatrix}$$

Усі елементи вектору $\{h\}$порівнюються зі значенням 0,999. Ті елементи, які більше 0,999, замінюються на 0,999, а які менше – залишаються без зміни.

Заключним етапом визначення початкового корегуючого вектору $\{b\}$є наступне перетворення

$$\{b_i\} = \frac{1}{\sqrt{1-h_i}}$$

У подальшому циклічне обчислення скорегованих коефіцієнтів a_0 і a_1 виконується по наступному алгоритму:

а) обчислюється вектор помилок тренду

$$\{r\} = \{x\} - \{T\} \cdot \{a\},$$

де $\{a\} = \begin{Bmatrix} a_0 \\ a_1 \end{Bmatrix}$; на першому кроці $\{a\} = \begin{Bmatrix} a_0 \\ \vdots \\ a_0 \end{Bmatrix}$;

б) вектор помилок помножується на початковий корегуючий вектор:

$$\{r*\} = \{r\}\text{x}\{B\};$$

в) визначається m – медіана у векторі $\{r\}$;

г) визначається вектор rs, як $rsi = abs\,(ri - m)$, де $i = 1, \dots, n$; виконується сортування значень у векторі $\{rs\}$, для значень від 2 до **n**. Потім **S** поділяємо на коефіцієнт 0,6745;

д) обчислюється проміжний вектор $\{Z\}$ як $\{Z\} = \{B\}/(2{,}38\,S)$;

е) обчислюється вектор $\{Wi\} = 1/(1 + Z2i)$.

і) обчислюється заключний корегуючий вектор: $\{KI\} = \sqrt{w_i}$,

к) обчислюється скориговані параметри

$\{\overline{x_w}\}, \{T_w\}$

$\{\overline{x_w}\} = \{x\}^*\{k\},$

$T_{wij} = [T_{wij}]^*\{k\};$

н) нові коефіцієнти a_0 і a_1 обчислюються із системи лінійних рівнянь: $\{\overline{x_w}\} = \{T_w\}\{a\}$.

Описана процедура виконується до тих пір, поки подальші ітерації не принесуть змін $\{a\}$.

На рис. 3 наведений часовий ряд, який має інформацію про річне споживання електроенергії головною водовідливною установкою шахти ПАТ «КРИВБАСЗАЛІЗРУДКОМ», а також тренд побудований за алгоритмом, розробленому авторами. Із рис. 3 видно, що робастний алгоритм визначення тренду більш точніше віддзеркалює тенденцію до зростання споживання електроенергії стаціонарними установками в період обмеження потужності енергосистеми.

Рис. 3. Графік електроспоживання та його статистична обробка

Оперативне управління режимами електроспоживання СУ шахт по критерію мінімізації витрат електрики в період пік, напівпік, ніч на основі синтезу робастних алгоритмів прогнозування витрат електрики та нейромережевих систем оцінки її якості, напруги u_T, реактивної потужності $\mathbf{Q_p}$, активної потужності $\mathbf{P_a}$ стаціонарних установок та технологічних чинників (притоку та рівня води в зумпфах шахти, відхилення тиску повітря від заданих значень, стану рудникової атмосфери, продуктивності скіпового підйому) виконано за допомогою динамічної експертної системи і диспетчерського інтерфейсу на основі принципу адаптивного діалогового управління. Технологічні процеси, при нечіткій вихідній інформації одержаної від датчиків Д, встановлених по кожній із СУ і систем телемеханіки, виконаних на базі SCADA-систем, класифікуються за допомогою системи розпізнавання образів шляхом визначення нормального, аномального, аварійного, після аварійного режимів роботи СУ. Використані в АСУТП алгоритми випередженого управління дозволяють розробити комплекс заходів, які забезпечують ефективне електропостачання СУ шахти у періоди обмеження енергосистеми шляхом розпізнавання нормальних, аномальних, аварійних, після аварійних технологічних ситуацій. При цьому ЕОМ для кожної із ситуацій за допомогою нейромережевих алгоритмів оперативно визначає електричне навантаження СУ щодо активних та реактивних параметрів та підтримує напругу в їх вузлах в межах встановлених норм. Крім цього в ІСУЕ побудовані людино-машині процедури рішення взаємозв'язаного комплексу задач автоматизованого управління режимами електроспоживання стаціонарних установок шахти, що забезпечує своєчасне прийняття ефективних управлінських рішень.

Висновки

На основі алгоритмів прогнозування витрат електрики та технологічних чинників в періоди пік, напівпік, ніч навантаження енергосистеми запропоновано інтелектуальну систему управління електроспоживанням стаціонарних установок шахт. В динамічній системі ІСУЕ використані інтерактивні механізми управління режимами електроспоживання підприємства з підземним видобутком аглоруди, що забезпечує координацію функцій які виконує ЕОМ щодо рішення задач електроспоживання у відповідності з технологічними ситуаціями, що виникають на СУ шахти. Розроблений підхід забезпечує необхідну точність і оперативність для прийняття ефективних рішень щодо управління режимами електроспоживання стаціонарних установок, що дозволяє енергодиспетчеру більш ефективно реагувати на зміни параметрів $\mathbf{u_{T1}}$, $\mathbf{u_{T2}}$, $\mathbf{u_{T3}}$, $\mathbf{u_{T4}}$, $\mathbf{u_з}$, $\mathbf{Q_в}$, $\mathbf{P_a}$, $\mathbf{Q_p}$ та одержувати за допомогою динамічної експертної системи оптимальні значення цих параметрів.

Література

1. Хорольський В.П. Інтегроване інтелектуальне управління технологічними процесами в економічних системах корпоративних підприємств гірничо-металургійного комплексу : монографія / В.П. Хорольський ; під редакцією В.П. Хорольського. – Дніпропетровськ : Січ, 2008. – 448 с.

2. Кудрин Б.И. Организация, построение и управление элекрическим хозяйством промышленных предприятий на основе теории больших систем / Кудрин Б.И. – М. : Центр системных исследований, 2002. – 368 с.

3. Шестеренко В.Є. Системи електроспоживання та електропостачання промислових підприємств:підручник для вузів / В.Є. Шестеренко. – Вінниця : Нова книга, 2004. – 656 с.

4. Електрофікація гірничого виробництва : підручник для вузів / за редакцією Л.О. Пучкова, Г.Г. Півняка. – Дніпропетровськ, 2010. – 350 с.

5. Чермалых В.М. Системы электропривода и автоматики рудничних стационарных машин и установок / В.М.Чермалых, Д.И.Родькин, В.В.Каневский. – М. : Недра, 1976. – 399 с.

6. Хорольський В.П. Принципи побудови самоорганізуючих систем управління електроспоживанням головних водовідливних установок шахт / В.П. Хорольський, М.І. Шпанько // Вісник Хмельницького національного університету. – 2015. – № 3. – С. 238–243.

7. Методи современной теории автоматического управления : учебник / под ред. К.А. Пупкова, Н.Д. Егупова. – М. : Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 784 с.

8. Шуленко А.Н. Основы иннвационного обеспечения управления качеством с использованием нейронних сетей, генетических алгоритмов и нечеткой логики / А.Н. Шуленко. – Изд-во LamdertAcademac Publising, 2011. – 199 с.

References

1. Khorolskyi V.P. Integrated intelligent process control in economic systems of corporate mining and metallurgical complex: monograph, Under the editorship of V.P. Khorolskyi, Dnipropetrovsk: Sich, 2008. 448 p.

2. Kudrin B.I. Organization, Management and building a elekrycheskym improvement of industrial enterprises based on the theory of big systems, M.: Centre of research systems, 2002. 368 p.

3. Shesterenko V.E. System power consumption and electricity industry: a textbook for high schools, Vinnitsa: New Book, 2004. 656 p.

4. Elektrofikatsiya mining: a textbook for high schools; edited by L.A. Puchkov, .H.H. Pivnyaka, Dnepropetrovsk, 2010. 350 p.

5. V.M. Chermalyh, D.Y. Rodkyn, V.V. Kanevskyy, Systems and automation of electric machines and stationary mine installations, M.: Nedra, 1976. 399 p.

6. V.P. Khorolskyi, M.I. Shpanko, Principles of self-organizing systems management power consumption of the main mine dewatering plants, Herald of Khmelnytskyi National University. 2015, № 3. P. 238-243.

7. Modern methods Automatic management theory: Textbook, Ed. K.A. Umbilical, N.D. Ehupova, M.: Publishing Bauman them B.C. Bauman, 2004. 784 p.

8. A.N. Shulenko, Fundamentals of quality control provision ynnvatsyonnoho s using neural networks, algorithms and henetycheskyh nechetkoy logic, Publisher LamdertAcademac Publising, 2011. 199 p.

Рецензія/Peer review : 9.6.2015 р. Надрукована/Printed : 30.8.2015 р.
Рецензент: д.т.н. Жуков С.О.

УДК 004.021

М.О. ГРАНІК, В.І. МЕСЮРА
Вінницький національний технічний університет

МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ СХОЖОСТІ НОВИННИХ ТЕКСТІВ НА ОСНОВІ СТАТИСТИЧНОЇ МІРИ "TERM FREQUENCY-INVERCE DOCUMENT FREQUENCY"

Метою роботи є розробка методу визначення схожості новинних текстів. У роботі запропоновано метод порівняння схожості новинних текстів на основі статистичної міри "term frequency – inverse document frequency", наведено результати його застосування. Метод може бути використано для кластеризації новинних текстів.

Ключові слова: новини, порівняння новин, tf-idf.

M.O. GRANIK, V.I. MESYURA
Vinnytsia National Technical University

METHOD OF EVALUATING THE SIMILARITY OF THE NEWS ARTICLES BASED ON STATISTICAL MEASURE "TERM FREQUENCY-INVERCE DOCUMENT FREQUENCY"

Abstract – The purpose of the paper is developing of the method of evaluating the similarity between news articles. This paper suggests the method of comparing the similarity of few news articles based on statistics measure term frequency – inverse document frequency". The results of the software, that implements suggested method, are also in the paper. The method may be used for clusterization of the news articles

Keywords: news, news comparing, tf-idf.

Вступ

Проблема визначення схожості новинних текстів є дуже актуальною проблемою. Отримання числової міри схожості новинних текстів може бути ефективно використана для задачі кластеризації новин. Кластеризація новин, у свою чергу, є важливою практичною проблемою, адже вона може бути використана у агрегаторах новин та у системах оцінювання правдоподібності новинної інформації.

Аналіз існуючих методів визначення схожості текстів довільної тематики

Сучасна наука пропонує декілька шляхів визначення числової міри схожості текстів.

Одним із таких шляхів є визначення косинусного коефіцієнта [1]. Для визначення цього коефіцієнта по кожному із текстів будується відповідний вектор, що містить інформацію про входження слів у кожен із цих текстів (наприклад, кількість цих входжень). Існує можливість порахувати скалярний добуток цих векторів двома способами (шляхом обрахунку суми добутку відповідних координат векторів, а також добутку довжин векторів на косинус кута між ними), і відповідним чином знайти косинус кута між ними. Так як описані вище вектори містять лише невід'ємні елементи, значення косинусу знаходиться у межах [0; 1]. Чим ближчим є отримане значення до 0, тим більш схожими є вектори і відповідні ним тексти.

Ще один шлях визначення схожості текстів – обрахування коефіцієнту Жаккара [2]. У відповідність кожному із текстів ставиться множина слів даного тексту. Коефіцієнт Жаккара визначається як частка від ділення потужності множини перетину двох отриманих множин на потужність множини об'єднання даних множин. Чим ближчим до одиниці є значення коефіцієнту Жаккара, тим більш схожими вважаються тексти.

Доволі схожим чином обраховується коефіцієнт Соренсена [2]. Аналогічно до методу Жакара, у відповідність кожному із текстів ставиться множина слів даного тексту. Значення коефіцієнту Соренсена рівне частці від ділення перетину двох отриманих множин на потужність мультимножини, що складається з двох даних множин (таким чином, при об'єднанні множин слів текстів кожне слово входить у мультимножину стільки раз, скільки воно зустрілось в обох множинах).

Також для обрахунку схожості двох текстів можуть бути застосовані коефіцієнт Сімпсона, коефіцієнт Браун-Бланке, коефіцієнт Кульчинського [2].

Недоліками перерахованих методів є те, що вони створювались для порівняння двох довільних текстів, в той час як тексти, що містять новинну інформацію, мають деякі суттєві особливості. Одна із найсуттєвіших особливостей (у порівнянні із, наприклад, художніми текстами) – часто заголовок однозначно визначає тему усього новинного тексту, адже це дозволяє привернути увагу читача до конкретної події, а також дозволяє читачам швидко орієнтуватись у великому обсязі новинної інформації. Метою роботи є розробка методу, що використовує таку важливу особливість.

Опис методу визначення схожості новинних текстів на основі статистичної міри tf-idf

Статистична міра *tf-idf*, на відміну від двох описаних вище методів, працює із набором (далі – корпусом) текстів [3]. Для того, щоб визначити, наскільки схожим є один із текстів на решту текстів із корпусу, для кожної пари «слово поточного тексту – текст, із яким відбувається порівняння» рахується частота входження слова у даний текст (term frequency, далі – *tf*). Також для кожного слова поточного тексту обраховується так звана зворотна частота документу (inverse document frequency, далі – *idf*). Формули для обрахунку цих двох величин виглядають наступним чином:

$$tf\left(t,d\right)=\frac{n_i}{\sum_k n_k} \quad (1)$$

$$idf\left(t,D\right)=log\frac{|D|}{|(d\supset t)|} \quad (2)$$

де t – поточне слово, d – поточний документ, n_i – кількість входжень поточного слова у поточний документ, D – корпус документів.

Як вже зазначалось, однією із найважливіших частин новинного тексту є його заголовок. Тому пропонується наступний метод визначення схожості деякого новинного тексту (далі – еталонного тексту) на інші тексти у даному корпусі:

1) Розглянути кожне слово із заголовку еталонного тексту.

2) Порахувати для кожного слова модифіковане значення $idf\left(t,D\right)$

3) Для кожного фіксованого слова розглянути всі документи корпусу, окрім еталонного. Розрахувати для кожної пари «слово-текст» модифіковане значення $tf\left(t,d\right)$.

4) До значення схожості даного тексту на еталонний додати величину $tf\left(t,d\right)$

Модифіковані значення $tf\left(t,d\right)$ та $idf\left(t,D\right)$ обраховуються із врахуванням важливості заголовку новин. Модифікована формула для обрахунку $tf\left(t,d\right)$ має наступний вигляд:

$$tf\left(t,d\right)=\frac{tn_i}{\sum_k n_k}, \quad (1),$$

де $t=c1\left(c1>1\right)$ якщо поточне слово входить до заголовку даного тексту; інакше $k=1$

Модифікована формула для обрахунку $idf\left(t,D\right)$ має наступний вигляд:

$$idf\left(t,D\right)=log\frac{\sum_{d_k\in D} q_i}{\sum_{d_k\in D, d_i\supset t} q_i}, \quad (2),$$

де $q_i=c2\ (c2>1)$ якщо поточне слово входить у заголовок даного тексту, інакше $q_i=1$. Застосування саме таких формул дозволяє надавати більшу вагу входженню слів до заголовку тексту. Регулювати цю вагу можна шляхом зміни коефіцієнтів $c1$ та $c2$. Питання знаходження оптимальних значень вищезазначених коефіцієнтів є нетривіальною задачею і може бути темою окремого дослідження. Перспективним напрямком у такому дослідженні можуть стати застосування інтелектуальних алгоритмів (генетичний алгоритм, алгоритм імітації відпалу, різноманітні ройові алгоритми тощо), а також перебору із відсіканнями.

Алгоритм визначення схожості новинних текстів на основі розробленого методу

На основі розробленого методу розроблено алгоритм визначення схожості новинних текстів, а також проведено його програмну реалізацію. Алгоритм має наступний вигляд:

1) Проведення операції стемінгу [4] над усіма текстами корпусу.

2) Вилучення із всіх текстів корпусу стоп-слів [5].

3) Обрахування для кожного тексту із корпусу (окрім еталонного) значення схожості даного тексту на еталонний. Для цього використовується описаний вище метод визначення схожості новинних текстів на основі статистичної міри *tf-idf*.

Стемінг – операція скорочення слів шляхом видалення із них неважливих частин, таких як префікс, суфікс чи закінчення (проте вважати, що в результаті застосування операції стемінгу кожне слово замінюється на його корінь, некоректно). Застосування алгоритмів стемінгу є поширеним у пошукових системах. Очевидно, що для порівняння текстів на схожість операція стемінгу також є надзвичайно важливою, адже вона дозволяє вважати різні форми одного і того ж самого слова (наприклад, слова у різних відмінках, числах тощо) одним і тим самим словом, що, у свою чергу, дозволяє отримати більш точну оцінку схожості текстів (в тому числі і новинних).

Стоп-слова (або шумові слова) – це такі слова у тексті, що не несуть змістовного навантаження. Під стоп словами зазвичай мають на увазі прийменники, частки, деякі інші окремі слова інших частин мови. Використання стоп-слів також часто застосовується у пошукових систем, однак їх використання є корисним для визначення схожості текстів. Так як стоп-слова не несуть змістовного навантаження, їх врахування при обрахунку схожості текстів можуть суттєво спотворювати отримані результати.

Для реалізації програмного продукту було використано такі значення коефіцієнтів:

$c1 = 1.2, c2 = 1.3$.

Для тестування було використано корпус із 30 новинних текстів (з урахуванням еталонного). 9 новин цього тексту освітлювали ту ж саму подію, що і еталонний, решта – довільну іншу тему. Графічне зображення отриманих результатів наведено на рисунку 1:

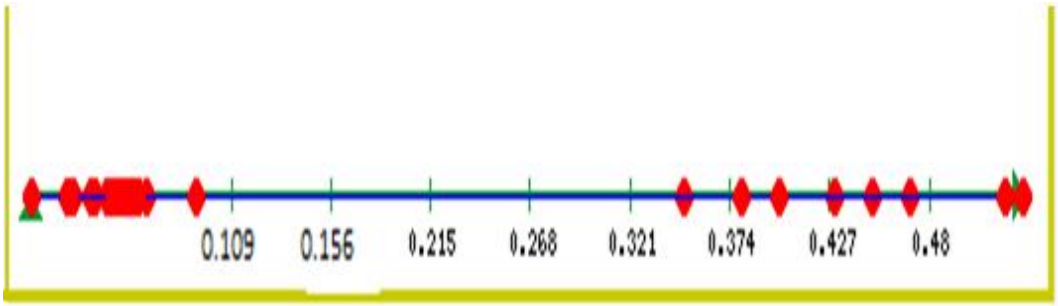


Рис. 1. Графічне зображення отриманих результатів

Можна побачити, що точки природнім чином розбились на два кластери, причому до складу кластеру, що знаходиться у правій частині малюнку, входять точки, що відповідають новинам, що описують ту ж саму подію, що й еталонна новина. Отже, можна зробити висновок, що розроблений алгоритм коректно оброблює вхідні тексти.

Висновки

Розроблено метод визначення схожості новинних текстів на основі статистичної міри *tf-idf*. Метод використовує важливість інформації, що подається у заголовку новинного тексту. На основі даного методу розроблено та реалізовано відповідний алгоритм. Отримані результати засвідчують коректність розробленого методу.

Розроблений метод може бути вдосконалено шляхом визначення оптимальних значень коефіцієнтів $c1$ та $c2$. Знаходження таких значень є складною задачею.

Література

1. Singhal Amit, Modern Information Retrieval: A Brief Overview, Bulletin of the IEEE Computer Society Technical Committee on Data Engineering 24 (4), P. 35–43.

2. Data Mining, University of Utah. URL: http://www.cs.utah.edu/~jeffp/teaching/cs5955/L4-Jaccard+Shingle.pdf

3. Karen Sparck Jones, A statistical interpretation of term specificity and its application in retrieval, Journal of Documentation, V 60, P. 493–502.

4. Lovins, Julie Beth, Development of a Stemming Algorithm, Mechanical Translation and Computational Linguistics 11, P. 22–31.

5. Text Mining, Analytics & More, All About Stop Words for Text Mining and Information Retrieval. URL: http://www.text-analytics101.com/2014/10/all-about-stop-words-for-text-mining.html

References

1. Singhal Amit, Modern Information Retrieval: A Brief Overview, Bulletin of the IEEE Computer Society Technical Committee on Data Engineering 24 (4), P. 35–43.

2. Data Mining, University of Utah. URL: http://www.cs.utah.edu/~jeffp/teaching/cs5955/L4-Jaccard+Shingle.pdf

3. Karen Sparck Jones, A statistical interpretation of term specificity and its application in retrieval, Journal of Documentation, V 60, P. 493–502.

4. Lovins, Julie Beth, Development of a Stemming Algorithm, Mechanical Translation and Computational Linguistics 11, P. 22–31.

5. Text Mining, Analytics & More, All About Stop Words for Text Mining and Information Retrieval. URL: http://www.text-analytics101.com/2014/10/all-about-stop-words-for-text-mining.html

Рецензія/Peer review : 8.5.2015 р. Надрукована/Printed :31.8.2015 р.
Рецензент: д.т.н., проф., Перевозніков С. І.

УДК 004.021

О.О. МОРФІЯНЕЦЬ, В. І. МЕСЮРА
Вінницький національний технічний університет

РОЗПІЗНАВАННЯ ВИРАЗУ ОБЛИЧЧЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ГЛИБОКОГО НАВЧАННЯ

Приведено актуальність дослідження розпізнавання виразу обличчя, проаналізовано популярні методи розв'язання задачі, обґрунтовано вектор досліджень та його перспективність.
Ключові слова: розпізнавання виразу обличчя, глибоке навчання.

O.O. MORFIYANEC, V.I. MESYURA
Vinnytsia National Technical University

FACIAL EXPRESSION RECOGNITION USING DEEP LEARNING

Abstract — Paper provides the arguments for the relevance of the facial expression recognition problem, and for the relevance and fruitfulness of applying deep learning to this particular problem. The purpose of the research is to increase the facial expression recognition precision using deep learning. The paper is focused on the problem of facial expression recognition, which might be used for predicting future human behaviour. Such expressions are hard to notice, but are very useful in psychology, investigation, etc. Hence, the automated system for facial expression recognition is reasonable. Authors provide key approaches to the problem, and emphasize their bad precision. Also, the deep learning methods are analyzed, their success and novelty are the basis for their fruitfulness for this particular problem.

In conclusion, the paper confirms the fruitfulness of the deep learning approach for the facial expression recognition problem, taking into consideration the novelty of the approach, the increase of the computing power, and parallel computations development on graphical processing units.
Keywords: facial expression recognition, deep learning.

Вступ

Короткі мимовільні вирази обличчя, що виникають на обличчі людини можуть слугувати ознакою обману при невідповідності до слів чи макровиразів або індикаторами майбутньої поведінки людини [1]. Вони характеризуються малою тривалістю до п'ятої частини секунди, тому недосвідченою людиною залишаються зазвичай непоміченими [2]. Тому доцільно автоматично розпізнавати вираз обличчя, що дозволить ідентифікувати основні вирази обличчя навіть при спостереженні за великою кількістю людей одночасно. Доцільно використовувати розпізнавання виразу обличчя в області психології, наприклад, для визначення підозрілих людей у місцях скупчення людей, у слідчій практиці для визначення обману зі сторони підозрюваного.

Актуальність теми дослідження

В сучасному науковому суспільстві в останні декілька років набули популярності алгоритми глибокого навчання. Нещодавні досягнення у підвищенні їх ефективності в області машинного навчання вказують на можливості створення інформаційної технології розпізнавання виразу обличчя з використанням глибокого навчання та підвищення точності розпізнавання виразу обличчя. Враховуючи новизну області можна стверджувати про можливість значного покращення точності розпізнавання виразу обличчя при використанні глибокого навчання [3].

Ключовими в області глибокого навчання є роботи професора Ендрю Нг та його дослідження у проекті «Гугл брейн»: вперше були застосовані широкомасштабні глибокі нейронні мережі на 16000 процесорних ядрах [4].

Метою дослідження є підвищення точності розпізнавання виразу обличчя з використанням глибокого навчання.

Використання нейронних мереж для розпізнавання виразу обличчя

Нейронні мережі мають великий потенціал у задачах розпізнавання, і зокрема в задачі розпізнавання виразу обличчя. Звичайні нейронні мережі складаються з вхідного, вихідного та одного або декількох прихованих шарів. В 1994 Марком Розенблумом і Язер Якобом з Мерілендського університету була представлена система, що базувалася на нейромережах прямого розповсюдження з радіально-базисною функцією активації [5]. Ця система розпізнавала шість виразів обличчя із загальною точністю у 73% на тестових даних. Основними недоліками цієї системи були низька точність розпізнавання та збої при інтерпретації емоцій, коли значення на виходах мереж були досить близькі або рівні.

Наступним суттєвим досягненням в області розпізнавання виразу обличчя була розробка Джу-Леонг Чанга і Джиа-Лі Чен з Національного університету Чиао Тунга, що була опублікована в 2001 році [6]. Чанга і Чен надихнула система FACS розроблена Екманом і на її основі ними була запропонована парадигма нейромережі прямого розповсюдження з радіально-базисною функцією активації, що використовувала 6 активних одиниць із 46 представлених у FACS. Дана мережа може класифікувати 3 вирази – радість, гнів, а також нейтральний стан людини. Точність розпізнавання такої мережі склала в середньому 87% [7].

Основним недоліком такого підходу є те що така система може класифікувати лише 3 емоції. Тим не менше не дивлячись на те, що система могла бути вдосконалена, вона не отримала подальшого розвитку.

У 2008 році було для розпізнавання виразу обличчя людини було використано квантові нейромережі [8]. Вони не потребували складної передобробки даних і показали значне зменшення помилки на тренувальних даних, точність розпізнавання складала 96.5% порівняно зі звичайною нейромережею прямого розповсюдження (89.9%) на базі даних JAFFE (Japanese Female Facial Expression Database). Однак перевірки роботи системи на тестових (небачених системою під час тренування) даних зроблено не було.

Використання глибокого навчання для розпізнавання виразу обличчя

Глибоке навчання — це галузь машинного навчання, основана на наборі алгоритмів, які намагаються моделювати високорівневі абстракції в даних. Часто використовую моделі нейронних мереж з великою кількістю прихованих шарів. Шари в такій моделі відповідають різним рівням концептуалізації, де концепції (ознаки, функції, представлення) більш високого рівня визначаються з концепцій більш низького рівня. Таким чином, одні й ті самі концепції низького рівня допомагають визначити багато високорівневих концепцій [8]. Глибоке навчання базується на розподілених інтерпретаціях, припускаючи, що спостережувані дані були створені комбінацією багатьох факторів, не всі з яких відомі спостерігачу, тому інформація про певний фактор, отримана з деяких конфігурацій інших факторів, часто може узагальнюватись до інших, невідомих конфігурацій факторів. Глибоке навчання додає до розподілених інтерпретацій припущення, що ці фактори мають багаторівневу організацію у відповідності до різних рівнів абстракції або складу об'єкту і високорівневі представлення отримуються шляхом перетворення та комбінування низькорівневих.

До моделей глибокого навчання можна віднести згорточні нейронні мережі, глибокі мережі довіри, звичайні багатошарові нейромережі прямого розповсюдження та ін. Приклад схеми багатошарової нейронної мережі прямого розповсюдження наведено на рисунку 1.

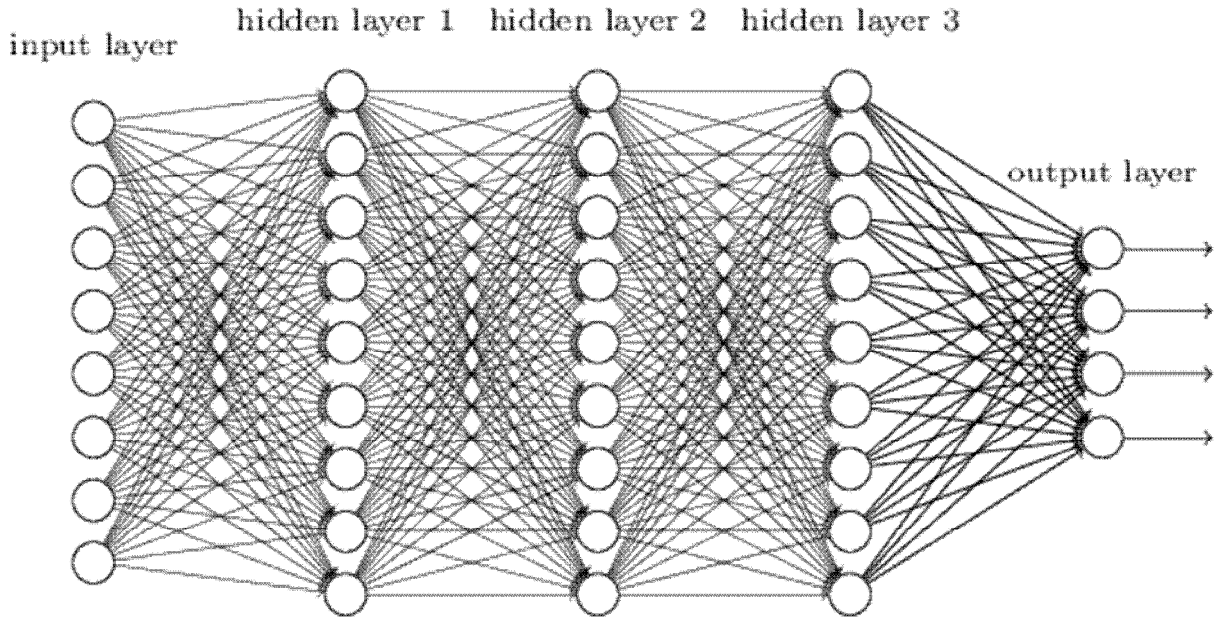


Рис. 1. Приклад схеми багатошарової нейронної мережі прямого розповсюдження

В 2008 році, Бітом Фейзелем була запропонована архітектура згорточної нейронної мережі що складається з 5-ти шарів, 2 з яких – шари підвибірки і 2 – згорточні шари [9]. Така архітектура дозволила значно знизити навантаження на модуль попередньої обробки і не використовувати особливих алгоритмів для попередньої обробки. Дана система досить ефективно розпізнає вирази обличчя людини і проводить розпізнавання з досить великою швидкістю. Тим не менше для підвищення швидкодії було прийнято рішення зменшити кількість нейронів і зв'язків між ними, зберігаючи архітектуру запропоновану Фейзелем. Шари згортки виконують двовимірну згортку зі зміщенням областей зображення, що перекриваються, в той час як шари підвибірки виділяють максимальне значення в областях зображення, що не перекриваються, і передають його до наступного шару згортки. Навчання ваг шарів згортки дозволяє виділення ознак, що залежать від наявних вхідних даних, тоді як шари підвибірки збільшують інваріантність об'єктів, що залежать від місця, що нас цікавить, та зменшують розмірність задачі. Розділення ваг (використання одного й того самого набору ваг для кожної оброблюваної області) дозволяє значно зменшити кількість незалежних параметрів, що в свою чергу покращує здатність до узагальнення.

Б.Фейзель дослідив декілька архітектур згорточної нейромережі і виділив вищевказану, за допомогою якої було досягнуто точності розпізнавання у 82.9% на базі даних JAFFE (Japanese Female Facial Expression Database). Основним недоліком такої архітектури є об'ємність обчислень, необхідних при

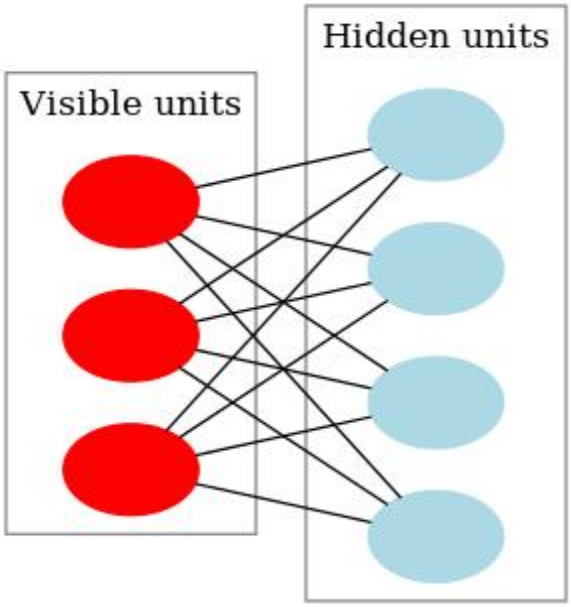


Рис. 2. Узагальнена схема обмежених машин Больцмана

розпізнаванні: хоча кількість параметрів мережі є малою, на кожному кроці згортки необхідно обробляти велику кількість областей зображення, що перекриваються. Слід зазначити, що цей недолік може бути усунений з використанням паралельних обчислень, оскільки кожна така область може бути обробленою одночасно з іншими з використанням однакового набору параметрів. У 2010 році Томом Мак-Лафіним та іншими було використано підхід, що базується на глибоких нейромережах прямого розповсюдження із попереднім тренуванням за допомогою обмежених машин Больцмана [10] — типу нейронних мереж, який отримав значне розповсюдження останнім часом у зв'язку із порівняною легкістю використання, відсутністю потреби у великих об'ємах помічених даних (порівняно з іншими типами нейромереж, такими як згорточні) та нещодавно розробленими ефективними алгоритмами тренування. Узагальнена схема обмежених машин Больцмана наведена на рисунку 2.

Глибокі мережі довіри [11] — генераційні моделі, що складаються з багатьох шарів стохастичних прихованих змінних, що мають зв'язки лише зі змінними наступного та попереднього шару, та одного шару спостережуваних змінних. Узагальнена схема глибоких мереж довіри наведена на рисунку 3.

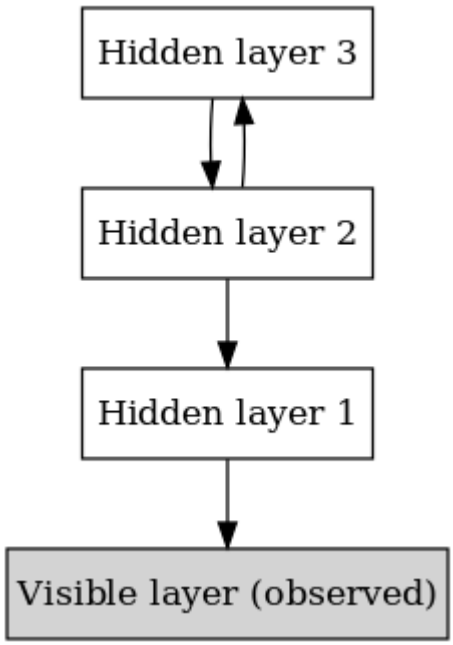


Рис. 3. Узагальнена схема глибоких мереж довіри

Як виявилося, алгоритми тренування глибоких мереж довіри можуть бути використані для попереднього тренування без учителя ваг нейромережі прямого розповсюдження. Їх використання призводить до автоматичного виділення у кожному шарі характерних розподілених ознак вхідних даних з попереднього шару, що є основою розподілених інтерпретацій. Це дозволяє будувати глибокі нейромережі, не зважаючи на проблеми застосування зворотного розповсюдження похибки до глибоких шарів — їх ваги вже будуть коректно ініціалізовані під час переднавчання. В роботі T. McLaughlin було використано бази даних CK+, Yale Face Database та JAFFE. Точність на тестових даних при використанні лише баз даних CK+ та Yale Face Database для розпізнавання семи базових виразів обличчя та нейтрального виразу склала 71%, а при використанні всіх трьох баз даних — 59%. Така низька точність розпізнавання є значним недоліком порівняно з іншими розглянутими методами, однак вона є наслідком недостатньої вивченості подібних моделей, а не їх непридатності до задач розпізнавання. Точність розпізнавання може бути значно покращено, оскільки самі розробники визнають, що технологія внаслідок своєї новизни ще не дійшла до оптимального стану і можуть існувати кращі типи нейронів прихованого шару чи мережевої архітектури, та й сам алгоритм навчання скоріш за все може бути покращено [12].

Висновки

Приведено актуальність дослідження розпізнавання виразу обличчя. Проаналізовано існуючі досягнення в розпізнаванні виразу обличчя за допомогою нейронних мереж. Проаналізовано деякі вдалі підходи до вирішення задачі розпізнавання виразу обличчя за допомогою глибокого навчання. Здійснений аналіз свідчить, що глибоке навчання є перспективним підходом для вирішення поставленої задачі через свою відносну новизну, можливість великої кількості варіацій, а також через підвищення швидкодії комп'ютерів згідно закону Мура, розповсюдження обчислень на нових, потужних графічних модулях, які дозволяють проводити обчислення з високим ступенем паралелізації [13], більшій кількості даних для тренування та тестування розпізнавання виразу обличчя людини.

Література

1. P. Ekman, Emotions Revealed: Recognizing Faces and Feelings to Improve Communication and Emotional Life. Henry Holt and Company, 2003. 336 p.

2. P. Ekman, Telling Lies: Clues to Deceit in the Marketplace, Politics, and Marriage. New York: W. W. Norton & Company, 2009. 416 p.

3. G. Hinton, S. Osindero, Y. Teh, A fast learning algorithm for deep belief nets, Neural Computation. 2006. № 8. P. 1527–1554.

4. Ng Andrew, Dean Jeff, Building High-level Features Using Large Scale Unsupervised Learning, Google, (2012), P. 1–11.

5. M. Rosenblum, Y. Yacoob, L. Davis, Human Emotion Recognition from Motion Using a Radial Basis Function Network Architecture, IEEE Wokshop on Motion of Non-Rigid and Articulated Objects. 1994. No17. P. 43–49.

6. J.-Y. Chang, J.-L. Chen, Automated Facial Expression Recognition using Neural Networks, Hsinchu: Chiao Tung University, 2001. 11 p.

7. P. Li, J. Li, A Facial Expression Recognition Method Based on Quantum Neural Networks, International Journal of Computational Intelligence Systems. 2008. No. 8. P. 74–78.

8. Y. Bengio, Learning Deep Architectures for AI. Montreal: Universit? de Montr?al, 2009. 130 p.

9. B. Fasel, Multiscale Facial Expression Recognition using Convolutional Neural Networks, IDIAP 2009. 2009. No. 13. P. 121–137.

10. T. McLaughlin, M. Le, N. Bayanbat, Emotion Recognition with Deep-Belief Networks, Stanford CS 229 Machine Learning Final Projects. 2010. No. 14. P. 62–66.

11. Deep belief network – Wikipedia, URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Deep_belief_network

12. G. Hinton, L. Deng, D. Yu, G. Dahl, A.Mohamed, N. Jaitly, A. Senior, V. Vanhoucke, P. Nguyen, T. Sainath, B. Kingsbury, Deep Neural Networks for Acoustic Modeling in Speech Recognition, IEEE Signal Processing Magazine. 2012. No. 16. P. 2–17.

13. Яровий А. А. Аналіз обчислювальної складності GPU-орієнтованих паралельно-ієрархічних обчислювальних систем та оцінювання продуктивності їх апаратного забезпечення / А. А. Яровий, Н. І. Кокряцька, С. В. Наконечна, М. С. Матейчук, Т. Д. Польгуль // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2014. – № 1. – С. 18–25.

References

1. P. Ekman, Emotions Revealed: Recognizing Faces and Feelings to Improve Communication and Emotional Life. Henry Holt and Company, 2003. 336 p.

2. P. Ekman, Telling Lies: Clues to Deceit in the Marketplace, Politics, and Marriage. New York: W. W. Norton & Company, 2009. 416 p.

3. G. Hinton, S. Osindero, Y. Teh, A fast learning algorithm for deep belief nets, Neural Computation. 2006. № 8. P. 1527–1554.

4. Ng Andrew, Dean Jeff, Building High-level Features Using Large Scale Unsupervised Learning, Google, (2012), P. 1–11.

5. M. Rosenblum, Y. Yacoob, L. Davis, Human Emotion Recognition from Motion Using a Radial Basis Function Network Architecture, IEEE Wokshop on Motion of Non-Rigid and Articulated Objects. 1994. No17. P. 43–49.

6. J.-Y. Chang, J.-L. Chen, Automated Facial Expression Recognition using Neural Networks, Hsinchu: Chiao Tung University, 2001. 11 p.

7. P. Li, J. Li, A Facial Expression Recognition Method Based on Quantum Neural Networks, International Journal of Computational Intelligence Systems. 2008. No. 8. P. 74–78.

8. Y. Bengio, Learning Deep Architectures for AI. Montreal: Universit? de Montr?al, 2009. 130 p.

9. B. Fasel, Multiscale Facial Expression Recognition using Convolutional Neural Networks, IDIAP 2009. 2009. No. 13. P. 121–137.

10. T. McLaughlin, M. Le, N. Bayanbat, Emotion Recognition with Deep-Belief Networks, Stanford CS 229 Machine Learning Final Projects. 2010. No. 14. P. 62–66.

11. Deep belief network – Wikipedia, URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Deep_belief_network

12. G. Hinton, L. Deng, D. Yu, G. Dahl, A.Mohamed, N. Jaitly, A. Senior, V. Vanhoucke, P. Nguyen, T. Sainath, B. Kingsbury, Deep Neural Networks for Acoustic Modeling in Speech Recognition, IEEE Signal Processing Magazine. 2012. No. 16. P. 2–17.

13. A. Yarovii, N. I. Kokryacka, S. V. Nakonechna, M. S. Mateichuk, T. D. Polgul, "Analiz obchisluvalnoi skladnosti GPU-orientovanih paralelno-ierarhichnih obchisluvalnih sistem ta ocinuvannya produktivnosti ih aparatnogo zabezpechennya", Optiko-elektroni informaciyno-energetichni tehnologii, 2014. № 1. P. 18–25.

Рецензія/Peer review : 26.8.2015 р. Надрукована/Printed :31.8.2015 р.
Рецензент: д.т.н., проф., Перевозніков С. І.

УДК 687.02

Г.А. РІПКА, І.О. ЗАСОРНОВА, Є.О. МАЗНЄВ, А.А. МИЧКО
Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля
Хмельницький національний університет

ЗАЛЕЖНІСТЬ КОНТРОЛЮЮЧИХ ПОКАЗНИКІВ ВІД РЕЖИМІВ ВИШИВАЛЬНОГО ПРОЦЕСУ

В роботі приведені результати досліджень, пов'язані з визначенням залежностей контролюючих показників, а саме: коефіцієнта повітропроникності та розривальних характеристик від номеру голки, кроку стібка та кількості імітаційних швів. Встановлено, що характер цих залежностей є складний та багатофакторний, який необхідно враховувати при обґрунтуванні режиму вишивального процесу.

Ключові слова: коефіцієнт повітропроникності, розривальне навантаження, вишивальна голка, крок стібка

G.A. RIPKA, I.A. ZASORNOVA, IE.O. MAZNIEV, A.A. MYCHKO
East Ukrainian Volodymyr Dahl National University, Severodonetsk, Ukraine
Khmelnytsky National University, Khmelnytsky, Ukraine

THE DEPENDENCE OF THE PARAMETERS CONTROLLING THE MODES EMBROIDERY PROCESS

Abstract. This paper shows the results of studies related to the definition of control dependencies indicators, namely air permeability coefficient and breaking load of number needle stitch pitch and the quantity of simulation seams. It was established that the nature of these relationships are complex and multifactorial, which must be considered when justifying regime embroidery process.

Keywords: air permeability coefficient, breaking load, embroidery needle, stitch step.

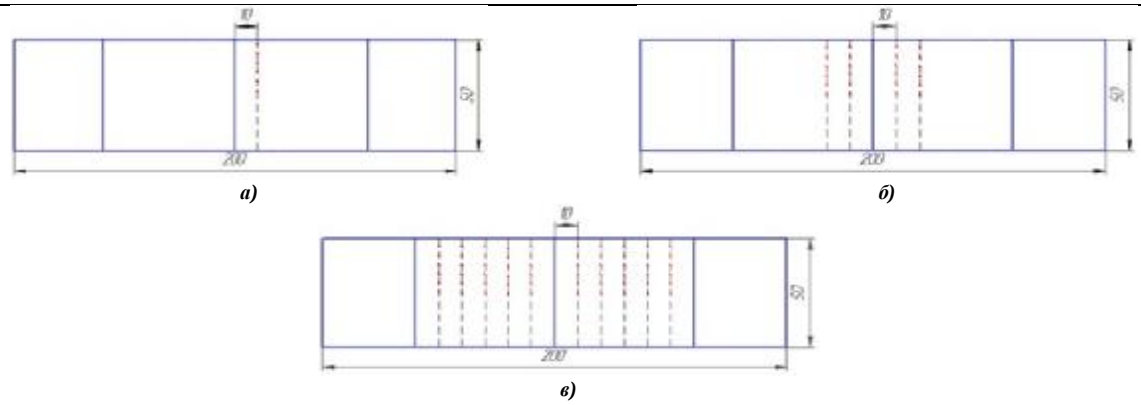
Вступ. На сьогоднішній день постає проблема передчасного руйнування дитячого одягу повсякденного призначення. На основі проведеного аналізу відносно умов та видів ігрових розваг дітей дошкільного віку, характерних рухів, активності, кількості часу, відведеного для прогулянок, місць їх проведення, метеорологічних показників навколишнього середовища та інше, можна стверджувати про наявність небезпечних факторів побутового характеру в процесі вказаної діяльності. Ці фактори обґрунтовуються наявністю неконтрольованого та надмірного навантаження як на виріб в цілому, так і на його окремі деталі, що приводить до появи пружних, еластичних і пластичних деформацій. Механічні фактори, які оцінюються значеннями розривальних, роздиральних показників та стійкістю до стирання по площині характеризуються, в основному, локальним впливом на текстильний матеріал. Це приводить до концентрації та появи критичних деформаційних напружень, які обумовлюють руйнування виробів в процесі їх експлуатації або передчасне зношування. Збільшення терміну експлуатації одягу досягається способами підвищення його зносостійкості, одним з сучасних способів є комп'ютерне вишивання.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. В процесі виконання робіт, при з'єднуванні деталей текстильних виробів швейною машиною обґрунтовано використовують раціональний номер голки [1, 2]. Це, насамперед, пов'язано з наявністю теоретичних основ та об'єктивних експериментальних досліджень у даному напрямку, які проводились спеціалістами-технологами на протязі багатьох років. До цього додавались такі знання, як асортимент та природа швейних ниток, технологічні вимоги до них і контроль якості, вплив механічних і теплових факторів на мононитку в процесі виготовлення виробів, зміна розривальних характеристик та стійкість до стирання по площині, температурні границі використання в разі синтетичних складових, вибір режимів з'єднування деталей, до яких включають номер голки і нитки, вид швейного виробу, крок стібка тощо [3-9].

Указані особливості були частково розглянуті і в роботі [10], де були проведені експериментальні дослідження, результати яких свідчать про те, що з'єднування деталей крою, особливо виготовлених із матеріалу з полімерним покриттям за допомогою швейної машини приводить до його руйнування. Причому, ступінь руйнування проби знаходиться в залежності від номера голки при постійній величині кроку стібка, а також від його розміру при постійному значенні діаметра (номера) голки, суттєво змінюючи такі її характеристики, як розривальне навантаження та коефіцієнт повітропроникності в порівнянні з вихідними показниками. Проте залишається не розглянутим питання впливу цих факторів на ступінь руйнування матеріалу в процесі комп'ютерного вишивання.

Метою даної роботи є виявлення залежності між фізико-механічними показниками текстильних матеріалів та руйнівною дією вишивальних голок в процесі комп'ютерного вишивання. Об'єкт – процес комп'ютерного вишивання. Предмет – текстильні матеріали, що використовуються при виготовленні виробів повсякденного призначення для дітей дошкільного віку.

Виклад основного матеріалу. Вивчення впливу вишивальних голок на контролюючі показники (коефіцієнт повітропроникності $К_п$ та розривальне навантаження $Р_р$) проводилось на пробах матеріалів розміром 50×200 мм (по основі). Схема утворення проколів на тканих матеріалах складалась з одного, чотирьох і десяти швів довжиною по 50 мм впоперек проби (рис. 1). Для імітації швів проколами нами були використані голки № 80; 90 і 100, причому останній номер – тільки для порівняння, оскільки його рідко застосовують у вишивальному процесі на відміну від двох попередніх.



а) ***б)*** ***в)***

Рис. 1. Схема утворення проколів на тканих матеріалах**:** ***(а)*** **Т = 1;** ***(б)*** **Т = 4;** ***(в)*** **Т = 10**

Дослідження були проведені з пробами тих тканин, які використовуються при виготовленні швейних виробів (штанів) повсякденного призначення дітям дошкільного віку, а саме проби матеріалу № 2 та № 3.

Оригінальність структури зразка № 2 полягає в тому, що в напрямку основи використовуються 100 % бавовняні нитки, а утокова складова представлена 100 % поліефірною (лавсановою) пряжею. При саржевому переплетенні ($R = 1/3$) і товщині тканини 0,76 мм, розривальна характеристика проби розміром 50×200 мм по основі дорівнює 785,0 Н, по пітканню – 1045,0 Н, а вихідне значення коефіцієнта повітропроникності становить 84,5 $дм^3/м^2 \cdot с$.

Аналогічні експерименти також були проведені з пробами матеріалу зразка № 3, який має наступні фізико-механічні характеристики: за волокнистим складом в напрямку основи та пітканню 100 % поліамідне волокно. При полотняному переплетенні ($R = 1/1$) і товщині тканини 0,25 мм, розривальна характеристика проби розміром 50×200 мм по основі дорівнює 884,4 Н, по пітканню – 610,0Н, а вихідне значення коефіцієнта повітропроникності становить 23,4 $дм^3/м^2 \cdot с$.

Експерименти проводились згідно умов методики, представленої в роботі (рис. 1) для виконання яких, особливо відносно режиму вишивального процесу, були задіяні такі фактори, як крок стібка (*А*), кількість імітаційних швів (*Т*) та номер голки (№), які впливають на зміну контролюючих показників.

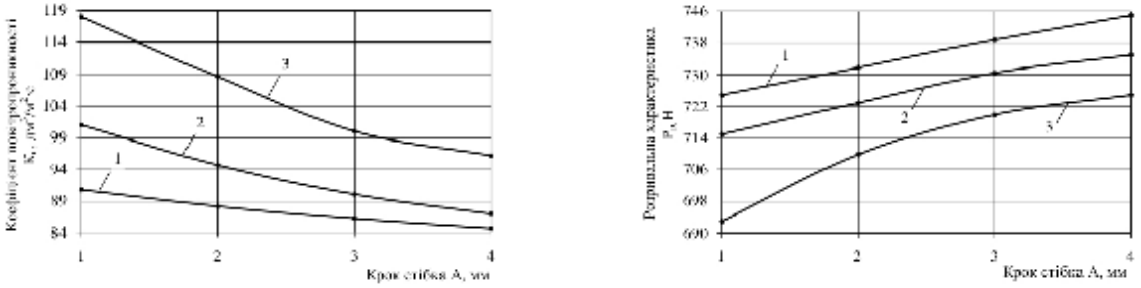
Результати проведених досліджень представлено в табл. 1-2 та на рис. 2-5.

Таблиця 1

Коефіцієнт повітропроникності $K_п$ проб матеріалів в залежності від кроку стібка *А* та кількості імітаційних швів *Т*

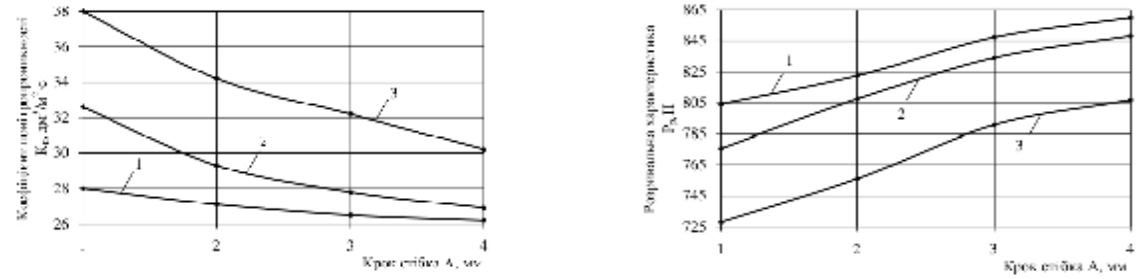
T , шт	A , мм; K_P , $дм^3/м^2 \cdot с$							
	$A = 1$		$A = 2$		$A = 3$		$A = 4$	
	K_P	ΔK_P , %	K_P	ΔK_P , %	K_P	ΔK_P , %	K_P	ΔK_P , %
	зразок матеріалу № 2, голка № 80							
$T = 1$	90,8	+7,5	88,2	+4,4	86,2	+2,0	84,6	+0,1
$T = 4$	101,0	+19,5	94,7	+12,1	90,1	+6,6	87,0	+2,9
$T = 10$	118,0	+39,6	108,6	+28,5	100,0	+18,3	96,2	+13,8
	зразок матеріалу № 3, голка № 80							
$T = 1$	25,7	+9,8	25,1	+7,3	24,5	+4,7	24,1	+2,9
$T = 4$	28,5	+21,8	26,8	+14,5	25,6	+9,4	25,0	+6,8
$T = 10$	34,7	+48,5	30,2	+31,4	28,5	+21,9	27,9	+19,0
	зразок матеріалу № 2, голка № 90							
$T = 1$	92,3	+9,2	90,2	+6,7	88,0	+4,1	86,0	+2,9
$T = 4$	102,2	+21,0	94,7	+11,1	92,5	+9,5	91,0	+7,7
$T = 10$	126,6	+49,8	113,0	+33,6	102,5	+21,3	98,2	+16,2
	зразок матеріалу № 3, голка № 90							
$T = 1$	28,0	+19,7	27,1	+15,8	26,5	+13,2	26,2	+12,0
$T = 4$	32,6	+39,3	29,3	+25,2	27,8	+18,8	26,9	+15,0
$T = 10$	38,0	+62,4	34,2	+44,0	32,2	+36,2	30,2	+28,4
	зразок матеріалу № 2, голка № 100							
$T = 1$	96,6	+14,3	94,6	+12,0	92,1	+9,0	90,5	+7,2
$T = 4$	113,6	+34,4	102,8	+21,7	98,9	+17,0	95,0	+12,4
$T = 10$	148,5	+75,7	131,4	+55,5	116,2	+37,5	107,1	+26,8
	зразок матеріалу № 3, голка № 100							
$T = 1$	29,3	+25,2	28,2	+20,5	27,5	+17,5	27,0	+15,4
$T = 4$	34,3	+46,6	31,5	+34,6	28,9	+23,5	28,0	+19,7
$T = 10$	39,7	+69,7	36,1	+54,3	33,5	+43,2	31,7	+35,5

*Примітка***:** знак «+» – збільшення значення показника в порівнянні з вихідною величиною



***а*)** ***б*)**

Рис. 2. Зміна величини коефіцієнта повітропроникності $K_п$ (*а*) та розривальних характеристик $P_р$ (*б*) тканого матеріалу зразка № 2 в залежності від кроку стібка A і кількості імітаційних швів T, утворених голкою № 80 впоперек проби: 1 – $T = 1$; 2 – $T = 4$; 3 – $T = 10$



***а*)** ***б*)**

Рис. 3. Зміна величини коефіцієнта повітропроникності $K_п$ (*а*) та розривальних характеристик$P_р$ (*б*) тканого матеріалу зразка № 3 в залежності від кроку стібка A і кількості імітаційних швів T, утворених голкою № 90 впоперек проби: 1 – $T = 1$; 2 – $T = 4$; 3 – $T = 10$

Таблиця 2

Розривальна характеристика $P_р$ проб матеріалів в залежності від кроку стібка A і кількості імітаційних швів T

T, шт	A, мм, $P_р$, Н							
	$A = 1$		$A = 2$		$A = 3$		$A = 4$	
	$P_р$	$\Delta P_р$, %	$P_р$	$\Delta P_р$, %	$P_р$	$\Delta P_р$, %	$P_р$	$\Delta P_р$, %
	зразок матеріалу № 2, голка № 80							
$T = 1$	725,0	–7,6	731,8	–6,8	738,8	–5,9	745,0	–5,0
$T = 4$	715,1	–8,9	723,0	–7,9	730,5	–6,9	735,0	–6,4
$T = 10$	693,0	–11,7	709,8	–9,6	720,0	–8,3	725,0	–7,6
	зразок матеріалу № 3, голка № 80							
$T = 1$	835,0	–5,6	858,2	–3,0	875,0	–1,1	880,0	–0,5
$T = 4$	801,9	–9,3	815,0	–7,8	827,0	–6,5	833,0	–5,8
$T = 10$	740,0	–16,3	766,0	–13,4	792,5	–10,4	803,0	–9,2
	зразок матеріалу № 2, голка № 90							
$T = 1$	714,4	–9,0	728,5	–7,2	731,6	–6,8	738,0	–6,0
$T = 4$	704,1	–10,3	716,0	–8,8	728,5	–7,2	731,0	–6,9
$T = 10$	676,6	–13,8	705,7	–10,6	713,0	–9,2	721,4	–8,1
	зразок матеріалу № 3, голка № 90							
$T = 1$	803,9	–9,1	822,4	–7,0	847,2	–4,2	860,0	–2,8
$T = 4$	775,6	–12,3	807,3	–8,7	834,0	–5,7	848,1	–4,1
$T = 10$	728,0	–17,7	756,1	–14,5	790,6	–10,6	806,6	–8,8
	зразок матеріалу № 2, голка № 100							
$T = 1$	687,6	–12,4	701,0	–10,7	714,4	–9,0	720,0	–8,2
$T = 4$	673,4	–14,2	692,3	–11,8	705,7	–10,1	712,0	–9,3
$T = 10$	647,6	–17,5	664,8	–15,3	676,6	–13,8	690,0	–12,1
	зразок матеріалу № 3, голка № 100							
$T = 1$	749,0	–15,3	768,5	–13,1	802,2	–9,3	830,0	–6,2
$T = 4$	709,3	–19,8	742,9	–16,0	772,1	–12,7	810,1	–8,4
$T = 10$	535,0	–39,5	598,7	–32,3	650,0	–26,5	688,1	–22,2

Примітка: знак «–» – зменшення значення показника в порівнянні з вихідною величиною

Так, якщо взяти голку № 80 (зразок № 2), то при A = 1 мм і T = 1, найбільше значення $K_п$ збільшиться від початкового 84,5 до 90,8 $дм^3/м^2 \cdot с$ (+7,5 %), а розривальне навантаження $P_р$ при даних

умовах найбільше зменшується – від 785,0 до 725,0 Н (–7,6 %). При кроці стібка 2, 3 і 4 мм характер змін контролюючих показників залишається постійним (табл. 1-2, рис. 2). Аналогічні дослідження були проведені для проб тканини із $T = 4$. Отримані результати свідчать про те, що при постійному номері голки і кількості швів, на ступінь зміни значень коефіцієнта повітропроникності і розривальних величин впливає тільки крок стібка при збереженні раніше проаналізованих закономірностей. Указані залежності найбільше проявляються в тому випадку, коли $T = 10$. Це, насамперед, відбувається при кроці стібка 1 мм, при якому $K_п$ збільшується на 39,6 % від початкової величини і стає рівним 118,0 дм^3/м^2·с, а P_p зменшується від 785,0 до 693,0 Н – на 11,7 %. Вразі, коли шви, утворені при кроці стібка 2 мм, коефіцієнт повітропроникності дорівнює 108,6 дм^3/м^2·с (+28,5 %), а розривальна характеристика – 709,8 Н (–9,6 %). Ідентичні залежності нами були отримані при $A = 3$ і $A = 4$ мм із тотожними тенденціями та виявленими закономірностями (рис. 2).

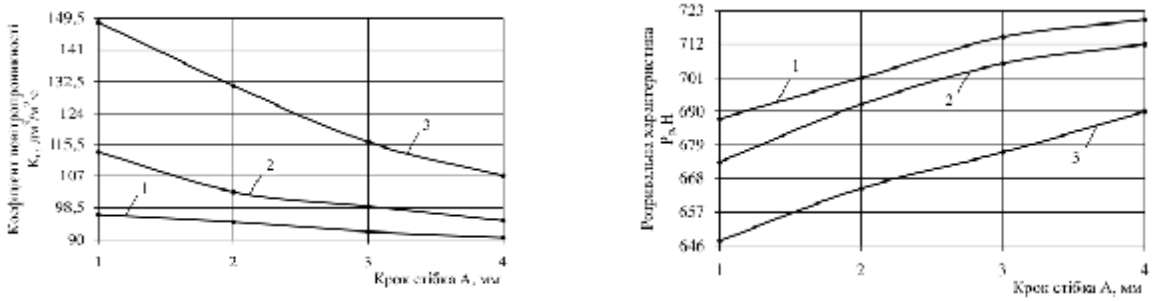
Експерименти при заданих умовах також були проведені з пробами тканини зразка № 2 та голкою № 90. Аналіз отриманих результатів свідчить про те, що збільшення діаметра голки приводить до зміни величин контролюючих показників $K_п$ і P_p в залежності від кроку стібка та кількості імітаційних швів.

Аналогічні експерименти також були проведені з пробами матеріалу зразка № 3. Результати досліджень показали, що на зміну показників контролюючих характеристик особливо впливає номер голки незалежно від кроку стібка та кількості імітаційних швів. Ця особливість обумовлюється збільшенням її діаметра. Так, якщо діаметр (номер) голки збільшувати, то очевидно, що ступінь вірогідності руйнування, в даному випадку, утокових ниток зростає більше, ніж попадання її вістря в порову структуру проби полотняного переплетення. В зв'язку з цим, кількість наскрізних отворів різко збільшується, особливо при $A = 1$ мм і $A = 2$ мм, що приводить до зростання абсолютного значення коефіцієнта повітропроникності та зменшення розривальних навантажень. Так, якщо для експериментів використати голку № 90, то при кроці стібка 1 мм і одному шві $K_п$ зростає на 19,7 %, при чотирьох швах на 39,3 %, а при десяти на 62,4 % (табл. 1, рис. 3, а).

Аналогічні закономірності були відмічені і в тому разі, коли розмір стібка постійно зростає, але числове значення контролюючого показника зменшується. Так, якщо проаналізувати результати, отримані при А = 3 мм і Т = 1, то значення $K_п$ вже дорівнює 26,5 дм^3/м^2·с (+13,2 %), при Т = 4 він дорівнює 26,2 дм^3/м^2·с (+12,0 %), а при Т = 10 указаний показник змінюється всього на 28,4 %. Аналогічні закономірності були отримані і при кроці стібка 4 мм (табл. 1), а узагальнюючі аналізи отриманих результатів свідчать про складний характер залежностей між даними факторами (рис. 3, а).

Отримані результати вказують на те, що при збереженні закономірностей та умов проведення досліджень, значення контролюючих показників $K_п$ і P_p залежать не тільки від кроку стібка, кількості імітаційних швів, утворених на пробі, але і від номера голки.

Для практичної перевірки даної гіпотези нами були проведені порівняльні експерименти, при яких використовувалась голка № 100, а інші показники режиму вишивального процесу (крок стібка А, кількість імітаційних швів Т проби зразка № 2) залишались незмінними. Аналіз отриманих результатів показує, що такий фактор, як номер голки слід вважати важливим, оскільки його зростання обумовлює суттєву зміну величин коефіцієнта повітропроникності і розривального навантаження (рис. 4).



***а*)** ***б*)**

Рис. 4. Зміна величини коефіцієнта повітропроникності $K_п$ (*а*) та розривальних характеристик P_p (*б*) тканого матеріалу зразка № 2 в залежності від кроку стібка *А* і кількості імітаційних швів *Т*, утворених голкою № 100 впоперек проби: 1 – $T = 1$; 2 – $T = 4$; 3 – $T = 10$

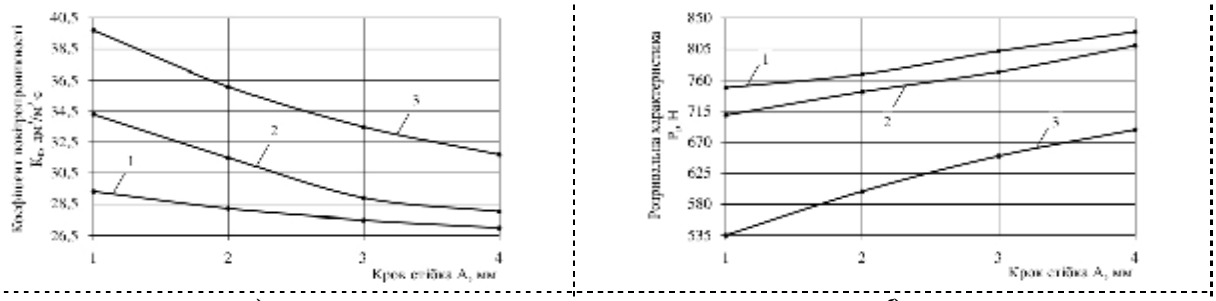
Що стосується зразка № 3, то значення P_p проб після проколів голкою № 100 теж суттєво змінюється на протязі усього експерименту і залежить від кроку стібків та кількості утворених імітаційних швів. Найбільша зміна контролюючого показника P_p відбувається поступово від одного, чотирьох та десяти швів при кроці А = 1 (табл. 2, рис. 5, б). Такі ж закономірності відслідковуються і при зростанні розмірів стібків, що обумовлює збільшення абсолютного значення P_p від його попереднього кроку незалежно від кількості імітаційних швів (табл. 2). Якщо кількість швів збільшувати, то абсолютне значення указаного контролюючого показника буде зменшуватись від початкової величини, про що свідчать узагальнюючі аналізи отриманих результатів досліджень (рис. 5, б).

Отже, отримані результати досліджень в даному випадку ідентичні тим, які були нами проаналізовані при використанні голок № 80, 90 і характеризуються складними залежностями відносно зміни величин контролюючих показників $K_п$, а також P_p, про що свідчать рівняння регресії:

$$K_P = K_{P0} \cdot \left[(1 + C_1) \cdot \exp\left(\frac{C_2}{x^2}\right) - C_1 \cdot \exp\left(-\frac{C_3}{x}\right) \right] \quad \text{при } 0 \le x, \tag{1}$$

де C_1, C_2, C_3 – коефіцієнти, що залежать від діаметра голки, кількості імітаційних швів та фізико-механічних характеристик матеріалу;

x – змінна (А).



а) *б)*

Рис. 5. Зміна величини коефіцієнта повітропроникності $K_п$ (*а*) та розривальних характеристик P_p (*б*) тканого матеріалу зразка № 3 в залежності від кроку стібка *А* і кількості імітаційних швів *Т*, утворених голкою № 100 впоперек проби: 1 – *Т = 1* ; 2 – *Т = 4* ; 3 – *Т = 10*

Аналогічні висновки при заданих умовах можна зробити і відносно зміни величини розривальних характеристик, як контролюючого показника. Експерименти показують, що при збільшенні кроку стібка процес руйнування проби голкою не зупиняється, а суттєво зменшується, починаючи від A = 2. Отримані залежності також мають складний характер (табл. 3) і описуються наступними рівняннями регресії:

$$P_P = \begin{cases} P_{P0} \cdot \left(1 - C_4 \cdot \left[\exp\left(\frac{C_5}{x^2}\right) - \exp\left(-\frac{C_6}{x}\right)\right]\right) & \text{при } x_k < x, \\ 0 & \text{при } 0 \le x \le x_k, \end{cases} \tag{2}$$

де C_4, C_5, C_6 – коефіцієнти, що залежать від діаметра голки, кількості імітаційних швів та фізико-механічних характеристик матеріалу;

x – змінна (A).

Таблиця 3

Результати аналізу статистичних даних залежності розривальних характеристик P_p проб матеріалів від кроку стібка *А* і кількості імітаційних швів *Т*

T, шт	P_{P0}, Н	C_4	C_5	C_6	Коефіцієнт кореляції, R^2
зразок №2, голка №80					
1	785,0	0,075	0,077	4,535	0,999
4		0,080	0,106	6,035	0,995
10		0,094	0,226	6,256	0,996
зразок №2, голка №90					
1	785,0	0,077	0,112	5,733	0,956
4		0,089	0,194	6,171	0,969
10		0,095	0,377	7,312	0,999
зразок №2, голка №100					
1	785,0	0,111	0,145	5,121	0,989
4		0,119	0,173	5,375	0,994
10		0,145	0,180	6,561	0,987
зразок №3, голка №80					
1	884,4	0,041	0,129	3,254	0,991
4		0,085	0,162	4,605	0,993
10		0,125	0,244	5,554	0,976
зразок №3, голка №90					
1	884,4	0,066	0,184	3,602	0,961
4		0,087	0,246	4,728	0,987
10		0,120	0,412	6,711	0,904
зразок №3, голка №100					
1	884,4	0,165	0,064	2,303	0,915
4		0,195	0,080	2,763	0,954
10		0,375	0,095	3,481	0,998

Коефіцієнт кореляції свідчить про суттєвий збіг запропонованої теоретичної залежності з практичними результатами.

Отже, якщо порівняти рівняння регресії, то очевидно, що характер залежностей і в даному випадку є складний та багатофакторний, який необхідно враховувати при обґрунтуванні режиму вишивального процесу.

Висновки. Таким чином, проведені дослідження та їх аналіз свідчать, що такі фактори, як номер голки, крок стібка та кількість імітаційних швів, утворених на пробі, одночасно, впливаючи на значення контролюючих показників $K_п$ і P_p, можуть характеризувати технологічний режим вишивального процесу. Окрім цього, результати експериментів показують, що віддавати перевагу одному із указаних факторів практично неможливо, оскільки два інших будуть змінювати своє значення. Якщо в даному випадку номер голки і кількість швів залишити незмінними, а крок стібка збільшити, наприклад, до 2 мм, то в зв'язку з цим значення $K_п$ уже буде дорівнювати 11,5 дм^3/м^2·с, а P_p. = 1295,4 Н від вихідних, що свідчить про його суттєвий вплив та головну значимість при обґрунтуванні технологічного режиму вишивального процесу. Аналогічні висновки можна зробити відносно кількості швів при постійних значеннях номера голки і кроці стібка.

Отже, вишивання, особливо за допомогою вишивальної машини слід віднести до багатофакторного і одночасно складного технологічного процесу, про що свідчать отримані рівняння регресії.

Література

1. Пищиков В.О. Проектування швейних машин / В.О. Пищиков, Б.В. Орловський. – К.: Видавничо-поліграфічний дім «Формат». – 2007. – 320 с.

2. Рябчиков М.Л. Розрахунок та конструювання машин легкої промисловості / М.Л. Рябчиков, І.Г. Дейнека. – Луганськ: вид-во СНУ ім. В. Даля. – 2010. – 264 с.

3. Ріпка Г.А. Вплив вишивальних голок на площу руйнування матеріалів / Г.А. Ріпка // Актуальні проблеми та перспективи розвитку сучасного матеріалознавства: тези доповідей Міжнародної науково-практичної конференції наукової молоді та студентів, 26-27 вересня 2013 р. – К.: КНУТД. – 2013. – С. 82-84.

4. Кукин Г.Н. Текстильное материаловедение / Г.Н. Кукин, А.Н. Соловьев. – М.: Легкая индустрия. Ч. 3. – 1967. – С. 243-248.

5. Беденко В.Е. О тепловом воздействии на нитку в процессе высокоскоростного шитья / В.Е. Беденко, М.И. Сухарев // «Известия вузов. Технология легкой промышленности». – 1969. – № 5. – С. 115-119.

6. Белицин М.Н. Влияние различных факторов на механические свойства синтетических нитей / М.Н. Белицин // В кн.: Проблемы физико-химической механики волокнистых пористых дисперсных структур и материалов. АН Латв. ССР. Рига – 1968. – С. 44-52.

7. Белицин М.Н. Швейные нитки из синтетических волокон / М.Н. Белицин // «Прядение» – 1964. – № 3. – С. 11-14.

8. Ripka G., Mychko A., Deyneka I. The analysis of machine embroidery stitches types classification / Commission of motorization and power industry in agriculture. Teka // Lublin university of technology. – Lublin. – 2014, Vol. 14, No.2, 120-126.

9. Ріпка Г.А. Обгрунтування критеріїв оцінки руйнування зразків матеріалу вишивальними голками / Г.А. Ріпка, Є.О. Мазнєв, А.А. Мичко // Технологический аудит и резервы производства. – 2015. – № 2/4(22). – С. 39-44.

10. Михайлова Н.В. Разработка изолирующей специальной одежды для очистки емкостей от агрессивных сред: дис. … кандидата техн. наук: 05.19.04 / Михайлова Нина Васильевна. – Хмельницкий. – 2006. – 181 с.

References

1. Pishchikov V.O. , Orlovsky B.V. Proektuvannya sewing machine. Kyiv. Vidavnicho poligrafichny-Dim "Format". 2007. 320 p.

2. Rjabchikov M.L., Grouse M.L., Deineka I.G. Rozrahunok that konstruyuvannya machines legkoї promislovosti.Lugansk: type of SNU im. Dal. – 2010. – 264 p.

3. Ripka G.A. Vpliv vishivalnih Golok in the Area ruynuvannya materialiv. Aktualni problem is the prospects of rozvitku Suchasnyj materialoznavstva: Tezi dopovidey Mizhnarodnoї naukovo-praktichnoї konferentsiї naukovoї molodi that studentiv 26-27 Veresnya 2013 p. – K.: KNUTD. – 2013. – P. 82-84.

4. Kukin G.N. , Soloviev A.N. Textile Materials. M .: Light industry. Part 3. – 1967. – P. 243-248.

5. Bedenko V.E., Sukharev M.I. On the thermal influence on a string in the process of high-speed sewing. "Proceedings of the universities. The technology of light industry." – 1969. – № 5. – P. 115-119.

6. Belitsin M.N. Influence of various factors on the mechanical properties of synthetic yarns. Proc.: The physicochemical mechanics of disperse porous fibrous structures and materials. Academy of Sciences of Latvia. SSR. Riga – 1968. – P. 44-52.

7. Belitsin M.N. Sewing threads of synthetic fibers. "Spinning» – 1964. – № 3. – P. 11-14.

8. Ripka G., Mychko A., Deyneka I. The analysis of machine embroidery stitches types classification / Commission of motorization and power industry in agriculture. Teka // Lublin university of technology. – Lublin. – 2014, Vol. 14, No.2, P. 120-126.

9. Ripka G.A. , Maznev E.O., Michkov A.A. Obgruntuvannya kriteriїv otsinki ruynuvannya zrazkiv materialu vishivalnimi Golko. Technological audit of production and reserves. – 2015. – № 2/4 (22). – P. 39-44.

10. Mikhailova N.V. Development of insulating special clothes for cleaning tanks against aggressive environments: Dis. ... Candidate tehn. Sciences: 05.19.04 / Mikhailova Nina. – Khmelnitsky. – 2006. – 181 p.

Рецензія/Peer review : 26.8.2015 р. Надрукована/Printed :31.8.2015 р.
Рецензент: д.т.н., проф., Соколов В.І.

УДК 621.396.96

В.Р. ЛЮБЧИК, В.О. РИБІЙ
Хмельницький національний університет, Хмельницький, Україна
А.В. КЛЕПІКОВСЬКИЙ
Буковинський державний медичний університет, Чернівці, Україна

МЕТОД УТОЧНЕННЯ ДАЛЬНОСТІ ОБ'ЄКТІВ ІЗ ВРАХУВАННЯМ ЕЛЕКТРОФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПІДПОВЕРХНЕВИХ СЕРЕДОВИЩ

Запропоновано метод уточнення результату вимірювання глибини підповерхневих об'єктів, який полягає у послідовному знаходженні діелектричної проникності та коефіцієнтів згасання кожного підповерхневого шару, що дозволяє знаходити швидкості поширення радіохвиль у кожному шарі та розраховувати вірні фазові зсуви відбитих сигналів. Також запропоновано використовувати сітку частот із нерівномірним кроком, що дозволяє забезпечити рівномірний приріст фазових зсувів через значну частотну залежність відносної діелектричної проникності.

Ключові слова: фазові методи, підповерхнева радіолокація, діелектрична проникність, електромагнітна хвиля.

V.R. LIUBCHYK, V.O. RYBIY
Khmelnitsky National University, Ukraine
A.V. KLEPIKOVSKII
Bukovina State Medical University, Ukraine

METHOD SPECIFICATION RANGE OF OBJECTS WITH REGARD TO THE ELECTRICAL PROPERTIES OF SUBSURFACE ENVIRONMENTS

Abstract - The method of clarifying the measurement result subsurface depth of objects that is consistent finding permittivity and attenuation coefficients of each subsurface layer that allows finding the speed of propagation of radio waves in each layer and calculating true phase shift of the reflected signals. Also suggested to use a grid frequency of uneven step that ensures uniform growth phase shifts due to significant frequency dependence of relative permittivity.

The influence of the frequency dependence of relative permittivity raid on the phase shift of the reflected harmonic signal from a single object. It was established that with increasing frequency, phase shift increases nonlinear dependence.

A frequency probe signal change by inversely proportional dependence to dependence of relative permittivity subsurface environments. This makes it possible to provide uniform growth raid harmonic phase shift probing signal reflected from one object and provide unambiguous solving the equations for finding depth of objects.

Keywords: phase methods, subsurface radar, dielectric constant, electromagnetic wave.

Вступ

При застосуванні радіолокаційних досліджень необхідно враховувати загасання, швидкості поширення радіовипромінювання, частотну дисперсію та інші параметри у різних середовищах: ґрунті, піску, суглинку, воді, повітрі, льоді, конструкційних матеріалах, середовищах з різною вологістю тощо [1-4].

Питоме загасання, яке визначає глибинність зондування, та швидкість поширення електромагнітних хвиль в середовищі визначаються її електричними властивостями і є найбільш важливими параметрами, які характеризують можливості застосування методу георадіолокації. Оскільки всі речовини, окрім металів, можуть бути віднесені до діелектриків із кінцевою провідністю, то вводиться комплексна відносна діелектрична проникність. Від діелектричної та магнітної проникності залежить швидкість поширення електромагнітних хвиль в діелектриках. Для більшості гірських порід значення магнітної проникності приблизно становить 1 і не залежить від частоти. Поведінка речовини під дією прикладеного змінного електромагнітного поля, швидкість її реакції на прикладене поле і, відповідно, необхідний для завершення цієї реакції (поворот атомів, орієнтування молекул, упорядкування руху часток і т. д.) відрізок часу τ визначають залежність діелектричної проникності від частоти. При цьому, особливе значення мають частоти, коли $w_{\text{кр}} = 2pf_{кр} \approx 1/t$. Поведінка кривої $e(w)$ у цій області суттєво змінюється. До $w_{\text{кр}}$ середовище встигає реагувати на прикладена поле і значення діелектричної проникності відносно високі, а для частот вище $w_{\text{кр}}$ діелектрична проникність різко зменшується – середовище не встигає реагувати на прикладене електромагнітне поле [4].

Основна частина

Завдання підвищення точності вимірювання дальності до границь розділення підповерхневих шарів пропонується вирішити шляхом врахування їх електрофізичних властивостей. Для цього підповерхневе середовище зондується по вертикальній осі сигналами з лінійно-частотної модуляцією із покроковою зміною частоти у вузькому діапазоні частот. Схема зондування на ведена на рис. 1. Кількість частот повинна бути в два рази більшою за кількість границь розділення підповерхневих шарів. Проводиться вимірювання фазових зсувів та амплітуд сумарних сигналів відбитих від усіх границь розділення підповерхневих шарів. За допомогою математичної моделі багаточастотного фазового способу [5] розраховуються дальності та коефіцієнти відбиття усіх границь розділення підповерхневих шарів за формулами багаточастотного фазового методу дальнометрії [5].

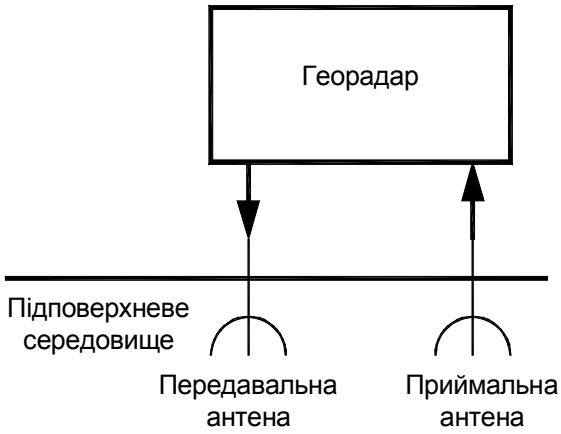


Рис. 1 Схема підповерхеневого зондування

У виразах багаточастотного фазового методу дальнометрії [5] швидкість поширення електромагнітних хвиль у різних середовищах прийнята однаковою. Проте в різних середовищах вона різна. Для уточнення результатів вимірювань необхідно визначити реальні значення швидкостей поширення електромагнітних хвиль в різних підповерхневих середовищах. Для цього виконуються наступні вимірювання та обчислення.

Для визначення швидкості поширення електромагнітної хвилі у верхньому шарі, проводиться зондування шару по горизонтальній осі між двома точками розташованими на заданій відстані $l_{\text{оп}}$. Схема зондування на ведена на рис. 2.

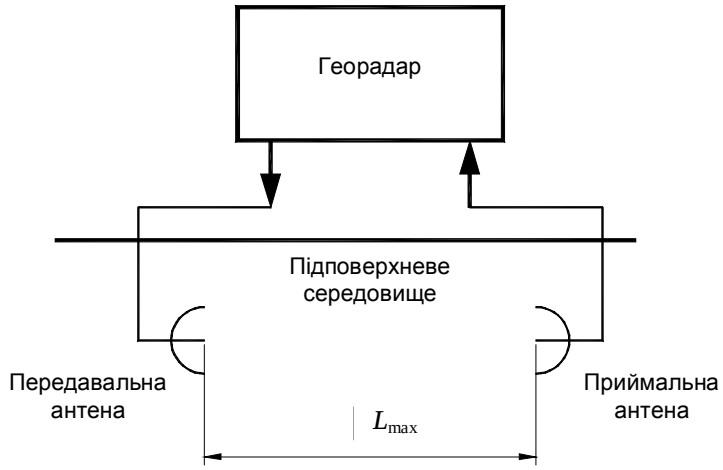


Рис. 2 Схема вимірювання швидкості поширення електромагнітної хвилі в першому шарі

В результаті вимірювання фазового зсуву $j_{\text{вим}}$ між зондуючим гармонічним сигналом на частоті $\text{f}_{\text{оп}}$ та прийнятим сигналом, можна розрахувати значення швидкості поширення електромагнітної хвилі в першому підповерхневому шарі:

$$v_1 = \frac{2p \cdot l_{\text{оп}} \cdot \text{f}_{\text{оп}}}{j_{\text{вим}}}. \quad (1)$$

Використовуючи значення швидкості поширення радіохвилі в першому підповерхневому шарі, розраховується значення дійсної частини діелектричної проникності:

$$\text{Re}\, e_1 = e_1' = \frac{\text{c}}{v_1}. \quad (2)$$

Вимірюючи амплітуду сигналу що прийшов на прийомну антену $A_{\text{прий}}$, та знаючи амплітуду сигналу, що випромінюється передавальною антеною $A_{\text{вип}}$, розраховується значення питомого згасання в першому підповерхневому шарі, за виразом:

$$a_1 = \frac{1}{l_{\text{оп}}} \cdot \ln \frac{A_{\text{прм}}}{A_{\text{вип}}}. \quad (3)$$

Розрахунок дальності до границі розділення першого і другого шару проводимо за виразом:

$$l_{1\text{у}} = \frac{j_1 v_1}{4pf}. \quad (4)$$

В цей вираз підставляємо значення швидкості поширення радіохвилі яка розрахована відповідно до виразу (1).

Використовуючи значення питомого згасання a_1 та розрахованої дальності $l_{1\text{у}}$, знаходиться значення амплітуди сигналу, що прийшов до границі розділення першого та другого підповерхневих шарів за виразом:

$$A_{\text{вип21}} = A_{\text{вип}} e^{-a_1 l_{\text{оп}}}. \quad (5)$$

Наступним кроком є розрахунок амплітуди сигналу що відбитий від границі розділення першого та другого підповерхневих шарів використовуючи значення амплітуди сигналу відбитого від першої границі A_1, що прийшов до прийомної антени, за виразом:

$$A_{\text{прм21}} = \frac{A_1}{e^{-a_1 l_{\text{оп}}}}. \quad (6)$$

За отриманими значеннями розраховується коефіцієнт відбиття від першої границі розділення двох середовищ:

$$K_{\text{від21}} = \frac{A_{\text{прм21}}}{A_{\text{вип21}}}. \quad (7)$$

Використовуючи значення коефіцієнту відбиття від першої границі та діелектричної проникності першого шару, розраховується дійсна частина діелектричної проникності другого шару за виразом:

$$e'_2 = \frac{e'_1 \cdot (K_{\text{від21}} - 1)^2}{(K_{\text{від21}} + 1)^2}. \quad (8)$$

Використовуючи значення дійсної частини діелектричної проникності другого шару, розраховується швидкість поширення другого шару:

$$v_2 = \frac{\text{с}}{e'_2}, \quad (9)$$

Розрахунок глибини до границі розділення другого і третього шарів проводиться за виразом:

$$l_2 = l_1 + \frac{(j_2 - j_1) v_2}{4pf}. \quad (10)$$

Розраховується значення коефіцієнта проходження першої границі за виразом:

$$K_{\text{пр21}} = 1 - K_{\text{від21}}. \quad (11)$$

Використовуючи табличні дані [6] за значенням дійсної частини діелектричної проникності, визначається матеріал другого шару та вибирається значення провідності шару s_2. Використовуючи значення провідності, розраховується значення згасання в другому шарі:

$$a_2 = \frac{2pf}{c} \cdot \sqrt{\frac{e'_2}{2}\left(\sqrt{1 + \left(\frac{s_2}{2pfe_0 e_2}\right)^2} - 1\right)}. \quad (12)$$

За виразом:

$$K_{\text{від32}} = \frac{a_2}{a} \cdot \frac{e^{2(a_1 l_1 + a_2 (l_2 - l_1))}}{(1 - K_{\text{від21}})^2}, \quad (13)$$

розраховується значення коефіцієнта відбиття від другої границі розділення підповерхневих шарів.

Продовжуючи аналогічні міркування, для знаходження дійсної частини діелектричної проникності s-го шару використовується вираз:

$$e'_s = \frac{e'_{s-1} \cdot (K_{\text{відз,s-1}} - 1)^2}{(K_{\text{відз,s-1}} + 1)^2}, \quad (14)$$

де коефіцієнт відбиття від $s-1$-ї границі знаходиться за виразом:

$$K_{\text{відs,s-1}} = \frac{a_s}{a} \cdot \frac{e^{2(a_1 l_1 + a_2(l_2 - l_1) + a_3(l_3 - l_2) + \ldots + + a_s(l_s - l_{s-1}))}}{\left((1-k_1)\cdot(1-k_2)\cdot\ldots\cdot\left(1-K_{\text{відs-1,s-2}}\right)\right)^2}. \quad (15)$$

Швидкість поширення радіохвилі s -го шару:

$$v_s = \frac{\text{c}}{e'_s}. \quad (16)$$

Дальність $s-1$-ї границі:

$$l_s = l_{s-1} + \frac{(j_s - j_{s-1})v_s}{4pf}. \quad (17)$$

Сигнали, які відбились від попередніх границь розділення двох середовищ при зворотному проходженні відбитого сигналу, можна не враховувати виходячи із наступних міркувань. Як показали дослідження у попередньому розділі, коефіцієнти відбиття відрізняються від коефіцієнтів проходження приблизно на один порядок і повторно відбиті сигнали, враховуючи згасання сигналів, не будуть створювати якого-небудь помітного впливу на сумарний сигнал.

Проте, якщо розглянути задачу георадіолокації в загальному, необхідно відмітити, що знаходження координат локалізації підповерхневих об'єктів необхідно проводити не по двох координатах, а по трьох координатах, оскільки будь-яке тверде тіло являє собою тривимірну фігуру. Для встановлення загальних співвідношень потрібно сформулювати та розв'язати двовимірну задачу георадіолокації, а потім узагальнити розв'язок для тривимірної задачі.

При проведенні вимірювань глибин об'єктів необхідно враховувати не лише те що кожен шар ґрунту має різні значення діелектричної проникності та коефіцієнт згасання, а і те що діелектрична проникність має залежність від частоти. Причому, ці залежності від частоти у кожного типу ґрунтів різна. Тому потрібно провести уточнення математичних залежностей, що дозволить врахувати залежність діелектричної проникності від частоти і підвисити точність визначення глибини та характеристик ґрунту.

Відомо що для ґрунтів та інших матеріалів відносні діелектрична проникність має яскраво виражену частотну залежність [7-9]. Отже:

$$e_{\text{від.}} = e(f). \quad (18)$$

Тому, як швидкість поширення радіохвиль у різних середовищах залежить від діелектричної проникності, то із врахуванням функціональної залежності діелектричної проникності від частоти можна записати:

$$v_{\text{сер.}} = \frac{c}{e(f)}. \quad (19)$$

Отриманий вираз показує що швидкість поширення електромагнітної хвилі для одного і того ж середовища на різних частотах різна. Внаслідок цього із лінійним збільшенням частоти фазовий набіг сигналу відбитого від одного об'єкту буде нелінійним:

$$j_i = 4pl\frac{e(f)}{c} f_i. \quad (20)$$

Для розв'язання системи рівнянь потрібно щоб був забезпечений лінійний приріст фазового зсуву із зростанням частоти зондуючого сигналу. Тому, при синтезуванні зондуючих сигналів потрібно узгодити їх частоти із лінійністю наростання фазового зсуву гармонічних сигналів відбитих від кожного об'єкту. Таким чином:

$$f_i = \frac{j_i}{4pl}\frac{c}{e(f_i)}. \quad (21)$$

Під час запису системи рівнянь багаточастотного фазового методу дальнометрії [5] коефіцієнти x_i біля фазових зсувів сигналів відбитих від кожного об'єкту від 1 до n представляють собою відношення значення фазового зсуву на поточній частоті до фазового зсуву на першій:

$$x_i = \frac{j_i}{j_1} = \frac{4pl\frac{e(f_i)}{c} f_i}{4pl\frac{e(f_1)}{c} f_1} = \frac{e(f_i)f_i}{e(f_1)f_1}. \quad (22)$$

В такому випадку., для забезпечення лінійного приросту фазових зсувів сигналів відбитих від кожного об'єкту у системах рівнянь багаточастотного фазового методу дальнометрії [5] необхідно забезпечити приріст частоти відповідно відношенню:

$$\frac{f_i}{f_1} = x_i\frac{e(f_1)}{e(f_i)}. \quad (23)$$

Узагальнююча дисперсійна залежність для діелектриків запропонована зокрема П. Дебаєм $e(w)=e_\infty+(e_0-e_\infty)/(1-jwt)$, де e_0 - значення діелектричної проникності на частотах набагато менших $\omega_{кр}$, а e_∞ - на частотах багато великих $\omega_{кр}$. Так, $e'(w)=e_\infty+(e_0-e_\infty)/(1+w^2t^2)$, а $e''(w)=wt(e_0-e_\infty)/(1+w^2t^2)$. Таким чином, $e'(w)$ монотонно зменшується, а $e''(w)$ має максимум при $w=1/t$ [7-9].

Таким чином, виходячи із виразу (2.76) та теоретичних і експериментальних залежностей відносної діелектричної проникності від частоти, частота зондуючих сигналів повинна зростати в початковій області частот з невеликим кроком. Після перегину характеристики відносної діелектричної проникності, крок по частоті буде зростати із зростанням частоти, обернено пропорційно спаданню значень відносної діелектричної проникності. Після критичної частоти, яка відповідає другому перегину характеристики, крок по частоті повинен бути постійним і більшим за початковий крок. Причому, залежність відносної діелектричної проникності від частоти [4] можна апроксимувати кусково-лінійною функцією. Тоді сітку частот можна представити спектральною діаграмою зондуючого сигналу (рис. 3).

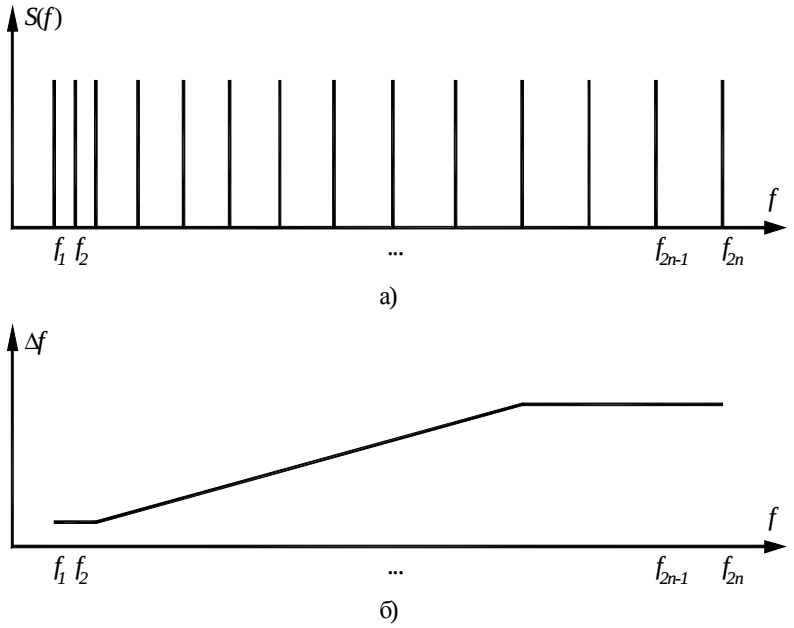


Рис. 3 Спектральна діаграма зондуючого сигналу із врахуванням нелінійної зміни діелектричної проникності від частоти:
а) спектральна діаграма;
б) залежність приросту по частоті від частоти.

Залежності діелектричної проникності від частоти для різних типів ґрунтів відрізняються [4]. Тому для різного типу ґрунту та матеріалу необхідно використовувати різні залежності. Проте, в більшості випадків вони подібні між собою і можуть бути усередненими. Як виключення, необхідно враховувати що для води та піску значення відносної діелектричної проникності в широкому діапазоні частот не змінюються. Тому при виявлення шарів піску або води, чи матеріалів із подібними властивостями, потрібно послідовно задавати зондуючі гармонічні сигнали із різними сітками частот для однозначного вимірювання глибин до одних шарів, потім змінювати сітку частот для розв'язання задачі знаходження глибин інших шарів.

Висновок

Аналіз проходження радіохвиль в підповерхневих середовищах із різними електрофізичними властивостями, дозволив розробити математичну модель уточнення результатів вимірювання дальності об'єктів. Модель полягає у послідовному розрахунку дальності об'єктів, використовуючи значення швидкості розрахованих виходячи із електричних властивостей підповерхневого шару. Для знаходження електричних властивостей підповерхневого шару, знаходиться коефіцієнт відбиття на границі розділення двох шарів, за отриманими значеннями знаходяться діелектрична проникність матеріалу шару, значення якої використовується для розрахунку швидкості поширення радіохвилі в поточному шарі.

Досліджено вплив частотної залежності відносної діелектричної проникності на набіг фазового зсуву гармонічного сигналу відбитого від одного об'єкту. Встановлено, що із зростанням частоти, фазовий зсув зростає за нелінійною залежністю.

Запропоновано частоту зондуючого сигналу змінювати за обернено пропорційною залежністю до залежності відносної діелектричної проникності підповерхневих середовищ. Це дає змогу забезпечити рівномірний приріст набігу фазового зсуву гармонічного зондуючого сигналу відбитого від одного об'єкту та забезпечити однозначне розв'язання системи рівнянь для пошуку глибин залягання об'єктів.

Література

1. Дручинин С. В. Расчет характеристик щелевой антенны георадиолокатора, находящейся вблизи поверхности грунта / С. В. Дручинин, Ю. И. Лещанский // Распространение и дифракция электромагнитных волн : Междувед. сб. – М. : МФТИ, 1993. – С. 130-143.

2. Справочник по радиолокации / [ред. М. Скольник; пер. с англ. Под ред. К. Н. Трофимова]. – Т. 1. – М. : Сов. радио, 1976. – 456 с.

3. Дебай П. Теория электрических свойств молекул / П. Дебай, Г. Закк [под ред. Л. Э. Гуревича]. – М.–Л. : Объединенное научно-техническое издательство, 1936. – 144 с.

4. Druchinin S. V. Models for calculation of dielectric constant of moist sandy clayey soils in wide range of frequencies / S. V. Druchinin // Intl. Conference jn Subsurface Sensing Techn. and Applications (SSTA 2000). – Proceedings. San Diego. California. USA, 30 July – 4 Aug. 2000.

5. Любчик В.Р. Розробка аналітичного фазового методу вимірювання відстаней до трьох об‘єктів/ В.Р. Любчик, О.М. Килимник, Ю.В. Сенчишина, Г.Б. Параска // Вісник Хмельницького національного університету. – 2009. – № 2. – С. 142–147.

6. Владов М.Л. Методическое руководство по проведению георадиолокационных исследований / М.Л. Владов, В.П. Золотарев, А.В. Старовойтов. – М. : ГСД Продакшен, 1997. – 66 с.

7. Toshio Fukuda, Yasuhisa Hasegawa, Yasuhiro Kawai, Shinsuke Sato, Zakarya Zyada, Takayuuki Matsuno “GPR signal processing with geography adaptive scanning using vector radar for antipersonnel landmine detection” International journal of advanced robotic systems, 2007, Vol. 4, No. 2, pp. 199–206.

8. John H. Bradford Ground-penetrating radar theory and application of thin-bed offset-dependent reflectivity. John H. Bradford, Jacob C. Deeds. Geophysics, VOL. 71, № 3. May–June 2006. pp. K47–K57.

9. Kazunori Takahashi Basics and Application of Ground-Penetrating Radar as a Tool for Monitoring Irrigation Process/ Kazunori Takahashi, Jan Igel, Holger Preetz, Seiichiro Kuroda Edited by Dr. Manish Kumar. Problems, Perspectives and Challenges of Agricultural Water Management. March, 2012. pp. 155–180.

References

1. Druchynyn S. V. Raschet kharakterystyk shchelevoy antennы heoradyolokatora, nakhodyashcheysya vblyzy poverkhnosty hrunta / S. V. Druchynyn, Yu. Y. Leshchanskyy // Rasprostranenye y dyfraktsyya эlektromahnytnыkh voln : Mezhduved. sb. – M. : MFTY, 1993. – S. 130-143.

2. Spravochnyk po radyolokatsyy / [red. M. Skol'nyk; per. s anhl. Pod red. K. N. Trofymova]. – T. 1. – M. : Sov. radyo, 1976. – 456 s.

3. Debay P. Teoryya эlektrycheskykh svoystv molekul / P. Debay, H. Zakk [pod red. L. Э. Hurevycha]. – M.–L. : Obъedynennoe nauchno-tekhnycheskoe yzdatel'stvo, 1936. – 144 s.

4. Druchinin S. V. Models for calculation of dielectric constant of moist sandy clayey soils in wide range of frequencies / S. V. Druchinin // Intl. Conference jn Subsurface Sensing Techn. and Applications (SSTA 2000). – Proceedings. San Diego. California. USA, 30 July – 4 Aug. 2000.

5. Lyubchyk V.R. Rozrobka analitychnoho fazovoho metodu vymiryuvannya vidstaney do tr'okh ob‘yektiv/ V.R. Lyubchyk, O.M. Kylymnyk, Yu.V. Senchyshyna, H.B. Paraska // Visnyk Khmel'nyts'koho natsional'noho universytetu. – 2009. – # 2. – S. 142–147.

6. Vladov M.L. Metodycheskoe rukovodstvo po provedenyyu heoradyolokatsyonnыkh yssledovanyy / M.L. Vladov, V.P. Zolotarev, A.V. Starovoytov. – M. : HSD Prodakshen, 1997. – 66 s.

7. Toshio Fukuda, Yasuhisa Hasegawa, Yasuhiro Kawai, Shinsuke Sato, Zakarya Zyada, Takayuuki Matsuno “GPR signal processing with geography adaptive scanning using vector radar for antipersonnel landmine detection” International journal of advanced robotic systems, 2007, Vol. 4, No. 2, pp. 199–206.

8. John H. Bradford Ground-penetrating radar theory and application of thin-bed offset-dependent reflectivity. John H. Bradford, Jacob C. Deeds. Geophysics, VOL. 71, № 3. May–June 2006. pp. K47–K57.

9. Kazunori Takahashi Basics and Application of Ground-Penetrating Radar as a Tool for Monitoring Irrigation Process/ Kazunori Takahashi, Jan Igel, Holger Preetz, Seiichiro Kuroda Edited by Dr. Manish Kumar. Problems, Perspectives and Challenges of Agricultural Water Management. March, 2012. pp. 155–180.

Рецензія/Peer review : 26.8.2015 р. Надрукована/Printed :31.8.2015 р.
Стаття рецензована редакційною колегією

УДК 620.179.4

С.Л. ГОРЯЩЕНКО
Хмельницький національний університет

ПЕРЕДАЧА ПОКРИТТЯ НА ПОВЕРХНЮ МАТЕРІАЛІВ ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ ПІСЛЯ РОЗПИЛЕННЯ

В статті розглянуто модель нанесення полімеру натекстильний матеріал. Визначено, що при його нанесенні на поверхню деталей легкої промисловості відбувається капілярне проникнення у пористу структуру текстилю, що веде до збільшення товщини покриття.Визначено вплив температури,тиску, теплопровідності, в'язкості, параметрів капілярів на товщину покриття. Отримано графік.

Ключові слова: текстиль, покриття

S.L. HORIASHCHENKO
KhmelnitskyNationalUniversity

TRANSFER COATING ON SURFACE MATERIALS OF LIGHT INDUSTRY AFTER SPRAY

In the article the model applying polymer textile material. Determined that when it is applied to the surface of parts of light industry is capillary penetration inporous textiles, leading to an increase in the thickness of the coating. The influence of temperature, pressure, conductivity, viscosity, the thickness of parameters capillary coating. Retrieved schedule.

Keywords: textiles, coatings

Актуальність роботи.

На сьогоднішній час багато різних галузей в світі, в яких використовуються матеріали, що являють собою комбінацію основ-підкладок (тканини, папір, штучні шкіри тощо) з різними покриттями (фарбами, лаком, клеями, захисними плівками). Асортимент такої продукції дуже різноманітний, має кілька тисяч видів, а з урахуванням нових тенденцій використання нано-матеріалів – відкриваються нові можливості та сфери застосування.

Досить широко використовуються матеріали, що випускаються на основі полімерних плівок, листів, еластичних пористих стрічок. В шкір-взуттєвій промисловості нанесення покриттів використовується для просочування та фарбування натуральних шкір, виробництва матеріалів для внутрішніх деталей взуття, клейового з'єднання взуття. Нанесення покриттів на плоскі підкладки використовують і для інших галузей, такі як меблева, деревообробна, паперова.Покриття, що наносяться можуть бути як односторонніми та двосторонніми, з одного й того ж або з різних складів, однакової або різної товщини. Інколи можливо застосування багатошарових покриттів.

Процес нанесення матеріалу покриття безпосередньо на текстильну поверхню відоме як пряме покриття. Прямий процес покриття має певні обмеження. Вони полягають у наступному: він застосовується для тісно сплетеної зі стабільними розмірами тканини, яка може витримати значну напруженість, і це не підходить для трикотажу, що дуже розтягується; в результаті жорсткості тканини проникнення відбувається в структуру тканини, збільшуючи адгезію і знижуючи міцність на розрив і подовження. Отже створення технологій та обладнання для передачі покриття на текстильні матеріали є актуальною задачею.

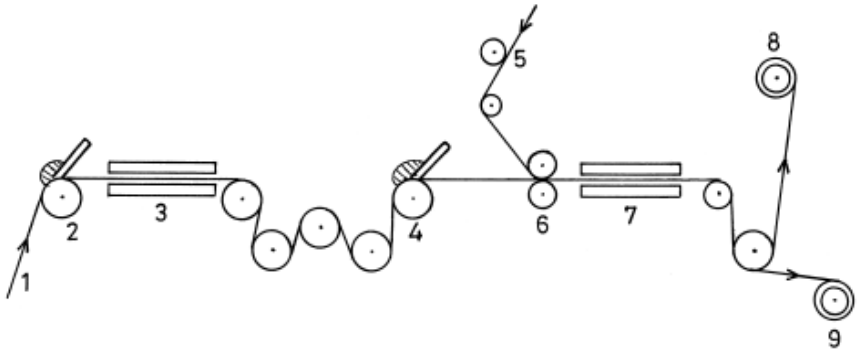
Основна частина.

Запропонований процес передачі покриття долає всі обмеження, тому що, ніякої напруженості не застосовується під час нанесення покриття. Найтонші і тканини, що розтягуються, можуть бути покриті завдяки цьому процесу. Крім того, за належною обробкою текстильна підкладка може бути змінена, щоб дати набагато краще естетичну привабливість, наприклад, штучна шкіра для взуття. Принципова схема процесу наведена на рисунку 1. Шар покриття наноситься на папір в зоні першого покриття і потім проходить через першу піч, де він висушується і твердішає. Це утворює верхню поверхню тканини з покриттям. Виконують це, зазвичай, з тисненням. Покриття з паперу, таким чином, переноситься на покриття. Це складає верхній шар. У зоні другого покриття, адгезивний шар відомий як сполучне покриття наноситься на сухий верхній шар, попередньо нанесений на підкладочний папір. Таким чином, папір має два шари, сухий верхній шар і липкий клей. Текстильна підкладка потім торкається захисного паперу, що містить сполучні покриття. Ламінування зроблено за допомогою набору затискних валків. Композитний шар пропускають через другу піч для сушіння і забирають з сполучного покриття. Далі етап відокремлення паперу, що дозволяє залишити текстиль з покриттям.

Папір може бути застосований до нанесення рівномірної товщини і покриття тонким шаром силікону. Папір повинен бути таким, щоб була можливість захоплення його, і в процесі обробки можна відокремити тканину не пошкоджуючи верхній шар. Гумовий ролик має перевагу в тому, що він не пошкоджує папір. Ролики для ламінування сталеві. Установка покриття, ножі, і зазор між роликами для ламінування можуть бути контрольовані і підтримуватись повністю автоматично.

Розглянемо модель нанесення полімеру на лист. Відомі роботи [1, 4] розглядали розтікання рідини по поверхні твердого тіла та його змочування. Вважалося, що розтікання є процесом самовільного поширення рідини по поверхні твердого тіла у вигляді фазового шару, а відповідна рівноважна ситуація -

змочування. На відміну від матеріалів з суцільної кристалічною структурою текстильні деталі містять багато пор, в наслідок свого органічного походження. Тому матеріал деталей можна уявити як тіло, що має велику кількість капілярів різної довжини та діаметру. В залежності від внутрішньої структури матеріалу, пори можна розрізняти за густиною та внутрішнім діаметром капілярів.Отже, процес змочування поверхні текстилю пов'язано з додатковим капілярним ефектом проникнення рідини в структуру матеріалу. Це супроводжується збільшенням поверхні контакту полімеру і призводить до збільшення сили зчеплення між ними [2]. Сила зчеплення між деталями при цьому ґрунтується на взаємодії полімеру з контактуючими поверхнями текстилю і залежить від ступені їх змочування, хімічного складу полімеру, міжмолекулярної взаємодії між її молекулами тощо.



1) випуск паперу, 2) зона першого покриття, 3) перша сушильна піч, 4) зона другого покриття, 5) текстильна підкладка, 6) ролики для ламінування затискні, 7) друга сушильна піч, 8) тканина з покриттям 9) бабина паперу.
Рисунок 1 - Макет процесу нанесення покриття

Відомо [3,5], що капілярні процеси можливо характеризувати за допомогою деякого середнього гіпотетичного циліндричного капіляра. Авторами цих робіт доведено, що капіляру будь-якої конфігурації та площі перетину відповідає еквівалентний по швидкості капілярного руху циліндричний капіляр. Виходячи з вищезазначеного, можна вважати , що структура пористих тіл таких, як тканина, натуральна, штучна та синтетична шкіра, являє собою систему суміжних та сполучених капілярів. Таке капілярно-пористе тіло є капілярно-анізотропним [1]. Це дає нам можливість вважати, що капілярна структура і капілярна проникливість в такому тілі у всіх напрямках однакова.

Відомо раніше отриманий коефіцієнт[1,6], що врахує час заповнення капіляра полімером. Відповідно загальнеформування товщини покриття буде визначатися за такою формулою за такою формулою:

$$h_{\Pi} = \frac{cS\Delta T}{W}\sqrt{\frac{Pt}{h}}\frac{2r_{ki}}{h_{ki}}, \qquad (1)$$

де c - коефіцієнт теплопровідності матеріалу, S - площа контакту полімеру з текстилем, ΔT - різниця температур, W - потужність, що втрачається при передачі тепла від полімеру до матеріалу, h - в'язкість полімеру; t - час заповнення капіляру; r_{ki} - радіус капіляру; h_i - глибина заповнення капіляру полімером; P - зовнішній тиск розпилення.

Отримані значення товщини покриття представлені на рис.2. Вони показують, що відбувається збільшення товщини покриття при збільшенні часі просочування полімеру у структурі текстильного матеріалу.

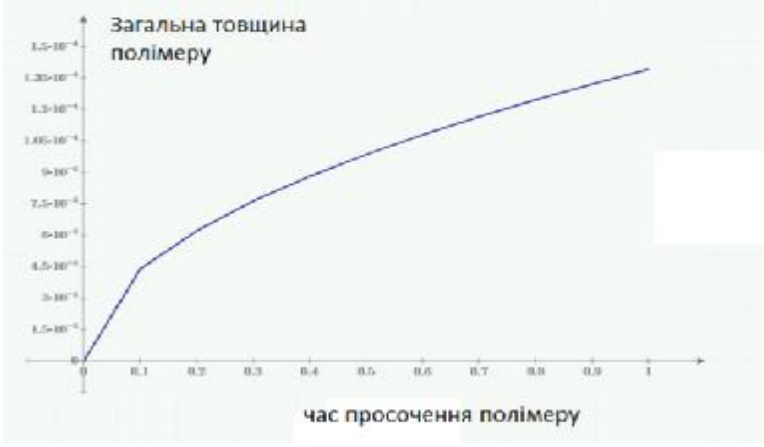


Рис. 2. Залежність товщини покриття від часу просовування полімеру у структуру текстилю

Висновки. Отримані значення товщини покриття від часу їх формування дає нам можливість формувати технологічний процес таким чином, щоб забезпечити достане адгезійне зчеплення полімеру з структурою текстильного матеріалу. Це можна виконати на обладнанні, що запропоновано.

Література

1. Horiashchenko S.L. Stregth of adhesion on object with capilary-porous strukture. - сб. трудов ; 4 україно-польских наукових діалогів, 11-14.10.2011 р.

2. Modeling and reserch of polymer coating on clothing materials. S. Horyashchenko, G. Paraska, S. Petegerych. // Innovation in textile materials&protective clothing. Monograph, Warsaw, 2012, c.151-159

3. С.Л. Горященко. Розробка способу нанесення полімеру на деталі взуття та пристрою для йогоздійснення. Воттп. –№1-2013 . С. 238-240

4. Coatedfabrics, B. Dutta, in Rubber Products Manufacturing Technology, A. K.Bhowmik, M. M. Halland H. A. Stephens, Eds., MarcelDekker, NewYork, 1994.

5. Горященко С.Л. Моделювання процесу розпилення рідини у обладнанні для модифікації поверхонь складної форми / С.Л. Горященко, С.А. Карван // Вісник Хмельницького національного університету, 2014, т.3, с.159-163

6. Горященко С.Л. Моделювання процесу нанесення покриття на поверхню матеріалів легкої промисловості методом розпилення / С.Л. Горященко // Вісник Хмельницького національного університету, 2014, т.5, с 90-94

References

1. Horiashchenko S.L. Stregthofadhesiononobjectwithcapilary-porousstrukture. - sb. trudov ; 4 ukraïno-pol'skih naukovih dialogiv, 11-14.10.2011 r.

2. Modeling and reserch of polymer coating on clothing materials. S. Horyashchenko, G. Paraska, S. Petegerych. // Innovation in textile materials&protective clothing. Monograph, Warsaw, 2012, c.151-159

3. S.L. Horiashchenko. Rozrobkasposobunanesennjapolimerunadetalivzuttjatapristrojudljajogozdijsnennja. VOTTP №1-2013 . S. 238-240

4. Coatedfabrics, B. Dutta, in Rubber Products Manufacturing Technology, A. K.Bhowmik, M. M. Halland H. A. Stephens, Eds., Marcel Dekker, New York, 1994.

5. S.L. Horiashchenko, S.A. Karvan Modeljuvannja procesu rozpilennja ridini u obladnanni dlja modifikacії poverhon" skladnoї formi.- Visnik Hmel'nic'kogo nacional'nogo universitetu, 2014, t.3, s.159-163

6. S.L. Horiashchenko Modeljuvannja procesu nanesennja pokrittja na poverhnju materialiv legkoї promislovosti metodom rozpilennja. – Visnik Hmel'nic'kogo nacional'nogo universitetu, 2014, t.5, s 90-94

Рецензія/Peer review : 26.8.2015 р. Надрукована/Printed :31.8.2015 р.
Стаття рецензована редакційною колегією

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 № 1 від 26.08.2015 р.

Підп. до друку 28.08.2015 р. Ум.друк.арк. 17,96 Обл.-вид.арк. 20,82
Формат 30х42/4, папір офсетний. Друк різографією.
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