ISSN 2307-5732

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

2.2015

ВІСНИК

Хмельницького національного університету

Технічні науки
Technical sciences

SCIENTIFIC JOURNAL

HERALD OF KHMELNYTSKYI NATIONAL UNIVERSITY

2015, Issue 2, Volume 223

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, № 2 (223)

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 № 9 від 29.03.2015 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

Б.Ф. ПІПА, С.В. МУЗИЧИШИН, О.В. ЧАБАН
ВИБІР ПАРАМЕТРІВ ПРИСТРОЮ ЗНИЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ З ДРОТЯНОЮ СПІРАЛЬНОЮ ПРУЖИНОЮ 7

Г.М. СОКОЛОВА, І.М. ПАСТУХ
АНАЛІТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ МОДИФІКАЦІЇ МЕТАЛЕВИХ ПОВЕРХОНЬ В ТЛІЮЧОМУ РОЗРЯДІ З АВТОНОМНИМИ ПАРАМЕТРАМИ РЕЖИМУ 11

Р.Д. ІСКОВИЧ-ЛОТОЦЬКИЙ, В.П. МІСЬКОВ
МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ВІБРОПРЕС-МОЛОТА З ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНИМ КЕРУВАННЯМ ДЛЯ ФОРМОУТВОРЕННЯ ЗАГОТОВОК ПОРОШКОВИХ МАТЕРІАЛІВ 17

Н.М. ЯВОРСЬКА
ВПЛИВ НАНОПОРОШКУ НІТРИДУ БОРУ НА КОРОЗІЙНУ СТІЙКІСТЬ КОМПОЗИЦІЙНИХ ЕЛЕКТРОЛІТИЧНИХ ПОКРИТТІВ НА ОСНОВІ НІКЕЛЮ 21

В.Ю. ЩЕРБАНЬ, В.Ю. КАЛАШНИК, О.З. КОЛИСКО, М.І. ШОЛУДЬКО
ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ МАТЕРІАЛУ НИТКИ І АНІЗОТРОПІЇ ТЕРТЯ НА ЇЇ НАТЯГ І ФОРМУ ОСІ 25

А.П. БІЛИК, Д.А. ФУТОРНИЙ
АНАЛІЗ УМОВ ПРАЦІ ТА ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ НА ПАТ „УКРЕЛЕКТРОАПАРАТ” ТА ЗАХОДИ ЩОДО ПОКРАЩЕННЯ 29

А.В. СУХОВІЙ, І.О. МЄНЯЙЛО-БАСИСТА, Г.А. ТІХОСОВА
ОСНОВНІ ПРИНЦИПИ ОТРИМАННЯ ВОЛОКНИСТИХ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИТІВ НА ОСНОВІ ВОЛОКОН ЛЬОНУ ОЛІЙНОГО 33

С.Л. ГОРЯЩЕНКО
АНАЛІЗ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ НАНЕСЕННЯ ПОЛІМЕРНОГО ПОКРИТТЯ НА ТЕКСТИЛЬНІ МАТЕРІАЛИ 37

С.А. ПЛЕШКО, Б.Ф. ПІПА
ВПЛИВ ЖОРСТКОСТІ ПАРИ ГОЛКА-КЛИН НА НАПРУЖЕННЯ, ЩО ВИНИКАЮТЬ В СТЕРЖНІ В`ЯЗАЛЬНОЇ ГОЛКИ ПРИ УДАРІ ОБ КЛИН 41

ТЕХНОЛОГІЇ ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

А.Л. СЛАВІНСЬКА
МЕТОД ОПТИМІЗАЦІЇ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОЗНАК СИСТЕМАТИЗОВАНОГО РЯДУ СЕРІЇ МОДЕЛЕЙ ШВЕЙНИХ ВИРОБІВ 45

М.С. ВИННИЧУК, М.В. КОЛОСНІЧЕНКО
РОЗРОБКА МЕТОДУ ЗАМИКАННЯ ЛІНІЇ ПРОЙМИ В ДОВІЛЬНОМУ ЧОТИРИКУТНИКУ В ХОДІ ПРОЕКТУВАННЯ ЖІНОЧОГО ПЛЕЧОВОГО ОДЯГУ 50

С.Г. КУЛЕШОВА
ПЕРЕДУМОВИ ЗАСТОСУВАННЯ ФРАКТАЛЬНОЇ ГРАФІКИ ДЛЯ СТРУКТУРНОГО АНАЛІЗУ СУЧАСНОГО КОСТЮМА 55

О.П. СИРОТЕНКО, М.О. ПЕРЕЯСЛОВА
УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ПРОЕКТУВАННЯ ОРНАМЕНТАЛЬНИХ АПЛІКАЦІЙ ДЛЯ ДЕКОРУВАННЯ МОДЕЛЕЙ ОДЯГУ 62

Л.Д. ТРЕТЯКОВА, Н.В. ОСТАПЕНКО, М.В. КОЛОСНІЧЕНКО, Т.В. ЛУЦКЕР
ЗОНАЛЬНО-МОДУЛЬНА МОДЕЛЬ ДЛЯ РОЗРОБКИ КОМПЛЕКТІВ
ЗАХИСНОГО ОДЯГУ 69

Н.В. ЧУПРІНА
СЕГМЕНТАЦІЯ СУБ'ЄКТІВ ІНДУСТРІЇ МОДИ ЯК УЧАСНИКІВ МОДНОГО ПРОЦЕСУ 73

М.О. КУЩЕВСЬКИЙ, Ю.В. КОШЕВКО
РОЗРОБКА УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ ГІДРОВІДЦЕНТРОВОГО СПОСОБУ
ФОРМУВАННЯ ГОЛОВОК ГОЛОВНИХ УБОРІВ З ТКАНИН 81

О.В. ЗАХАРКЕВИЧ
МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ШОРСТКОСТІ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ 85

М.О. КУЩЕВСЬКИЙ, Ю.В. КОШЕВКО
ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ГІДРОВІДЦЕНТРОВОГО СПОСОБУ
ФОРМУВАННЯ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ 91

І.С. ГАЛИК, Б.Д. СЕМАК
ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ КОНКУРЕНТОСПРОМОЖНОСТІ ВІТЧИЗНЯНОГО
ТЕКСТИЛЮ НА РИНКАХ 97

Т.Г. ЛЮДВІЧЕНКО
ПРОЕКТУВАННЯ ТРИКОТАЖНИХ ВИРОБІВ НА ОСНОВІ ПРОГРАМНОГО
ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ «M1PLUS» В УМОВАХ ПАТ «СОФІЯ» 103

Л.Є. ГАЛАВСЬКА
ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ ВИЗНАЧЕННЯ РОЗТЯЖНОСТІ ТА
ЗАКРУЧУВАНОСТІ ПОДВІЙНОГО НЕПОВНОГО ТРИКОТАЖУ 107

М.Г. МАРТОСЕНКО, Л.В. ПОЛІЩУК, Б.Д. СЕМАК
КОМПЛЕКСНЕ ОЦІНЮВАННЯ РІВНЯ ЯКОСТІ ВЕРХНЬОТРИКОТАЖНИХ
КОТОНІНОВМІСНИХ ПОЛОТЕН 111

Ю.Г. САРИБЕКОВА
ВЛИЯНИЕ СПОСОБА МОДИФИКАЦИИ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ
СВОЙСТВ ШЕРСТЯНОГО ВОЛОКНА 120

А.В. ВДОВЕНКО, В.П. КОНОВАЛ
ТИПОЛОГІЯ СТОП ДІТЕЙ УКРАЇНИ. ПОВІДОМЛЕННЯ 2. ВИЗНАЧЕННЯ
ТИПОЛОГІЇ СТОП ДІТЕЙ ЗА СТАТЕВОВІКОВОЮ ТА ТЕРИТОРІАЛЬНОЮ ОЗНАКАМИ 125

Т.А. НАДОПТА
ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ВИЗНАЧЕННЯ ПОЛОЖЕННЯ ОСІ СТОПИ
ПІД ЧАС ПРОЕКТУВАННЯ ВЗУТТЯ 131

РАДІОТЕХНІКА, ЕЛЕКТРОНІКА ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ

П.Д. ЛЕЖНЮК, О.Є. РУБАНЕНКО, І.О. ГУНЬКО
ВПЛИВ ІНВЕРТОРІВ СЕС НА ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В ЛЕС 134

V.V. ROMANUKE
EQUALIZATION OF NONUNIFORM DISTRIBUTION OF RECOGNITION ERRORS PERCENTAGE
OVER CLASSES IN CLASSIFYING SHIFTED MONOCHROME 60-BY-80-IMAGES 146

О.В. ОСАДЧУК , А.Ю. САВИЦЬКИЙ, О.С. ЗВЯГІН
ОБРОБКА ВИМІРЮВАЛЬНОГО СИГНАЛУ СЕНСОРА ЗА ДОПОМОГОЮ
ПАРАБОЛІЧНОЇ ІНТЕРПОЛЯЦІЇ 153

В.С. ОСАДЧУК, Ю.С. КРАВЧЕНКО, В.І. КОЛОМІЄЦЬ
ВПЛИВ РАДІАЦІЇ НА РОБОТУ БІПОЛЯРНИХ ТРАНЗИСТОРІВ.
Ч.2. ВПЛИВ РАДІАЦІЙНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ НА РЕКОМБІНАЦІЙНІ ВТРАТИ ПОВНИЙ РОЗРАХУНОК 159

Т.Б. МАРТИНЮК, А.В. КОЖЕМ'ЯКО, Л.М. КУПЕРШТЕЙН
РІЗНИЦЕВО-ЗРІЗОВА ОБРОБКА З ВИКОРИСТАННЯМ ПРИНЦИПІВ МОДУЛЯРНОЇ АРИФМЕТИКИ 165

С.М. ЗЛЕПКО, К.С. НАВРОЦЬКА
ПРИНЦИПИ ОРГАНІЗАЦІЇ ІНТЕРФЕЙСУ КОРИСТУВАЧА В ІНФОРМАЦІЙНІЙ СИСТЕМІ ТЕСТУВАННЯ ПЕРСОНАЛУ 169

Р.П. СТРУБИЦЬКИЙ
ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ШВИДКОСТІ РОБОТИ ПРОТОКОЛІВ ГАРАНТОВАНОЇ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ, БАЗОВАНИХ НА UDP У МІЖКОНТИНЕНТАЛЬНІЙ МЕРЕЖІ 173

В.В. КОЗЛОВСЬКИЙ, А.В. МІЩЕНКО, В.В. ВАСЯНОВИЧ
МЕТОДОЛОГІЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ В АВІАТРАНСПОРТНОМУ КОМПЛЕКСІ 178

К.С. РУДАКОВ, В.М. ЛУКАШЕНКО, Т.Ю. УТКІНА
ДВОКВАДРАНТНА ОБРАЗНО-ЗНАКОВА МОДЕЛЬ ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОГО МАРШРУТИЗАТОРА 182

С.В. ГАВРИЩУК
ЗАСТОСУВАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПРИ ЗАВОДНЕННІ НАФТОВИХ РОДОВИЩ 187

В.П. ХОРОЛЬСЬКИЙ, Д.В. ХОРОЛЬСЬКИЙ, К.Г. ТІТОРЕНКО
БАГАТОРІВНЕВА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА ОПТИМІЗАЦІЇ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ ГІРНИЧО-ЗБАГАЧУВАЛЬНИХ ПІДПРИЄМСТВ 192

О.М. КУЦЕВОЛ
ДІЕЛЕКТРОМЕТРИЧНИЙ ВОЛОГОМІР ЗЕРНА 199

Н.Я. ВОЗНА
ОСНОВИ ТЕОРІЇ СТРУКТУРИЗАЦІЇ ПОЛІФУНКЦІОНАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ СКЛАДНИХ СИСТЕМ 204

О.В. БАРМАК, О.В. МАЗУРЕЦЬ
МЕТОДИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ВИЗНАЧЕННЯ СЕМАНТИЧНИХ ТЕРМІНІВ У НАВЧАЛЬНИХ МАТЕРІАЛАХ 209

М.М. МОШНОРІЗ, В.М. ПЕТРОВСЬКИЙ
МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ДЛЯ ДІАГНОСТУВАННЯ СИСТЕМИ ВОДОПОСТАЧАННЯ 214

В.Г. ПЕТРУК, О.Є. КВАТЕРНЮК, Ю.С. ЛЮБЧАК, С.М. КВАТЕРНЮК
МОДЕЛЮВАННЯ СПЕКТРАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ШАРУ ЕПІДЕРМІСУ БІОТКАНИНИ ШКІРИ ЯК ОБ'ЄКТУ БІОМЕДИЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ 218

И.И. ЕРМАКОВА, Ю.Н. СОЛОПЧУК
КОНВЕКТИВНЫЙ ТЕПЛООБМЕН ЧЕЛОВЕКА В ВОДЕ 223

О.М. ЯШИНА
ОБҐРУНТУВАННЯ АЛГОРИТМУ КЕРУВАННЯ ДОСТУПОМ ДО ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ТОРГІВЕЛЬНОЇ МЕРЕЖІ З ВИКОРИСТАННЯМ СМАРТ-ТЕХНОЛОГІЙ 228

К.Л. ГОРЯЩЕНКО, І.В. ГУЛА, М.Д. ДОРОТЮК
МОДЕЛЮВАННЯ ПОВЕДІНКИ КАБЕЛЬНОЇ ЛІНІЇ У СЕРЕДОВИЩІ PSCAD 231

В.Т. КОНДРАТОВ, А.А. КОРОГОД
ИЗБЫТОЧНАЯ ПИРОМЕТРИЯ: БАЗОВЫЕ СТРУКТУРЫ СРЕДСТВ
ИЗБЫТОЧНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИ РАЗНЫХ ВИДАХ
ФУНКЦИИ ПРЕОБРАЗОВАНИИ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КАНАЛА 235

Р.П. ХОПТИНСЬКИЙ , А.А. ТАРАНЧУК, С.К. ПІДЧЕНКО
УНІВЕРСАЛЬНИЙ ДЕМОДУЛЯТОР СИГНАЛІВ СИСТЕМИ ПРИЙОМУ ІНФОРМАЦІЇ
КОСМІЧНИХ АПАРАТІВ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ 249

МАШИНОЗНАВСТВО ТА ОБРОБКА МАТЕРІАЛІВ В МАШИНОБУДУВАННІ

УДК 677.055

Б.Ф. ПІПА, С.В. МУЗИЧИШИН, О.В. ЧАБАН
Київський національний університет технологій та дизайну

ВИБІР ПАРАМЕТРІВ ПРИСТРОЮ ЗНИЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ З ДРОТЯНОЮ СПІРАЛЬНОЮ ПРУЖИНОЮ

Ефективність роботи в'язальних машин та автоматів суттєво залежить від динамічних навантажень, що виникають під час пуску. З метою зниження пускових динамічних навантажень доцільно в складі привода в'язальних машин використовувати пристрої зниження динамічних навантажень, зокрема пристрою зі спіральною пружиною. Враховуючи це, стаття присвячена розробці конструкції пристрою зниження динамічних навантажень з дротяною спіральною пружиною та вибору його раціональних параметрів. Запропоновано нову конструкцію приводу рукавичного автомата з таким пристроєм та метод вибору його параметрів. Застосування запропонованого привода рукавичного автомату з пристроєм зниження динамічних навантажень, що містить дротяну спіральну пружину, дозволяє підвищити надійність та довговічність його роботи. Результати досліджень можуть бути використані при розробці нових моделей рукавичних автоматів та інших типів в'язальних машин.

Ключові слова: пристрій зниження динамічних навантажень, рукавичний автомат, привод рукавичного автомата, динамічні навантаження привода, муфта зі спіральною дротяною пружиною.

B.F. PIPA, S.V. MUZYCHYSHEN, O.V. CHABAN
Kyiv National University of Technology and Design

CHOICE OF PARAMETERS OF DECLINE DEVICE OF THE RUN-TIME LOADING WITH A WIRE VOLUTE SPRING

Efficiency of work of knitting machines and automats substantially depends on the run-time loading, arising up at starting. With the purpose of decline of the starting run-time loading expediently in composition the drive of knitting machines to use the devices of decline of the run-time loading, in particular devices with a volute spring. Taking into account it, the article is sanctified to development of construction of device of decline of the run-time loading with a wire volute spring and choice of its rational parameters. The new construction of drive of glove automat with such device and method of choice of its parameters are offered. Application of the offered drive of glove automat with the device of decline of the run-time loading, containing a wire volute spring, reliability and longevity of its work allow to promote. The results of researches can be drawn on at development of new models of glove automats and other types of knitting machines.

Keywords: device of decline of the run-time loading, glove automat, drive of glove automat, run-time loading of drive, muff with a volute wire spring.

Перспективним напрямком підвищення ефективності роботи в'язальних машин, в тому числі і рукавичних автоматів, є зниження динамічних навантажень. що виникають під час несталого режиму їх роботи (пуск, гальмування, перемикання механізмів та ін.). Дослідження [1–6] показують, що динамічні навантаження суттєво впливають як на довговічність роботи в'язальних машин та автоматів, так і на якість продукції, що випускається. Тому проблема зниження динамічних навантажень є однією із актуальних проблем трикотажного машинобудування. Для розв'язання цієї проблеми важливим є розробка нових конструкцій приводів в'язальних машин та автоматів з пристроями зниження динамічних навантажень (ПЗДН). Проте відсутність наукових основ і інженерних методів проектування таких приводів стримує вирішення існуючої проблеми.

Об'єкт та методи дослідження

Об'єктом досліджень обрано ПЗДН з дротяною спіральною пружиною та метод вибору його раціональних параметрів. При вирішенні поставлених задач були використані сучасні методи теорій динаміки механічних систем з пружними елементами, пружності, опору матеріалів та теорії проектування в'язальних машин і автоматів.

Постановка завдання

Враховуючи актуальність питання підвищення ефективності роботи в'язальних машин і автоматів (підвищення продуктивності та якості виробів) шляхом удосконалення приводів, стаття присвячена розробці конструкції привода рукавичного автомата типу ПА з ПЗДН, що містить дротяну спіральну пружину та методу вибору його раціональних параметрів.

Результати та їх обговорення

Аналіз існуючих конструкцій приводів рукавичних автоматів [1, 5, 6] показує, що з метою підвищення ефективності їх роботи доцільно оснастити привод ПЗДН, що дасть можливість знизити динамічні навантаження [4] і, таким чином, підвищити надійність та довговічність його роботи, а також продуктивність та якість виробів.

Автори пропонують новий привод рукавичного автомата типу ПА з ПЗДН, що містить обгінну муфту та дротяну спіральну пружину (рис. 1).

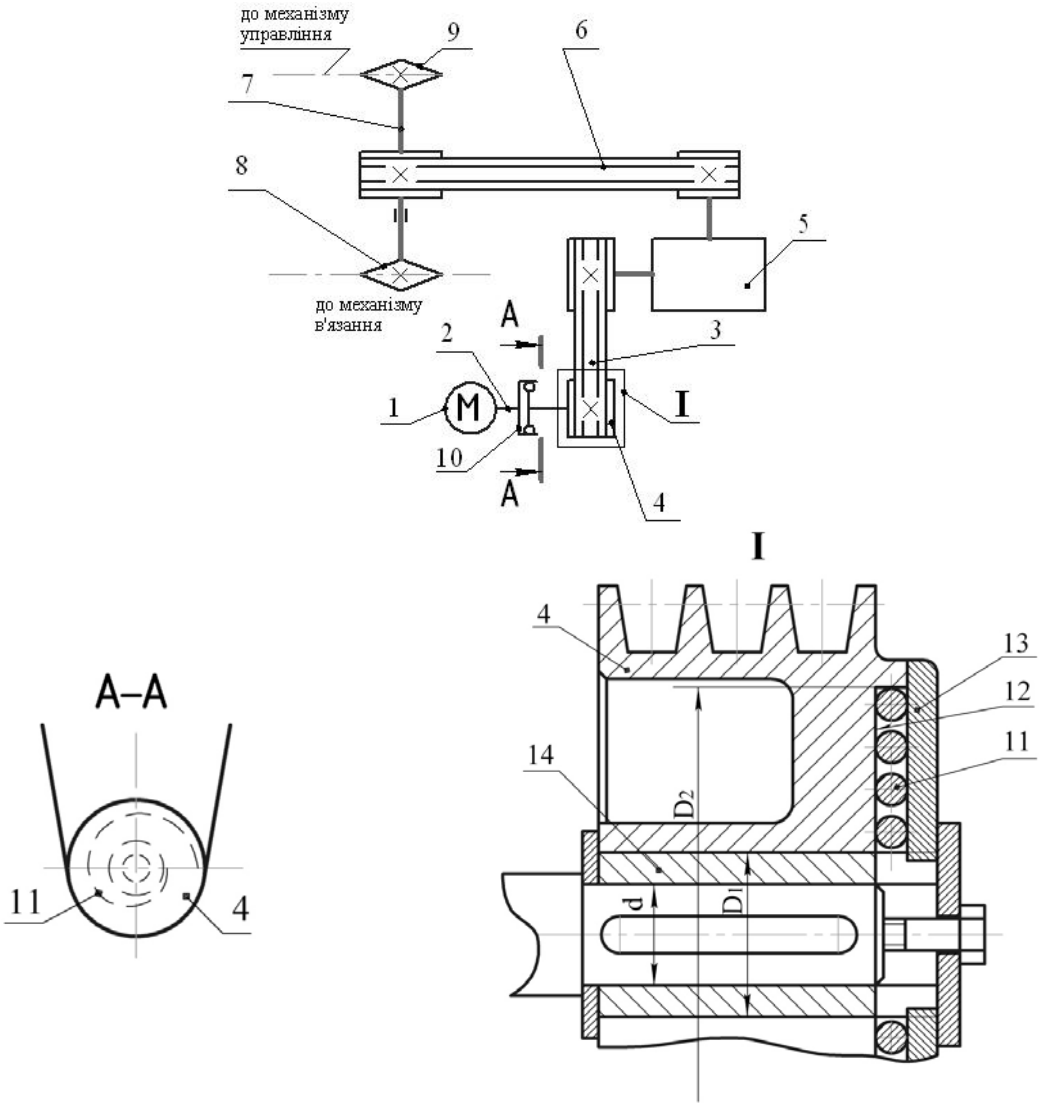


Рис. 1. Кінематична схема приводу рукавичного автомата з ПЗДН

Оснащення привода рукавичного автомата ПЗДН, що містить обгінну муфту та дротяну спіральну пружину дозволяє здійснювати пуск рукавичного автомата при попередньому напруженні пружних в'язей привода, що, як відомо [2, 4], суттєво знижує динамічні навантаження і, таким чином, призводить до підвищення надійності та довговічності роботи привода та рукавичного автомата в цілому.

Запропонований привод (рис. 1) містить електродвигун 1 з валом 2, клинопасову передачу 3 з ведучим шківом 4, з'єднаним з валом 2 електродвигуна 1, редуктор 5, другу клинопасову передачу 6, приводний вал 7 з жорстко закріпленими на його кінцях зірочками 8, 9 ланцюгових передач механізмів в'язання та управління відповідно, обгінну муфту 10, встановлену на валу електродвигуна, та дротяну спіральну пружину 11, встановлену в ведучий шків 4. Дротяна спіральна пружина 11 одним кінцем з'єднана з обгінною муфтою 10, а другим кінцем з'єднана з ведучим шківом 4. З метою забезпечення працездатності дротяної спіральної пружини зміщення її витків з одного боку обмежені площиною 12 ведучого шківа, а з другого боку шайбою 13, прикріпленою до втулки 14, встановленої всередині ведучого шківа 4.

Принцип роботи привода полягає в наступному. Під час вмикання електродвигуна 1 обертання його вала 2 за допомогою обгінної муфти 10 передається дротяній спіральній пружині 11, що встановлена всередині ведучого шківа 4, збільшенням кута повороту вала електродвигуна дротяна спіральна пружина 3 закручується. При цьому момент її пружності створює попереднє напруження пружних в'язей передач привода. Зі збільшенням часу повороту вала електродвигуна його пусковий момент зменшується від максимального значення до величини, що зумовлена жорсткістю дротяної спіральної пружини. При повному закручуванні дротяної спіральної пружини рух отримає ведучий шків 4 клинопасової передачі 3 та за допомогою пасів передає рух редуктору 5. Обертальний рух вихідного вала редуктора 5 за допомогою клинопасової передачі 6 передається приводному валу 7 із закріпленими на ньому зірочками 8 та 9, обертання яких приводить в рух відповідні механізми рукавичного автомата, що характеризує собою його пуск. Наявність в складі привода рукавичного автомата дротяної спіральної пружини сприяє виконанню наступних умов, що позитивно впливають на зниження пускових динамічних навантажень: обмеження величини пускового моменту електродвигуна; створення попереднього напруження пружних в'язей привода.

При зупинці рукавичного автомата момент сил пружності дротяної спіральної пружини 11 передається ротору електродвигуна 1 та змушує його обертатись в зворотному напрямі. Для того щоб при цьому не виникло закручування дротяної спіральної пружини в зворотному напрямі, що негативно впливає на її працездатність, передбачена обгінна муфта 10, яка відокремлює дротяну спіральну пружину від електродвигуна при його зупиненні.

З метою оцінки раціональності конструкції ПЗДН та можливості використання його в приводі рукавичного автомата типу ПА, визначимо основні параметри одного із відповідальних його елементів – дротяної спіральної пружини (пружини).

Враховуючи, що пружина кріпиться до втулки, встановленої на ведучому валу (вал електродвигуна та ін.) внутрішній діаметр пружини D_1 знаходиться із умови:

$$D_1 = D = (1,5...2,0)d\,, \tag{1}$$

де D, d – зовнішній діаметр втулки та діаметру валу відповідно.

Оскільки кількість витків пружини i повинна, з метою забезпечення оптимального зниження пускових динамічних навантажень, дорівнювати числу обертів ротора електродвигуна за час пуску, маємо:

$$i = \frac{\phi_{np}}{2\pi} = \frac{\phi_p}{2\pi}\,, \tag{2}$$

де ϕ_{np}, ϕ_p – кут закручування пружини та кут повороту ротора електродвигуна за час пуску відповідно;

Для визначення кута ϕ_p рівняння пуску рукавичного автомата можна представити у вигляді (без врахування коливального процесу) [4]:

$$J\ddot{\phi}_p = T_1 - T_3\,, \tag{3}$$

де J – сумарний приведений момент інерції обертальних мас рукавичного автомата;

T_1, T_3 – приведені момент ПЗДН (муфти) та статичний момент сил опору механізмів рукавичного автомата.

Припустивши, що пуск рукавичного автомата рівноприскорений при нульовій початковій кутовій швидкості, маємо:

$$J\frac{\omega}{t} = T_1 - T_3\,, \tag{4}$$

де ω – кутова швидкість валу електродвигуна;

t – час пуску рукавичного автомата.

З рівняння (4) знаходимо:

$$t = \frac{J\omega}{T_1 - T_3}\,. \tag{5}$$

Враховуючи прийняті вище припущення з урахуванням (5), маємо:

$$\phi_p = \frac{\omega}{2}t = \frac{J\omega^2}{2(T_1 - T_3)}\,. \tag{6}$$

Підставивши (6) в (2), знаходимо кількість витків пружини:

$$i = \frac{J\omega^2}{4\pi(T_1 - T_3)}\,. \tag{7}$$

Початковий ρ_1 та кінцевий ρ_2 радіуси закрученої пружини:

$$\rho_1 = 0,5(D_1 + d_n)\,; \qquad \rho_2 = \rho_1 + d_n i\,, \tag{8}$$

де d_n – діаметр дроту, з якого виготовлена пружина (вибирається в залежності від величини T_1).

Довжина дроту пружини L знаходиться із умови:

$$L = \pi i(\rho_1 + \rho_2)\,. \tag{9}$$

Зовнішній діаметр пружини у вільному стані приймається із конструктивних міркувань:

$$D_2 = 2\rho_2 + (20...30)\text{ мм}. \tag{10}$$

Використовуючи умову пружності пружини [7]:

$$\phi_p = \frac{T_1 L}{EJ_0}\,, \tag{11}$$

де E – модуль пружності матеріалу пружини;

J_0 – осьовий момент інерції перерізу пружини,

$$J_0 = \frac{\pi d_n^4}{64}\,, \tag{12}$$

визначаємо діаметр дроту, з якого виготовлена пружина:

$$d_n = \sqrt[4]{\frac{64T_1L}{\pi E\phi_p}}. \quad (13)$$

Жорсткість пружини C_{np} , враховуючи (6), знаходиться із умови:

$$C_{np} = \frac{T_1}{\phi_p} = \frac{2T_1\left(T_1 - T_3\right)}{J\omega^2}. \quad (14)$$

Використовуючи запропоновану методику, знайдемо параметри ПЗДН (дротяної спіральної пружини в разі використання його в приводі рукавичного автомата ПА-8-33.

В якості вихідних даних приймаємо [3]: $T = 2,5$ Нм; $T_1 = 1,2T = 3$ Нм; $\omega = 292,17$ с$^{-1}$; $J = 5,82\cdot10^{-3}$ кгм^2; $d = 20$ мм. $E = 2,15\cdot10^5$ МПа.

Для нашого випадку розміри пружини будуть:

$D_1 = D = 2d = 2\cdot20 = 40$ мм; $d_n = 3$ мм (приймаємо конструктивно);

$i = \frac{J\omega^2}{4\pi\left(T_1 - T_3\right)} = \frac{5,82\cdot10^{-3}292,17^2}{4\pi\left(3-2,5\right)\cdot9,81} = 8,06$, (приймаємо $i = 8$); $\rho_1 = 0,5\left(D_1 + d_n\right) = 0,5\left(40+3\right) = 21,5$ мм;

$\rho_2 = \rho_1 + d_n i = 21,5 + 3\cdot8 = 45,5$ мм; $D_2 = 2\rho_2 + \left(20...30\right) = 2\cdot45 + 30 = 120$ мм;

$L = \pi i\left(\rho_1 + \rho_2\right) = 8\pi\left(21,5+45,5\right) = 1684$ мм; із (13) $\phi_p = \frac{64T_1L}{\pi Ed_n^4} = \frac{64\cdot3\cdot10^3\cdot1684}{\pi\cdot2,15\cdot10^5\cdot3^4} = 5,909$ рад $= 338,56^0$;

$t = \frac{J\omega}{T_1 - T_3} = \frac{5,82\cdot10^{-3}\cdot292,17}{\left(3-2,5\right)\cdot9,81} = 0,35$ с.; $C_{np} = \frac{T_1}{\phi_p} = \frac{3}{5,909} = 0,508$ Нм/рад.

Висновки. Виконані дослідження показують наступне:

- виконані розрахунки підтверджують працездатність та доцільність використання привода рукавичного автомата з ПЗДН, що містить дротяну спіральну пружину та обгінну муфту;
- використання привода з ПЗДН в рукавичному автоматі ПА-8-33 дозволяє суттєво знизити пускові динамічні навантаження в пружних в'язях привода, що призводить до підвищення ефективності його роботи;
- результати досліджень можуть бути використані при удосконаленні діючих та при розробці нових типів рукавичних автоматів та інших видів в'язальних машин та машин загального призначення.

Литература

1. Хомяк О.Н. Повышение эффективности работы вязальных машин / О.Н. Хомяк, Б.Ф. Пипа.– М. : Легпромиздат, 1990. – 208 с.

2. Піпа Б.Ф. Динаміка круглов'язальних машин / Піпа Б.Ф., Хомяк О.М., Павленко Г.І. – К. : КНУТД, 2005. – 294 с.

3. Хомяк О.М. Динаміка плосков'язальних машин та автоматів / Хомяк О.М. – К. : КНУТД, 2008. – 250 с.

4. Кожевников С.Н. Динамика нестационарных процессов в машинах / Кожевников С.Н. – К. : Наукова думка, 1986. – 288 с.

5. Присяжнюк П.А. Наладка и эксплуатация плосковязальных трикотажных машин / Присяжнюк П.А. – К. : Техніка, 1983. – 136 с.

6. Шляхова Э.Н. Новое оборудование перчаточного производства / Шляхова Э.Н., Иванов Н.А., Исопенко Р.Н. – Л. : Легкая индустрия, 1978. – 96 с.

7. Писаренко Г.С. Справочник по сопротивлению материалов / Писаренко Г.С., Яковлев А.П., Матвеев В.В. – К. : Наукова думка, 1975. – 704 с.

References

1. Khomiak O.N., Pypa B.F. Povyshenie effektivnosti raboty viazalnykh mashyn. M.: Lehpromyzdat, 1990. 208 s.
2. Pipa B.F., Khomiak O.M., Pavlenko H.I. Dynamika kruhloviazalnykh mashyn. K.: KNUTD, 2005. 294 s.
3. Khomiak O.M. Dynamika ploskoviazalnykh mashyn ta avtomativ. K. : KNUTD, 2008. 250 s.
4. Kozhevnikov S.N. Dynamyka nestatsyonarnykh protsessov v mashynakh. K.: Naukova dumka, 1986. 288 s.
5. Prysiazhniuk P.A. Naladka i ekspluatatsyia ploskoviazalnykh trykotazhnykh mashyn. K.: Tekhnika, 1983. 136 s.
6. Shliakhova E.N., Ivanov N.A., Isopenko R.N. Novoe oborudovanye perchatochnoho proyzvodstva. L.: Lehkaia industriya, 1978. 96 s.
7. Pisarenko G.S., Yakovlev A.P., Matveev V.V. Spravochnyk po soprotyvlenyiu materyalov. K.: Naukova dumka, 1975. 704 s.

Рецензія/Peer review : 12.2.2015 р. Надрукована/Printed :7.4.2015 р.
Рецензент: д.т.н., проф. А.С. Зенкін

УДК 669.1:537.5

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

АНАЛІТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ МОДИФІКАЦІЇ МЕТАЛЕВИХ ПОВЕРХОНЬ В ТЛІЮЧОМУ РОЗРЯДІ З АВТОНОМНИМИ ПАРАМЕТРАМИ РЕЖИМУ

Розглянута проблема побудови аналітичних моделей процесу азотування металевих поверхонь у тліючому розряді. Підкреслена необхідність врахування енергетичних параметрів режиму обробки як факторів, що виступають характеристиками ефективності основних субпроцесів, якими визначаються розмір, структура та фазовий склад модифікованого шару, а отже й його експлуатаційні властивості. З метою побудови аналітичної моделі впливу параметрів азотування на його результати запропоновано методику моделювання багатофакторних процесів шляхом послідовного виключення факторів у середовищі MathCAD.

Ключові слова: моделювання, аналітична модель, багатофакторний процес, тліючий розряд, автономні параметри, модифікований шар.

G.M. SOKOLOVA, I.M. PASTUKH
Khmelnytsky national university

ANALYTICAL MODELLING OF METAL SURFACES MODIFICATION PROCESSES IN A GLOW DISCHARGE WITH THE INDEPENDENT MODE PARAMETERS

Abstract – The problem of forming of analytical models of metal surfaces nitriding in a glow discharge is considered. The necessity of considering the power mode parameters as factors acting performance characteristics of the main subprocesses that determined the size, structure and phase composition of the modified layer is underlined.

The literature on the subject of research is reviewed. The critical analysis of the existing analytical models of nitriding in a glow discharge is made. The importance of ensuring of independence of mode parameters is underlined.

In order to form analytical models that links nitriding parameters with the results of nitriding in a glow discharge the method of multifactorial process modelling by successive exclusion of impacts *in the environment of MathCAD is offered. The advantages and disadvantages of the proposed method of modelling is analyzed.*

Keywords: modelling, analytical model, multifactorial process, glow discharge, independent parameters, modified layer.

Вступ

Моделювання процесу азотування у тліючому розряді (АТР) відбувається у два етапи: на першому розробляється фізична модель, тобто обираються вихідні положення, що пояснюють фізичні аспекти процесу модифікації поверхні, а на другому – модельованому фізичному процесу ставиться у відповідність система математичних співвідношень, що описує як перебіг окремих його стадій, так і залежність результатів азотування (товщини модифікованого шару, фазового складу, мікротвердості тощо) від технологічних параметрів обробки.

Серед фізичних моделей процесу АТР уже стали класичними моделі Ю.М. Лахтіна та Б.М. Арзамасова, принципова відмінність між якими полягає у різних підходах до вирішення питання про первинність утворення у поверхневому шарі металу нітридної або дифузійної зони. Згідно з підходом, характерним для школи Ю.М. Лахтіна, вважається, що утворення азотистого α-твердого розчину починається після утворення нітридів на поверхні, причому нітриди, разом із газовою фазою, є самостійним джерелом азоту [1]. Цей підхід, характерний і для німецької школи (Kolbel, Keller, Edenhofer), був підданий критиці Б.М. Арзамасовим. Більш обґрунтованим він вважає механізм первинного формування на поверхні металу твердого розчину, концентрація насичуючого елемента в якому з часом зростає, і лише при досягненні границі його розчинності у металі утворюється надлишкова фаза [2].

У [3] наведено енергетичний аналіз згаданих теоретичних моделей АТР, який вказує на певну невідповідність їх реальним процесам. Зазначено, що процеси, описувані цими моделями, слід розглядати як окремі випадки одного більш складного процесу, причому пріоритет кожного з них залежить від конкретних умов обробки. Суттєвим недоліком обох моделей є відсутність аналітичного обґрунтування. У вказаній роботі пропонується енергетична модель процесу АТР, ключовим положенням якої є тезис про енергетичну доцільність, згідно з яким у першу чергу реалізується той з декількох можливих процесів, який у даних умовах є енергетично більш вигідним.

В енергетичній моделі АТР введено низку аналітичних показників, котрі характеризують головні субпроцеси: утворення нітридів, розпорошення поверхні, дифузію азоту в глибину поверхневого шару. Оцінка ефективності кожного з цих субпроцесів проводиться на основі розрахунку відносних енергетичних факторів (ВЕФ) того чи іншого субпроцесу. Умовно їх можна розділити на дві групи: фактори утворення нітридів в приповерхневому шарі та фактори, які відображають здатність потоку іонізованих та нейтральних часток, що бомбардують поверхню, сприяти її розпорошенню чи дифузії часток вглибину поверхневого шару. Зазначені показники характеризують складові процесу азотування якісно, тобто дають можливість проаналізувати вплив параметрів технології на структуру та властивості модифікованого шару з позиції "краще – гірше, більше – менше", але не дозволяють отримати кількісні значення кінцевих результатів азотування. Вирішення цієї задачі потребує побудови аналітичних моделей, тобто створення математичного

апарату, який давав би змогу встановити однозначний кількісний зв'язок між параметрами режиму АТР (температурою, тиском, складом газової суміші, тривалістю азотування, напругою на електродах камери та густиною струму) і величинами, що виражають кінцевий результат азотування (мікротвердість поверхні, товщина нітридної зони, зносостійкість та ін.).

Аналіз джерел за темою дослідження

За період використання технології азотування було зроблено чимало спроб надати формалізований опис окремих стадій процесу насичення поверхні азотом та явищ, що його супроводжують. Наведені у [4] результати деяких з них (моделювання кінетики росту нітридів у зоні внутрішнього азотування, прогнозування складу зони сполук, розрахунок міцності зон внутрішнього азотування, моделювання кінетики дифузійного насичення азотом при газовому азотуванні та ін.) свідчать про недостатню їх адекватність досліджуваному процесу – в окремих випадках розбіжність між розрахунковими та експериментальними даними становить 10–15 %. Аналіз робіт з моделювання азотування, наведений у роботі [5], приводить її автора до аналогічного висновку: він говорить про "значні обмеження по моделюванню азотованого шару на сталях" і фіксує неприпустимо високу похибку прогнозованих характеристик. Таким чином, попри значну кількість робіт, присвячених досліджуваному питанню, та великий накопичений досвід, задачу аналітичного моделювання процесу азотування доводиться вважати далекою від вирішення.

Що ж стосується математичного моделювання процесу АТР, то як справедливо зауважують автори роботи [6], воно і "досі не вийшло за межі розв'язання рівняння дифузії і визначення коефіцієнтів дифузії у фазах на чистому залізі, тобто воно обмежується лише процесами в оброблюваному матеріалі, ... не звертаючись до технологічних параметрів обробки". Слід зауважити, що порівняно з моделюванням рідинного, газового та інших видів азотування моделювання процесу АТР має свою специфіку, оскільки вимагає врахування характеристик тліючого розряду, що виступає у якості інтенсифікатора елементарних підпроцесів, які відповідають за утворення модифікованого шару. Однак, якщо вплив режимних параметрів (температури, тиску, складу газової суміші та тривалості процесу) на результати АТР досліджувався багатьма вченими, то енергетичні параметри (напруга на електродах камери та густина струму) у переважній більшості робіт навіть не фігурують, хоча очевидно, що сама природа процесу вимагає їх фіксації.

Важливість впливу енергетичних характеристик тліючого розряду на результат азотування врахована у роботах [6–8], де пропонується для встановлення зв'язку між вхідними параметрами АТР та товщиною модифікованого шару використовувати метод математичного планування. При цьому факторами варіювання приймалися тиск газового середовища, міжелектродна відстань та питома потужність розряду, а температура та тривалість обробки з метою скорочення кількості експериментів залишалися постійними. Втім, пропонована авторами матриця планування викликає деякі запитання. Як відомо, метод планування експерименту містить певні вимоги до сукупності факторів, однією з яких є "незалежність факторів, тобто можливість встановлення фактора на будь-якому рівні незалежно від рівнів інших факторів" [9, с. 54]. Забезпечення незалежності факторів впливу при АТР являє собою серйозну наукову задачу, розв'язання якої обіцяє широкі перспективи в плані оптимізації режимів азотування, здатних забезпечити результати модифікації, що найкраще відповідають вимогам підвищення працездатності об'єктів обробки в заданих умовах експлуатації. Але сама постановка цієї задачі має певні фізичні межі: цілком можливо за рахунок введення альтернативного джерела підігріву забезпечити незалежність температури від енергетичних факторів, але при цьому область варіювання енергетичних параметрів для конкретної комбінації температури і тиску залишатиметься обмеженою певними комбінаціями значень напруги і сили струму. Оскільки прийнята у якості фактора варіювання питома потужність розряду визначається саме напругою та силою струму ($w = UI/S$, де U – напруга; I – сила струму; S – площа поверхні об'єкта модифікації), то залишається незрозумілим, яким чином авторам пропонованої моделі вдалося провести експеримент, при постійній температурі довільно комбінуючи значення тиску та питомої потужності. Втім, проведена авторами оцінка адекватності отриманого рівняння, дозволила їм заявити, що воно "з високим степенем достовірності може бути використано при визначенні товщини азотованого шару у межах, що розглядаються". Зважаючи на крайню вузькість цих меж, практичну цінність подібних моделей навряд чи можна визнати достатньо високою, адже головна мета математичного моделювання – надати необхідну інформацію про досліджуваний об'єкт без проведення додаткових експериментів, що навряд чи можливо за умови, що область застосування моделі обмежується одним матеріалом (сталь 13Х11Н2В2МФ), однаковим складом середовища (95 % N_2 та 5 % H_2), конкретною температурою (590 °С) та визначеною тривалістю процесу (1 год). Це визнають і самі автори, зауважуючи, що "для інших температурних і часових умов необхідно будувати свою матрицю планування" [6, с. 321]. Моделі, побудовані за тією самою методикою для інших сталей та інших режимів азотування, наведені у [7].

У роботі [5] запропоновані аналітичні залежності для визначення товщини фаз азотованого шару конструкційних сталей та розподілу твердості по глибині цього шару. Втім, опубліковані у [8] результати розрахунків вказаних величин та їх порівняння з експериментальними даними свідчать про наявність достатньо високої похибки (до 9,2 %).

Постановка завдання

Наявні аналітичні моделі процесу АТР характеризуються низькою точністю, надто вузькою областю застосування та недостатньою методичною достовірністю. Деякі з них передбачають використання низки спеціальних показників (коефіцієнт дифузії, кінетичний коефіцієнт, термодинамічний коефіцієнт активності азоту в сталі при наявності легуючих елементів і т.п), що характеризуючи окремі стадії азотування або явища, які його супроводжують, тим не менш надто ускладнюють, а часом і унеможливлюють їх широке практичне застосування з метою прогнозування результатів обробки. У жодному випадку не піддаючи сумніву важливість дослідження фізичних закономірностей перебігу процесу АТР для прогнозування властивостей модифікованих шарів, тим не менш, можна з упевненістю стверджувати, що в умовах реального виробництва першочергового значення набуває наявність математичного апарату, що відображав би безпосередній взаємозв'язок між параметрами керування процесом та його кінцевими результатами. Тому практика застосування АТР та подібних технологій диктує необхідність їх представлення у якості "чорної скриньки", тобто системи, що розглядається як така, що має "вхід" для введення початкової інформації та "вихід" для відображення результатів роботи, причому стан виходів функціонально залежить від стану входів. Внутрішня будова та механізм роботи системи за такого підходу ігноруються. Широко застосовуваний метод планування експерименту, хоча й задовольняє цій умові, має уже згадані обмеження у методичному плані та області застосування. Таким чином, практика вимагає звернення до методів, які б дозволили сформувати аналітичну модель процесу АТР, що була б позбавлена вказаних недоліків.

Виклад основного матеріалу

Для створення математичного апарату, який дозволив би оцінити результати АТР як функції параметрів режиму азотування, пропонується методика побудови аналітичних моделей багатофакторних процесів шляхом послідовного виключення факторів впливу у середовищі MathCAD, загальні положення якої викладені в роботі [10]. Отримана у результаті використання вказаної методики модель може розглядатися як емпірична, оскільки у ній параметри режиму АТР пов'язуються з величинами, які характеризують його результати, через безрозмірні емпіричні коефіцієнти, що не мають чіткого фізичного сенсу.

Послідовність формування такої моделі може бути представлена у вигляді наступного алгоритму:

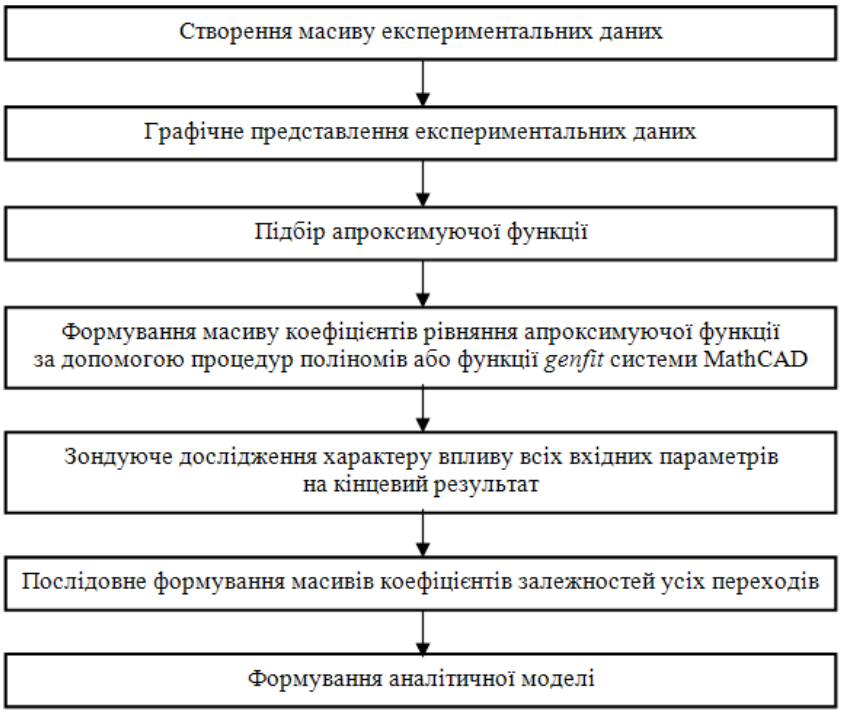


Рис. 1. Алгоритм побудови аналітичної моделі багатофакторного процесу

Сутність вказаної методики розглянемо на прикладі формування моделі процесу, що визначається трьома факторами впливу – P, A, T, причому для кожного з факторів впливу встановлено відповідно p, a, t рівнів градацій, тобто вказані фактори можуть приймати значення $P_1, P_2, \ldots, P_p$; $A_1, A_2, \ldots, A_a$; $T_1, T_2, \ldots, T_t$ відповідно.

Аналітична модель впливу вихідних факторів на кінцеві результати процесу створюється шляхом обробки експериментальних даних, отриманих в результаті проведення серії дослідів.

Масив експериментальних даних R являє собою матрицю розміру $r \times s$, де r – кількість експериментів, відмінних за умовами проведення, $r = p \cdot a \cdot t$; s – кількість результатів вимірювань досліджуваного показника при заданих умовах експерименту.

Експериментальні дані відображаються графічно, що дає можливість підібрати апроксимуючу функцію. Точність її підбору визначає відповідність кінцевих результатів даним вихідної матриці. Обчислювальна система MathCAD надає широкі можливості для застосування різних типів залежностей за допомогою вмонтованих в неї функцій, але найчастіше використовуються дві: поліном та довільна функція.

Коефіцієнти залежності довільного виду визначаються за допомогою вмонтованої в програму MathCAD функції *genfit*, для роботи якої потрібно сформувати матрицю, елементами якої є сама функція та її часткові похідні, подані у послідовності наведення коефіцієнтів у рівнянні. Одержані значення коефіцієнтів переносяться в проміжну матрицю M_X.

Вибір комбінації коефіцієнтів проводиться за критерієм мінімальної суми квадратів відхилень розрахункових значень апроксимуючої функції від експериментальних даних.

Масив коефіцієнтів першого переходу M_X є матрицею розміру $r \times z_1$ (тобто $(p \cdot a \cdot t) \times z_1$), де z_1 – кількість коефіцієнтів у рівнянні апроксимуючої функції.

Наступним кроком є визначення характеру впливу кожного фактора, що проводиться з метою визначення послідовності їх виключення. Взагалі ця послідовність може бути довільною, проте тут слід враховувати той факт, що складність моделі залежить від кількості коефіцієнтів в рівняннях кожного переходу, а вона у свою чергу визначається саме типом залежності впливу кожного фактора – так, при лінійній залежності таких коефіцієнтів буде два, при поліноміальній залежності другого степеня – три і т. д. Тому з метою спрощення моделі варто найбільш складні залежності включати в її структуру останніми, а в алгоритм обчислення – першими. Саме для цього на початку формування моделі проводиться зондуюче дослідження характеру впливу всіх вхідних параметрів на кінцевий результат і той з них, який впливає лінійно або взагалі не змінює результату, приймається в якості першого фактора виключення.

При виборі типу залежності слід уникати спрощення характеру впливу та округлення коефіцієнтів, оскільки це неминуче призведе до зниження точності моделі. Характер впливу кожного фактора при всіх варіантах комбінацій з іншими факторами впливу повинен бути однотипним, тобто тип рівняння не повинен змінюватися за формою при переході на інші значення цього фактора впливу. Так, якщо, наприклад, при певному значенні параметра T вплив фактора P на кінцевий результат описується поліноміальною залежністю другого степеня, то такого ж типу залежність повинна бути в тому випадку, коли параметр T приймає інше значення. Це правило не обов'язкове тільки для того фактора впливу, який виключається останнім.

Вдалість вибору типу залежності можна контролювати як візуально на графіку, так і аналітично за допомогою коефіцієнта кореляції.

Розглянемо випадок, коли у якості об'єкта другого переходу прийнято параметр P, залежність коефіцієнтів масиву M_X від якого описується поліномом другого порядку.

У систему MathCAD введена функція для забезпечення поліноміальної регресії при довільному степені полінома регресії *regress* (*VX, VY, n*). Вона створює єдиний апроксимуючий поліном, коефіцієнти якого обчислюються за всією сукупністю заданих точок. На практиці не рекомендується робити степінь апроксимуючого полінома вище четвертої-шостої, оскільки при цьому сильно зростає похибка реалізації регресії. Крім того, слід враховувати, що аналітичне представлення у вигляді полінома можна використовувати тільки у певному діапазоні аргументу, оскільки при виході за його межі екстраполяція може дати нереальний результат.

Масив коефіцієнтів другого переходу M_P є матрицею розміру $((a \cdot t) \times (z_1 \cdot z_2))$, де z_2 – кількість коефіцієнтів у рівнянні залежності коефіцієнтів масиву M_X від P. Аналогічно при виборі у якості об'єкта третього переходу фактора A, масив коефіцієнтів M_A є матрицею розміру $(t \times (z_1 \cdot z_2 \cdot z_3))$, де z_3 – кількість коефіцієнтів у рівнянні залежності коефіцієнтів масиву M_P від A.

При виключенні на четвертому переході фактора впливу T, масив коефіцієнтів M_T є вектор-рядком розміру $(1 \times (z_1 \cdot z_2 \cdot z_3 \cdot z_4))$, де z_4 – кількість коефіцієнтів у рівнянні залежності коефіцієнтів масиву M_A від T. Для спрощення подальшого використання цей вектор-рядок доцільно трансформувати у масив виду $((z_1 \cdot z_2 \cdot z_3) \times z_4)$, тоді елементи кожного рядка цього масиву являтимуть собою послідовно згруповані коефіцієнти кожного з рівнянь четвертого переходу.

Для випадку, коли досліджуваний процес визначається трьома факторами, вплив кожного з яких описується поліномом другого степеня, а апроксимуюча функція – поліномом третього степеня, структура моделі матиме вигляд (2.1) – (2.4). З огляду на громіздкість моделі та однотипність її структури для третього та четвертого переходів наведені лише перші та останні рівняння.

Рівняння четвертого переходу (усього $l_4 = z_1 \cdot z_2 \cdot z_3$ рівнянь):

$$\begin{aligned} K_{111}(T) &:= K_{1111} + K_{1112} \cdot T + K_{1113} \cdot T^2; \\ K_{112}(T) &:= K_{1121} + K_{1122} \cdot T + K_{1123} \cdot T;^2 \\ &\dots \\ K_{413}(T) &:= K_{1131} + K_{1132} \cdot T + K_{1133} \cdot T^2. \end{aligned} \qquad (2.1)$$

Рівняння третього переходу (усього $l_3 = z_1 \cdot z_2$ рівнянь):

$$K_{11}(A,T) := K_{111}(T) + K_{112}(T)\cdot A + K_{113}(T)\cdot A^2;$$
$$K_{12}(A,T) := K_{121}(T) + K_{122}(T)\cdot A + K_{123}(T)\cdot A^2; \quad (2.2)$$
$$\dots$$
$$K_{43}(A,T) := K_{431}(T) + K_{432}(T)\cdot A + K_{433}(T)\cdot A^2.$$

Рівняння другого переходу (усього $l_2 = z_1$ рівнянь):

$$K_1(P,A,T) := K_{11}(A,T) + K_{12}(A,T)\cdot P + K_{13}(A,T)\cdot P^2;$$
$$K_2(P,A,T) := K_{21}(A,T) + K_{22}(A,T)\cdot P + K_{23}(A,T)\cdot P^2; \quad (2.3)$$
$$K_3(P,A,T) := K_{31}(A,T) + K_{32}(A,T)\cdot P + K_{33}(A,T)\cdot P^2;$$
$$K_4(P,A,T) := K_{41}(A,T) + K_{42}(A,T)\cdot P + K_{43}(A,T)\cdot P^2.$$

Рівняння першого переходу:

$$Y(x) = K_1(P,A,T) + K_2(P,A,T)\cdot x + K_3(P,A,T)\cdot x^2 + K_4(P,A,T)\cdot x^3. \quad (2.4)$$

Система індексації коефіцієнтів у рівнянні описується виразом $K_{(k_1)(k_2)\dots(k_n)}$, де n – загальна кількість цифр в індексі коефіцієнта, яка дорівнює порядковому номеру переходу (за умови, що першим вважається перехід, на якому формується початкова матриця з вихідними коефіцієнтами); k_n – порядковий номер коефіцієнта у тому рівнянні n-го переходу, з якого визначається коефіцієнт $K_{(k_1)(k_2)\dots(k_{n-1})}$ рівняння $(n-1)$-го переходу, з якого у свою чергу визначається коефіцієнт $K_{(k_1)(k_2)\dots(k_{n-2})}$ рівняння $(n-2)$-го переходу і т. д.; причому $k_n = 1, 2, \dots, z$, де z – кількість коефіцієнтів у рівнянні цього переходу. Тобто, індекс коефіцієнта K_{312}, наприклад, означатиме, що йдеться про другий коефіцієнт рівняння третього переходу, з якого визначається перший з коефіцієнтів (K_{31}) рівняння другого переходу, з якого у свою чергу визначається третій коефіцієнт (K_3) рівняння першого переходу.

Зміна кількості та характеру впливу вихідних параметрів не міняє сутності методики побудови аналітичної моделі, але, зрозуміло, впливає на кількість та тип рівнянь, що до неї входять.

З наведених положень відслідковується система формування рівнянь моделі будь-якої складності. Кількість рівнянь в кожному переході (за винятком першого, де завжди одне рівняння) дорівнює числу коефіцієнтів в попередньому або визначається як добуток кількостей коефіцієнтів у попередніх переходах:

$$l_1 = 1; \quad l_2 = 1 \cdot z_1; \quad l_3 = z_1 \cdot z_2; \quad l_4 = z_1 \cdot z_2 \cdot z_3 \dots l_n = z_1 \cdot z_2 \cdot \dots \cdot z_{n-1}. \quad (2.5)$$

Загальне число рівнянь в моделі є сумою кількості рівнянь на всіх переходах:

$$l = 1 + l_2 + l_3 + \dots + l_n. \quad (2.6)$$

Послідовність залежностей у створеній моделі обернена відносно послідовності операцій виключення факторів впливу. Це пов'язано з тим, що кінцевий результат визначається в останню чергу, першими ж в алгоритмі розрахунку є ті залежності, які стосуються фактора впливу, котрий виключається останнім.

При наявності значної кількості вихідних факторів впливу отримана модель може виявитися доволі громіздкою: кількість рівнянь може обчислюватись десятками, а коефіцієнтів – сотнями, що може розглядатися як недолік вказаної моделі, втім для сучасних обчислювальних систем розв'язання подібних задач не становить жодних труднощів. Так, підрахунок результатів за моделлю розподілу мікротвердості по глибині азотованого шару (система з 53 рівнянь [11]) відбувається у частки секунди. Між тим можливість врахування впливу довільної кількості факторів і прогнозування результатів АТР за будь-яких значень, які ці фактори можуть приймати, безсумнівно становить серйозну перевагу моделей, отриманих за наведеною методикою. Іншими суттєвими перевагами цих моделей є їхня універсальність (моделі для різних матеріалів розрізняються лише набором коефіцієнтів) та висока точність (при вдалому підборі апроксимуючої функції відхилення між розрахунковими та експериментальними даними становить менше 3 %).

Висновки

Розглянута проблема побудови аналітичних моделей процесу азотування металевих поверхонь у тліючому розряді. Підкреслена необхідність врахування енергетичних параметрів режиму обробки як факторів, що виступають характеристиками ефективності основних субпроцесів, якими визначаються розмір, структура та фазовий склад модифікованого шару, а отже й його експлуатаційні властивості. Наведено критичний аналіз існуючих моделей АТР. З метою побудови аналітичних моделей впливу параметрів азотування на його результати запропоновано методику моделювання багатофакторних процесів шляхом послідовного виключення факторів у середовищі MathCAD.

Література

1. Лахтин Ю. М. Азотирование стали / Ю. М. Лахтин, Я. Д. Коган. – М. : Машиностроение, 1976. – 256 с.

2. Ионная химико-термическая обработка сплавов / Б. Н. Арзамасов, А. Г. Братухин, Ю. С. Елисеев, Т. А. Панайоти. – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1999. – 400 с.

3. Фізико-технічна обробка поверхні металів безводневим азотуванням в тліючому розряді : дис. ... доктора технічних наук : 05.03.07 / Пастух Ігор Маркович. – Хмельницький, 2008. – 520 с.

4. Теория и технология азотирования / Ю. М. Лахтин, Я. Д. Коган, Г.-И. Шпис, З. Бёмер. – М. : Металлургия, 1991. – 320 с.

5. Крукович М. Г. Моделирование процесса азотирования / М. Г. Крукович // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2004. – № 1. – С. 24–31.

6. Герасимов С. А. Моделирование процесса ионного азотирования / С. А. Герасимов, М. Г. Крукович, Е. А. Бадерко, Н. П. Клочков // Наука и образование. – 2013. – № 1. – С. 313–330.

7. Моделирование процессов в насыщающем пространстве при ионном азотировании / М. Г. Крукович, Е. А. Бадерко, Н. П. Клочков, А. С. Савельева [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://science-bsea.narod.ru/2012/mashin_2012_16/krukovich_model.htm

8. Упрочнение деталей азотированием и моделирование кинетики формирования диффузионных слоев при ионном процессе / М. Г. Крукович, Е. А. Бадерко, Н. П. Клочков // Вестник ВНИИЖТ. – 2012. – № 2. – С. 62–66.

9. Адлер Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю.В. Грановский. – М. : Наука, 1976. – 280 с.

10. Пастух И. М. Теория и практика безводородного азотирования в тлеющем разряде / И. М. Пастух. – Х. : Национальный научный центр "Харьковский физико-технический институт", 2006. – 364 с.

11. Пастух І. М. Мікротвердість модифікованого шару конструкційних сталей, азотованих в тліючому розряді / І. М. Пастух, Г. М. Соколова, О. С. Здибель // Вісник ХНУ. – 2014. – № 2. – С. 7–11.

References

1. Lakhtin Y. M. Azotirovanije stali / Y. M. Lakhtin, Y. D. Kogan. – M. : Mashinostroyenie, 1976. – 256 s.

2. Ionnaya khimiko-termycheskaya obrabotka splavov / B. N. Arzamasov, A. G. Bratukhin, Y. S. Yeliseyev, T. A. Panayoti. – Moscow : Izd-vo MGTU im. N.E. Baumana, 1999. – 400 s.

3. Fisico-tekhnichna obrobka poverkhni metalliv bezvodnevym azotuvanniam v tliyuchomu rozrjadi: dysertatsia na zdobuttia naukovogo stupenia doktora tekhnichnykh nauk: 05.03.07: zakhyschena 08.06.2008: zatv. 16.12.2008 / Pastukh Igor Markovich. – Khmelnitsky, 2008. – 520 s.

4. Teoriya i tekhnologiya azotirovaniya / Y. M. Lahtin, Y. D. Kogan, H.-Y. Shpitz, Z. Bëmer. – Moscow: Metallurgiya, 1991. – 320 s.

5. Krukovych M.G. Modelirovaniye protcesa azotirovaniya / M. G. Krukovych // Metallovedenye and termycheskaya obrabotka metallov. – 2004. – № 1. – P. 24-31.

6. Modelirovanie protsessa ionnogo azotirovaniya / S. A. Gerasimov, M. G. Krukovich, E. A. Baderko, N. P. Klochkov // Nauka i obrazovanie. – 2013. – № 1. – S. 313–330.

7. Modelirovanie protsessov v nasyischayuschem prostranstve pri ionnom azotirovanii / M. G. Krukovich, E. A. Baderko, N. P. Klochkov, A. S. Saveleva. URL: http://science-bsea.narod.ru/2012/mashin_2012_16/krukovich_model.htm

8. Uprochnenie detaley azotirovaniem i modelirovanie kinetiki formirovaniya diffuzionnyih sloev pri ionnom protsesse / M. G. Krukovich, E. A. Baderko, N. P. Klochkov // Vestnik VNIIZhT. – 2012. 2. – S. 62–66.

9. Adler Yu. P. Planirovanie eksperimenta pri poiske optimalnyih usloviy / Yu. P. Adler, E. V. Markova, Yu. V. Granovskiy. – M. : Nauka, 1976. – 280 s.

10. Pastukh I. M. Theorija i praktyka bezvodorodnogo azotirovania v tleushchem razrjade. – Kharkov, Natsionalnyi nauchnyi tsentr "Kharkovskyi fiziko-tekhnicheskyi institut", 2006 – 364 s.

11. Pastuh I. M. MIkrotverdIst modifIkovanogo sharu konstruktsIynih staley, azotovanih v tlIyuchomu rozryadI / I. M. Pastuh, G. M. Sokolova, O. S. Zdibel // Herald of Khmelnytsky National University. – 2014. – № 2. – S. 7–11.

Рецензія/Peer review : 3.4.2015 р. Надрукована/Printed :15.4.2015 р.
Рецензент: стаття рецензована редакційною колегією

УДК 621.74

Р.Д. ІСКОВИЧ-ЛОТОЦЬКИЙ, В.П. МІСЬКОВ
Вінницький національний технічний університет

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ВІБРОПРЕС-МОЛОТА З ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНИМ КЕРУВАННЯМ ДЛЯ ФОРМОУТВОРЕННЯ ЗАГОТОВОК ПОРОШКОВИХ МАТЕРІАЛІВ

В статті представлене математичне моделювання динамічних процесів вібропрес-молота з електрогідравлічним керуванням. Наведено поетапний математичний опис складових роботи вібраційного обладнання, що дозволяє спрогнозувати зусилля і амплітуду на виконавчому органі (вібростолі). Дане моделювання можливо використовувати для керування "за тиском" і "за частотою".

Ключові слова: вібропрес-молот, вібрація, математичне моделювання, дослідження.

R.D. ISKOVICH-LOTOTSIY, V.P. MISKOV
Vinnytsia national technical university

MATHEMATICAL MODELLING OF DYNAMIC PROCESSES VIBRO-HAMMERS WITH ELECTROHYDRAULIC CONTROL FOR FORMATION PIECES OF POWDER MATERIALS

In article presents the mathematical modelling of dynamic processes vibro-hammer with electrohydraulic control. Shows step by step mathematical description of the components of the vibration equipment to predict the forces and amplitude of the executive branch. This simulation can be used to control the "on pressure" and " on frequency".

Key words: vibro-hammer, vibration, mathematical modelling, research.

Постановка проблеми. Все ширшого використання набуває вібропресове обладнання з електрогідравлічним керуванням, що пов'язано з автоматизацією і комп'ютеризацію виробництв. Такий підхід створює необхідність глибшого дослідження його роботи і порівняння з відомим обладнанням. Зокрема це вимагає математичного дослідження та опису усіх процесів, що дозволить прогнозувати і теоретично оцінювати технологічні параметри робочих процесів.

Актуальність дослідження пов'язана із автоматизацією відомого обладнання і відповідним її математичним описом для прогнозування отриманих результатів.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Математичне дослідження використання у гідроімпульсному приводі електрогідравлічних клапанів з програмованим керуванням, дає можливість оцінити подальший їх вибір за заздалегідь відомими технологічними параметрами.

Аналіз останніх досліджень і публікацій показав, що математичне дослідження електрогідравлічного обладнання у вібропресовому обладнанні мало досліджувалось через мале використання такого обладнання у виробництві.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Дана стаття присвячується математичному моделюванню роботи вібропрес-молота з електрогідравлічним керуванням, дослідженню основних технологічних параметрів, що впливають на роботоздатність даного обладнання, та поетапний опис протікаючи процесів.

Загальнонаукове значення полягає у математичному дослідженні роботи стандартних електрогідравлічних клапанів з програмованим керуванням у вібраційному обладнанні, що дозволяє отримати імпульсний тип навантаження [2, 3].

Викладення основного матеріалу

Математичний опис роботи вібропрес-молота з електрогідравлічним керуванням слід розпочати з огляду структурно-розрахункової схеми, що представлена на рисунку 1, принцип роботи якої детально описаний у попередній статті [1].

Для розв'язку поставленої задачі можливо використати принцип Д'Аламбера, шляхом складання системи рівнянь (1), (2) на основі спрощеної динамічної моделі (рисунок 2) для прямого і зворотного ходів, що дозволяє звести ці задачі до задач статики.

Для прямого ходу:

$$\begin{cases} m_n \ddot{y}_{цп} = k_0 i_2 (x_0 - y_{цп}) - k_3 y_{цп} - c_0 i_2^{0.5} (\dot{x}_0 - \dot{y}_{цп}) - c_3 \dot{y}_{цп} - R_3; \\ m_3 \ddot{y}_{3n} = F_{ем} - k_1 y_{зп} - c_1 \dot{y}_{зп} - R_1. \end{cases} \quad (1)$$

Для зворотного ходу:

$$\begin{cases} m_n \ddot{y}_{цзв} = k_0 i_2 (x_0 - y_{цзв}) - k_3 y_{цзв} - c_0 i_2^{0.5} (\dot{x}_0 - \dot{y}_{цзв}) - c_3 \dot{y}_{цзв} - R_3; \\ m_3 \ddot{y}_{3зв} = F_{ем} - k_1 y_{ззв} - c_1 \dot{y}_{ззв} - R_1. \end{cases} \quad (2)$$

Даний метод широко використовується для математичного моделювання вібропресового обладнання з використанням ГІТ під час керування по "тиску" [2–4], ефективність використання якого підтверджено експериментальними даними. Однак під час моделювання керування по "частоті" виникає багато труднощів, тому для більш раціонального моделювання будемо використовувати загальноприйняті

залежності (закони), що враховують динаміку руху.

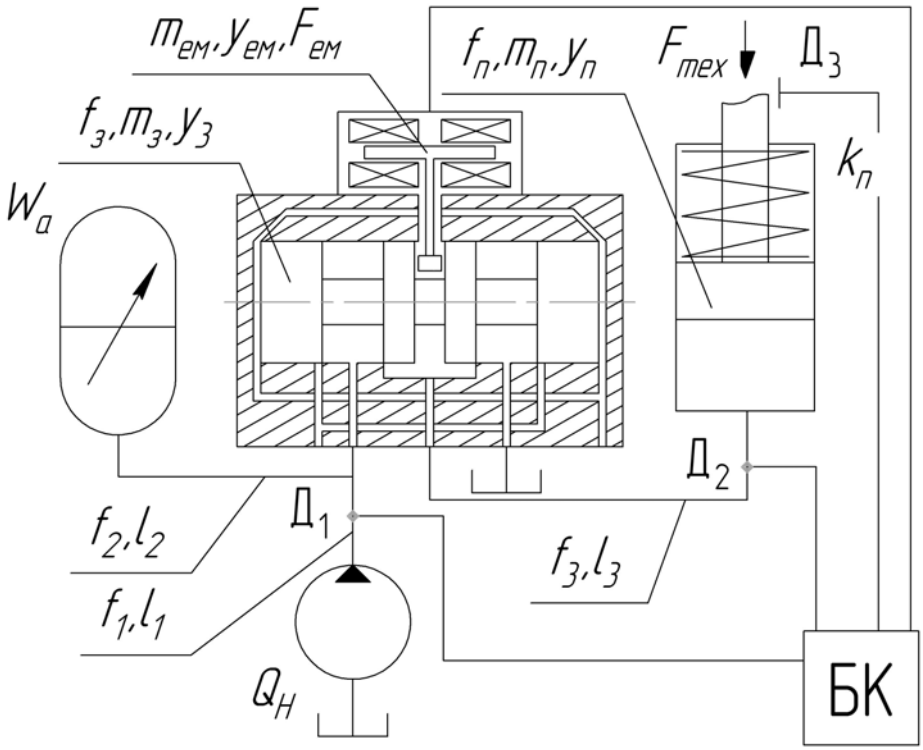


Рис. 1. Структурно-розрахункова схема
де $Q_н$ – подача гідронасоса, $W_а$ – об'єм гідроакумулятора, f_i – площі поперечних перерізів i-го елемента, m_i – маса i-го елемента, y_i – переміщення i-го елемента, $F_{ЕМ}$ – сила тяги електромагніта, $F_{тех}$ – технологічне зусилля, що діє на поршень, $k_п$ – жорсткість пружини, l_i – довжина i-го гідроканалу, $Д_1$, $Д_2$ – давачі тиску, $Д_3$ – давач переміщення

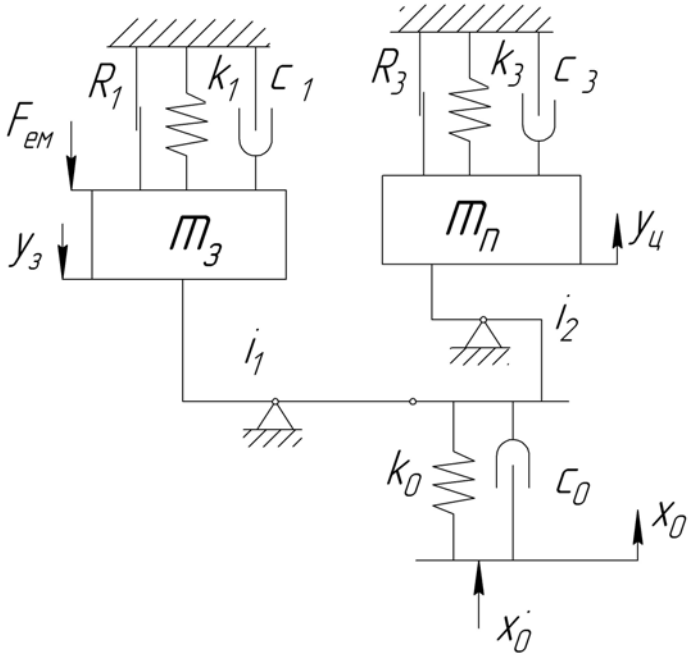


Рис. 2. Спрощена динамічна модель вібропрес-молота з електрогідравлічним керуванням

Математичний аналіз розпочнемо із запису відомого рівняння [5, 6], що описує рух плунжера виконавчого гідроциліндра

$$m_{\Sigma}\frac{d^2y_п}{dt^2} = F_{наг} - F_{тех} - F_{пр}. \qquad (3)$$

де m_{Σ} – сумарна маса приведена до плунжера виконавчого гідроциліндра, $m_{\Sigma} = m_п + m_{ст} + m_{пф} + m_{заг}$, де $m_п$ – маса плунжера, $m_{ст}$ – маса стола, $m_{пф}$ – маса пресформи, $m_п$ – маса заготовки, оскільки стіл, плунжер та пресформа між собою з'єднані не рухомо; $F_{наг} = p_ц f_ц$ – сила, що діє на торець поршня виконавчого гідроциліндра, де $p_ц$ – тиск у порожнинні виконавчого гідроциліндра, $f_ц$ – площа поперечного перерізу

поршня виконавчого гідроциліндра; $F_{тех}$ – технологічне зусилля, що діє на заготовку; $F_{пр}$ – сила натягу пружин.

Для того, щоб продемонструвати адекватність рівняння (3) перейдемо до математичного опису роботи вібропрес-молота з електрогідравлічним керуванням на кожній із вищеописаних фаз окремо. Звертаючи увагу на фази керування "по тиску" і "по частоті", видно, що вони різняться лише за параметром спрацювання та подібні у всіх інших рухах, як за природою так і за відтворенням.

На першій фазі тиск p у нагнітаючій гідролінії зростає до заданого значення $p_в$ за час $t_в$, що можна представити відомою залежністю

$$\frac{dp}{dt} = \frac{Q_н}{\beta \mathrm{W}_{нап}}, \tag{4}$$

де *d(t), d(p)* – зміна тиску та часу; $Q_н$ – подача насоса; β – податливість системи, яка залежить від значення тиску *p,* і змінюється за заданим законом, що було підтверджено експериментально [8], значення якого при $p > 6$ МПа рівний $0{,}6 \cdot 10^{-9}$ м^2/Н, а оскільки значення тиску у нагнітаючій гідролінії, на всіх ділянкам, окрім першого набору тиску, вищий *6* МПа, тому β приймаємо рівну $0{,}6 \cdot 10^{-9}$ м^2/Н; $W_{нап}$ – об'єм рідини в нагнітаючій гідролінії, який можливо визначити наступним чином $\mathrm{W}_{нап} = \mathrm{W}_{нгл} + \mathrm{W}_a$, де $W_{нгл}$ – об'єм гідроліній від насоса до електрогідравлічного клапана і до гідроакумулятора, визначається $\mathrm{W}_{нгл} = l_i f_i$, W_a – об'єм рідинного гідроакумулятора, який регулюється за допомогою поршня у гідроакумуляторі.

$W_{наг}$ є величиною змінною, за рахунок змінити тиску, змінну якої можна представити у вигляді відомої залежності

$$\Delta W_{нап} = W_{нап} \Delta p \beta, \tag{5}$$

де Δp – зміна тиску у нагнітаючій гідролінії.

З рівняння (4) визначимо час за який тиск у нагнітаючій гідролінії досягне потрібного значення для першого циклу, що буде доречним як для керування по "тиску" так і по "частоті":

$$t_{нр} = \frac{Q_н}{\beta \mathrm{W}_{нап}} \int_0^{p_в} dp. \tag{6}$$

Для другого і наступних циклів

$$t_{нр} = \frac{Q_н}{\beta \mathrm{W}_{нап}} \int_{p_з}^{p_в} dp. \tag{7}$$

Слід зауважити, що загальний час циклу $t_ц$ буде характеризувати положення золотника у "закритому" і "відкритому" положенні що можна записати рівнянням

$$t_ц = t_в + t_з, \tag{8}$$

де $t_в$ – час у "відкритому" положені, за який рідина витікає з нагнітаючої гідролінії у порожнину виконавчого гідроциліндра; $t_з$ – час у "закритому" положенні, за який тис у нагнітаючій гідролінії зростає до значення $p_в$, при якому відбувається відкриття клапана, знаходиться з рівняння (7) і рівний $t_{нр.}$

Таким чином рівняння (8) служить для визначення раціональних параметрів шпаруватості під час керування "по частоті", що при заздалегідь відомих технологічних параметрах можливо розрахувати максимально можливу частоту проходження імпульсів.

За час $t_з$ або при досягненні тиску $p_в$, які фіксуються як під час керування "за частотою" так і "за тиском" у БК, за допомогою давачів тиску, переміщення і програмного забезпечення, настає друга фаза, коли БК подається електричний імпульс з блоку керування на електромагніт електрогідравлічного клапана на "відкриття", що забезпечує перетікання енергоносія з нагнітаючої гідролінії у порожнинну виконавчого гідроциліндра, виконуючи робочий хід вібростолу на відстань $y_п$, яка залежить від потенційної енергії $E_н$, що накопилась у нагнітаючій гідролінії за час $t_з$, значення якої знайдемо за відомим виразом

$$E_н = \tfrac{1}{2} p_в^2 \Delta W_{нап} \beta. \tag{9}$$

З рівняння (9) видно, головною змінною що впливає на значення $E_н$ є $\Delta W_{нап}$, значення якого можливо регулювати шляхом зміни об'єму гідроакумулятора W_a.

Однак переміщення поршня у гідроциліндрі в основному залежить від витрати рідини через золотник, значення якої представлено у рівнянні (10), яке також враховує положення золотника у заданий момент часу і технічні параметри електромагніта.

$$Q_{кл} = k \pi d_з \frac{t^4 k_2 U^2}{12 \omega m} \frac{l_{шт} \delta}{l_я} \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}}. \tag{10}$$

Значення рівняння витрати (10) рідини через золотник дає можливість оцінити характер переміщення поршня гідроциліндра, рівняння рівноваги для якого має наступний вигляд

$$p_ц f_ц = F_{тех} + mg + k y_п. \tag{11}$$

З якого, шляхом перетворення і врахуванням рівняння (4) ми знаходимо значення тиску у гідроциліндрі

$$p_ц = \frac{\beta f_ц y_n t_{нр}}{Q_{кл}}. \quad (12)$$

І відповідне переміщення поршня, характер переміщення якого залежатиме від швидкості зміни тиску $p_ц$ і відповідною подачею враховуючи, що $Q_{кл} = Q_н + Q_a$.

$$y_n = \frac{p_{ц\max} f_ц - F_{mex} - mg}{k}. \quad (13)$$

Який під час руху у верх має кінетичну енергію

$$E_к = \frac{m_\Sigma v_{пл}^{\ 2}}{2}, \quad (14)$$

де $v_{пл}$ – швидкість руху плунжера.

Таким чином можливо спрогнозувати силу та час імпульсу, що діє на заготовку з боку вібростолу, який жорстко кріпиться до поршня гідроциліндра.

Висновки

В статті наведено, шляхом математичного моделювання основні процеси роботи вібропрес-молота з електрогідравлічним керуванням, які визначають технологічні параметри вказаного обладнання. Представлено залежності, які характеризують процес набору тиску у нагнітаючій гідролінії (тиск і час набору), залежність перетікання рідини через клапан від положення якоря електромагніта, залежність зміни тиску у виконавчому гідроциліндрі і характер руху виконавчого органа. Це дозволяє спрогнозувати характер вібраційного навантаження, що впливає на якість заготовки та вибір, за технологічними і конструктивними параметрами, стандартних електрогідравлічних клапанів, що використовується у якості віброзбуджувачів.

Література

1. Іскович-Лотоцький Р.Д. Динамічна та математична моделі вібропрес-молота з електрогідравлічним керуванням / Р.Д. Іскович-Лотоцький, В.П. Міськов, А.В. Слабкий. – Львів.

2. Іскович-Лотоцький Р.Д. Основи теорії розрахунку процесів і обладнання для віброударного пресування : монографія. – Вінниця : УНІВЕРСУМ – Вінниця, 2006. – 338 с.

3. Іскович-Лотоцький Р.Д. Процеси та машини вібраційних і віброударних технологій : монографія / Іскович-Лотоцький Р.Д., Обертюх Р.Р., Севостьянов І.В. – Вінииця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2006. – 291 с.

4. Іскович-Лотоцький Р.Д. Генератори імпульсів тиску для керування гідроімпульсними приводами вібраційних та віброударних технологічних машин : монографія / Іскович-Лотоцький Р.Д., Обертюх Р.Р., Архипчук М.Р. – Вінииця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. – 171 с.

5. Башта Т.М. Машиностроительная гидравлика / Башта Т.М. – М. : Машиностроение, 1971. – 672 с.

6. Ситников И.Б. Расчет и исследование предохранительных и переливних клапанов / Ситников И.Б., Матвеев И.Б. – М. : Машиностроение, 1971. – 129 с.

7. Баранов В.Н. Электрогидравлические и гидравлические вибрационные машины / Баранов В.Н., Захаров Ю.Е. – М. : Машиностроение, 1977. – 326 с.

8. Матвеев И. Б. Гидропривод машин ударного и вибрационного действия / Матвеев И. Б. – М. : Машиностроение, 1974. – 184 с.

9. Вибрации в технике : справочник в 6 т. Т.4. Вибрационные процессы и машины / Под ред. Е. Е. Лавендела. – М. : Машиностроение, 1981. – 509 с.

References

1. Iskovich – Lototskiy R.D. / DinamIchna ta matematichna modelI vIbropres-molota z elektrogIdravlIchnim keruvannyam // R.D. Iskovich-Lototskiy, V.P. MIskov, A.V. Slabkiy. LvIv

2. Iskovich – Lototskiy R.D. Osnovi teorIYi rozrahunku protsesIv I obladnannya dlya vIbroudarnogo presuvannya. MonografIya. – VInnitsya: UNIVERSUM – VInnitsya, 2006. – 338 s.

3. Iskovich – Lototskiy R.D. / Protsesi ta mashini vIbratsIynih I vIbroudarnih tehnologIy. MonografIya. // Iskovich – Lototskiy R.D., Obertyuh R.R., Sevostyanov I.V. – VIniitsya: UNIVERSUM-VInnitsya, 2006 – 291 s.

4. Iskovich – Lototskiy R.D. / Generatori ImpulsIv tisku dlya keruvannya gIdroImpulsnimi privodami vIbratsIynih ta vIbroudarnih tehnologIchnih mashin. MonografIya. // Iskovich – Lototskiy R.D., Obertyuh R.R., Arhipchuk M.R. – VIniitsya: UNIVERSUM-VInnitsya, 2008 – 171 s.

5. Bashta T.M. / Mashinostroitelnaya gidravlika – M.:Mashinostroenie, 1971. – 672s.

6. Sitnikov I.B. / Raschet i issledovanie predohranitelnyih i perelivnih klapanov // Sitnikov I.B., Matveev I.B. – M.:Mashinostroenie, 1971. – 129s.

7. Baranov V.N. / Elektrogidravlicheskie i gidravlicheskie vibratsionnyie mashinyi // Baranov V.N.,Zaharov Yu.E. – M.:Mashinostroenie, 1977. – 326s.

8. Matveev I. B. Gidroprivod mashin udarnogo i vibratsionnogo deystviya. M.: Mashinostroenie, 1974. - 184 s.

9. Vibratsii v tehnike: Spravochnik v 6-ti t. /Red. sovet: V. N. Chelomey (pred.). - M. Mashinostroenie, 1981. T.4. Vibratsionnyie protsessyi i mashinyi /Pod red. E. E. Lavendela. - 509 s.

Рецензія/Peer review : 10.3.2015 р. Надрукована/Printed :7.4.2015 р.
Рецензент: д.т.н., проф. І.О. Сивак

УДК 621.891.78

Н.М. ЯВОРСЬКА
Хмельницький національний університет

ВПЛИВ НАНОПОРОШКУ НІТРИДУ БОРУ НА КОРОЗІЙНУ СТІЙКІСТЬ КОМПОЗИЦІЙНИХ ЕЛЕКТРОЛІТИЧНИХ ПОКРИТТІВ НА ОСНОВІ НІКЕЛЮ

В статті наведено результати експериментальних досліджень корозійної стійкості композиційних електролітичних покриттів (КЕП) з включеннями нанопорошку нітриду бору і гальванічних нікелевих покриттів. Підтверджено, що введення в нікелеві шари нітридних включень зменшує швидкість корозії. Досліджено вплив дифузійного відпалу на корозійну стійкість гальванічних нікелевих покриттів та КЕП на основі нікелю.

Ключові слова: композиційні електрохімічні покриття, термічна обробка, нанопорошки, нітрид бору, корозійна стійкість.

N. M. YAVORSKA
Khmelnytskyi National University

EFFECT OF THE NANOPOWDER BORON NITRIDE ON CORROSIVE RESISTANCE OF THE COMPOSITIONAL ELECTROCHEMICAL COVERAGES ON THE BASIS OF NICKEL

Abstract – This article is devoted to problem of the corrosion resistance of the compositional electrochemical coverage with the addition of nanopowder.

The object of inquiry are compositional electrochemical coverages on the basis of nickel with the addition of nanopowder boron nitride. 20 micrometers of the coverage thickness are chosen. The author were conducted corrosions trials of the compositional electrochemical coverage formed. The corrosion resistance of the compositional electrochemical coverage using potentiostatic method are calculated. Experimentally it was established that addition of nanopowder boron nitride in the compositional electrochemical coverage on the basis of nickel lot increase theirs corrosion resistance.

The corrosion resistance of the compositional electrochemical coverage with the addition of nanopowder boron nitride are studied. Their advantages in comparison to the galvanic nickel coverage are shown.

Keywords: compositional electrochemical coverage, heat treatment, nanopowders, boron nitride, corrosion stability.

Вступ

В сучасних умовах розвиток різних галузей промисловості пов'язаний з підвищенням навантажень, температур та впливом агресивних середовищ на роботу механізмів та машин. Тому важливим є питання збільшення довговічності та надійності деталей машин при дії зовнішніх чинників, які викликають корозію та знос деталей. Розв’язання таких проблем невід’ємно пов’язано із підвищенням експлуатаційних властивостей поверхневих шарів виробів.

Підвищувати експлуатаційні властивості поверхневих шарів можна різними способами. Відомо, що поєднання різних методів та режимів для отримання покриттів дає змогу керувати їх структурою, якістю та властивостями. Поєднання методу електролітичного осадження КЕП з наступним дифузійним відпалом отриманого гальванічного шару дозволяє усунути недоліки електролітичного способу (виникнення внутрішніх напружень, наводнювання основи, низька адгезія покриття з основою) та дає можливість отримати поверхневий шар виробу визначеного складу, а відповідно, забезпечити комплекс необхідних експлуатаційних властивостей.

Результати патентного пошуку та аналіз публікацій дозволили отримати перелік низки складів КЕП на основі нікелевої матриці, яка зміцнена тугоплавкими сполуками оксидів, карбідів, нітридів. При введені тугоплавких сполук КЕП отримують вищу зносостійкість, твердість і корозійну стійкість в порівнянні з звичайними гальванічними покриттями. Особливо це стосується КЕП, в яких у якості дисперсних матеріалів використані нанопорошки. Авторами Лучкою М.В., Кіндрачуком М.В., Корнієнком А.О., Похмурським В.І., Мардаревичем Р.С., Федорчуком С.В. та ін., запропоновано в якості дисперсних включень наночастинки SiC та гранули евтектичного жаростійкого сплаву, порошок аморфного бору структури Ме-$Ме_{2-3}$ В, та інші добавки [1, 2].

В загальному сукупність різних параметрів для отримання покриттів не дає можливості однозначно прогнозувати властивості покриттів і потребує експериментальних досліджень у кожному конкретному випадку, тому доцільним є визначення корозійної стійкості КЕП на основі нікелю з добавкою нанопорошку нітриду бору та дослідження впливу термічної обробки на корозійну стійкість отриманих КЕП.

Експериментальна частина

Об’єктом дослідження були КЕП, створені на основі гальванічного нікелю з включеннями нітридів бору [3]. Для порівняння досліджувалися гальванічні покриття на основі нікелю. Товщина покриттів складала 20 мкм. Для покращення адгезійних властивостей та отримання на поверхні деталей визначеного складу покриттів, було застосовано дифузійний відпал попередньо нанесеного шару.

В роботі було використано потенціостатичний метод для визначення стаціонарних потенціалів та струмів корозії, що дає можливість отримати порівняльну характеристику корозійної стійкості досліджуваних покриттів. В основі даного методу лежить визначення залежності швидкості анодного розчинення металу від потенціалу поверхні досліджуваних покриттів. Для вивчення швидкості анодної та катодної реакції, шляхом вимірювання струму в колі поляризації розглядалось зміщення потенціалу корозії

при поляризації від зовнішнього джерела струму в анодну, або катодну область. Поляризаційні криві отримували в трьохелектродній скляній комірці з використанням потенціостата П-5827М. Трьохелектродна скляна комірка містила робочий електрод з осадженим покриттям, допоміжний електрод (пластина платини) та електрод порівняння (хлор-срібний електрод). Через кожні 5 хв. після занурення досліджуваного покриття в корозійне середовище фіксували значення потенціалу.

Застосування запропонованих покриттів можливе для захисту від корозії теплообмінних труб, їх з'єднувальних елементів в атомній та тепловій енергетиці, а також деталей машин харчової промисловості. Тому реакційним середовищем для корозійних досліджень було обрано водопровідну воду (наявні сполуки хлору) з pH 5. Присутність в електроліті сполук, зокрема іонів Cl^- (сильних депасиваторів) є шкідливим для металів, корозійна стійкість яких зумовлена пасивним станом їх поверхні [3].

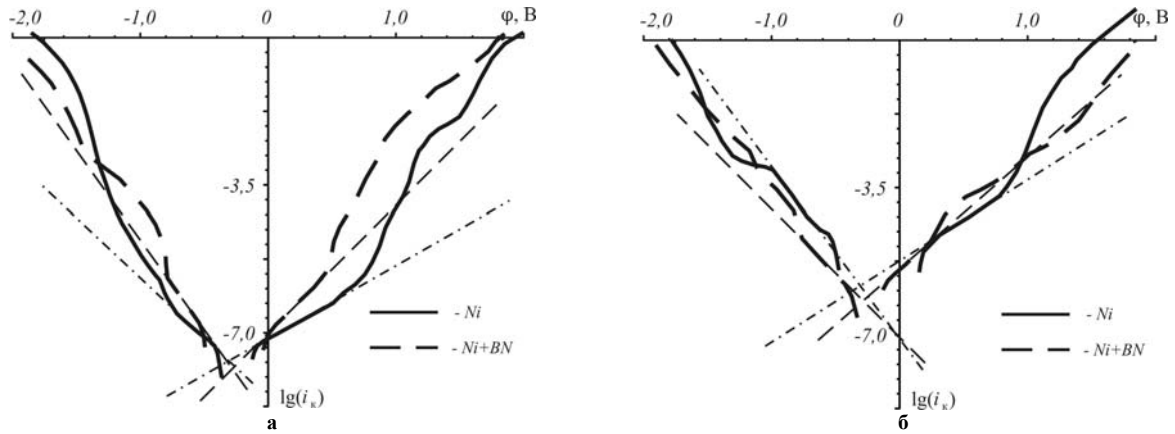
Залежність величини струму поляризації від потенціалу електрода (поляризаційні криві) отримали в результаті потенціостатичних досліджень. На рис. 1 наведена схема обробки залежностей струму корозії від потенціалу покриття [4].

а б

Рис. 1. Схема обробки поляризаційних кривих: а – поляризаційні криві; б – залежність логарифму густини струму від потенціалу $\varphi = f\left(\lg i_K\right)$

Значення густини струму (рис. 1, а) було прологарифмовано та отримано залежність – логарифм густини струму від потенціалу ($\varphi = f\left(\lg i_K\right)$, рис. 1, б). Щоб струм корозії дорівнював величині густини струму було вибрано площу дослідного зразка – 1 $см^2$. Відповідно кінетичним рівнянням, швидкість електродних процесів (залежність між потенціалом і струмом) є напівлогарифмічна. В зв'язку з цим, побудова поляризаційних кривих в такому вигляді, дала можливість визначити густину корозійного струму шляхом екстраполяції прямолінійних ділянок до їх перетину (рис. 1, б).

На рис. 2, а наведено залежності логарифму густини струму корозії від потенціалу, визначені для не відпалених гальванічних нікелевих покриттів та КЕП на основі Ni з добавкою нітриду бору в реакційному середовищі. За даними графіками визначено струм корозії. На рис. 2, б наведено залежності логарифму густини струму корозії від потенціалу, визначені для відпалених покриттів (температура відпалу 760°С, тривалість відпалу 1 година).



а б

Рис. 2. Залежність функції логарифму густини струму від потенціалу
а - зразки без відпалу; б - зразки відпалені при температурі $760°C$ протягом однієї години

Після визначення струму корозії за наведеною нижче залежністю розрахували від'ємний показник зміни маси K_m^- (г/м^{2}год) [5]:

$$K_m^- = \frac{i_K \, A}{F \, n \, 10^{-3}}, \qquad (1)$$

де i_K – струм корозії, А; A – атомна маса металу, г/моль; n – валентність іону металу; $F = 26{,}8$ – стала Фарадея, А·год/г-екв.

У випадку рівномірної корозії металу (з густиною металу ρ_{Me}, г/см^3) перехід від від'ємного показника зміни маси до глибинного показника $K_П$ (мм/рік) визначається за формулою [5]

$$K_П = \frac{K_m \cdot 8,76}{\rho_{Me}}. \quad (2)$$

Десятибальна шкала корозійної стійкості металів встановлена в залежності від величини глибинного показника корозії [4]. Значення глибинного показника корозії та режими термічної обробки наведені в табл. 1.

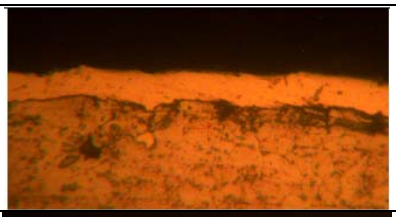
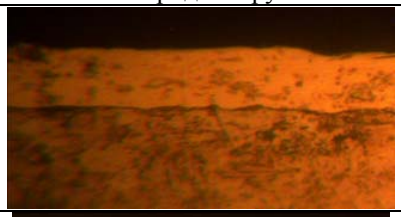
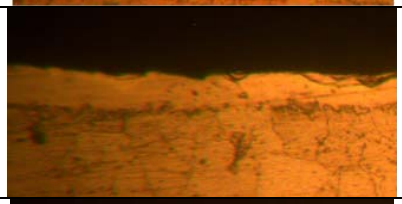
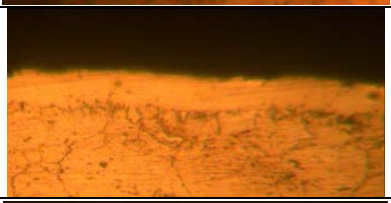
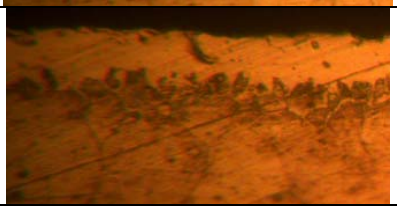
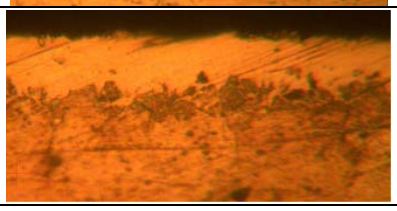
Таблиця 1

Швидкість корозії покриттів отриманих при різних режимах термічної обробки

Матеріал покриття	**Режими відпалу**		**Потенціал корозії φ, мВ**	**Струм корозії i_K, мкА**	**Показник зміни маси K_m, г/(м^{2}год)**	**Глибинний показник $K_П$, мм/рік**	**Група та бал корозійної стійкості**
	T, °C	t, год					
Ni	без відпалу		–278	0,018	0,0002	0,0002	абс. стійкі – 1
Ni	760	1	–293	1,0	0,011	0,011	стійкі – 4
Ni	760	2	–309	2,03	0,022	0,022	стійкі – 4
Ni	760	3	–322	2,87	0,031	0,031	стійкі – 4
Ni	860	1	–304	1,65	0,018	0,018	стійкі – 4
Ni	860	2	–339	3,99	0,042	0,043	стійкі – 4
Ni	860	3	–366	5,81	0,059	0,062	стійкі – 5
Ni+BN	без відпалу		–270	0,014	15 x 10^{-5}	15 x 10^{-5}	абс. стійкі – 1
Ni+BN	760	1	–281	0,68	0,007	0,007	дуже стійкі – 3
Ni+BN	760	2	–291	1,23	0,013	0,013	стійкі – 4
Ni+BN	760	3	–300	1,77	0,019	0,019	стійкі – 4
Ni+BN	860	1	–287	1,0	0,011	0,011	стійкі – 4
Ni+BN	860	2	–310	2,3	0,025	0,025	стійкі – 4
Ni+BN	860	3	–329	3,38	0,036	0,037	стійкі – 4

Таблиця 2

Металографічні дослідження покриттів після випробувань на корозійну стійкість х500

Режими відпалу	Покриття гальванічного Ni	Покриття гальванічного Ni з нановключеннями нітридів бору
Без відпалу		
$T = 760^\circ C$ $\tau = 1$ год		
$T = 860^\circ C$ $\tau = 1$ год		

Включення нанопорошку в Ni покриття без термічної обробки помітно знизило струми корозії та призвело до нижчих значень швидкості корозії, відповідно i_K =0,014 мкА, $K_П$ =15x10^{-5} мм/рік в порівнянні з чистим нікелевим покриттям i_K =0,018 мкА, $K_П$ =0,0002 мм/рік (табл. 1). Також дані покриття мали більш позитивні стаціонарні потенціали (φ = –270мВ) в порівнянні з гальванічним Ni (φ = –278 мВ, табл. 1). Таким чином, проведені дослідження підтвердили, що при введенні в нікелеві шари нітридних включень швидкість корозії зменшується 1,35 разів, тобто отримані КЕП є більш корозійностійкими. Корозійна стійкість даних покриттів за десятибальною шкалою найвища "абсолютно стійкі", бал стійкості 1 (табл. 1).

При дифузійному відпалі гальванічним нікелевим покриттям та КЕП з включеннями нанопорошку BN притаманна більша швидкість корозії (за рахунок дифузійного проникнення заліза на поверхню зразка, табл. 1). Порівнюючи глибинні показники корозії даних покриттів очевидним є те, що найменш корозійностійкими є покриття чистого гальванічного нікелю відпаленого при T=860°С, протягом τ =2,3 год, табл. 1, відповідно $K_П$ =0,043 мм/рік та $K_П$ =0,062 мм/рік. Покриття з добавкою нанопорошку мають значно вищі значення корозійної стійкості. Так покриття з включеннями нітриду BN відпалені при T=760°С, протягом τ =1 год та при T=860°С, протягом τ =1 год мають найменшу швидкість корозії з досліджуваних зразків (відповідно $K_П$ =0,007 мм/рік, група стійкості "дуже стійкі", бал стійкості 3, $K_П$ =0,011 мм/рік, група стійкості "стійкі ", бал стійкості 4). Найбільш електровід'ємним в даному середовищі є гальванічний нікель (φ = –366мВ при відпалі T=860°С, протягом τ =3 год, табл. 1). Підвищена корозійна стійкість покриттів з включеннями BN зумовлена сповільненим дифундуванням Fe в Ni покриття за рахунок бар'єру, створеного тугоплавкими нітридами.

Для визначення корозійної стійкості важливими є не тільки корозійні втрати, але й характер руйнування покриттів. Для цього були виконані металографічні дослідження. На поперечних шліфах не відпалених нікелевих покриттів було виявлено, що корозійне руйнування найбільш сильно відбулось по границях зерен, що призвело до часткового відшарування поверхневих шарів із-за недостатнього зчеплення покриття з основою (табл. 2). У зразках з відпаленими КЕП було відсутнє відшарування за рахунок утворення перехідного дифузійного шару, міжзеренне руйнування було відсутнє, спостерігалась незначна рівномірна корозія.

Висновки. Дослідженнями встановлено, що вищу корозійну стійкість в реакційному середовищі «водопровідна вода» мають КЕП з включеннями нанорозмірного BN. Введення нітриду бору підвищує корозійну стійкість нікелевих покриттів в 1,3–1,4 рази. Таке покращення корозійних властивостей пов'язано із сповільненим поширенням та рівномірним розподілом корозійного струму навколо центрів, які створюють включення BN в нікелевій матриці, а також їх власною хімічною стійкістю.

Література

1. Пат. 65018. Україна, МПК C25D 15/00. Склад для одержання зносостійких композиційних електролітичних покриттів на основі нікелю для роботи при підвищених температурах / Кіндрачук М. В., Корнієнко А. О., Федорчук С. В., Лучка М. В., Перро Д. М., Подлєсний В. В. ; заявник та патентовласник Національний авіаційний університет. – № u 2011 05006 ; заявл. 20/04/2011 ; опубл. 25.11.2011, Бюл. № 22.

2. Пат. 23289. Україна, МПК C23D 3/00. Спосіб одержання композиційних боридних покриттів на сталях і легких сплавах / Похмурський В. І., Мардаревич Р. С., Кирилів В. І. ; заявник та патентовласник Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України. – № a 2006 11185 ; заявл. 23/10/2006 ; опубл. 25.05.2007, Бюл. № 7.

3. Пат. 29705. Україна, МПК C25D 15/00. Склад для отримання КЕП на основі Ni з добавками нанорозмірних нітридів / Покришко Г. А., Дробот О. С., Підгайчук С. Я., Яворська Н. М. ; заявник та патентовласник Хмельницький національний університет. – № u 2007 10329 ; заявл. 17/09/2007 ; опубл. 25.01.2008, Бюл. № 2.

4. Туфанов Д. Г. Коррозионная стойкость нержавеющих сталей, сплавов и чистых металлов : справочник / Туфанов Д. Г. – [5-е изд. перераб. и доп.]. – М. : Металлургия, 1990. – 320 с.

5. Жук Н. П. Курс теории коррозии и защиты металлов / Жук Н. П. – М. : Металлургия, 1976. – 472 с.

References

1. Pat. 65018. Ukraina, MPK C25D 15/00. Sklad dlya odershannya znosostijkix kompoziczijnix elektrolitichnix pokrittiv na osnovi nikelyu dlya roboti pri pidvishhinix temperaturax / M. V. Kindrachuk, A. O. Korniyenko, S. V. Fedorchuk, M. V. Luchka, D. M. Perro, V. V. Podlyesnij; zayavnik ta patentovlasnik Naczional'nij aviaczijnij universitet - № u 2011 05006; zayavl. 20/04/2011; opubl. 25.11.2011, Byu. № 22.

2. Pat. 23289. Ukraina, MPK C23D 3/00. Sposib odershannya kompoziczijnix boridnix pokrittiv na stalyax i legkux stalyax / V. I. Poxmurs'kui, R. S. Mardarevich, V. I. Kirilrv; zayavnik ta patentovlasnik Fiziko-mexanichnuj institute im. G. V. Karpenka NAN Ukraini – № a 2006 11185; zayavl. 23/10/2006; opubl. 25.05.2007, Byul. № 7.

3. Pat. 29705. Ukraina, MPK C25D 15/00. Sklad dlya otrumannya KEP na osnovi Ni z dobavkami nanorozmirnux nitridiv / G. A. Pokrishko, O. S. Drobot, S. Ya. Pidgaichuk, N. M. Yavors'ka; zayavnik ta patentovlasnik Xmel'nicz'kij naczional'nij universitet – № u 2007 10329; zayavl. 17/09/2007; opubl. 25.01.2008, Byul. № 2.

4. D. G. Tufanov Korrozionnaya stojkost' nerzhaveyushhix stalej, splavov i chistux metallov: spravochnik / D. G. Tufanov. – [5-e izd. pererab. i dop.]. – M. : Metallurgiya, 1990. – 320 s.

5. N. P. Zhuk Kurs teorii korrozii I zashhitu metallov / N. P. Zhuk - M. : Metalurgiya, 1976. – 472 s.

Рецензія/Peer review : 16.3.2015 р. Надрукована/Printed :7.4.2015 р.
Рецензент: к.т.н. Підгайчук С. Я.

УДК 685.31

В.Ю. ЩЕРБАНЬ, В.Ю. КАЛАШНИК, О.З. КОЛИСКО, М.І. ШОЛУДЬКО
Київський національний університет технологій та дизайну

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ МАТЕРІАЛУ НИТКИ І АНІЗОТРОПІЇ ТЕРТЯ НА ЇЇ НАТЯГ І ФОРМУ ОСІ

В роботі наведені результати теоретичних та експериментальних досліджень з визначення натягу нитки, яка взаємодіє з напрямною поверхнею з урахуванням анізотропії сили тертя. Під час проведення досліджень використовувалися напрямні поверхні, радіус кривини яких значно перевищував радіус нитки, плоскі напрямні. Отримані рівняння для визначення натягу нитки використовувалися для удосконалення технологічних процесів текстильної промисловості.

Ключові слова: нитка, напрямна поверхня, радіус кривини, натяг.

V.Y. SHERBAN, V.Y. KALASHNIK, O.Z. KOLISKO, M.I. SHOLUDKO
Kyiv National University of Technologies and Design, Kyiv, Ukraine

RESEARCH OF INFLUENCE OF MATERIAL OF FILAMENT AND ANISOTROPY OF FRICTION ON ITS PULL AND FORM OF AX

Abstract - Across-the-grain sliding of threads on directing with constant curvature of a surface takes place at forming of an element of a fabric, at interaction of threads with directing organs of knitted and textile cars. Determination of a tension and the axis form, taking into account a material and anisotropy of friction properties of threads, allows to select their optimum parameters on the incipient period of designing of technological processes. Thus, the theme of given article is actual which has great value for improvement of technological processes textile and a knitting industry.

Task statement. On the basis of numerical integration of the differential equations and approximation of results to receive dependences for determination of a tension of threads in a working zone taking into account anisotropy of friction properties of the last and their material and to receive dependences for determination of the form of an axis of a thread.

Theoretical researches of process of interaction of threads with directing at across-the-grain sliding taking into account a material and anisotropy of friction properties of a thread have allowed to define the form of its axis and its tension in any point. It will allow to improve process of its reprocessing on the process equipment textile and a knitting industry.

For all threads the greatest tension will be had by threads with anisotropic friction properties. The real tension, on the average, at anisotropic threads in comparison with isotropic will be more on 20-30 %.

Keywords: filament, sending surface, radius of curvature, pull.

Вступ

Поперечне ковзання ниток зустрічається в багатьох технологічних процесах текстильної і трикотажної промисловості.

Поперечне ковзання ниток по напрямних з постійною кривиною поверхні має місце при формуванні елемента тканини, при взаємодії ниток з напрямними органами трикотажних та текстильних машин. Визначення натягу та форми вісі, з урахуванням матеріалу та анізотропії фрикційних властивостей ниток, дозволяє на початковому періоді проектування технологічних процесів обрати їх оптимальні параметри. Таким чином, тема даної статті є актуальною, яка має важливе значення для удосконалення технологічних процесів текстильної та трикотажної промисловості.

Об'єкти та методи дослідження. Удосконалення технологічних процесів легкої та текстильної промисловості, як об'єктів дослідження, повинно базуватися на комплексних дослідженнях процесу взаємодії ниток з напрямними поверхнями малої кривини [1, 2]. Отримання теоретичних залежностей дозволить отримати рівняння для визначення натягу та форми вісі нитки з урахуванням матеріалу та анізотропії її фрикційних властивостей в зоні формування тканини та трикотажу, зменшити відсоток обривів ниток, поліпшити якість готової продукції [2].

Постановка завдання

На основі чисельного інтегрування диференційних рівнянь та апроксимації результатів отримати залежності для визначення натягу ниток в робочій зоні з урахуванням анізотропії фрикційних властивостей останніх та їх матеріалу та отримати залежності для визначення форми вісі нитки.

Основна частина

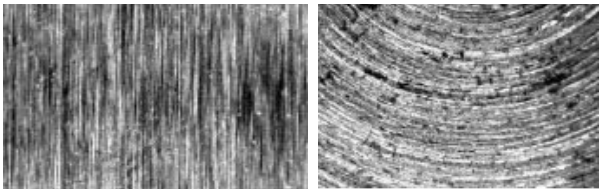


Рис. 1. Будова поверхні робочих органів

Будова поверхонь робочих органів трикотажних і текстильних машин (рис. 1), а також самих ниток (рис. 2) свідчать про те, що величина сили тертя в ортогональних напрямах (наприклад дотичній і нормалі до точки на осі нитки) відрізнятимуться. Це дозволяє говорити про необхідність врахування анізотропії фрикційних властивостей. У загальному випадку величина сили тертя визначається з виразу [3]

$$F = N\sqrt{k_1^2 + k_2^2}\,, \tag{1}$$

де F – сила тертя; N – сила нормального тиску; $\sqrt{k_1^2 + k_2^2}$ – ефективний коефіцієнт тертя [2]. Для розкриття його суті представимо силу тертя як функцію швидкості

$$\vec{F} = -\frac{NA\vec{v}}{v}, \tag{2}$$

где A – матриця, задаюча лінійне переміщення; v – швидкість точки на осі нитки. Для двох ортогональних напрямів (дотична і нормаль) вираз для даної матриці матиме вигляд

$$A = \begin{pmatrix} \mu_1 \cos\varphi & 0 \\ 0 & \mu_2 \sin\varphi \end{pmatrix}, \tag{3}$$

где μ_1, μ_2 – коефіцієнти тертя нитки в двох ортогональних напрямах; φ – кут, який утворює вектор швидкості з дотичної до осі нитки. Тоді ефективний коефіцієнт тертя визначимо по формулі

$$\sqrt{k_1^2 + k_2^2} = \sqrt{\mu_1^2 \cos^2\varphi + \mu_2^2 \sin^2\varphi}. \tag{4}$$

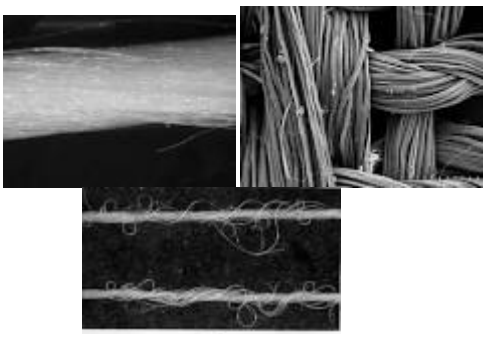


Рис. 2. Будова комплексних ниток та пряжі

Для теоретичного дослідження впливу матеріалу нитки і анізотропії тертя на натяг і форму її осі були вибрані віскозна комплексна нитка 16,7 Текс, капронова комплексна нитка 31,2 Текс, бавовняна гребінна кручена пряжа 23,6 Текс, шерстяна гребінна кручена пряжа 36 Текс.

Вибір даного асортименту, в першу чергу, пояснюється приблизно однаковим тексом ниток. Крім того, даний вид сировини широко використовується для виготовлення текстильних і трикотажних виробів. За наслідками експериментальних досліджень коефіцієнти тертя в подовжньому і поперечному напрямах для даного виду сировини відповідно дорівнювали: віскозна комплексна нитка $\mu_1 = 0{,}16,\ \mu_2 = 0{,}21$; капронова комплексна нитка $\mu_1 = 0{,}18,\ \mu_2 = 0{,}24$; бавовняна гребінна кручена пряжа $\mu_1 = 0{,}17,\ \mu_2 = 0{,}22$; шерстяна гребінна кручена пряжа $\mu_1 = 0{,}14,\ \mu_2 = 0{,}18$.

У роботі [3] було отримано диференціальне рівняння (5), яке представляє диференціальне рівняння другого порядку і визначає собою форму осі нитки при поперечному ковзанні з урахуванням анізотропії тертя

$$\left[1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2\right]^{\frac{\mu_1}{2\mu_2}-1} \frac{d^2y}{dx^2} = \frac{\mu_2 \mu_0^2 g}{P_0}. \tag{5}$$

де x, y – координати точки М, м; μ_0 – лінійна щільність нитки до розтягнення, кг/м; g – прискорення вільного падіння, м/с2; P_0 – натяг нитки в точці М [1].

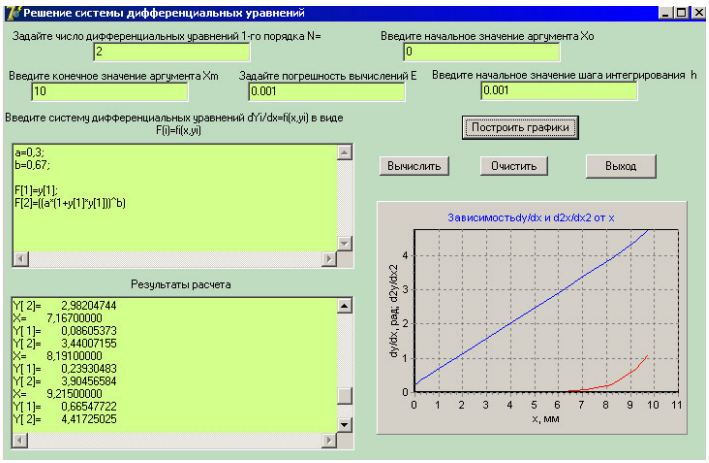


Рис. 3. Головна форма програми

Виконуючи стандартну процедуру пониження ступеня диференціального рівняння прийдемо до системи диференціальних рівнянь першого порядку. Для вирішення даної системи диференціальних рівнянь використовуватимемо метод Рунге-кутта-мерсона з автоматичною зміною кроку інтегрування. Даний метод забезпечує наближену оцінку погрішності на кожному кроці інтегрування.

На рис. 3 показана головна форма програми для визначення значення першої та другої похідної після чисельного інтегрування диференційного рівняння (5).

За наслідками розрахунків отримали наступні дані: віскозна комплексна нитка 16,7 Текс (таблиця 1), капронова комплексна нитка 31,2 Текс (таблиця 2), бавовняна гребінна кручена пряжа 23,6 Текс (таблиця 3), шерстяна гребінна кручена пряжа 36 Текс (таблиця 4).

Таблиця 1

Визначення y', y'' для віскозної комплексної нитки 16,7 Текс

x , мм	Ізотропна		Анізотропна	
	y'	y''	y'	y''
0	0	0,21	0	0,21
0,003	0,00004012	0,2113	0,00006018	0,2111
0,015	0,00004060	0,2168	0,00006091	0,2126
0,063	0,00004260	0,2388	0,00006390	0,2217
0,255	0,00005162	0,3268	0,00007743	0,2582
1,023	0,00011126	0,6787	0,00016688	0,4041
4,095	0,00233898	2,0865	0,00350848	0,9878
8,191	0,13368191	3,9656	0,57040904	3,3274
10,239	1,03379897	5,0121	1,58805110	4,3543

Таблиця 2

Визначення y', y'' для капронової комплексної нитки 31,2 Текс

x , мм	Ізотропна		Анізотропна	
	y'	y''	y'	y''
0	0	0,24	0	0,24
0,003	0,00006018	0,2414	0,00008056	0,2428
0,015	0,00006091	0,2473	0,00008252	0,2526
0,063	0,00006390	0,2708	0,00009083	0,2916
0,255	0,00007743	0,3649	0,00013336	0,4479
1,023	0,00016688	0,7411	0,00061878	1,0730
4,095	0,00350848	2,2461	0,03536551	2,7400
7,167	0,07376034	3,7517	0,27349123	3,5828
10,239	1,58623722	5,5068	2,11740146	4,8642

Таблиця 3

Визначення y', y'' для бавовняної гребінної крученої пряжі 23,6 Текс

x , мм	Ізотропна		Анізотропна	
	y'	y''	y'	y''
0	0	0,22	0	0,22
0,003	0,00005035	0,2232	0,00007049	0,2228
0,015	0,00005157	0,2345	0,00007220	0,2324
0,063	0,00005677	0,2795	0,00007948	0,2711
0,255	0,00008335	0,4596	0,00011669	0,4260
1,023	0,00038674	1,1801	0,00054143	1,0452
4,095	0,02210344	3,1013	0,03094482	2,6965
7,167	0,17093202	4,0653	0,23930483	3,5290
10,239	1,32186435	5,1975	1,85272628	4,6855

Таблиця 4

Визначення y', y'' для шерстяної гребінної крученої пряжі 36 Текс

x , мм	Ізотропна		Анізотропна	
	y'	y''	y'	y''
0	0	0,18	0	0,18
0,007	0,00002014	0,1829	0,00004028	0,1824
0,031	0,00002130	0,1931	0,00004126	0,1908
0,127	0,00002581	0,2338	0,00004542	0,2246
0,511	0,00005563	0,3967	0,00011126	0,3595
2,047	0,00116949	1,0484	0,00233898	0,8991
6,143	0,06684095	2,7862	0,13368191	2,3382
9,215	0,18587645	4,0932	0,37175290	3,4322
10,239	0,51689948	4,5515	1,03379897	3,8826

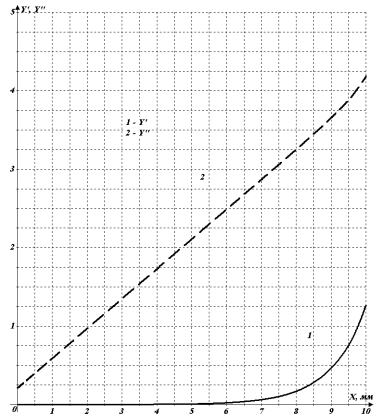


Рис. 4. Графічні залежності y', y'' для анізотропної віскозної комплексної нитки 16,7 Текс

Отримані дані таблиць 1-4 апроксимувалися за допомогою спеціального розробленого програмного забезпечення. На рис. 4 представлені графічні залежності зміни y', y'' у залежності ось x для анізотропної віскозна комплексна нитка 16,7 Текс

$$y' = 0{,}03x^2 - 0{,}18x + 0{,}04,$$
$$y'' = 0{,}004x^2 + 0{,}35x + 0{,}22. \quad (6)$$

Для визначення натягу ниток необхідно підставити дані таблиць 1–4 у формулу (7). Результати розрахунку представлені на рис. 5. Аналіз отриманих графічних залежностей показав, що для всіх ниток найбільший натяг матимуть нитки з анізотропними фрикційними властивостями. Реальний натяг, в середньому, у анізотропних ниток в порівнянні з ізотропними буде більше на 20–30%. Таким чином, отримані раніше результати давали занижене значення натягу, що при розрахунках могло привести до значної похибки.

$$P = P_0\left[1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2\right]^{\frac{\mu_1}{2\mu_2}}. \quad (7)$$

Висновки

Теоретичні дослідження процесу взаємодії ниток з напрямними при поперечному ковзанні з урахуванням матеріалу та анізотропії фрикційних властивостей нитки дозволили визначити форму її осі та її натяг в довільній точці, що дозволить удосконалити процес її переробки на технологічному устаткуванні текстильної та трикотажної промисловості.

Для всіх ниток найбільший натяг матимуть нитки з анізотропними фрикційними властивостями. Реальний натяг, в середньому, у анізотропних ниток в порівнянні з ізотропними буде більше на 2–30%.

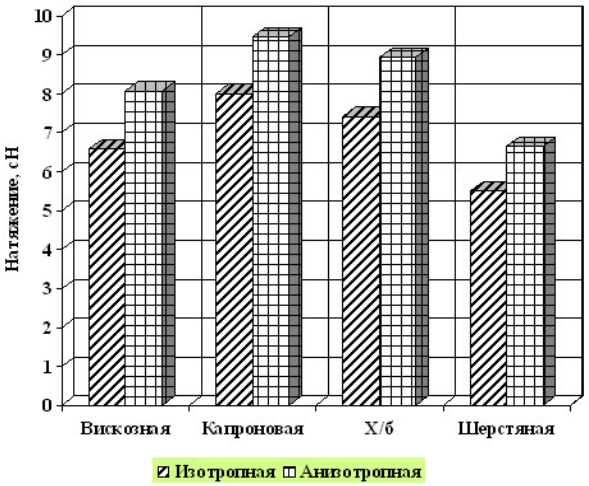


Рис. 5. Графічні залежності натягу ниток залежно від анізотропії фрикційних властивостей

Література

1. Щербань В.Ю. Механика нити / В.Ю. Щербань, О.Н. Хомяк, Ю.Ю. Щербань. – К. : Бібліотека офіційних видань, 2002. – 196 с.

2. Щербань В.Ю. Математические модели в САПР оборудования и технологических процессов легкой и текстильной промышленности / В.Ю. Щербань, О.И. Волков, Ю.Ю. Щербань. – К. : КНУТД, 2003. – 588 с.

3. Калашник В.Ю. Исследование поперечного скольжения нити по направляющей поверхности малой кривизны с учетом анизотропии трения / В.Ю. Калашник, В.Ю. Щербань // Вісник ХНУ. – 2013. – № 1. – С. 57–60.

References

1. Scherban V.Yu. Mechanics of filaments/V.Yu.Sherban, O.N.Khomyak, Yu.Yu.Scherban. -K.:Library of official editions, 2002.-196 c.

2. Scherban V.Yu. The Mathematical models in CADD of equipment and technological processes easy and textile to industry/V.Yu.Sherban, O.I.Volkov, Yu.Yu.Scherban. – K.:KNUTD, 2003. – 588 c.

3. Kalashnik V.Yu. Research of the transversal sliding of filament on the sending surface of small curvature taking into account the anisotropy of friction/V.Yu.Kalashnik, V.Yu.Sherban//Announcer HNU.-2013.-№1.-S.57-60.

Рецензія/Peer review : 3.4.2015 р. Надрукована/Printed :15.4.2015 р.
Рецензент: д.т.н., професор В.Г. Здоренко

УДК: 658.382:621.314.2(477.43)

А.П. БІЛИК, Д.А. ФУТОРНИЙ
Хмельницький національний університет

АНАЛІЗ УМОВ ПРАЦІ ТА ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ НА ПАТ „УКРЕЛЕКТРОАПАРАТ" ТА ЗАХОДИ ЩОДО ПОКРАЩЕННЯ

У статті проведено аналіз умов праці та дотримання техніки безпеки на прикладі підприємства ПАТ „Укрелектроапарат". У результаті дослідження виявлено причини нещасних випадків та професійних захворювань, проаналізовано їх кількість за останні 10 років. Визначено недоліки з питань охорони праці, які присутні на підприємстві, а також надано рекомендації щодо покращення умов праці та промислової безпеки.

Ключові слова: охорона праці, нещасні випадки, умови праці, травматизм, професійні захворювання.

A.P. BILYK, D.A. FUTORNYI
Khmelnytsky National University

ANALYSIS OF THE CONDITIONS AND SAFETY PAT „UKRELECTROAPPARAT" AND MEASURES TO IMPROVE

Abstract - The aim - to investigate the impact of the use of new technologies and modern production base, product quality assurance system in state injuries on state enterprise «Ukrelectroapparat». The article analyzes the working conditions and compliance with safety on the example of PJSC "Ukrelectroapparat." The study identified the causes of accidents and occupational diseases, analyzes their number in the last 10 years. Identified deficiencies on safety that are present in the enterprise, as well as recommendations for improving working conditions and safety. In a market economy to improve working conditions and reduce injuries should not raise productivity through compensation payments, and by implementing new technologies and modern production base, product quality assurance system, improvement of the production environment and aesthetics into account the requirements of labour.

Keywords: safety, accidents, labour conditions, injuries, occupational diseases.

Вступ

Лідером серед промислових підприємств Поділля, обличчям і візитною карткою регіонального електротехнічного машинобудування є «Укрелектроапарат» – одне з провідних підприємств трансформаторобудування не тільки в Україні, але й в країнах СНД. За роки роботи на підприємстві в поєднанні з потужною сучасною виробничою та науково - конструкторською базою стало можливо виконувати замовлення будь-якої складності.

Одним із основних завдань машинобудівної галузі є підвищення продуктивності праці. Виконання цього завдання неможливе без використання унікальних технологій, сучасної виробничої бази, системи забезпечення якості продукції та системи охорони праці. Адже тільки комплексне поєднання цих показників дасть високий технічний рівень організації виробництва та можливість освоювати нові види продукції, що в майбутньому створить базу для підвищення довіри до підприємства з боку споживачів і дозволить підтримувати на належному рівні якість продукції, що виготовляється. Разом з тим продуктивність праці обумовлена здатністю працівників фізично, фізіологічно та психофізіологічно виконувати поставлені задачі і нерозривно пов'язана з умовами праці.

Отже, охорона праці відіграє подвійну роль у виробництві:

- з одного боку при ігноруванні принципів охорони праці виникають різкі порушення умов праці з негативними наслідками для здоров'я працівників та зниженням продуктивності праці,
- з іншого – охорона праці є важливим кроком успішної інтенсифікації виробництва.

Аналіз умов праці

Метою аналізу умов праці є визначення небезпечних і шкідливих чинників виробництва та потреби в розробленні засобів і заходів для усунення ризику травмування та професійних захворювань і створення умов для високопродуктивної праці [1].

Для повноти аналізу умов праці та можливості ідентифікації небезпечних та шкідливих чинників на підприємстві «Укрелектроапарат» було розглянуто організацію виробництва, стан виробничого середовища, робочих місць, виробничого обладнання.

У відповідності до статті 13 Закону України „Про охорону праці" для забезпечення функціонування системи управління охороною праці та дотримання вимог охорони праці всіма працівниками, на ПАТ „Укрелектроапарат" функціонує відділ охорони праці чисельністю 3 посадові особи[2]. Працівники відділу охорони праці виконують свої обов'язки відповідно до Положення про систему управління охороною праці та посадової інструкції. У процесі трудової діяльності інженери з охорони праці, керуються:

- законодавством України про охорону праці;
- нормативно-правовими актами з охорони праці;
- колективним договором;
- положеннями й інструкціями з охорони праці як примірними, так і розробленими безпосередньо на підприємстві.

Виготовлення продукції здійснюються у шести виробничих підрозділах підприємства. Основними і найбільш дієвими з яких є механоштампувальний цех, трансформаторний цех, зварювальне виробництво, виробництво комплектних трансформаторних підстанцій.

У процесі складання трансформаторів на ПАТ „Укрелектроапарат" працівники піддаються впливу різних небезпечних та шкідливих виробничих факторів, які негативно впливають на трудову діяльність, можуть спричинити раптове погіршення стану здоров'я, травмування, або смерть. Наявність небезпечних і шкідливих виробничих факторів при зборці визначені видом устаткування, номенклатурою виробів і складальних одиниць, їх розмірами і масою, серійністю виробництва, організаційною формою зборки (стаціонарна, потокова), ступенем механізації процесу і т.д.

Під час детального вивчення характеристик технологічного процесу, конструкції машин і устаткування, виконуваної роботи виявлено діючі, потенційно небезпечні та шкідливі виробничі чинники, визначено їх походження, характер впливу на людину, концентрацію і тривалість дії протягом зміни:

- з фізичних факторів небезпечними на підприємстві ПАТ „Укрелектроапарат" є локальна вібрація і шум, що створюється ручним механізованим інструментом, машинами для клепки, випробувальними стендами, пневматичними пристроями, вібробункерами складальних машин;
- наявність металевого й абразивного пилу в повітрі робочої зони складального цеху може призвести до захворювання слюсарів-складальників пневмоконіозом, хронічним пиловим бронхітом, професійною бронхіальною астмою;
- у трансформаторному цеху існує небезпека ураження електричним струмом, оскільки тут експлуатується устаткування, що використовує електричний струм високої промислової частоти напругою до 380 В, наприклад, установки індукційного нагріву деталей, електродвигуни, рубильники, світильники, вентилятори;
- небезпечними факторами в складальному цеху є відлітаючі частинки абразивів, металеві скалки і пил, деталі ручного механізованого інструменту, що обертаються, нагріті (від 60 до 400°C) поверхні устаткування [3].

Аналіз травматизму та професійної захворюваності працівників на підприємстві ПАТ „Укрелектроапарат" проводиться за актами розслідування нещасних випадків і професійних захворювань. Розслідування нещасних випадків та професійних захворювань проводиться відповідно до Порядку проведення розслідування та ведення обліку нещасних випадків, професійних захворювань і аварій на виробництві, затверджених постановою Кабінету Міністрів України від 30 листопада 2011 року № 1232. Випадки професійних інфекційних захворювань та хронічних професійних інтоксикацій розслідуються як хронічні професійні захворювання. Віднесення захворювання до професійного здійснюється відповідно до процедури встановлення зв'язку захворювання з умовами праці згідно з додатком 14 та переліку професійних захворювань, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 8 листопада 2000 р. № 1662. Найбільша увага приділяється аналізу причин виникнення основних небезпек і шкідливості, які проводяться [4]:

- за місцем події, при яких виявлялись цехи і ділянки з підвищеним травматизмом і захворюваністю;
- за родом ушкоджень, при яких встановлювався характер і повторюваність травм і захворювань;
- за професіями та стажем роботи потерпілих, при яких визначаються робітничі професії, які найбільше піддаються травмуванню і захворюваності.

Здійснивши аналіз травматизму та професійної захворюваності на ПАТ "Укрелектроапарат" за останні десять років, встановлено, що в середньому за рік на підприємстві траплялося 5…7 нещасних випадків. Динаміка росту чи зниження травматизму залишається майже на одному рівні.

Основними причинами виникнення нещасних випадків та професійних захворювань на виробництві є випадки, які сталися через недбалість працівників, а саме [5]:

- невиконання вимог інструкцій з охорони праці;
- невиконання посадових обов'язків;
- порушення трудової і виробничої дисципліни;
- технічні причини.

Статистика травматизму представлена на рис 1. Відповідно до цих даних, кількість нещасних випадків протягом 2003…2013 рр. становила 61 працівник.

Недоліки, на які було складено припис органами державного нагляду за охороною праці:

1. Виробничий шум, який присутній при будь-яких видах робіт становить 83 дБА, що перевищує нормоване значення на 3 дБА [2].
2. Застаріле виробниче устаткування.
3. Невиконання вимог посадових інструкцій.
4. Невиконання вимог інструкцій з охорони праці працівниками.
5. 90% працівників не забезпечені засобами захисту (пристрої автоматичного відключення устаткування, огородження обертових та гострих елементів обладнання).
6. Невикористання засобів індивідуального захисту персоналом або його відсутність (протишумних вкладишів ФПОШ "Беруши", протишумних навушників ВЦНІІОТ-2, рукавиць з напалком, чобіт гумових, касок).
7. Незадовільні умови мікроклімату у виробничих цехах.
8. Недостатня освітленість на робочих місцях у трансформаторному цеху, яка становить 350 лк, нормоване значення – 400 лк згідно з ДБН В.2.5-28-2006.

9. Несправний стан системи пожежної сигналізації в трансформаторному цеху.

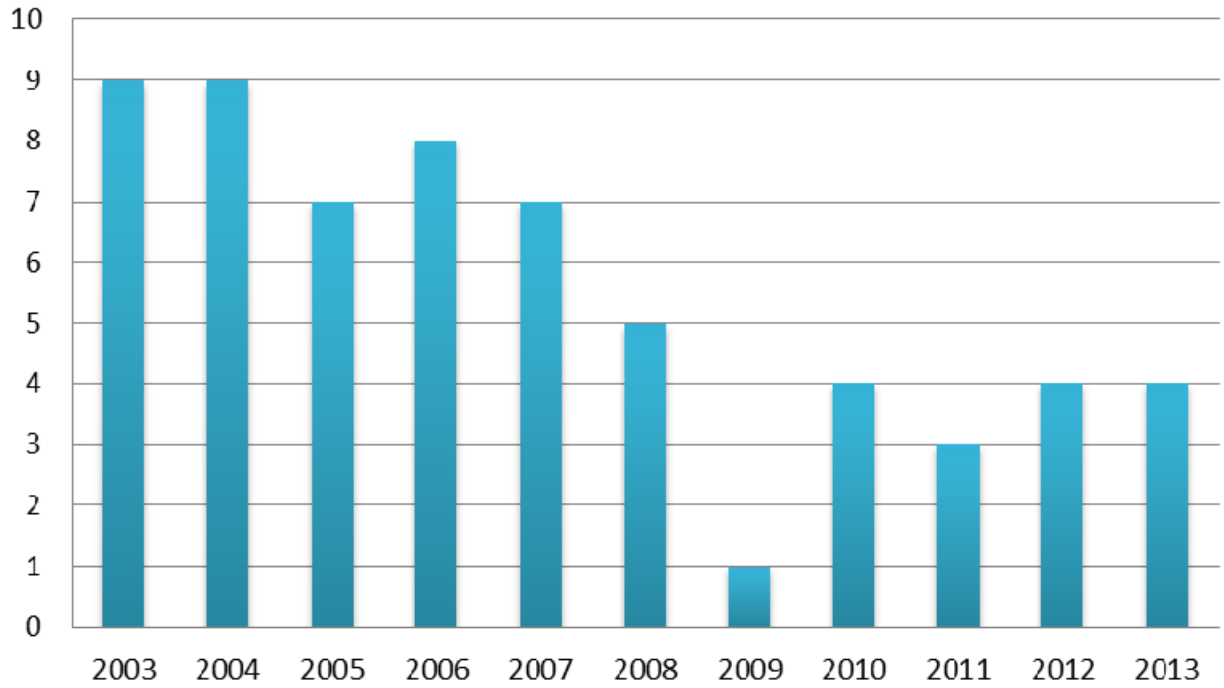


Рис. 1. Рівень травматизму за останні 10 років

За час існування ПАТ ,,Укрелектроапарат" не обійшлося і без професійних захворювань. Їх кількість представлена на рис. 2.

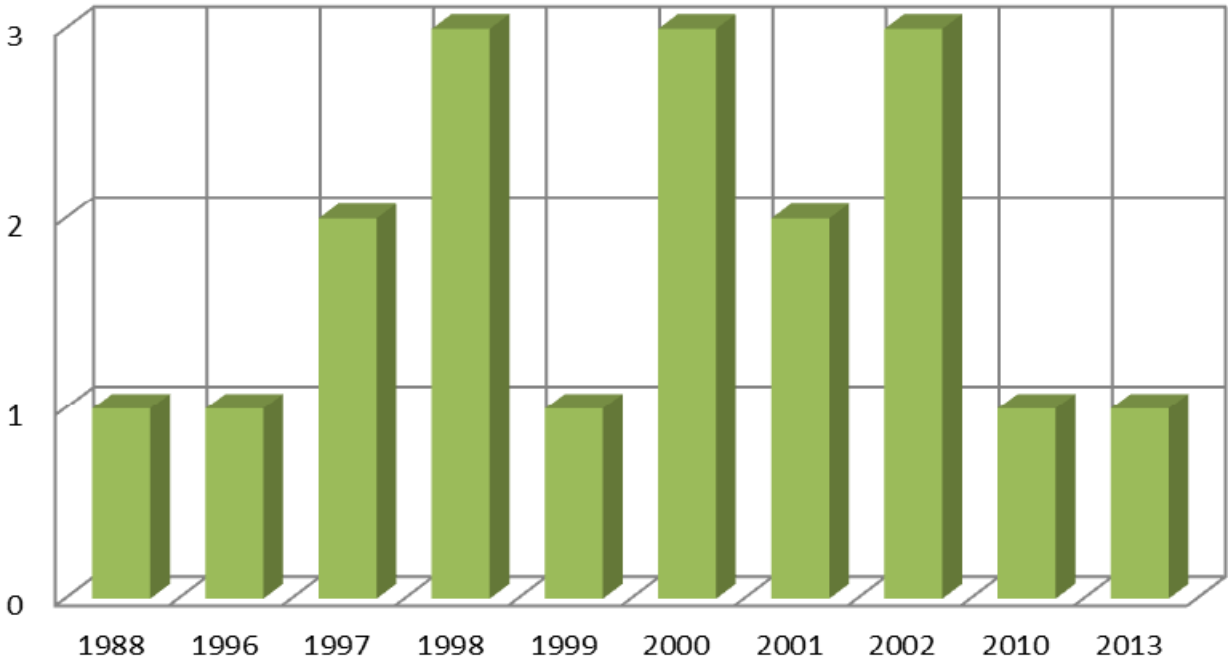


Рис. 2. Кількість професійних захворювань на ПАТ „Укрелектроапарат"

З рис. 2. видно, що найбільша кількість професійних захворювань була у 1988, 2000 та 2002 роках – по 3, а у 1989–1995 рр., з 2003 до 2009 р. та протягом 2011–2012 років профзахворювань не було.

Заходи щодо покращення умов праці

На ПАТ ,,Укрелектроапарат" слід передбачити такі заходи з покращення умов праці:

1. Забезпечити усіх працівників засобами колективного та індивідуального захисту і спецодягом (протишумними вкладишами ФПОШ, протишумними навушниками ВЦНПОТ-2, рукавицями з напалком, чобітьми гумовими, касками) [4].

2. Спроектувати та встановити систему пожежної сигналізації в трансформаторному цеху, використовуючи комбіновані пожежні датчики типу СП-2Т.

3. Вдосконалити систему освітлення, використовуючи світильники типу ПВЛМ–ДР з люмінесцентними лампами типу ЛБ–80–4 відповідно до ДБН В.2.5-28-2006.

4. Для боротьби з виробничим шумом необхідно:

- використовувати змащувальні матеріали (разом з безшумною роботою зменшується зношення деталей, підвищується їх довговічність);
- забезпечити працівників вкладишами ФПОШ "Беруши", якщо рівень звуку не вище 100 дБА [4];
- забезпечити своєчасний ремонт, догляд та відповідне зберігання ручного механізованого інструмента.

5. Замінити або модернізувати виробниче обладнання.

6. Стимулювати кращих працівників з дотримання вимог інструкцій з охорони праці.

7. Для зниження негативного впливу від мікроклімату необхідно:

- механізувати виробничі процеси – відокремити працівників від технологічних процесів, що потребують більш нижчих чи вищих температур повітря робочої зони;
- ізолювати шкідливі виробничі чинники в окремих цехах виробництва;
- раціоналізувати режими праці й відпочинку, забезпечивши відпочинок протягом 10 хвилин через кожні 3 години праці;
- здійснювати постійний контроль за вмістом шкідливих речовин у повітрі робочої зони.

Висновки

В умовах ринкової економіки підприємство все більшого значення приділяє проблемі підвищення продуктивності праці не за рахунок компенсаційних виплат, а шляхом впровадження нових технологій, сучасної виробничої бази, системи забезпечення якості продукції, оздоровлення виробничого середовища, врахування вимог естетики праці. Такі заходи, в свою чергу, позитивно відображаються на умовах праці.

Література

1. Кодекс законів про працю України : затв. Законом № 332-VIII (322а-08) від 10.12.71 ВВР, 1971, додаток до № 50, ст. 375. Остання версія – від 01.01.2015 р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : www.zakon4.rada.gov.ua/laws/show/322-08.

2. Закон України «Про охорону праці» № 29-IV від 21.11.2012 року [Електронний ресурс]. – Режим доступу : www.zakon2.rada.gov.ua/laws/show/2694-12.

3. ДСН 3.3.6.037-99 „Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку” [Електронний ресурс]. – Режим доступу : www.document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infrazvuku-nor4878.html.

4. Наказ Держгірпромнагляду від 24.03.2008 р. № 53 «Про затвердження Положення про порядок забезпечення працівників спеціальним одягом, спеціальним взуттям та іншими засобами індивідуального захисту» [Електронний ресурс]. – Режим доступу : www.zakon3.rada.gov.ua/laws/show/z0446-08.

5. Наказ Держнаглядохоронпраці від 29.01.1998 р. № 9 «Про затвердження Положення про розробку інструкцій з охорони праці» (НПАОП 0.00-4.15-98) [Електронний ресурс]. – Режим доступу : www.zakon4.rada.gov.ua/laws/show/z0226-98.

References

1. Labor Code of Ukraine (Approved Law №332-VIII (322nd-08) on 10/12/71 BD, 1971, Supplement to №50, st.375). The latest version - from 22.02.2012. URL: www.zakon4.rada.gov.ua/laws/show/322-08.

2. Law of Ukraine "On Labour Protection» №29-IV of 21.11.2012 year. URL: www.zakon2.rada.gov.ua/laws/show/2694-12.

3. SDS 3.3.6.037-99. Sanitary standards of industrial noise, ultrasound and infrasound. URL: www.document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infrazvuku-nor4878.html.

4. Order of the State Committee of 24.03.2008 g. N 53 "On approval of the procedure for employees with special clothing, footwear and other personal protective equipment." URL: www.zakon3.rada.gov.ua/laws/show/z0446-08.

5. Order Gosnadzorohrantruda from 29/01/1998 p. № 9 "On Approval of the development of regulations on labor protection" (NPAOP 0.00-4.15-98). URL: www.zakon4.rada.gov.ua/laws/show/z0226-98.

Рецензія/Peer review : 8.3.2015 р. Надрукована/Printed :7.4.2015 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Калда Г.С.

УДК 677.11.021

А.В. СУХОВІЙ, І.О. МЄНЯЙЛО-БАСИСТА, Г.А. ТІХОСОВА
Херсонський національний технічний університет

ОСНОВНІ ПРИНЦИПИ ОТРИМАННЯ ВОЛОКНИСТИХ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИТІВ НА ОСНОВІ ВОЛОКОН ЛЬОНУ ОЛІЙНОГО

Незважаючи на те, що способи отримання натуральних волокон існують досить давно, теоретичні основи розроблення технології одержання волокна із заданими фізико-хімічними параметрами для виготовлення нових видів композиційних матеріалів на даний час відсутні. Впровадження розробленої технології дозволить по-новому побудувати асортиментну політику, виготовляти нові види виробів із вітчизняної екологічно чистої, натуральної сировини, що сприятиме забезпеченню економічної незалежності України у виробництві будівельних і армованих композиційних матеріалів та дозволить збільшити зайнятість сільгоспвиробників і працівників різних галузей промисловості.

Ключові слова: композиційні матеріали, льняне волокно, матриця, хімічна обробка.

A.V. SUKHOVII, I.O. MIENIAILO-BASYSTA, G. A. TIHOSOVA
Kherson National Technical University

THE BASIS OF PRODUCING FIBROUS POLYMERIC COMPOSITES BASED ON OILSEED FLAX FIBER

Abstract - While methods of native fibres manufacturing have been existing enough for a long time theoretical bases of fibre technology development with set physical –chemical parameters for producing composites of new types are absent at present. Implementation of developed technology will allow in a new light to establish an assortment policy, to produce new types of goods from domestic ecologically clean, natural raw material that will promote ensuring economic independence of Ukraine in producing construction and reinforced composite materials and also will allow to increase employment of agricultural producers and employees of different industry branches.

Key words: composite materials, flax fiber, matrix, chemical treatment.

Постановка проблеми та її актуальність

Сучасна техніка пред'являє найрізноманітніші вимоги до полімерних матеріалів. Задовольнити ці вимоги можливо додаванням в полімер різних наповнювачів. Нині основними матеріалами, які використовують як наповнювачі у полімерних композиційних матеріалах є скло, графіт, алюміній, вуглець, бор і берилій. Проте, з огляду на світову кризу, при застосуванні в композиційних полімерних матеріалах природних волокнистих наповнювачів можливо досягти зменшення витрат на закупівлю сировини, а також більш безпечного виробництва та простішої утилізації. Тому, останнім часом, набуло значної актуальності використання природних волокнистих наповнювачів у полімерних композитах. В періодичній пресі частіше з'являються повідомлення про застосування в полімерних композиційних матеріалах такого природного волокнистого наповнювача, як бавовняний лінт, який є імпортованою сировиною. Таким чином, даний вид сировини необхідно замінити більш дешевою та доступною вітчизняною сировиною, яка не поступатиметься бавовні за фізико-механічними властивостями.

Виходячи з цього проблема забезпечення широкого промислового використання волокнистих матеріалів, які можуть скласти альтернативу бавовні, надзвичайно важлива. Тим часом, Україна має свою природну целюлозовмісну сировину, яка щорічно поновлюється, це льон олійний, який має кращі медико-біологічні та захисні властивості порівняно з бавовною. Зважаючи на такий унікальний комплекс властивостей льону як гігієнічність, висока міцність, низький електричний опір, комфортність, природна бактерицидність, зростає попит на цю сировину. У зв'язку з цим, в останні роки в усьому світі і, зокрема, в Україні значно збільшилися посіви даної культури. Слід зазначити, що волокно льону олійного може бути високоякісною сировиною для одержання целюлози та целюлозних напівфабрикатів, паперу, пряжі, а також текстильних матеріалів [1]. Крім того, сьогодні лляне волокно широко застосовується для армування композиційних матеріалів [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій

У роботах зарубіжних та вітчизняних учених Mieleniak B., Bagley C., d'Anselme T., Guyader J. (США), Langer E. (Німеччина), Kathleen VDV. (Бельгія), Зеленецкий С. (Росія), Pallesen (Данія), Ton-That M.T., Denault J. (Канада) приведені результати модифікації натуральних волокон для виготовлення армованих волокнистими наповнювачами полімерних композиційних матеріалів, проте, в цих роботах не висвітлено основних принципів отримання полімерних композитів на основі волокон льону олійного [2–5].

Формулювання мети дослідження

Метою роботи є теоретичне обґрунтування принципів формування полімерних композиційних матеріалів на основі волокон льону олійного і основних вимог, які пред'являються до волокна і матриці, а також можливості заміни бавовняного лінту в якості наповнювача на волокно льону олійного.

Викладення основного матеріалу

Поєднання різнорідних речовин призводить до створення нового матеріалу, властивості якого кардинально відрізняються від властивостей кожного з його складових. Змінюючи склад матриці і наповнювача та їх співвідношення, орієнтацію наповнювача, отримують широкий спектр матеріалів з необхідними властивостями.

Отримання армованих волокнистих напівфабрикатів проводиться шляхом поєднання волокнистих наповнювачів з полімерною матрицею – це проміжна стадія в технологічному процесі отримання композиційних матеріалів або виробів.

Для отримання армованих волокнистих матеріалів використовують розплави термопластів, розчини або дисперсії рідких олігомерів – вихідних компонентів для реактопластів. Поєднання ведуть на машинах періодичної або безперервної дії, потім сушіння, при просочуванні розчинами або дисперсіями, і охолодження просоченого наповнювача [6].

Схему сучасного технологічного процесу виготовлення композитів з використанням натуральних волокон представлено на рис. 1.

Рис. 1. Технологічний процес виготовлення композитів на основі натуральних волокон [7]

Лубоволокнистий матеріал використовується в композиційних полімерних матеріалах не у вигляді сформованого нетканого матеріалу, а у вигляді суміші з нагрітим полімером. Виріб, до складу якого входять луб'яні волокна, а не скловолокно, є легшим і менш ламким. Тому композиційні матеріали, армовані рослинними волокнами, широко застосовуються в автомобільній промисловості у всьому світі. У результаті, крім зниження ваги деталей і всього екіпажу, скорочення витрат на паливо, необхідно відзначити значне поліпшення споживчих властивостей машини, зниження шуму, вібрації та покращення теплоізоляції. Армування пластиків натуральними волокнами, зокрема льоном, дає можливість суттєво спростити, на відміну від армування скловолокном, повторне використання деталей, що відпрацювали свій строк [8].

Армовані натуральними волокнами пластики також широко використовують у суднобудуванні, житловому та промисловому будівництві, військовій промисловості тощо.

Динамічний ріст застосування натуральних волокон у виробництві композитів пов'язаний головним чином з їх позитивними властивостями, до яких відносяться:

- натуральні волокна є екологічним матеріалом для природного середовища в кожній фазі виробництва, промислової переробки та утилізації;
- композити, армовані натуральними волокнами, за своїми властивостями подібні до композитів, армованих іншими хімічними волокнами;
- композити, армовані натуральними волокнами, більш еластичні, ніж зі скловолокном або вуглецевим волокном, а також під час їх розтріскування не виникає гострих країв та не виділяється токсичний пил;
- густина натуральних волокон нижче, ніж у скловолокна, що дозволяє знизити вагу композитів на 30–40% за тих самих властивостей;
- ціна композитів, на основі натуральних волокон, в 2-3 рази нижче, ніж композитів зі скловолокном;
- композити, армовані натуральними волокнами, знижують шум і механічну вібрацію, що має значення для автомобільної промисловості.

Але у випадку використання натуральних волокон виникають деякі проблеми, наприклад:

- якість натуральних рослинних волокон і ефективність їх виробництва дуже залежить від погодних умов і технологій, які застосовуються в сільському господарстві;
- перед промисловою переробкою необхідне сушіння натуральних волокон, а також під впливом вологи можлива зміна властивостей і розмірів полімерних композитів, армованих натуральними волокнами;
- слабке зв'язування натуральних волокон з полімерами викликає необхідність застосування адгезійних добавок, а також хімічної модифікації цих волокон [8].

Розглянемо основні вимоги для волокна та матриці при формуванні композиційних полімерних матеріалів.

Взаємодія волокон з матрицею повинна забезпечувати високу реалізацію механічних властивостей

волокон в армованому матеріалі і його монолітність. Для цього необхідні:

- хороша змочуваність волокон матрицею;
- висока адгезія між волокном і матрицею, яка характеризується зсувною міцністю на межі розподілу волокно-матриця;
- відсутність або мінімальна зміна властивостей волокон під впливом компонентів матриці;
- релаксація внутрішніх напруг в елементарному об'ємі волокно-матриця при термообробці або під впливом компонентів матриці та інші фактори.

В композиційних полімерних матеріалах, де лляні волокна присутні у якості армуючого матеріалу, набір полімерів, які підходять для використання, обмежений. Це пов'язано з тим, що при високих температурах (близько 220°С) може початись піролітичний розклад лляного волокна. Тому найчастіше використовують поліолефіни або поліефіри, які мають більш низькі температури розм'якшення, ніж інші полімери [2]. Розклад компонентів целюлози викликає виникнення порожнин у структурі композита, що призводить до погіршення механічних властивостей. Таким чином, необхідно оптимізувати значення температури і тривалості процесу.

Компоненти композитів повинні бути сумісні, тобто вони не повинні розчинятись або іншим способом поглинати один одного. Властивості композиційних матеріалів не можливо визначити лише за властивостями компонентів, без урахування їх взаємодії [9].

Механічні властивості композитів, які містять короткі волокна, визначаються наступними показниками: фактором форми волокна, його концентрацією, орієнтацією, станом дисперсності, ступенем адгезії до матриці [10].

Змочування волокон матрицею визначає монолітність отримуваного матеріалу. Ймовірність отримання пухирців газової фази і пропорційний склад у армованому матеріалі газових включень тим більше, чим гірше змочування.

Лляне волокно характеризується значно гіршою змочуваністю, ніж бавовняне. З метою підвищення змочуваності матеріалів у просочувальну композицію часто вводять поверхнево-активні речовини.

Адгезійна взаємодія волокна і матриці в композиті на межі волокно-матриця визначається декількома факторами:

- створенням хімічних зв'язків між компонентами – міжатомних або іонних;
- створенням міжмолекулярних зв'язків – ванн-дер-ваальсових або вуглеводневих;
- фрикційною взаємодією поверхонь.

Найбільші значення адгезії при створенні хімічних зв'язків обумовлені наявністю на поверхні волокон реакційноздатних функціональних груп, які взаємодіють з компонентами реактопластів. У такому випадку армуючий наповнювач, зберігаючи свої механічні характеристики, утворює моноліт з матрицею.

З метою покращення адгезії між гідрофільним льоном і гідрофобною матрицею полімеру льняні волокна або льняну целюлозу піддають різноманітним видам хімічної обробки: обробка силанами, ангідридами, лугами, бензоілювання, ацилювання тощо.

При обробці силанами силан гідролізується, формуючи реактивний силанол, а потім адсорбується на поверхні волокна. При такій модифікації льняних волокон силанами спостерігається підвищення міцності волокна, вологопоглинання і опору грибкам для композитів з епоксидними смолами.

При обробці ангідридами існують два механізми модифікації: а) обробка метакриловим ангідридом; б) обробка пропіоновим ангідридом. При такій обробці, завдяки високому ступеню адгезії, між волокном та полімером спостерігається виникнення міцних хімічних зв'язків у сполуках.

Важливою модифікацією волокна є лужна обробка, при якій видаляється певна кількість лігніну, воску і масел, що покривають зовнішню поверхню клітинної стінки волокна, відбувається деполімеризація целюлози. Обробка волокна натрій гідроксидом сприяє іонізації гідроксильної групи до утворення алкоголяту. Таким чином, така обробка безпосередньо впливає на целюлозне волокно, ступінь полімеризації та видалення лігніну, підвищує поверхневу шорсткість. Відбувається підвищення реакційної здатності та змочуваності волокна.

Лужна обробка сприяє руйнуванню пучків волокон з утворенням менших волокон, що підвищує площу поверхні, яка доступна для контакту з матрицею. Таким чином, видаляються природні та штучні домішки.

Наступний вид обробки – це бензоілювання. Найчастіше для обробки целюлозного волокна використовується бензоіл хлорид, в результаті чого знижується гідрофільність волокна, таким чином підвищується його сумісність з матрицею [11].

Узагальнюючи вищевикладене, можна зробити висновок, що тільки на основі ретельного вивчення хімічних та фізичних властивостей природних волокнистих наповнювачів і полімерної матриці можливо сформулювати основні принципи одержання полімерних композиційних матеріалів на основі волокон льону олійного.

Висновки

Для створення інноваційних полімерних композиційних матеріалів на основі волокон льону олійного, необхідно сформулювати теоретичне підґрунтя розробки ресурсозберігаючої технології підготовки поверхонь наповнювачів із луб'яних волокон для одержання сировини зі специфічними властивостями, які за мікроструктурою відповідали б типу матеріалу, що проектується. Тому розроблення

основних принципів отримання волокнистих полімерних композитів на основі волокон льону олійного є актуальним завданням сьогодення для декількох суміжних галузей науки. Також важливим питанням є заміна імпортованого бавовняного лінту на дешеву, екологічно чисту вітчизняну сировину – волокно льону олійного та створення державних стандартів, які будуть визначати якість інноваційної продукції з неї.

Література

1. Інноваційні технології одержання нетканих та целюлозовмісних матеріалів з льону олійного : монографія / Л.А. Чурсіна, Г.А. Тіхосова, Т.М. Головенко, І.О. Мєняйло-Басиста ; під ред. Л.А. Чурсіної. – Херсон : Олді-плюс; 2014. – 341 с.

2. Живетин В.В. Масличный лён и его комплексное развитие / В.В. Живетин, Л.Н. Гинзбург. – М. : ЦНИИЛКА, 2000. – 389 с.

3. Mieleniak B. Low-cost «Compak» board based on vegetable fiber. Wood Bas. Pan. Int. 1985, № 1. 8 p.

4. Bag1ey C., T. d'Anselme, J. Guyader Properties of Flax Fibre-Reinforced Composite Materials. Works of INF, 1997. P. 385-386.

5. Kathleen VDV. Research on the use of flax as reinforcement for thermoplastic puiltruded composites. The 1-st Nordic Conference on flax and hemp processing. Belgium, 1998. 7 p.

6. Перевозников В.Н. Технологии производства и использования материалов из льна в машиностроении / В.Н. Перевозников, Н.Г. Винченок, Э.В. Новиков // Льноводство: реалии и перспективы : материалы международной научн.-практ. конф., Устье, 25–27 июня, 2008 г. / НАН Беларуси, РУП «Институт льна». – Могилев, 2008. – С. 341–351.

7. Behale**c L., Lenfeld P., Seidl M., Bobec J., Ausperger A. Friction properties of composites with natural fibres, Synthetic and biodegradable polymer matrix. Nanocon. 2012, № 10**. P. 23–25.

8. Мясоедова В.В. Особенности физико-химических свойств композиций на основе смесей целлюлоза/этилцеллюлоза - синтетические полимеры / В.В. Мясоедова, Л.Р. Люсова // IV всероссийская научная конференция (с международным участием) «Физико-химия процессов переработки полимеров» : науч. конф., 5 – 8 октября 2009 г. : тез. док. – Иваново, 2009. – С. 7-8.

9. Неметаллические конструкционные материалы [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://matved2010.narod.ru/Glava6.html.

10. Пугачева И.Н. Модификация бутадиен-стирольного каучука многофункциональными добавками из вторичных полимерных материалов при создании эластомерных композицій : дис. … доктора техн. Наук : 05.17.06 / Пугачева Инна Николаевна. – Воронеж, 2014. – 420 с.

11. Jinchun Zhu., Huijun Zhu., James N., Hrushikesh A. Eco-challenges of bio-based polymer composites. Materials. 2013, № 6. P. 5171-5198.

References

1. 1.Chursina L. A., Tikhosova G. A., Golovenko T. M., Mieniailo-Basysta I. O. Innovatsiini tekhnologii oderzhannia netkanykh ta tseliulozovmisnykh materialiv z lonu oliinogo: monografiya. Kherson, «Oldi-plius», 2014, 341 p.

2. 2.Zhivetin V. V. Maslichny'j lyon I ego kompleksnoe razvitie. Moskva, CNIILKA, 2000, 389 p.

3. Mieleniak B. Low-cost «Compak» board based on vegetable fiber / B. Mieleniak // Wood Bas. Pan. Int. – 1985, № 1. – 8 p.

4. Bag1ey C. Properties of Flax Fibre-Reinforced Composite Materials / C. Bagley, T. d'Anselme, J. Guyader // Works of INF, 1997. – P. 385-386.

5. Kathleen VDV. Research on the use of flax as reinforcement for thermoplastic puiltruded composites / VDV. Kathleen // The 1-st Nordic Conference on flax and hemp processing. – Belgium, 1998. – 7 p.

6. Perevoznikov V. N., Vinchenok N. G., Novikov E'. V. Texnologii proizvodstva i ispol'zovaniia materialov iz l'na v mashinostroenii. L'novodstvo: realii i perspektivy': Materialy' mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferency'i, RUP «Institut l'na», Mogilyov, 2008, pp.341-351.

7. Behalec L., Lenfeld P., Seidl M., Bobec J., Ausperger A. Friction properties of composites with natural fibres, Synthetic and biodegradable polymer matrix. Nanocon. - 2012, № 10. - P. 23-25.

8. 8.Myasoedova V. V., Lyusova L. R. Osobennosti fiziko-ximicheskix cvojstv na osnove smesej cellyuloza/e'tilcellyuloza – sinteticheskie polimery'. IV vserossijskaya nauchnaya konferenciya (s mezhdunarodny'm uchastiem) «Fiziko-ximiya processov pererabotki polimerov», Ivanovo, 2009, pp. 7-8.

9. 9.Nemetallicheskie konstrukcionny'e materialy'. URL: http://matved2010.narod.ru/Glava6.html.

10. 10.Pugachyova I. N. Modifikaciya butadien-stirol'nogo kauchyuka mnogofunkcional'ny'mi dobavkami iz vtorichny'x polimerny'x materialov pri sozdanii e'lastomerny'x kompozicij: dis. doktora texn. nauk/ - Voronezh, 2014. – 420 p.

11. Jinchun, Zhu.; Huijun, Zhu.; James, N.; Hrushikesh, A. Eco- challenges of bio-based polymer composites. Materials. - 2013, № 6. - P. 5171-5198.

Рецензія/Peer review : 3.3.2015 р. Надрукована/Printed :7.4.2015 р.
Рецензент: д.т.н. Тіхосова Г.В.

УДК 632.382: 620.179.4

С.Л. ГОРЯЩЕНКО
Хмельницький національний університет

АНАЛІЗ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ НАНЕСЕННЯ ПОЛІМЕРНОГО ПОКРИТТЯ НА ТЕКСТИЛЬНІ МАТЕРІАЛИ

В статті розглядається високодисперсне розпилення за умови низького тиску та осаджування краплин з мінімальними втратами через випаровування та обладнання для його здійснення. Розроблено процес модифікації поверхонь складних форм за допомогою розпилення рідини у запропонованому обладнанні. Проведено моделювання процесу розпилення рідини з урахування того, що обладнання оснащено вакуумною камерою та спеціальною форсункою для розпилення. Розроблено модель форсунки-розпилювача в ПП SolidWorks. Проведено аналіз потоку рідини, що розпилюється, в ПП FloWorks з урахуванням пониженого тиску в камері пристрою. Показано напрями потоків рідини при розпиленні в вакуумі. Надано рекомендації щодо розташування об'єктів в камері. Моделюванням підтверджено можливість розпилення рідини на поверхню мінералів, причому визначено швидкість руху рідини, що сягає 12,108 м/с, а також визначено, що потік рідини ударяє в центрі камери, і лише потім розпилюється в сторони.

Ключові слова: модель, розпилення, обладнання для модифікації

S.L. HORIASHCHENKO
Khmelnytskyi National University, Khmelnytskyi, Ukraine

THE MODELING OF PROCESSES OF LIQUID SPRAYING EQUIPMENT FOR THE SURFACE MODIFICATION WITH COMPLICATED FORM

The article considers the superfine spray at the low pressure and deposition of droplets with minimal loss through evaporation and equipment for its implementation. A surface modification process of the complicated shapes by spraying the liquid was elaborated on the basis of the proposed equipment. The simulation process of spraying the liquid was realized and took into account the fact that the equipment is equipped with a vacuum chamber and a special nozzle to spray. The model of spray nozzles is elaborated in SolidWorks. The analysis of fluid flow which is sprayed is carried out in FloWorksz considering the reduced pressure in the chamber of the device. The flow of liquid at the spraying in a vacuum was shown. The recommendations on the location of objects in the chamber are given. The modeling confirms the possibility of spraying the liquid on the surface of minerals and result in the determination of the velocity of the liquid which reaches 12.108 m/s. Also it is shown the flow of liquid hits in the center of the chamber and then sprays in the sides.

Keywords: model, spray equipment modifications

Постановка завдання дослідження

Як відомо [1], тканина з покриттям поєднує в собі переваги основної тканини та полімеру, яким вона покрита. У результаті тканина з покриттям буде мати багато властивостей, які не можуть бути запропоновані при використанні компонентів окремо. Для ретельного розгляду необхідно вибрати і тканину-базу і полімерне покриття. Базова тканина забезпечує певну механічну міцність матеріалу і підтримує шар покриття, нанесеного на неї. Для якісної тканини з покриттям, якість тканин-бази є суттєвим. Ця робиться тому, що новачки в галузі іноді вважають, що покриття може покривати дефекти у тканини. Насправді, дефект часто робиться більш помітним і значення відхилів характеристики тканини з покриттям, з доданими характеристиками покриття, буде значно вище, ніж в основної тканини окремо. Крім того метод нанесення теж впливає на якість отриманого результату.

Лише відносно невелике число тканин використовуються для бази полімерних покриттів, Деякі конструкції тканин може бути спотворено розмірами, особливо по діагоналі, в той час як надмірно відкритих структур переплетень призведе до проникнення полімеру в них. Якщо будова тканини є занадто відкритою, то покриття полімером не може бути в змозі заповнити проміжки між нитками, утворюючи суцільний шар необхідні для таких характеристик як водонепроникність. Однак така конструкція передбачає досить великі витрати полімеру. Щоб об'єднати легкість ваги з високою міцністю на розрив, конструкції тканин іноді використовують з більш щільнішім розташуванням ниток основи. Якщо полімер може рухатися і разом зі тканиною, то це підніме вище міцність на розрив при достатній формостійкості. Це може бути зрозуміло, що покриття проникнення між окремими потоками буде мати тенденцію до зниження міцності на розрив. Для покращення цього потрібно забезпечити певну глибину проникнення полімеру у структуру матеріалу, а для цього треба правильно вибрати метод нанесення.

Операція рідинного покриття в основному включає в себе нанесення рідкого покриття на підкладку і, потім, затвердіння самого покриття. Є загальні риси покриття у всіх операціях. [1,2,3] Різні модульні секції для нанесення покриття проілюстровано на рисунку 1 і описані нижче.

1) Секція попереднього розташування тканини. При цьому базова тканина розмотується і перевертається через машину під рівномірним натягом. Багато машин мають секції акумулятора, де рулони тимчасово зшиті разом для операції безперервної подачі через ролики. Типовий акумулятор показано на рисунку 1.2.

2) Секція основного покриття. Це може бути ніж (ракель), рулон, або інше відповідно будь-якому з методів покриття рідини.

3) Секція сушки в печі. Всі розчинники випарюють, і плівка твердне, сохне і вирівнюється. Піч

може бути нагрітої паром, повітрям, нагрітим маслом, змішаним повітрям або електричним підігрівом. Для обгумованих тканин, вулканізація здійснюється окремо після видалення розчинників шляхом випарювання. Для других полімерів, що володіють високою температурою висихання і затвердіння можуть бути встановленні на обігрівачі інфрачервоні блоки, автономний обігрівач смуги і т.д. Для запобігання формування летких вибухонебезпечних сумішей, свіже повітря безперервно циркулює по всій печі. Швидкість сушіння ретельно контролюється щоб запобігти утворенню бульбашок або тріщин. Аби правильно керувати випаровуванням розчинника, необхідно розділити духову шафу на кілька зон, збільшуючи температуру кожної зони, з метою видалення розчинника без пухирців.

Рис. 1. Лінія прямого покриття: 1- попередньо підготовлена тканина, 2- основне покриття, 3- піч для сушіння, 4 - секція обмотки.

4) Секції обмотки. Тканина виходить з печі, пропускається через охолоджені барабани, щоб забезпечити його вільне лавірування. Тканина потім потрапляє до рулонів. Крім того, існує привід, який транспортує волокно субстрату на подальші операції.

Основна частина

Процес покриття може бути класифікований на основі етапів вимірювання [8], тобто: процес, в якому матеріал наносять на підкладку, а потім дозують і процес, в якому матеріал дозують перед нанесенням.

Поєднання цих методів використовують для подальшого врахування при застосуванні до та після методів вимірювання для більш точного нанесення. Обговорення переваг і недоліків методів представлено нижче. До першої категорії відносяться процеси, що вважаються ефективними для покриття з некритичною вагою підкладки. Як було описано раніше, в цьому класі є загальне нанесення покриттів: ніж дротяний для нанесення покриттів, однороликовий механізм нанесення покриттів і т.д. Тут, надлишок покриття спочатку наноситься на текстильну основу. Після того, як субстрат торкається вимірювальних пристроїв для нанесення покриття, то покриття зводиться до заданої товщини [9]. Параметри, необхідні для забезпечення узгодженості в покритті полягають у наступному: напруження субстрату, в'язкість матеріалу покриття; однорідність і пористість субстрату.

Основне покриття відбувається при постійному натягу тканини. Час від часу, привід включається, щоб мінімізувати усадку в процесі сушіння. Товщина покриття може бути виміряна за допомогою β-променів датчика або визначена залежністю швидкості полотна і швидкістю покриття рідиною, що наноситься на тканину [2,3,5]. Загальний вигляд пристрою для покриття показано на рисунку 1.3.

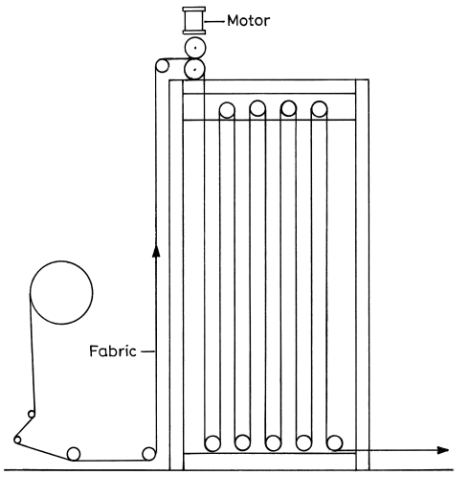


Рис. 2. Схема акумулятора тканини

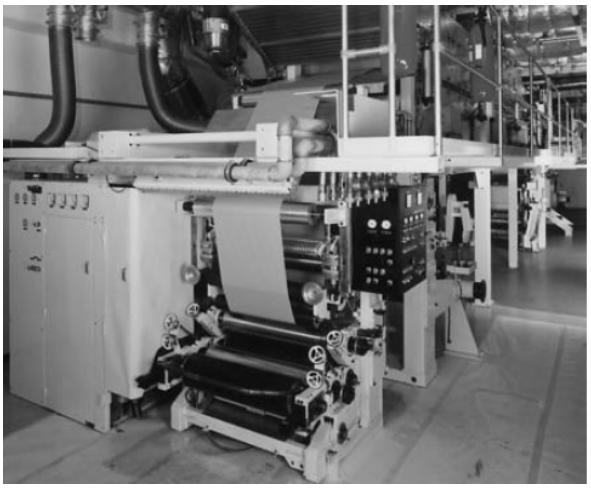


Рис. 3. Загальний вигляд пристрою Polytype (U.S.A) для рідкого покриття

Будь-яка зміна цих параметрів може призвести до неоднорідного покриттям. Точність покриття залишає бажати кращого. Діапазон покриття обмежується приблизно від 0,02 до 0.2мм товщини. Проте, основною перевагою є їх низька вартість інвестицій і швидке отримання продукту.

У другій категорії методів в основі лежить кількість матеріалу, що наносять на текстиль. Процеси включають: роликові покриття, глибокі покриття, екструзійні покриття й ламінування. Ці методи є набагато більш точними і дають високо продуктивні результати. Діапазон покриття ширше – від 0,1 до 0,5 мм. Однак первісна вартість інвестицій вище [4, 5, 6].

Відомо, що базова тканина використовується як підкладки і може розрізнятися за формою, розмірами, текстурою та механічними властивостями, що відповідно накладає певні вимоги до обладнання

для нанесення покриттів. Найбільш прості машини мають завантажувальні та приймальні механізми, механізми нанесення та сушки. В більш складних машинах є додаткові механізми (наприклад: намотування) які потребують синхронізації з технологічним процесом, а деталі підлягають узгодженню з технологічним процесом. Перед нанесенням покриттів доволі часто базову тканину підготовлюють: обезпилюють, деаєрують, промивають, активують поверхню тощо. Суттєвий вплив на склад обладнання є спосіб нанесення покриття та спосіб отримання продукту в цілому.

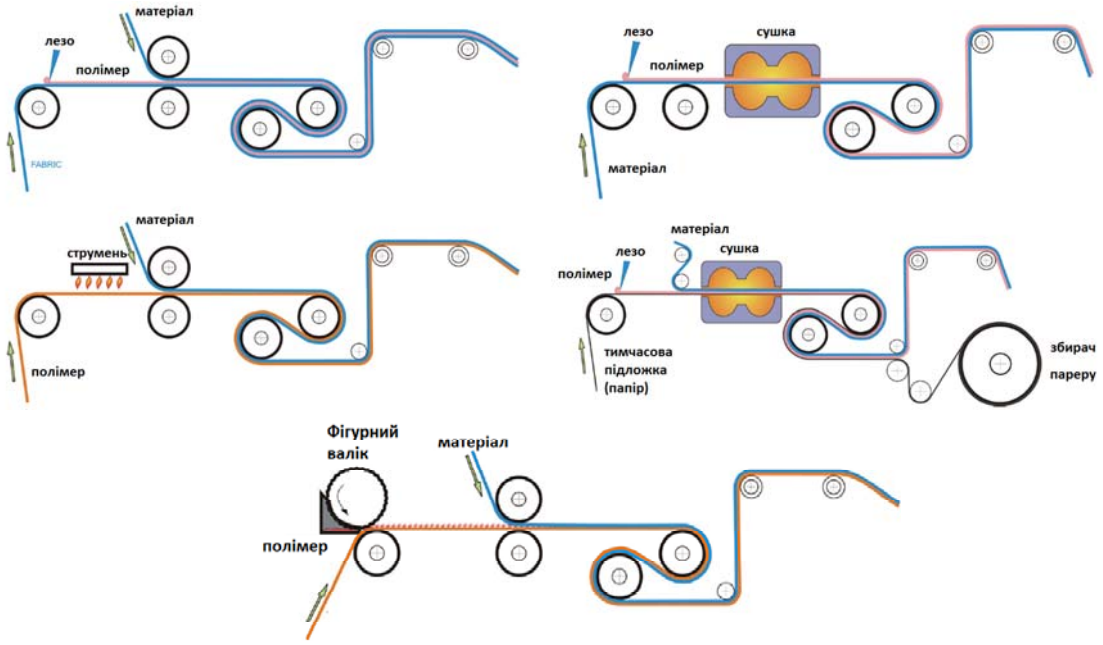


Рис.4. Варіанти обладнання згідно способам нанесення полімерних покриттів на матеріал

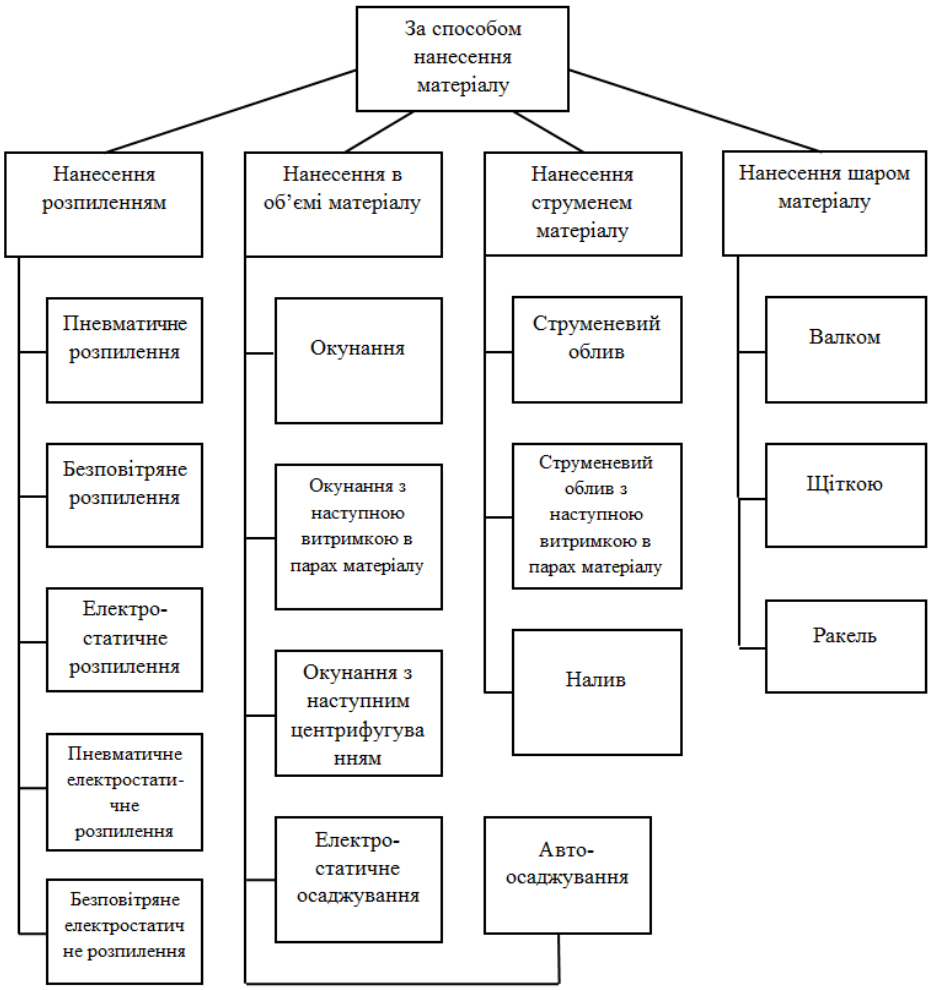


Рис.5. Класифікація обладнання згідно способам нанесення

Результати досліджень та їх обговорення

В сучасному обладнанні як правило використовують прямий спосіб нанесення, коли покриття наноситься напряму на підкладку (базову тканину. непрямий метод передбачає наявність проміжного нанесення покриття на тимчасову поверхню, а потім перенос її на основний матеріал. Варіанти нанесення в залежності від способу показані на рис.4.

Аналіз відомих методів дозволив нам розробити класифікацію способів нанесення матеріалу на підкладку, яка представлена на рис.5.

Висновки

Розглянути вище методи прокатного способу подачі передбачає перш за все рулонні тканини, однак способи нанесення мають більш широке застосування. Як видно з класифікації найбільш поширеним метод, що використовують є нанесення покриттів розпиленням. Отже для створення сучасного обладнання для нанесення полімерів на текстильні матеріали може бути застосовано розпилення частинок майбутнього покриття на специфічну поверхню. Варіюючи параметри тиску, можна керувати глибиною занурення у текстильну основу. Враховуючи можливість керування й початковою температурою можна впливати на процес кристалізації плівки покриття.

Література

1. Spread coating processes, R. A. Park, in *Plastisols and Organosols*, H. A. Sarvetnick, Ed., Van Nostrand Reinhold, New York, 1972, pp. 143–181.

2. W. R. Hoffman, *Journal of Coated Fabrics*, vol. 23, Oct., 1993, pp. 124–130.

3. Coated fabrics, B. Dutta, in *Rubber Products Manufacturing Technology*, A. K. Bhowmik, M. M. Hall and H. A. Stephens, Eds., Marcel Dekker, New York, 1994.

4. F. A. Woodruff, *Journal of Coated Fabrics*, vol. 21, April, 1992, pp. 240–259.

5. Svitlana Karvan. Development of equipment and technology for spray coating and functionalization of textile materials / Svitlana Karvan, Serhiy Horyashchenko, Olga Paraska // V International R&D brokerage event in textiles and clothing, Bursa, Turkey 4-5 April 2013. – P. 324 – 326.

6. Horyashchenko S. Modeling and reserch of polymer coating on clothing materials / S. Horyashchenko // 10th Joint International Conference Clotech-2012, Warsaw, Poland, 20-21 September 2012. – pp.151-159.

7. Horiashchenko S. Experimental research drop size in polymers sprayed onto textile materials/ Horiashchenko S. // Interdisciplinary Intergation of Science in Technology, Education and Economy/ Monograth: edited by Shalapko J. and Zoltowski B. – 2013. – p. 402-408.

8. Гула І.В. Побудова ноніусного фазометру із застосуванням мікропроцесорної техніки / І.В. Гула, К.Л. Горященко, Л.В. Карпова, В.В. Стрельбицкий // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2014. – №4. – С. 41-44

9. Стрельбицкий В.В.. Некоторые результаты исследования толщины прослойки на демпфирующую способность трехслойных балок / В.В. Стрельбицкий, С.Л. Горященко // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2015. – №1. – С. 182-186

References

1. Spread coating processes, R. A. Park, in *Plastisols and Organosols*, H. A. Sarvetnick, Ed., Van Nostrand Reinhold, New York, 1972, pp. 143–181.

2. W. R. Hoffman, *Journal of Coated Fabrics*, vol. 23, Oct., 1993, pp. 124–130.

3. Coated fabrics, B. Dutta, in *Rubber Products Manufacturing Technology*, A. K. Bhowmik, M. M. Hall and H. A. Stephens, Eds., Marcel Dekker, New York, 1994.

4. F. A. Woodruff, *Journal of Coated Fabrics*, vol. 21, April, 1992, pp. 240–259.

5. Svitlana Karvan. Development of equipment and technology for spray coating and functionalization of textile materials / Svitlana Karvan, Serhiy Horyashchenko, Olga Paraska // V International R&D brokerage event in textiles and clothing, Bursa, Turkey 4-5 April 2013. – P. 324 – 326.

6. Horyashchenko S. Modeling and reserch of polymer coating on clothing materials / S. Horyashchenko // 10th Joint International Conference Clotech-2012, Warsaw, Poland, 20-21 September 2012. – pp.151-159.

7. Horiashchenko S. Experimental research drop size in polymers sprayed onto textile materials/ Horiashchenko S. // Interdisciplinary Intergation of Science in Technology, Education and Economy/ Monograth: edited by Shalapko J. and Zoltowski B. – 2013. – p. 402-408.

8. 8 Hula I.V., Horiashchenko K.L., Karpova L.V., Strelbitskiy V.V. Phase measurer based on microprocessor. Khmelnytskyi. Measuring and Computing Devices in Technological Processes. 2014. Issue 4. Pp. 41-44

9. 9 Strelbitskiy V.V., Horiaschenko S.L. Some results of research of thickness of layer on damping capacity of the three-layered beams. Khmelnytskyi. Measuring and Computing Devices in Technological Processes. 2015. Issue 1. Pp. 182-186

Рецензія/Peer review : 5.3.2015 р. Надрукована/Printed :16.4.2015 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Параска Г.Б.

УДК 677.055

С.А. ПЛЕШКО, Б.Ф. ПІПА
Київський національний університет технологій та дизайну

ВПЛИВ ЖОРСТКОСТІ ПАРИ ГОЛКА-КЛИН НА НАПРУЖЕННЯ, ЩО ВИНИКАЮТЬ В СТЕРЖНІ В`ЯЗАЛЬНОЇ ГОЛКИ ПРИ УДАРІ ОБ КЛИН

У статті представлено метод оцінки впливу жорсткості пари голка-клин в'язальної машини на динаміку напружень, що виникають в стержні голки під час ударної взаємодії її з клинами в'язальних систем. Проведене дослідження дозволяє стверджувати, що зменшення величини ударних напружень у стержні голки та підвищення її довговічності можна досягти шляхом зниження жорсткості пари голка-клин.

Ключові слова: в'язальна машина, голка, клин, напруження в голці, жорсткість пари голка-клин.

S.A. PLESHKO, B.F. PIPA
Kyiv National University of Technologies and Design, Kyiv, Ukraine

INFLUENCE OF INFLEXIBILITY OF PAIR NEEDLE-WEDGE ON TENSIONS, ARISING UP IN THE BAR OF KNITTING NEEDLE AT A BLOW AT THE WEDGE

Abstract – The task of researching of influence of inflexibility of pair needle-wedge in knitting machine on tensions that arise up at the blow of needle at a wedge.

In the moment of blow of knitting needle at a wedge in her bar there are shock waves of tensions that are one of main reasons of refuse of needles (destruction of hook of needle and other). Thus at the decision of task of determination of size of tensions that arise up in the bar of needle, the case of hard blow of needle (bar) is examined at a wedge. In actual fact at the blow of needle the resilient blow predefined by inflexibility of pair needle-wedge takes place at a wedge.

Analysing the got dependences, come to the conclusion, that inflexibility of pair a needle-wedge influences on the size of the tensions in the bar of needle, caused by a shock wave. Thus the decline of inflexibility assists the decline of size of tension in the bar of needle.

Keywords: knitting machine, needle, wedge, tensions in a needle, inflexibility of pair needle-wedge.

Ефективність роботи в'язальних машин, зокрема їх продуктивність та якість полотна, значною мірою залежать від довговічності роботи голок [1, 2], яка, у свою чергу, залежить від динамічних навантажень, що виникають в зоні ударної взаємодії голок з клинами в'язальних систем.

Як показують дослідження [3], ефективним шляхом зниження динамічних навантажень, діючих на голку при роботі в'язальної машини, є зниження жорсткості пари голка-клин. Проте питання впливу жорсткості пари голка-клин на динаміку напружень, що виникають при цьому в стержні голки, практично не досліджене, що створює певні проблеми при проектуванні в'язальних машин.

Об'єкт та методи дослідження

Об'єктом досліджень обрана голка в'язальної машини і процес її взаємодії з клинами в'язальних систем. При рішенні завдань, поставлених в цій роботі, були використані сучасні методи теоретичних досліджень, що базуються на теорії поширення хвиль напружень в плоских стержневих елементах при подовжньому ударі.

Постановка завдання

Завданням досліджень є дослідження впливу жорсткості пари голка-клин в'язальної машини на напруження, що виникають при ударі голки об клин, та розробка методу впливу жорсткості пари голка-клин на ударні напруження в стержні голки при взаємодії її з клином в процесі в'язання.

Результати та їх обговорення

Дослідження [4, 5] та ін. показали, що у момент удару в'язальної голки об клин в її стержні виникають ударні хвилі напружень, що є однією з головних причин відмови голок (руйнування гачка голки та ін.). При цьому при рішенні задачі визначення величини напружень, що виникають в стержні голки, розглядається випадок жорсткого удару голки (стержня) об клин. Насправді ж при ударі голки об клин має місце пружний удар, зумовлений жорсткістю пари голка-клин.

При розгляді питання поширення хвиль напружень, що виникають у момент удару, розглянемо стержень, схема якого представлена на рис. 1, а. Вісь стержня приймаємо за вісь X. Сила удару приложена до точки *O* стержня.

За початкові умови приймаємо: при $t = 0$ $u = 0$; $\frac{\partial u}{\partial t} = 0$; гранична умова (при $x = 0$):

$$EF\frac{\partial u}{\partial x} = -N(t), \tag{1}$$

де $u = u(x,t)$ - подовжнє переміщення перетину стержня при ударі;

E - модуль нормальної пружності матеріалу стержня ;

F - площа поперечного перерізу стержня;

$\frac{\partial u}{\partial x} = \varepsilon$ – відносне подовження стержня;

$N(t)$ – сила стискування стержня, обумовлена ударом.

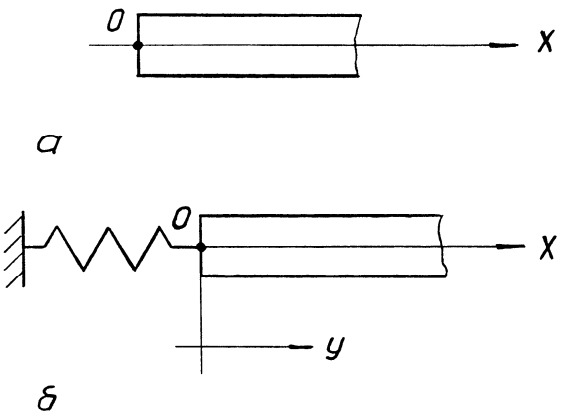


Рис. 1. Розрахункова схема до аналізу процесу поширення пружної подовжньої хвилі напружень в стержні голки в'язальної машини: а - при жорсткому ударі голки об клин; б - при пружному ударі

Очевидно: $N(t) \equiv 0$ при $t \le 0$.

Переміщення перерізів стержня у момент удару описується диференціальним рівнянням:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = a^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}, \tag{2}$$

де $a = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$ - швидкість поширення звуку в матеріалі стержня;

ρ – масова погонна щільність матеріалу стержня.

Припустимо, що уздовж стержня поширюється подовжня хвиля:

$$u = f(x - at), \tag{3}$$

що задовольняє рівняння (2).

Тоді рівняння руху перерізів стержня можна представити у виді:

$$\frac{\partial u}{\partial x} = f'(x - at). \tag{4}$$

Розв’язуючи рівняння (4) з використанням граничних умов, маємо:

$$EFf'(-at) = -N(t).$$

Звідки:

$$f'(-at) = -\frac{N(t)}{EF}. \tag{5}$$

Вираз (5) запишемо у виді:

$$-\frac{1}{a} \cdot \frac{d}{dt} f(-at) = -\frac{N(t)}{EF},$$

або у виді:

$$\frac{d}{dt} f(-at) = \frac{aN(t)}{EF}. \tag{6}$$

Рішення рівняння (6) знайдемо, використовуючи метод варіації довільної постійної, інтегруючи:

$$f(-at) = \int_0^t \frac{aN(\tau)}{EF} d\tau = \frac{a}{EF} \int_0^t N(\tau) d\tau. \tag{7}$$

З рівняння (7) маємо:

$$f(x - at) = \frac{a}{EF} \int_0^{t - \frac{x}{a} \ge 0} N(\tau) d\tau = u(x,t).$$

Використовуючи отриману залежність (7), можна знайти подовжнє переміщення перерізів стержня при ударі.

Розглянемо випадок удару стержня голки з урахуванням його пружних властивостей (пружний удар) - рис. 1, б.

При ударі стержня подовжнє переміщення його перерізів визначається з умови:

$$W = u(x,t) + v_0 t,$$

або, враховуючи (7):

$$W = \frac{a}{EF} \int_0^{t-\frac{x}{a}\geq 0} N(\tau)d\tau + v_0 t, \tag{8}$$

де W - подовжнє переміщення перерізу стержня при ударі (пружний удар);

v_0 – початкова швидкість стержня (швидкість удару).

Сила стискання стержня, викликана ударом, знаходиться з рівняння:

$$N(t) = cy(t), \tag{9}$$

де c - жорсткість стержня в зоні удару.

Підставляючи (9) в (8), знаходимо:

$$W = \frac{ac}{EF} \int_0^{t-\frac{x}{a}\geq 0} y(\tau)d\tau + v_0 t. \tag{10}$$

Рівняння (10) представимо у виді:

$$\frac{ac}{EF}\int_0^t y(\tau)d\tau + v_0 t = y(t). \tag{11}$$

Розв'язуючи рівняння (11), отримуємо:

$$\frac{ac}{EF}y(t) + v_0 = \frac{d}{dt}y(t),$$

або:

$$y'(t) - \frac{ac}{EF}y(t) = v_0. \tag{12}$$

Розв'язуючи (12), знаходимо:

$$y(t) = -\frac{EF}{ac}v_0 + Ae^{\frac{ac}{EF}t}. \tag{13}$$

Постійну інтегрування A знаходимо, використовуючи початкові умови: при $t = 0$ $y(t = 0)$:

$$A = \frac{EF}{ac}v_0. \tag{14}$$

Підставляючи (14) в (13), маємо:

$$y(t) = \frac{EF}{ac}v_0\left(1 - e^{\frac{ac}{EF}t}\right). \tag{15}$$

Силу стискання стержня визначимо, підставивши (15) в (9) :

$$N(t) = \frac{EF}{a}v_0\left(-1 + e^{\frac{ac}{EF}t}\right). \tag{16}$$

Напруження в перерізах стержня при ударі дорівнюватиме:

$$\sigma(t) = \frac{N(t)}{F} = \frac{E}{a}v_0\left(-1 + e^{\frac{ac}{EF}t}\right). \tag{17}$$

Представивши голку у вигляді стержня кусочно-змінного перерізу [5], величину максимального напруження в перерізах окремих ділянок стержня знаходимо з умови (враховуючи, що $\sigma(t)_i = \sigma_{i\,max}$ при $t = \frac{2l_i}{a}$:

$$\sigma_{i\,max} = \frac{Ev_0}{a}\left(-1 + e^{\frac{2cl_i}{EF_i}}\right). \tag{18}$$

Висновки

Аналізуючи отримані залежності (17), (18), приходимо до висновку, що жорсткість пари голка-клин впливає на величину напружень в стержні голки, викликаних ударною хвилею. При цьому зниження

жорсткості сприяє зниженню величини напруження в стержні голки.

Як відомо, голка має складну геометричну форму. Тому при ударі голки об клин в її тілі виникає складне поле напружень, яке залежить від геометричної форми голки. Отримані рівняння (17), (18) є лише деяким наближенням опису процесу зміни напружень в тілі голки при ударі її об клин. Проте отримані результати дозволяють зробити висновок, що зниження жорсткості пари голка-клин сприятливо впливає на підвищення довговічності в'язальних голок.

Література

1. Волощенко В.П. Эксплуатационная надежность машин трикотажного производства / Волощенко В.П., Пипа Б.Ф., Шипуков С.Т. - К.: Техника, 1977. - 136 с.

2. Пипа Б.Ф. Повышение надежности трикотажного оборудования/ Пипа Б.Ф., Волощенко В.П., Шипуков С.Т., Орлов В.А. - К.: Техника, 1983. - 112 с.

3. Хомяк О.Н. Повышение эффективности работы вязальных машин / Хомяк О.Н., Пипа Б.Ф. - М.: Легпромбытиздат, 1990. - 209 с.

4. Петров Е.И. Об условиях работы вязальных игл. - Текстильная промышленность, 1959, № 3, с. 25-28.

5. Петров Ю.И. Волны напряжений в стержневых деталях машин при продольном ударе \ Петров Ю.И. Петров Е.И. - Известия вузов. Машиностроение, 1959, № 5. с. 11-24.

References

1. Voloshchenko V.P. Эkspluatatsyonnaia nadezhnost mashyn trykotazhnoho proyzvodstva / Voloshchenko V.P., Pypa B.F., Shypukov S.T. - K.: Tekhnyka, 1977. - 136 s.

1.1 2. Pypa B.F. Povyshenye nadezhnosty trykotazhnoho oborudovanyia/ Pypa B.F., Voloshchenko V.P., Shypukov S.T., Orlov V.A. - K.: Tekhnyka, 1983. - 112 s.

2. Khomiak O.N. Povyshenye эffektyvnosty raboty viazalnykh mashyn / Khomiak O.N., Pypa B.F. - M.: Lehprombytyzdat, 1990. - 209 s.

3. Petrov E.Y. Ob uslovyiakh raboty viazalnykh yhl. - Tekstylnaia promyshlennost, 1959, # 3, s. 25-28.

4. Petrov Y.Y. Volny napriazhenyi v sterzhnevykh detaliakh mashyn pry prodolnom udare \ Petrov Y.Y. Petrov E.Y. - Yzvestyia vuzov. Mashynostroenye, 1959, # 5. s. 11-24.

Рецензія/Peer review : 24.3.2015 р. Надрукована/Printed :5.4.2015 р.
Рецензент: д.т.н. Параска Г.Б.

ТЕХНОЛОГІЇ ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

УДК 687.016.(075)

А.Л. СЛАВІНСЬКА
Хмельницький національний університет

МЕТОД ОПТИМІЗАЦІЇ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОЗНАК СИСТЕМАТИЗОВАНОГО РЯДУ СЕРІЇ МОДЕЛЕЙ ШВЕЙНИХ ВИРОБІВ

В статті представлено доцільність проектування систематизованого ряду серії моделей одягу для оцінки ефективності асортиментної політики виробництва. На основі якісного аналізу типів систем моделей з використанням групи новизни розроблені структурно-інформаційні моделі внутрішніх і зовнішніх характеристик процесу проектування асортиментних рядів. Застосування конструктивно-технологічних модулів в проектуванні серії моделей одягу дозволяють виконувати поетапну компоновку модельної конструкції з використанням операторів контролю відповідності проектній ситуації.

Ключові слова: системи моделей, асортиментний ряд, конструкція, вид асортименту, модифікація, конструктивно-технологічний модуль.

A.L. SLAVINSKA
Khmelnytsky National University

OPTIMIZATION OF TECHNIQUES STRUCTURAL AND TECHNOLOGICAL FEATURES SYSTEMATIZED SERIES MODELS CLOTHING ITEMS.

Abstract - The aim of the study is a mathematical formulation of the problem of designing a systematic assortment of clothes by grouping modification tools. Logical and mathematical formulation of the problem of automated layout assortment series is formulated. According to this formulation the design process is seen as a process of synthesis of structural and technological modules products. It is necessary to get qualitative transformations types of models for typical concept design, based on the introduced concepts of novelty steps. The structural-information models internal and external characteristics of the design process assortment rows ensure implementation of the methodology for solving the problem of automated layout. Modular approach to developing a series of models based on decomposition structures range in types and varieties of products that meet the requirements of flexibility, structural and technological modules in a production environment.

Keywords: systems of models, assortment row, construction, type of assortment, modification, structurally-technological module.

Вступ

В умовах постійного оновлення і розширення асортименту формування асортиментної політики підприємства доцільно здійснювати з урахуванням сучасних інформаційних технологій конструкторсько-технологічної підготовки виробництва. Ефективне застосування в спеціалізованих САПР «Одяг» підсистеми «Конструктор» передбачає розробку групових конструкторських документів на серію модельних конструкцій, які отримані комбінаторним модифікуванням структурних елементів конструктивного прототипу [1].

Ефективність технологічних процесів виготовлення швейних виробів залежить від однорідності конструктивних ознак моделей, представлених в промисловій серії. Гнучкість промислової серії моделей забезпечує конструктивна проробка асортиментної колекції підприємства за принципом «горизонталь-вертикаль», який є визначальним для тривалості життєвого циклу продукції [2].

Розробка проектно-конструкторської документації на моделі промислової серії у вигляді модифікаційних груп асортиментних рядів відповідає вимогам мобільності асортименту, крім того, забезпечує гнучкість виробничих процесів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Маркетингові дослідження життєвого циклу продукції за відповідними методиками [3, 4] визначають напрямки стабілізації режиму роботи підприємства.

Відповідно до ДСТУ 2391 [5] технологічна документація передбачає застосування певних видів технологічних процесів для виготовлення виробів з урахуванням конструктивних і технологічних ознак. Дослідження [3, 6, 7] спрямовані на застосування типових технологічних процесів. Промислова серія моделей передбачає збереження асортименту виготовлення виробів зі спільними технологічними, але різними конструктивними ознаками, що властиве груповому технологічному процесу [8, 9]. Одним із видів жіночого одягу, що постійно присутній в гардеробі споживача, є жакет [12].

Аналіз перспектив розвитку асортименту жіночих жакетів з позицій застосування модулів конструктивних основ та структурних елементів розглянуто в роботах [2, 12, 13]. Типологічний підхід до формування асортиментних груп на основі модифікацій базових конструкцій запропоновано в дослідженнях [14, 15], що створює передумови для застосування методу концентрації технологічних операцій і оптимізації модулів послідовності їх виконання, розглянутими в [6].

Інформаційне дослідження конструктивно-технологічних модулів (КТР) виду асортименту дозволяє задавати для технологічного виготовлення вихідний стан деталей конструкції сукупністю систематизованих конструктивних елементів [10], як передумови формування бази даних для автоматизованої компоновки системи моделей.

В практиці промислового проектування систем моделей застосовують наступні поняття: колекція [1, 4], серія [2, 11], ряд [13, 15], які існують окремо. Концепція типового проектування для підвищення мобільності асортименту в умовах підприємства потребує нових підходів до встановлення структурно-інформаційних зв'язків перетворення систем моделей.

Мета і завдання досліджень

Мета дослідження – математична постановка задачі визначення оптимального напрямку автоматизованої компоновки систематизованого асортиментного ряду моделей.

Завдання дослідження:

- обґрунтування етапів формування систематизованого асортиментного ряду;
- математичний опис задач проектування систематизованого асортиментного ряду.

Виклад основного матеріалу

Процес проектування систематизованого ряду моделей жіночого жакета доцільно розглядати таким, що складається із окремих етапів, пов'язаних різними (часовими, просторовими, функціональними) відношеннями та володіє цілісним характером функціонування.

Методичне забезпечення процесів упорядкування промислової серії моделей за принципами систем взаємозамінювання і суміщення повинне базуватись на концепції оптимізації оптимального напрямку проектної діяльності, оскільки життєвий цикл нових моделей одягу підпорядкований якісним перетворенням наступних систем: «перспективна колекція», «промислова колекція», «асортиментна колекція», «асортиментна серія», «промислова серія» [1].

Представлені типи систем можна охарактеризувати групами якісних ознак відповідності моди. Перспективна колекція містить моделі групи Н (нові), промислова колекція – моделі групи М (модні), асортиментна серія – моделі групи Т (типові).

Перспективна колекція представляє концепцію розвитку моди провідних дизайнерів. Адаптація концептуальних ідей перспективної колекції для масового виробництва реалізується в промисловій колекції, моделі якої згруповані в асортиментних колекціях. Моделі групи Н є базисом для моделей групи М, які повинні узгоджуватись із закономірностями розвитку конструктивного рішення одягу в цілому.

Асортиментна політика підприємства потребує формування моделей групи С в асортиментній колекції, яка структурно розчленовується на модифікації моделей групи Т у вигляді асортиментної серії. Маршрут етапів якісних перетворень типів систем за групами новизни має вигляд:

$$H \to M \to C \to T \qquad (1)$$

Група Т є домінуючою в асортиментній серії і визначає склад промислової серії для конкретного виробництва.

Крім того, група Т повинна містити моделі, конструкція яких є прототипом для проектних рішень структури технічної системи «горизонталь» – «вертикаль» конкретного виду одягу. Композиційно-конструктивні різновиди асортиментного виду утворюють «горизонталь» асортиментного комплексу (АК). Модифікації окремої одиниці АК формують асортиментний ряд (АР).

Алгоритм систематизації моделей для завдань виділення групи Т побудований на розгляді маршруту якісних перетворень систем моделей відповідно до концепції типового проектування. Розробка типового проекту АК передбачає три етапи аналізу типів колекцій.

На першому етапі виконується систематизація асортименту промислової колекції. Для чого формують несистематизований асортиментний комплекс (НАК) сучасних моделей виробу з позицій урахування вимог: для кого – габітус; для чого – функціонування; із чого – основні матеріали, базові форми конструкцій [13].

На другому етапі морфологічний аналіз моделей НАК дозволяє виділити оптимізований систематизований асортиментний комплекс (САК) з гілками різновидів систематизованого асортиментного ряду (САР) з урахуванням впливу конструктивно-технологічних ознак на тривалість життєвого циклу продукції.

На третьому етапі розробляється функціональна модель автоматизованої компоновки моделей-пропозицій заданого асортиментного виду (граф модифікаційних з'єднань) в системах взаємозмінних моделей асортиментної серії.

В основу формалізації проектних рішень кожного етапу покладена математична постановка задачі, з урахуванням результатів інформаційних досліджень розвитку асортименту [10].

Задача загального проектування асортиментної колекції виглядає наступним чином [12]:

Дано: завдання $З = \{з_n\}$, $n = 1, \overrightarrow{N}$ область обмежень $D \subset x$.

Вважається відомим: $X \to G_{ОГНАР} = \bigcup_{i=1}^{n} G_i, i = 1, n$ – простір моделей;

$y = \{y_n\}$ – зовнішні характеристики АК,

де $y = \begin{pmatrix} T \\ C \\ K \end{pmatrix}$; $y = F(x)$, $x \in X$, $y \in Y$;

F – оператор контролю.

Необхідно знайти $П = \{П_n\}$; – проект рішення,

де $\forall_x \in П_n$, $F(x) = y \in з_n$, $n = 1, \overrightarrow{N}$; або $F(П_n) = з_n$.

Кожний етап, відповідно до проектної ситуації, має свій вектор пошуку проекту рішення. Для першого етапу доцільно виконати інформаційні дослідження модних тенденцій сезону з метою виявлення структурних змін маркетингової системи формування асортиментної політики виробника на засадах мерчандайзингу [4].

За дослідженнями [1] асортимент промислової колекції одягу формується шляхом відбору з перспективної колекції одягу.

Тому, завданням (*З*) дослідження першого етапу є костюмно-асортиментна група (Basa), яка концептуально не змінюється понад 100 років. Базовим асортиментом $З_n$ для цільової аудиторії обрано жіночий жакет (Basis), як одяг на кожен день (*D*) (City casual). Тоді структурна схема товарної групи ($П_n$) City casual за системою конкретизації переваг (*F*) розглядається як ланцюг ($З_n$): Basa (65%) – Basis (55%) → Bestseller (80%) [4].

Основою для формування несистематизованого асортиментного комплексу (НАК) обрано Bestseller (*У*), оскільки він містить найбільш вдалі за актуальністю різновиди асортименту, які змінюються несуттєво протягом 4-5 років.

Нашими дослідженнями [15] обгрунтовані НАК десяти різновидів сучасного жіночого жакета за принципом кругообігу в межах оновлення базових форм, відомості про які визначають допустимі варіанти конструктивно-композиційних рішень, а саме область $D \in x$.

Метод параметричної типізації конструкцій жіночого жакета, викладений в [14] забезпечує теоретичні засади математичної постановки задачі термінального проектування САК у вигляді САР різновидів жіночого жакета.

На другому етапі виконано формування систематизованого асортиментного комплексу САК жіночого жакета.

Задача термінального проектування САК, як організаційного графа ОГ, має вигляд:

Дано: $З = \{з_n\}$, $n = 1, \overrightarrow{N}$; $D \subset x$.

Вважається відомим: $X \to G_{ОГСАК} = \bigcup_{i=1}^{n} G_i$, $i = 1, \vec{n}$;

$y = \{y_n\}$,

де $y = F(x)$, $x \in X$, $y \in Y$.

Необхідно знайти:

$\xi = \{x_{зп}, з_n \in З\}$ – термінальний проект, що відповідає завданню *З*.

Вихідними даними для завдань оптимізації другого етапу оптимізації є відомості про вироби НАК і конструктивно-композиційні обмеження в НАР. Ці відомості визначають допустимі варіанти конструктивних рішень, тобто область $D \subset x$. Відомості про вироби НАК представляють собою формалізований опис типів силуетних конструкцій з урахуванням різновидів жіночого жакета.

Конструктивними обмеженнями служать відомості про габаритні (довжина, ширина) характеристики жакета в НАК.

Композиційними обмеженнями служать відомості про нормалізований ряд силуетних прибавок, які можуть бути застосовані в типологічному ряді різновидів жіночого жакета для виділення базових в НАК.

При визначенні області допустимих конструктивних рішень *D* повинні виконуватись наступні умови:

- в області *D* повинні входити модельні конструкції МК, які відповідають заданому різновиду НАК;
- кожна МК із області *D* повинна містити в собі не менше одного базового конструктивного елемента, який підлягає модифікації.

Зовнішні характеристики процесу формування САК з наступним розгалуженням на САР оцінюють його функціонування в умовах конкретного виробництва. В якості критеріїв вибору варіантів силуетних конструкцій різновидів жіночого жакета в САК обрані наступні зовнішні характеристики: груповий технологічний процес – *Т*; конструктивна однорідність – *К*; технологічна однорідність – *С*.

Зовнішні характеристики процесу проектування САК позначимо *у*. Тоді, $y = \begin{pmatrix} T \\ K \\ C \end{pmatrix}$ – тривимірний вектор-стовпець. Спрощений оператор контролю процедур модифікування в процесі проектування буде мати вигляд:

$$F^y(x) = \begin{pmatrix} T^y \\ K^y \\ C^y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum_{i=1}^{n} t_{oi} \\ \sum_{i=1}^{n} k_{oi} \\ \sum_{i=1}^{n} c_{oi} \end{pmatrix} = y \in з_n , \qquad n = 1, 2 \ldots N , \tag{2}$$

де T^y , K^y , C^y – базові характеристики силуетної конструкції, які визначають граничні можливості її трансформації різновидів.

На другому рівні першого етапу із області допустимих конструктивних рішень *D* визначається область попередніх рішень Р. При визначенні області Р для кожного варіанту модельної конструкції МК повинні виконуватися наступні умови:

- в САК повинні входити всі задані типи різновидів конструкцій;
- базова силуетна конструкція в САК повинна містити в собі не менше двох із допустимих альтернативних модифікацій похідних силуетних конструкцій;
- базові характеристики САК повинні відповідати заданим вимогам $\{з_n\} = З$.

Задача визначення $P = \{x_{попер}\}$ вирішується як задача пошуку таких попередніх методів об'єднання в САР в межах САК, які забезпечили б виконання третьої умови.

Внутрішні характеристики процесу модифікування базових конструкцій САК формуються на основі характеристики конструкції деталей і засобів їхнього проектування. До внутрішніх характеристик процесу модифікування відносяться параметри типових конструктивних членувань та оператори модифікування, які розглянуті з позицій автоматизованого проектування.

Обмеженням конструктивних рішень $D \subset x$ для створення САР служать відомості про типологічний ряд силуетних прибавок в конструкціях жіночого жакета.

Для формування бази даних конструктивних прибавок доцільно використати поняття неперервності відображень топологічних просторів силуетних конструкцій на основі лінійно-змінного модифікування окремих ділянок деталей відповідно до силуетних змін моди [12].

Вектор силуетних перетворень містить дві функції: функція F11 – модифікування базових силуетів; функція F12 – модифікування похідних силуетів. Функція F11 забезпечує трансформацію базових силуетів жіночого жакета починаючи з нульового силуету матричної конструкції ПСи0 з дискретним виділенням прилеглого ПСи1, напівприлеглого ПСи2, прямого ПСи3 силуетів [1, 12].

Виявлено, що в трансформації базових силуетів в базових формах жіночого жакета задіяні наступні величини прибавок на силует: ПСи0=2 см; ПСи1=5 см; ПСи2=6,5 см; Пси3=8 см. Дискретні значення величин з'єднувальних місточків наступні. 1-й: Пси0→Пси1=3 см; 2-й: Пси1→Пси2=1,5 см; 3-й: Пси2→Пси3=1,5 см; 4-й: Пси1→Пси3= 3 см.

Отже, топологічний простір Пси0–Пси3 для жакета модифікується неперервним відображенням в замкненому інтервалі [2-8] см, що підтверджує функція F12.

Функція F12 забезпечує перетворення базових силуетів в похідні методом трансформації на величину з'єднувального місточка з інтервалом 0,5 см.

Дослідженням [14] встановлено, що для Пси0 існує п'ять варіантів похідних силуетів, для Пси1 – один варіант, для Пси2 – чотири варіанти, для Пси3 – п'ять варіантів.

Параметр Пси1 забезпечує модифікування всіх силуетів, оскільки в параметричному ряді він може бути отриманий як додатковий варіант Пси06. Тобто, Пси06 служить з'єднувальним місточком для похідних силуетів Пси2. З'єднувальним місточком похідних силуетів Пси2 і Пси3 є еквівалентні варіанти Пси2,3 та Пси3,1.

Оскільки не всі модельні конструкції САК жіночого жакета мають альтернативні методи формування САР за принципом «з'єднувального місточка» силуетних прибавок, методика застосування якого наведена в [14], для розробки типового проекту за концепцією «асортиментна серія» для САК за нашими дослідженнями [15] обрані п'ять моделей жакета: класичний, діловий, блейзер, шанель, мандарин, як такі, що відповідають визначенню умови 2, зокрема використання нормалізованих прибавок Си1, Си2 для САР.

В результаті модельний ряд систематизованого асортиментного комплексу жіночих жакетів представлено блоками модулів модифікаційних силуетних конструкцій за такими конструктивними ознаками: формотворні елементи основних деталей, горловина, крайові лінії, кишені, коміри, як вихідна база для автоматизованої компоновки модифікаційного ряду моделей САК.

Автоматизована компоновка за раціональними маршрутами операцій модифікування базується на раціональному маршруті конструктивних і технологічних перетворень складових виробу.

Задача локального проектування САР, як організаційного графа ОГ автоматизованої компоновки конструктивно-технологічних рішень, має вигляд:

Дано: $D \subset x$ – конструктивно-технологічні і технічні обмеження.

Вважається відомим: $X \to G_{ОГСАР} = \bigcup_{i=1}^{n} G_i,\ i = 1, \overline{N}$.

Необхідно знайти оптимальний проект $x^0 \in D$ із умови $C\left(x^0\right) \to \min$.

Оскільки не всі модельні конструкції жакета типологічного ряду мають альтернативні методи групування конструктивних елементів, задача визначення області *P* вирішується перебором КТР лише в тих моделях САР, які мають альтернативи однорідності конструктивних і технологічних ознак.

Конструктивна однорідність САР визначається групуванням деталей за конструктивними ознаками складальних одиниць: розмірами, кількістю з'єднувальних деталей, їх форми і матеріалами з позицій використання однакових робочих органів або обладнання.

Технологічна однорідність САР передбачає групування технологічних операцій (ТО) виходячи із спільності технології, обладнання та технологічної оснастки, тобто за способом з'єднання, видом строчки і шва. Отже, це групування за технологічними ознаками.

Висновки

Зовнішня структура процесу проектування нових моделей одягу встановлює взаємозв'язок між основними типами систем моделей з урахуванням асортиментної політики підприємства.

Принцип блочно-модульної розробки системи моделей САК – САР базується на конструктивно-технологічних модулях. Етап вибору конструктивного рішення КТМ передбачає ідентифікацію конструктивних елементів відповідно до моделі проектної ситуації. Етап вибору технологічного рішення КТМ базується на диференціації технологічних операцій в технологічних процесах виготовлення швейних виробів.

Розробка КТМ потребує окремого дослідження конструктивних ознак готового виробу на рівні деталей для визначення сукупності конструктивних рішень в характеристиці елементарної частини технологічного процесу з оброблення конкретного виду виробу.

Література

1. Славінська А. Л. Методи типового проектування одягу : навчальний посібник / А. Л. Славінська. – Хмельницький : ХНУ, 2012. – 179 с.

2. Славінська А. Л. Технологія формування масивів конструкторсько-технологічної документації для автоматизованого проектування офісного одягу / А. Л. Славінська, Н. Г. Савчук // Вісник Технологічного університету Поділля. – 1998. – № 4. – С. 26–29.

3. Современные формы и методы проектирования швейного производства : учебное пособие для вузов / Т. М. Серова, А. И. Афанасьева, Т. И. Илларионова, Р. А. Делль. – М. : Московский государственный университет дизайна и технологии, 2004. – 288 с.

4. Розробка колекцій одягу : навчальний посібник / А. М. Малинська, К. Л. Пашкевич, М. Р. Смирнова, О. В. Колосніченко. – К. : ПП НВЦ Профі, 2014. – 140 с.

5. Система технологічної документації. Терміни та визначення основних понять: ДСТУ 2391 : 2010. – К. : Укрдержстандарт. – 31 с.

6. Кокеткин П. П. Пооперационная машинно-автоматизированная технология одежды / П. П. Кокеткин – Смоленск : Смоленский полиграфический комбинат. 2003. – 232 с.

7. Горобчишина В. С. Основи проектування типового технологічного процесу виготовлення групи виробів плечового одягу / В. С. Горобчишина // Вісник Хмельницького національного університету. – 2011. – № 5. – С. 62–66.

8. Система конструкторської документації. Терміни та визначення основних понять : ДСТУ 3321 : 2003. – К. : Укрдержстандарт. – 52 с.

9. Моделювання і оптимізація технологічних процесів : підручник / Г.Є. Литвиненко, Я. К. Яцишина, Т. Я. Малова, С. М. Константинов. – К. : Вища школа, 2000. – 252 с.

10. Моделирование и оптимизация технологических процессов в швейном производстве / В. Е. Мурыгин, В. Т. Голубкова, Т. А. Железнякова, О. Е. Братковская, Н.Г. Савчук. – М. : Легпромбытиздат, 1992.

11. Шершнева Л. П. Проектирование и производство женского платья / Л. П. Шершнева, А. П. Рогова. – М. : Легкая и пищевая пром-сть, 1983. – 224 с.

12. Славінська А. Л. Основи модульного проектування одягу : монографія / А. Л. Славінська. – Хмельницький : ХНУ, 2008. – 159 с.

13. Сушан А. Т. Інженерне проектування швейних виробів : навчальний посбник / А. Т. Сушан – К. : Арістей, 2005. – 172 с.

14. Славінська А. Л. Метод параметричної типізації конструкцій жіночого жакета з урахуванням стильової характеристики. / А. Л. Славінська, О. М. Штомпіль // Вісник Хмельницького національного університету. – 2011. – № 5. С. 66–70.

15. Славінська А. Л. Концепція регулювання гнучкості конструкторсько-технологічної підготовки оновлення асортименту в умовах підприємства. / А. Л. Славінська, О. М. Штомпіль // Вісник Хмельницького національного університету. – 2012. – № 4. – С. 173–178.

References

1. L. Slavinska, Methods of the typical planning of clothing: Khmelnytskyi, 2012.

2. L. Slavinska, N. G. Savchuk, Technology of forming of arrays of design-engineering documentation for the automated planning of office clothing. Herald of Technological university of Podillia. Khmelnytskyi. – 1998, № 4. – P. 26 – 29.

3. T. M. Serova, A. I. Afanasyeva, T. J. Yllaryonova, R. A. Dell, Modern forms and methods Designing sewing production: of Uchebnoe of posobye for high schools. Moscow: Moscow state university of technology and design, 2004.

4. M. Malynska, K. L. Pashkevych, M. R. Smirnov, A. V. Kolosnichenko. Development of collections of clothing: Kyiv, 2014.

5. System of technological documentation. Terms and determinations of basic concepts. ISO 2391: 2010 - Kyiv: Ukrderzhstandart.

6. P. P. Koketkyn, Pooperatsyonnaya machine and Automated Technology clothes: Smolensk, 2003.

7. V. S. Gorobchyshyna, Basics of a typical process of manufacture of articles of clothing shoulder: Herald of Khmelnytsky National University. – 2011, № 5. – P. 62 – 66.

8. System design documentation. Terms and definitions of basic concepts. ISO 3321: 2003 - Kyiv: Ukrderzhstandart.

9. G. E. Litvinenko, J. K. Yatsyshyna, T. J. Malov, S. M. Konstantinov, Simulation and optimization of processes: Kyiv, 2000.

10. V. E. Muruhyn, V. T. Golubkov, T. A. Zheleznyakova, O. E. Bratkovskaya, N. G. Savchuk, Modeling and optimization of technological processes in apparel production: Moscow, 1992.

11. L. P. Shershneva, A. P. Rogov, Design and Production of Platja zhenskoho, Moscow: 1983.

12. L. Slavinska, A modular design clothes, Khmelnitsky: 2008.

13. T. Sushan, Engineering design garments, Kyiv: 2005.

14. L. Slavinska, A. M. Shtompil, Parametric method of typing female jacket designs based on stylistic characteristics, Herald of Khmelnytsky National University. – 2011, № 5. – P. 66-70.

15. L. Slavinska, A. M. Shtompil, Regulation concept design flexibility and technological basis of updated product range in terms of business, Herald of Khmelnytsky National University. – 2012, № 4. – P. 173-178.

Рецензія/Peer review : 4.3.2015 р. Надрукована/Printed :7.4.2015 р.
Рецензент: стаття рецензована редакційною колегією

УДК 687.016.5

М.С. ВИННИЧУК, М.В. КОЛОСНІЧЕНКО
Київський національний університет технологій та дизайну

РОЗРОБКА МЕТОДУ ЗАМИКАННЯ ЛІНІЇ ПРОЙМИ В ДОВІЛЬНОМУ ЧОТИРИКУТНИКУ В ХОДІ ПРОЕКТУВАННЯ ЖІНОЧОГО ПЛЕЧОВОГО ОДЯГУ

Пропонується універсальний алгоритм замикання плоскої лінії пройми жіночого плечового одягу на основі відрізків еліпса. Враховуються варіанти розміщення частин пройми в довільному опуклому чотирикутнику. Запропонований алгоритм дозволяє будувати такі лінії зі значеннями проекційного дискримінанту в діапазоні (0,0.5).

Ключові слова: пройма, контрольні точки, окат рукава, алгоритм, опуклість, проекційний дискримінант.

M.S. VYNNYCHUK, M.V. KOLOSNICHENKO
Kyiv National University of Technologies and Design

DEVELOPMENT METHOD CIRCUIT IN THE ARBITRARY QUADRILATERAL ARMHOLES OF PROJECTING WOMEN CLOTHING

Abstract - The purpose of the article is to develop a method of circuit lines in an arbitrary quadrangle armhole based ellipse segments. Algorithms for constructing line using armhole at each site of the fourth part of an ellipse or circle, limit values and discriminant projection techniques such need clarification. The result of this clarification should be able to build armhole line segments ellipse with values below the projection discriminant value $\sqrt{2}-1$ *and discriminant projection for values greater than this value, build armhole line without inserts segments. It is shown that for an armhole line of flat, located in an arbitrary quadrangle can be used ellipse segments. The proposed algorithm allows to build such lines discriminant projection for values in the range (0,0.5) and can be used to build a plane armhole line in automated systems designing clothes.*

Keywords: armhole, control points, head sleeve, an algorithm, bulge, projection discriminant.

Постановка проблеми

Вузол «пройма – окат рукава» є одним з основних формотворчих та найбільш складних вузлів виробу, де конфігурація лінії пройми є визначальною. В даній роботі розглядається спосіб автоматизованої побудови замкненої плоскої лінії пройми при її розміщенні в довільному чотирикутнику на основі відрізків еліпса.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

В традиційних методиках конструювання одягу [1–4] лінія пройми будується на розгортці конструкції на площині, вписується в прямокутник, а всі контрольні точки пройми знаходяться на його сторонах; ділянки лінії пройми між критичними точками з'єднуються опуклою лінією, що проходить на деякій відстані (як правило задається великий діапазон значень) від певної прямої, що сполучає контрольні точки.

На основі аналізу літератури встановлено, що розрахунково-графічні методи відрізняються один від одного кількістю та видом використаних вимірів фігури, розрахунковими формулами. Побудова конструкцій за певним автором здійснюється за багатьма параметричними залежностями, які в деяких випадках не мають наукового підґрунтя. Контрольні точки лінії пройми визначаються антропометричними характеристиками фігури і до кожної з точок додатково необхідно визначати кути нахилу дотичних. В такому разі перша умова може виконуватись тільки у випадках, коли кут нахилу дотичних є 0° або 90°, що є винятками. Друга ж умова показує, що до кривої майже немає вимог, крім її опуклості [1–4].

Більш досконалими є алгоритми побудови лінії пройми, описані в роботах [2, 5, 6]. В роботі Є.Б. Коблякової [2] описується алгоритм, згідно з яким лінія пройми між двома критичними точками, розміщеними на сторонах прямокутника, будується за допомогою дуг кола та прямолінійних відрізків, де коло проходить через задану проміжну точку.

При побудові лінії пройми за методикою, описаною в роботі О.А. Богушка [5], вона будується дугами еліпса, що розміщується в прямокутнику, де центр еліпса є однією з вершин, і крива проходить через задану проміжну точку. Такий спосіб є точнішим, хоча і в ньому дуги еліпсів сполучаються прямолінійними відрізками.

В роботі М.М. Раздомахіна [6] пройма вписується в прямокутник, місцезнаходження контрольних точок визначається за допомогою коефіцієнтів моделювання, які знаходяться в деяких межах. Автор вважає, що коефіцієнти з визначення точок дотику лінії пройми до сторін прямокутника забезпечують можливість «тонкого» регулювання положення контрольних точок.

Для перших двох методів характерна наявність відрізків прямих, які насправді відсутні в лінії пройми, крім того в даних методах контрольні точки вибираються в точках дотику лінії пройми до сторін прямокутника, хоча, насправді «антропометричні» контрольні точки не обов'язково відповідають цим вимогам.

В роботі [7] розроблено алгоритм, у відповідності з яким замкнена лінія пройми будується як кусково-лінійна. Тоді форма лінії залежить від числа її розбиттів точками (рис. 1), що будуються за допомогою запропонованого в роботі алгоритму. Тобто, актуальною є задача дослідження можливостей

використання відрізків еліпса для побудови ліній пройми, в тому числі для випадків її розміщення в довільному чотирикутнику.

Формулювання цілей статті

Для побудови лекал на практиці користуються лекальними кривими, які є кривими другого порядку. В якості таких кривих при побудові лінії плоскої пройми частіше всього вибирають відрізки еліпса. Завданням даного дослідження є визначення області використання відрізків еліпса в залежності від значення проекційного дискримінанта.

Основна частина

Загально прийнято використовувати при побудові лінії пройми криві другого порядку – відрізки еліпсів, парабол, гіпербол. При використанні «ручних» способів побудови лінії пройми для цього використовують лекала, тобто будуються лекальні криві, що є кривими другого порядку.

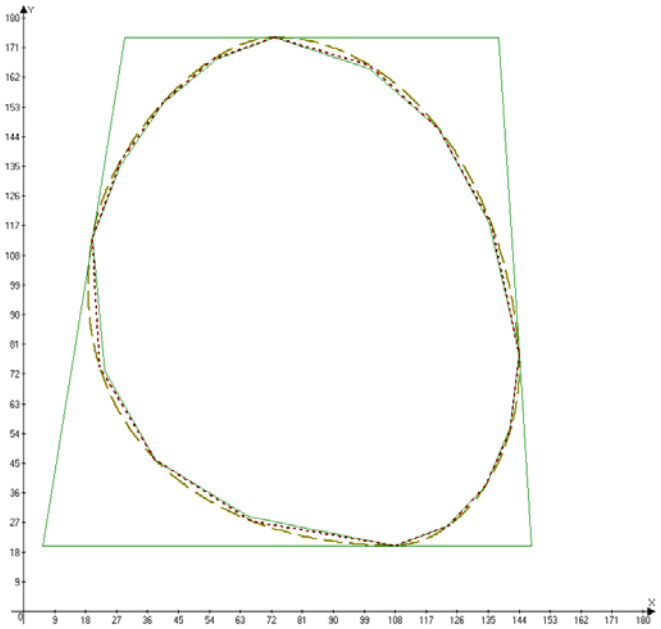


Рис. 1. Побудова профільної проекції лінії пройми

У випадку автоматизованої побудови замкненої лінії пройми у прямокутнику відомі способи її побудови використовують положення (координати) умовних критичних точок та будують частини лінії замкненої пройми:

- або на основі частин кола із вставками відрізків (радіусографія),
- або на основі відрізків еліпса, де сторони прямокутника паралельні осям еліпса.

Для таких варіантів навіть без вставок додаткових відрізків прямих отримуємо значення проекційного дискримінанта, яке дорівнює значенню проекційного дискримінанта для кола і дорівнює $\sqrt{2}-1 \approx 0.4142$.

Такий висновок випливає із того, що проекційний дискримінант не змінюється при лінійних перетвореннях координат типу $\boldsymbol{u = k_1 y + k_2 z + b_1}$, $\boldsymbol{v = -k_2 y + k_1 z + b_2}$.

Дійсно, це очевидно для випадку переносу початку координат ($u=y+b$, $v= z+b_2$), чи повороту системи координат ($\boldsymbol{u = k_1 y + k_2 z}$, $\boldsymbol{v = -k_2 y + k_1 z}$, де $\boldsymbol{k_1^2 + k_2^2} = 1$), коли не змінюються відстані між точками.

У випадку кривих другого порядку, при пропорційному збільшенні осей, пропорційно змінюються відповідні точки кривих

$$\frac{(y-y_0)^2}{a^2}+\frac{(z-z_0)^2}{b^2}=\frac{(k_1(y-y_0))^2}{(k_1 a)^2}+\frac{(k_2(z-z_0))^2}{(k_2 b)^2}=1,$$

де $\boldsymbol{y}_0$, $\boldsymbol{z}_0$ – координати деякої точки S (рис. 2).

Якщо S (y_0, z_0) вибрати на продовженні лінії, що проходить із точки H через середину відрізка AB точку O, та помістити в неї центр координат, то при перетвореннях $\boldsymbol{u = k_1(y - y_0)}$, $\boldsymbol{v = k_2(z - z_0)}$ точки A, B, O, F та H перейдуть у точки A', B', O', F' та H' із координатами:

$A'((k_1 (y_A - y_0) + y_0), (k_2 (z_A - z_0) + z_0))$,
$B'((k_1(y_B - y_0) + y_0), (k_2 (z_B - z_0) + z_0))$,
$O'((k_1(y_O - y_0) + y_0), (k_2 (z_O - z_0) + z_0))$,
$F'((k_1(y_F - y_0) + y_0), (k_2 (z_F - z_0) + z_0))$,
$H'((k_1(y_Y - y_0) + y_0), (k_2 (z_Y - z_0) + z_0))$,

де точка O' буде серединою відрізка $A'B'$, для координат точки F' матиме місце співвідношення:

$\boldsymbol{u_F / v_F} = k_1 (y_F - y_0) / k_2 (z_F - z_0)$,

тобто точка *F*' лежатиме на прямій, що проходить через точки *H*' та *O*'.

Оскільки при перетвореннях координат точку початку координат (y_0 , z_0) вибрано на прямій, що сполучає точки *O* та *H*, то

$$(y_O - y_0)/(z_O - z_0) = (y_F - y_0)/(z_F - z_0) = (y_H - y_0)/(z_H - z_0) = m,$$

де m – деяке число (кутовий коефіцієнт прямої *OH*).

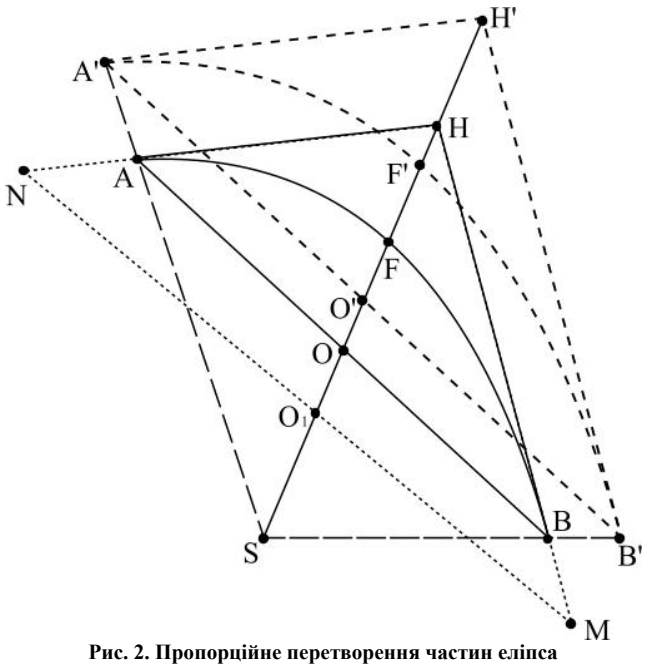


Рис. 2. Пропорційне перетворення частин еліпса

А тому для відношення відрізків |*O'F'*| / |*O'H'*| має місце співвідношення

$$\frac{|O'F'|^2}{|O'Y'|^2} = \frac{\left|\left((k_1(y_O - y_0) + y_0) - (k_1(y_F - y_0) + y_0)\right)^2 + \left((k_2(z_O - z_0) + z_0) - (k_2(z_F - z_0) + z_0)\right)^2\right|}{\left|\left((k_1(y_O - y_0) + y_0) - (k_1(y_H - y_0) + y_0)\right)^2 + \left((k_2(z_O - z_0) + z_0) - (k_2(z_H - z_0) + z_0)\right)^2\right|} =$$

$$= \frac{\left|\left((k_1(y_O - y_F)\right)^2 + \left((k_2(z_O - z_F)\right)^2\right|}{\left|\left((k_1(y_O - y_H)\right)^2 + \left((k_2(z_O - z_H)\right)^2\right|} = \frac{(y_O - y_F)^2\left|k_1^2 + (k_2 m)^2\right|}{(y_O - y_H)^2\left|k_1^2 + (k_2 m)^2\right|} = \frac{(y_O - y_F)^2}{(y_O - y_H)^2} = \frac{|OF|^2}{|OY|^2} = f^2$$

що і слід було показати.

Додаткові вставки відрізків значення проекційного дискримінанта завжди тільки збільшують (рис.1).

$$\frac{|O_1F|}{|O_1H|} = \frac{|O_1O| + |OF|}{|O_1O| + |OH|} > \frac{|OF|}{|OH|} = f$$

Отже, алгоритми побудови лінії пройми із використанням в кожній з ділянок четвертої частини еліпса чи кола, обмежує значення проекційного дискримінанта знизу значенням $\sqrt{2} - 1$ і такі методики потребують уточнення. Результатом цього уточнення повинна бути можливість побудови лінії пройми відрізками еліпса із значеннями проекційного дискримінанта меншими за величину $\sqrt{2} - 1$, а при значеннях проекційного дискримінанта більшого за число $\sqrt{2} - 1$ будувати лінію пройми без вставок відрізків.

Зазначимо також, що у випадку довільного чотирикутника для побудови лінії пройми на основі відрізків еліпса, відомі методики не можуть бути використані, оскільки потребує вирішення проблема вибору орієнтації осей еліпса, коли кут між сторонами чотирикутника не є прямим. Тобто не можна скористатися четвертою частиною лінії еліпса, а вибір такої частини повинен бути обґрунтований. На рис. 3 наведено приклади використання різних відрізків еліпса при одних і тих же положеннях критичних точок. Як видно із рис.3 існує багато варіантів побудови такого еліпса, де в різних варіантах різними є значення проекційного дискримінанта: $f_1 = OF_1 / OP = 0{,}2575$; $f_2 = OF_2 / OP = 0{,}3398$; $f_3 = OF_3 / OP = 0{,}4161$.

Для побудови ділянки лінії пройми з використанням відрізку еліпса скористаємося наступним:

- у рівнобедреному трикутнику висота перпендикулярна до основи і ділить її пополам і тому еліпс, одна з осей якого паралельна основі, а інша лежить на прямій, що проходить через висоту трикутника, одночасно дотикається до обох бічних сторін трикутника;
- елементарні перетворення координат, такі як перенос точки центру координат, пропорційне збільшення чи зменшення масштабу кожної з осей, а також поворот осей координат не змінюють значення проекційного дискримінанта.

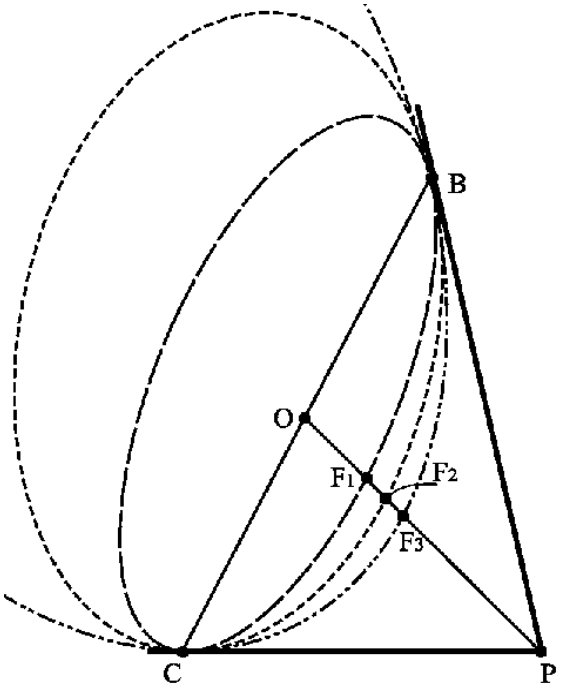


Рис. 3. Варіанти вписування еліпсів, що проходять через дві задані точки в кутовий сектор

Алгоритм побудови ділянки лінії пройми ілюструється на рис. 4 і рис. 5.

На рис. 4 показано, як на основі масштабування можна добитися рівності сторін *AH*’ та *B*’*H*’, де горизонтальна лінія, що проходить через точку А залишається незмінною, а точки *B* і *H* пропорційно зближуються.

Маючи точки *A*, *B*’ і *H*’ вже просто побудувати рівнобедрений трикутник *AB*’*H*’ і його висоту із вершини трикутника точки *H*’.

Якщо тепер повернути осі координат на певний кут (рис. 5) так, щоб вертикальна вісь збігалася з висотою трикутника, то в нових координатах ***u*** і ***v*** можна записати рівняння еліпса, одна з осей якого проходить через лінію висоти трикутника:

$$\frac{(u+u_0)^2}{a^2}+\frac{v^2}{b^2}=1, \qquad (1)$$

де u_0 – відстань від точки *O* (початок координат) до точки *K*; *a*, *b* – півосі еліпса.

За правилами побудови ділянки лінії пройми еліпс повинен проходити через точки *A* і *H*’, точку *F*, що визначає значення проекційного дискримінанта, та повинен дотикатися в точках *A* і *H*’ до ліній *AH*’ та *BH*’ (рис. 5).

Оскільки еліпс проходить через точку *F*, то має місце співвідношення

$$\frac{(u_F+u_0)^2}{a^2}=1, \qquad (2)$$

де u_F – відстань від точки *O* до точки *F*, звідки

$$a = u_F + u_0. \qquad (3)$$

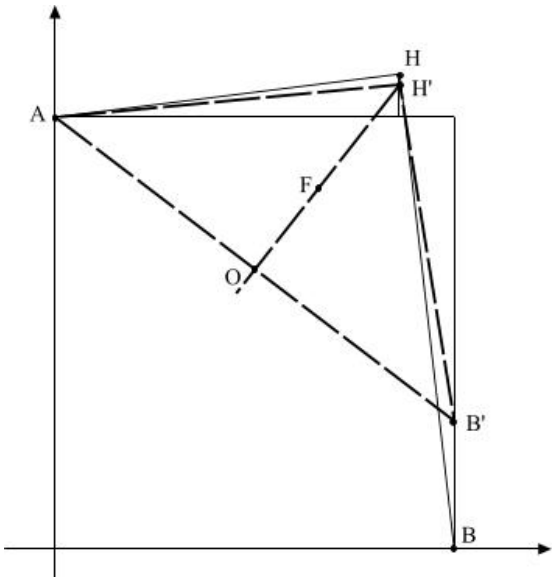


Рис. 4. Перетворення координат та отримання рівнобедреного трикутника для побудови частин еліпса

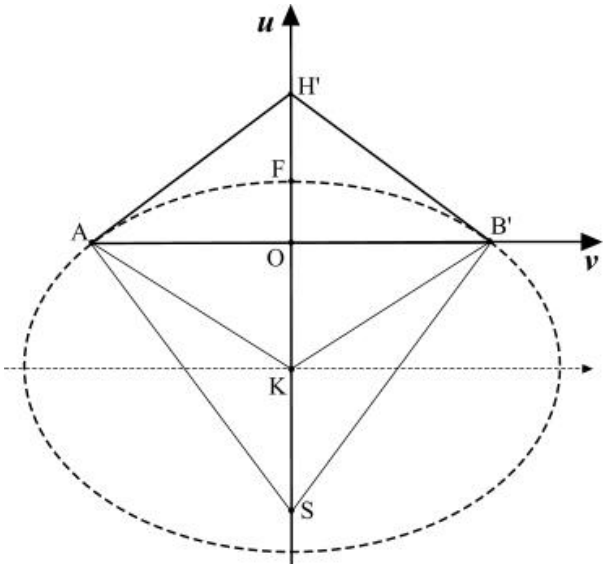


Рис. 5. Визначення осей еліпса та побудова його частин

Із умови, що еліпс проходить через точку B’, можна записати

$$\frac{u_0^2}{a^2}+\frac{v_B^2}{b^2}=1, \qquad (4)$$

де v_B – відстань від точки *O* до точки *B*’.

Рівняння дотичної до еліпса в точці *B*’ можна отримати із рівняння еліпса та кутового коефіцієнта прямої, що проходить через точки *H*’ і *B*’

$$\frac{\frac{2v_B}{b^2}}{\frac{2u_0}{a^2}} = \frac{u_H}{v_B}, \tag{5}$$

де u_H – відстань від точко O до точки H'.

Якщо невідому b знайти із рівняння (5), то з урахуванням (3) рівняння (4) зводиться до вигляду:

$$c^2 + c = (c + f)^2, \tag{6}$$

де $c = u_0 / u_H$, а $f = u_F / u_H$ – проекційний дискримінант.

Рівняння (6) має єдиний розв'язок

$$c = \frac{f^2}{1 - 2f}. \tag{7}$$

Із аналізу розв'язку рівняння (7) випливає, що додатне значення величини c можна отримати при значеннях проекційного дискримінанту в діапазоні чисел від 0 до 0,5, не включаючи 0,5.

При практичній побудові алгоритму розрахунків основні обчислення проводилися в системі координат (***u, v***) із наступним переходом до координат (***y, z***). Лінія еліпса будувалася як ламана із малими відстанями між сусідніми точками – на кожній з ділянок. Число точок розбиття приймалося рівним 100. Точки розбиття вибиралися рівномірно віддаленими на стороні основи рівнобедреного трикутника.

При порівнянні запропонованого способу побудови із алгоритмом, запропонованим в роботі [6] показало, що при числі розбиттів відрізків порядку 30 і більше, лінії практично збігаються (на графіку їх неможливо розрізнити).

Висновки і перспективи

Показано, що для побудови лінії плоскої пройми, розміщеної в довільному чотирикутнику, можуть бути використані відрізки еліпса. Запропонований алгоритм дозволяє будувати такі лінії при значеннях проекційного дискримінанту в діапазоні (0,0.5). Показано також, що запропонований спосіб реалізується на основі алгоритму, описаного в роботі [7], де число розбиттів відрізка перевищує 30.

Запропонований алгоритм може бути використаний для побудови лінії плоскої пройми в автоматизованих системах конструювання одягу.

Література

1. Янчевская Е.А. Конструирование одежды / Янчевская Е.А. – М. : Моск. текст. ин-т., 1986. – 444 с.

2. Коблякова Е.Б. Конструирование одежды с элементами САПР / Е.Б. Коблякова. – 4-е изд. переработанное и доп. – М. : Легпромбытиздат, 1988. – 464 с.

3. Методика конструирования женской верхней одежды – М. : ЦНИИТЭИлегпром, 1980. – 127 с.

4. Ергономіка і дизайн. Проектування сучасних видів одягу : навчальний посібник / М.В. Колосніченко, Л.І. Зубкова, К.Л. Пашкевич та ін. – К. : ПП «НВЦ «Профі», 2014. – 386 с.

5. Богушко О.А. Геометрія поверхонь одягу : монографія / Богушко О.А., Малиновський В.І., Святкіна А.Є. – [2-е видання, доп.]. – К. : Освіта України, 2009. – 194 с.

6. Раздомахин Н.Н. Построение замкнутых в пространстве линий проймы и оката рукава с заданной посадкой / Н.Н. Раздомахин, А.Г. Басуев, Е.Я. Сурженко // Швейная промышленность. – 1995. – № 6. – С. 22–23.

7. Винничук М.С. Універсальний алгоритм побудови ліній ділянок плоскої пройми жіночого одягу опуклими кривими / М.С. Винничук, О.А. Богушко // Прикл. геом. і інж. графіка. – К. : КНУБА, 2007. – Вип. 77. – С. 158–163.

References

1. Yanchevskaya E.A. Konstruirovanie odezhdy / Yanchevskaya E.A. Moskva, Moskovskiy tekstilnyj institut., 1986. 444 p.

2. Koblyakova Ye. B. Konstruirovaniye odezhdy s elementami SAPR. Moskva, Legprombytizdat, 1988. 464 p.

3. Metodika konstruirovaniya zhenskoj verhnej odezhdy. Moskva, TsNIITEIlegprom, 1980. 127 p.

4. Ergonomika i dyzain. Proektuvannya suchasnyh vydiv odyagu. Navchalnyj posibnyk. / M.V. Kolosnichenko, L.I. Zubkova, K.L. Pashkevych, T.O. Polka, N.V. Ostapenko, I.V. Vasileva, O.V. Kolosnichenko. Kiev, PP «NVTs «Profi», 2014. 386 p.

5. Bogushko O.A. Geometriya poverhon odyagu / Bogushko O.A., Malynovskyj V.I., Svyatkina A.E., Kiev, Osvita Ukrainy, 2009. 194 p.

6. Razdomahin N.N. Postroenie zamknutyh v prostranstve linii projmy I okata rukava s zadanoj posadkoj / N.N. Razdomahin, A.G. Basuev, E.Ya. Surgenko. Shveynaya promyshlennost' 1995. № 6. p.p. 22-23.

7. Vynnychuk M.S. Bogushko O.A. Universal'nyj algorytm pobudovy linij dilyanok ploskoi projmy zhinochogo odyagu opuklymy kryvymy. Prykladna geometriya i ingenerna grafika. Kiev. KNUBA. 2007. Vyp.77. p.p. 158-163.

Рецензія/Peer review : 2.3.2015 р. Надрукована/Printed :7.4.2015 р.
Рецензент: стаття рецензована редакційною колегією

УДК 687. 016.5 : 658.512

С.Г. КУЛЕШОВА
Хмельницький національний університет

ПЕРЕДУМОВИ ЗАСТОСУВАННЯ ФРАКТАЛЬНОЇ ГРАФІКИ ДЛЯ СТРУКТУРНОГО АНАЛІЗУ СУЧАСНОГО КОСТЮМА

Розглянуто принципи фрактальної побудови просторової структури одягу. Сформовано класифікатор елементів симетрії і гомології, як принципів побудови фрактального зображення. Розроблено компонувальні структури фрактальної побудови модних колекцій в період з 2009 по 2014 рр.

Ключові слова: фрактал, система, структурний аналіз, костюм.

S.G. KULESHOVA
Khmelnytskyi National University

PRECONDITIONS USING OF FRACTAL ART FOR STRUCTURAL ANALYSIS OF THE FASHIONABLE COSTUME

Abstrakt – The aim of the research – analysis of the structural formation of the modern fashionable costume using the basic provisions of fractal geometry.

Principles of fractal construction of the spatial structure of clothes are investigated. Community criteria of complex systems "fractal" and "suit" are found. Classification of elements of symmetry and homology as the foundation of fractal image is formed. Statistical analysis on fractal modern fashion costume from 2009 to 2014 years is completed.

Method of a comprehensive study of the morphological structures of the fashion is shapes of the female costume is obtained.

A qualitative and quantitative analysis of the photographic material of the female costume collections of European fashion houses for a certain chronological period is submitted. Geometric symbols of base and derived forms of the costume are proposed.

On the basis of research carried out summary model structures geometrical symbols basic and most common derivative forms of modern European dress women between 2009 - 2014 years. Developed combine structure of fractal construction fashion collections in the period from 2009 to 2014 years.

The results of the research underlying improvement program design copyright concepts of fashion.

Keywords: fractal, system, structural analysis, suit

Постановка проблеми

Сьогодні з появою фрактала, що показав світу візуалізацію процесів принципово іншого рівня складності, адекватного інформаційному суспільству, стало очевидно, що стався вихід на якісно новий рівень вивчення складних систем.

Проте, не зважаючи на достатньо великий сплеск активності в напрямку вивчення нових рівнів складності форм костюма, на сьогоднішній день питання створення відповідного сучасному етапу розвитку комп'ютерних технологій інструменту для аналізу системи «костюм», залишається відкритим.

Актуальність теми дослідження визначається:

- виникненням досліджень в галузі теорії фракталів, що обумовлюють необхідність використання новітніх даних з цієї області в дослідному процесі художнього проектування;
- потребою в адаптації сучасних комп'ютерних технологій, а також науково-обґрунтованої теорії фрактальної гармонізації у сферу теорії системного проектування костюма.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Фрактал (лат. fractus – подрібнений, зламаний, розбитий) – геометрична фігура, що володіє властивістю самоподібності, тобто складена з декількох частин, кожна з яких подібна до всієї фігури цілком [1].

Фрактальна структура спостерігається і є предметом ретельного вивчення в багатьох природних і антропогенних явищах. Дослідження різних фрактальних розмірностей перестало бути прерогативою фізиків і програмістів, знаходячи все нові області застосування [1–6].

Візуалізація складних моделей, можливість проведення якісного машинного моделювання різко збільшили інтерес дослідників до фрактальних методів. Фрактал створює нові наукові комунікації та схеми пояснення. Вивчаються фрактальні структури текстів і гіпертекстів [2], музичних творів, біржових котирувань [3], петернів динаміки процесів мозку і аттракторів сприйняття [4], структур комунікації в соціальних системах [6], динамічні процеси в глобальних інформаційних мережах [5]. Тим самим, поняття фрактала стає міждисциплінарним і знаходить загальнонауковий статус. Фрактали, з предмета чисто математичної цікавості також перетворилися на принципово новий графічний інструментарій [5].

Мета і завдання досліджень

Мета роботи – аналіз процесу структурного формоутворення сучасного модного костюма із застосуванням основних положень фрактальної геометрії.

Для досягнення мети поставлені наступні **завдання**:

1. Виявлення спільності критеріїв організації складних систем «фрактал» і «костюм».
2. Статистичний аналіз на фрактальність сучасного модного костюма в період з 2009 по 2014 рр.

Виклад основного матеріалу

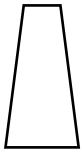
Виявлення спільності критеріїв організації складних систем «фрактал» і «костюм»

В дослідженні поставлене завдання переосмислення та доповнення основних класичних положень

структурного методу, оскільки його аксіоматизм і формалізація не змогли повною мірою відобразити суть еволюції костюма, так як спростили її механізми за Евклідовими конструкціями (табл. 1).

Таблиця 1

Дослідження костюму евклідовим геометричним методом

Фото зображення костюму	Весна 2010 «Атлантида Платона»	Весна 2009 «Воїни»	Весна 2010	60-і роки XX ст.
	Александр Макквін	Саманта Коул	Віктор и Рольф	Лесли Лоусон «Твіггі»
Геометричний метод дослідження				
	Складна форма ззовні і всередині моделі			Чітка форма виробу

В роботах науковців [1–10] значне місце відводиться геометричному аналізу форм живої природи, де геометричний аналіз є складовою частиною комплексного підходу до вивчення фрактальних біоформ та аналітичного визначення закономірностей їх побудови. Симетрія фрактальних природних структур, спіралеподібність траєкторій росту, циклічність зміни форм та інші залежності свідчать про упорядкованість геометрії фрактальних природних форм, що дає можливість їх геометричного моделювання.

Процес використання принципів фрактального формоутворення живої природи в художньому проектуванні системи «костюм» характеризується переходом від інтуїтивного наслідування природних форм до науково - обґрунтованих засобів їх аналізу. Симетрія у фрактальній геометрії характеризує не тільки статику об'єктів, але й різноманітні кінетичні трансформації, пов'язані із ростовими та моторно-функціональними процесами. Розгляд прикладів-аналогів просторових утворень форми тіла людини та фрактальних об'єктів живої природи, дає можливість для визначення типологічного простору розвитку форми костюма.

Запропоновано принципи фрактальної побудови просторової структури одягу, які найбільше відповідають задачам аналізу та розробки нових варіантів форм системи «костюм», (рис. 1).

Використання методу симетрії дає можливість провести геометричний аналіз структурних зв'язків об'єкта і встановити механізм зв'язку між елементами [7–10]. При такому дослідженні розрізняють два види геометричної рівності:

1. Конгруентна, або сумісна, рівність має місце в тому випадку, коли симетричні форми при накладанні одної на іншу поєднуються всіма точками. Вона виникає за умови, що переміщувана фігура поєднується з собою в просторі, зберігаючи тотожність собі самій. Цим операціями відповідають елементи класичної симетрії.

2. Гомологічна рівність – «подібні», а не рівні відносини загальних геометричних властивостей фігур [9, 10]. Вони проявляються у всьому видимому різноманітті різних асиметрій з переважанням криволінійної пластики.

Сутність вчення про гомологію полягає в тому, що асиметричні в звичайному розумінні форми розглядаються як криволінійно симетричні, перетворені одна в одну такими операціями, як розтяг, стиск, зсув, згин, злам, кручення. Цим операціям відповідають елементи гомології: осі косих поворотів навколо прямої, складних просторових вигинів, зламів, кручень. Саме такі типи перетворень є базовими і при фрактальній трансформації окремих деталей конструкції [6, 11–13, 15].

Використання теорії симетрії дає можливість уявити будь-який об'єкт проектування у вигляді спрощеної геометричної моделі та простежити різноманітність її властивостей в ході розвитку, при збереженні внутрішньої структури. При проектуванні на рівні фрактальних комбінаторних систем, формоутворення здійснюється шляхом перекомпонування вихідних елементів за принципами комбінаторики.

На основі розглянутих принципів сформовано класифікатор елементів симетрії і гомології, як механізм побудови фрактального зображення (табл. 2). Символи в таблиці відповідають математичним символам опису чотирьох груп перетворень симетрії [7, 8].

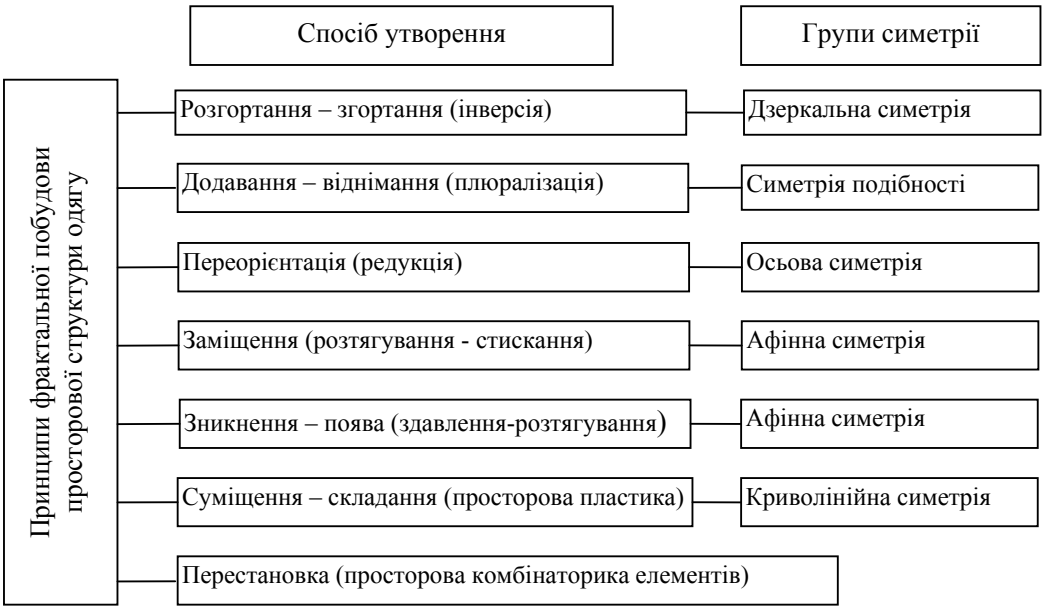
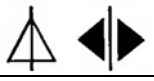
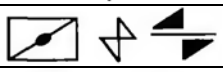
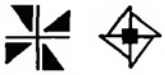
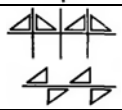
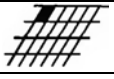


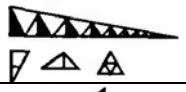
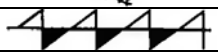
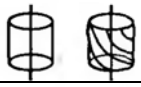
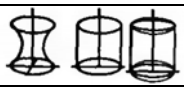
Рис. 1. Принципи фрактальної побудови просторової структури одягу

Таблиця 2

Класифікатор елементів симетрії і гомології, як принципів побудови фрактального зображення

Групи симетрії	Елементи симетрії і гомології		Символ
	Назва	Графічне зображення	
1	*2*	*3*	*4*
Класична симетрія	Площина симетрії вертикальна (*Віддзеркалення*)		*m*
	Вертикальна вісь симетрії		*n*
	Вертикальна вісь першого порядку		*1*
	Вертикальна вісь другого порядку (*Поворот у просторі*)		*2*
	Вертикальна вісь четвертого порядку (*Поворот у площині*)		*4*
	Вертикальна вісь восьмого порядку (*Поворот у площині*)		*8*
	Вісь переносу (*Перенесення*)		*a*
	Комбінація осей і площин симетрії		*n·m*
	Комбінація переносів і відображень		*(a):m* *(a)·a*
	Квадратні сітки		*(a:a):4·m*
	Ромбові сітки		*(a/a):2·m*
	Трикутні сітки		*(a/a):6·m*
	Прямокутні сітки		*(b:a):2·m*
	Паралелограмні сітки		*(b/a):2·m*
Афінна симетрія	Афінний стиск		R_0
	Афінний розтяг		$R_{2.3}$
	Коса вісь гомології безкінечного порядку (*Зсув*)		Λ_∞

Продовження табл. 2

1	2	3	4
Симетрія подібності	Перетворення подібності		K
	Спіральна вісь подібності		L
	Гвинтова вісь загального порядку		n_j
Криволінійна симетрія	Скручена форма (*Кручення*)		$n/2$
	Зігнута вісь гомології безкінечного порядку, ліва і права (*Простий згин*)		$+\Lambda^{<}_{\infty}$ $-\Lambda^{<}_{\infty}$
	Зігнута вісь гомології, ліва і права (*Злам*)		$\pm\Lambda^{<}_{\infty}$
	Пряма еліптична вісь гомології безкінечного порядку (*Здавлення*)		Λ'_{∞}

Статистичний аналіз на фрактальність сучасного модного костюма в період з 2009 по 2014 рр. за основними групами елементів симетрії і гомології виконано на основі сформованої програми дослідження (табл. 3).

Таблиця 3

Програма статистичного дослідження модного костюма на фрактальність

Операція	Мета
1. Збір попередньої інформації про зміну елементів структури форми одягу за даними фотоматеріалів.	Систематизація знань
2. Визначення значущості та суттєвості модних змін елементів структури форми.	Складання тезауруса суттєвих ознак
3. Ідентифікація основних змін з операціями фрактальної графіки	Формалізація наявного знання
4. Математико-статистичний аналіз даних	Отримання графічних моделей статистичного розподілу показників
5. Оцінка отриманих даних	Об'єктивізація статистичних розподілів

Для проведення дослідження був використаний матеріал мега-порталу моди «first VIEW» [14], який дає можливість роботи з оцифрованими фотографіями всього показу колекції.

Об'єктом вивчення було обрано сучасний жіночий європейський костюм сезонів осінь-зима і весна-літо з 2009 - 2014 рр.

Ведучими критерієм вибору матеріалу для дослідження з'явилися:

- однорідність представленого матеріалу;
- дотримання авторської хронологічної послідовності демонстрації моделей на подіумі;
- технічна якість зображень.

Обсяг вибірки склав 7 найбільш часто зустрічних за досліджуваний період в прес-релізах дизайнерів та Будинків моди: Мак Куїн, Шанель, Діор, Валентіно, Гуччі, Іріс ван Херпен, Зайцев, які відповідають критеріям вибірки:

- історія Будинку повинна налічувати не менше 10 років;
- Будинок повинен володіти всесвітньою популярністю, і вважатися «законодавцем моди».

В ході проведення експериментальних досліджень проаналізовано і графічно представлено у вигляді приведення до ГС більше 4000 зображень (з розрахунку 50 моделей в колекції). У найбільш загальній формі процес структурування здійснено за алгоритмом:

1. Заміна реальних просторових моделей геометричними символами.
2. Виділення фрактальних симетрійних властивостей форми.
3. Визначення типу модної фігури і її пропорцій по відношенню до антропологічних.
4. Систематизація графічних знакових систем.

Найбільш доцільно починати структурування зі стабільних та мобільних елементів форми, за допомогою яких потім визначається метрика структурної фрактальної «сітки». Потім послідовно розшифровуються морфологічні дані і симетрійні фрактальні властивості форми, які систематизуються. Будується геометрична модель-програма, в якій закодовані фрактальні перетворення. При обробці простору геометричної подоби системи фігура-форма оцінюються основні параметри, виявляються інформативні точки та рівні пропорційності (рис. 2, табл. 4).

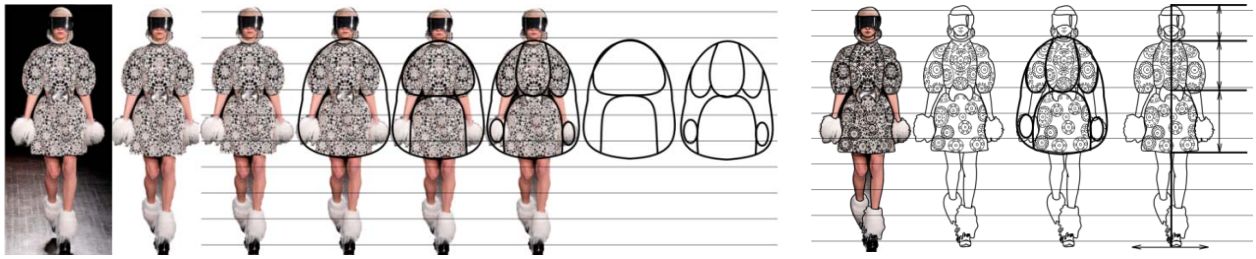


Рис. 2. Приклад аналізу на фрактальність моделі колекції McQueen, осінь-зима 2012–2013

Таблиця 4

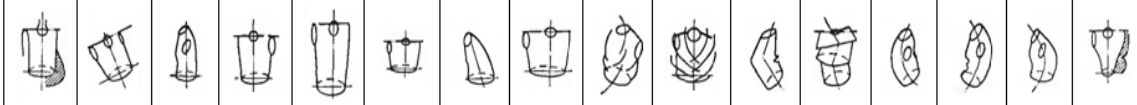
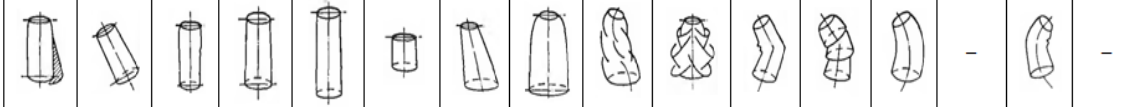
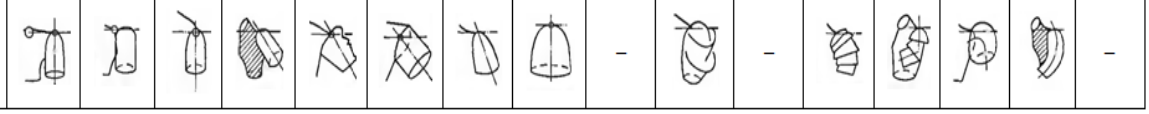
Зведена статистична модель аналізу на фрактальність сучасного жіночого європейського костюма в період 2009–2014 рр.

Будинок моделей	К-сть моделей	Кількість моделей одягу, %				
		Фрактальність форми	Фрактальність Форма+принт	Фрактальність Форма + фактура	Фрактальність Форма + оздоблення	Фрактальність Форма + оздоблення+фактура
1.A. McQueen	600	100,0	20,5	28,0	21,2	27,7
2.Chanel	613	100,0	15,7	26,9	25,9	24,3
3.Dior	600	100,0	22,8	30,8	22,0	20,7
4.Valentino	600	100,0	15,7	23,5	32,7	20,2
5.Gucci	600	100,0	23,2	28,7	28,3	14,7
6.Iris van Herpen	300	100,0	-	77,7	22,3	-
7.Slava Zaitsev	602	100,0	25,4	18,6	28,4	27,7

Підсумовуючи результати проведення класифікації форм одягу складено тезаурус найбільш істотних статистичних ознак по основним частинам форми (ліф , спідниця , рукав) європейського костюма (табл. 5).

Таблиця 5

Тезаурус ознак фрактальності об'ємно-просторової форми

Частина одягу	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15,16
	$R_1 \bullet m$	$m_п n_п$	n_4	m	R_2	R_0	Λ	K	$n{:}2$	$n_j L$	$\Lambda^<$	$\Lambda^<$	$+\Lambda^<$	$-\Lambda^>$	$-\Lambda^>$	Λ'
Ліф																
	0	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	–	28	–
	$R_1 \bullet m$	$m_п n_п$	n_4	m	R_2	R_0	Λ	K	$n{:}2$	$n_j L$	$\Lambda^<$	$\Lambda^<$	$-\Lambda^>$		$+\Lambda^<$	
Спідниця														–		–
	0	29	30	31	32	33	34	35	–	36	–	37	38	39	40	–
	$R_2 \bullet m$	a_0	a_2	$n_п$	$n_ф$	$n_ф$	Λ	K		$n_j L$		$\Lambda_ф^<$	$\Lambda_п^<$	$\Lambda_ф^>$	$\Lambda_п^>$	
Рукав									–		–					–

Ознаки фрактальності розподілено за основними групами елементів симетрії і гомології: класичної, аффінної, подібності і криволінійної. Кожному перетворенню присвоєно порядковий номер, який є статистичною ознакою. У першій графі таблиці визначено вихідну базову форму – еталон (0), у наступних графах – варіанти перетворення модної пози і модної форми (1…40).

Ознаки 1, 16, 31, 32, 33, 29, 30, 2, 3, 17, 18 є функцією перетворення класичної симетрії (відображення, переноси, повороти навколо осі).

Ознаки 4, 19, 5, 20, 6, 21, 34 є функцією перетворень афінної симетрії (розтяг, стиск, зсув).

Ознаки 7, 22, 35, 9, 24, 36 є функцією перетворень симетрії подібності К і L (форма зростає по прямій, гвинтовий, спіральній направленості). Для більшої зручності операцію гвинтового повороту поміщено не в групу класичної симетрії, а в групу подоби, об'єднавши її з перетвореннями спіральної осі подоби.

Ознаки 8, 23, 10, 25, 37, 38, 11, 26, 12, 13, 14, 27, 28, 39, 40, 15, 16 є функцією перетворення криволінійної симетрії (операції кручення, зламу, вигину, здавлювання). На основі тезауруса ознак фрактальності об'ємно-просторової форми сформовано компонувальні структури фрактальної побудови модних колекцій в період з 2009 по 2014 рр. за базовими геометричними символами форми: трапеція, овал, прямокутник (табл. 6).

Як виявлено, у колекціях з 2009 по 2014 роки з трапецієподібною базовою формою, на відміну від колекцій з овальною і прямою базовими формами, компоновка вихідних елементів найбільш інтенсивна, що

говорить про зміну морфології і підготовку нових співвідношень в структурі форми подальшого періоду.

На основі проведених досліджень сформовано зведені моделі структур геометричних символів базових і найбільш поширених похідних форм сучасного жіночого європейського костюма в період з 2009–2014 рр. (табл. 7) з представленням формул компонувальних структур їх фрактальної побудови [15, 16].

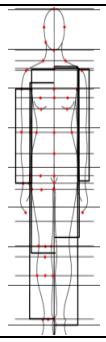
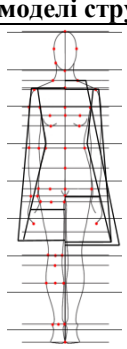
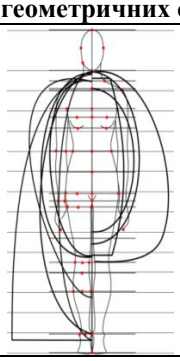
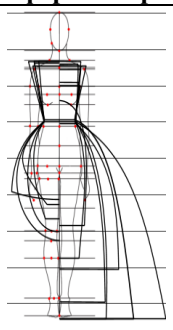
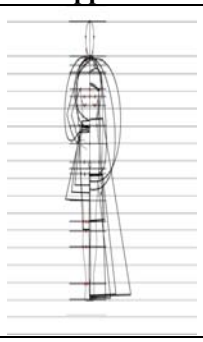
Таблиця 6

Компонувальні структури фрактальної побудови модних колекцій в період з 2009 по 2014 рр.

	Рік	Композиція елементів	Змінні елементи
Трапеція	2009	$(R_2)(R_4•Л^{(})(R_2)(R_1)(R_3•Л^{(}•12\_{u})(R_2•K•n_j)$	$(R_2•R_0•K)(R_4)(Л)$
	2010	$(R_1)(R_4•6\_{u})(R_2•Л^{<})(R_1)(R_1•Л^{(}•4\_{u})(R_2•K)$	$(R_1)(R_4•n•a•K)(K)$
	2011	$(R_1)(R_1\_{u})(R_2•K)$; $(R_2•K)(R_4•12•K)(R_2•K)$	$(R_2•R_0•K)(R_4•a•K)(R_1)$
	2012	$(R_1•n_j•Л^{<})(R_3•Л^{(}•6\_{u}•K)(R_2•K)$; $(R_1•Л^{<})(–)(R_2•K)$; $(R_3•K•Л^{<})(R_4•12\_{u})(R_2)$	—
	2013	$(R_1•Л^{<})(–)(R_2•K)$; $(R_1•n_j)(R_3•Л^{(}•6\_{u}•K)(R_1•K)$; $(R_1•n_j)(R_2•Л^{(}•n_j•K)(R_2)$	$(R_1•n_j)(R_4•Л^{(}•n•a)(R_1)$
	2014	$(R_1)(R_3•6\_{u})(R_2•K)$; $(R_2)(R_2•12)(R_2)$; $(R_1•Л^{<})(–)(R_3•K)$	$(R_2•R_0)(R_4•n•a)(K)$
Овал	2009	$(R_1•n_j•K)(R_3)(K)$	$(R_1•Л)(R_4)(K•Л)$
	2010	$(R_1)(R_1•12\_{u})(K)$	$(R_1•Л)(a)(R_2•R_0)$
	2011	$(R_1•K)(R_1•6\_{u})(R_1)$	$(R_2•R_0)(R_4•a•K)(R_1)$
	2012	$(R_3)(R_3)(R_1)$	$(R_1•K•Л)(R_4•a•Л^{(}•K)(R_1)$
	2013	$(R_1)(–)(R_1)$	$(R_2•R_0•K)(R_4•a•K)(R_1)$
	2014	$(R_2)(R_3)(R_1•K)$	$(R_2•R_0•K)(R_4•K•a)(R_2•R_0)$
Прямокутник	2009	$(R_2)(R_4)(R_0)$	$(R_2•R_0•K)(R_4•a)(R_1•Л^{<})$
	2010	$(R_2)(R_4)(R_2)$	$(R_1)(R_4•Л^{(})(R_2•R_0)$
	2011	$(R_1)(R_4)(R_1)$	$(R_2•R_0)(R_4•Л^{(}•K)(R_2•R_0•K)$
	2012	$(R_1)(R_4)(R_1)$; $(R_1)(R_4•K)(R_3•K)$	$(R_2•R_0)(R_4•K)(R_2•R_0•K•Л^{(})$
	2013	$(R_2)(R_4)(R_1)$; $(R_1)(R_2•Л^{(}•6\_{u}K)(R_0)$	$(R_1)(R_4•a•Л^{(}•K)(R_2•R_0)$
	2014	$(R_1)(R_4)(R_1)$; $(R_2)(R_2•Л^{(}•6\_{u}K)(R_2)$	$(R_1)(R_4•n•Л^{(}•K)(R_2•R_0)$

Таблиця 7

Зведені моделі структур геометричних символів форм в період з 2009 – 2014 рр.

				
$БФ1 = R_2 • R_0 • Л^{'} • R_0 • R_2$	$БФ2 = Л^{'} • R_0 • R_2 + R_2 • R_0 + R_0 • R_2 • Л^{'}$	$БФ3 = (Л^{'} • R_2 • R_0) + (R_2 • R_0 • Л^{'})$	$ПФ_{23} = (Л^{'} • R_0 • R_2 + R_2 • R_0 + R_0 • R_2 • Л^{'}) + ((Л^{'} • R_2 • R_0) + (R_2 • R_0 • Л^{'}))$	$ПФ_{32} = ((Л^{'} • R_2 • R_0) + (R_2 • R_0 • Л^{'})) + (Л^{'} • R_0 • R_2 + R_2 • R_0 + R_0 • R_2 • Л^{'})$

Висновки

Результати та підсумки проведених досліджень покладено в основу удосконалення програми розробки авторських концепцій моди (ПРАК). Запропоновані положення фрактальної концепції адекватно відтворюють сучасні форми моделей одягу, і охоплюють широкий спектр художнього проектування від опрацювання передпроектної ситуації до рекламного забезпечення створеної колекції.

Застосування концепції фракталів для структурного аналізу системи «костюм» дає змогу:

- розширити і систематизувати знання, у зв'язку з появою нових понять і інших підходів до системи «костюм», піднятих комп'ютерної цивілізацією;
- поліпшити процес формування графічного аналізу візуального матеріалу на основі нелінійного асоціативного мислення;
- сформувати методику визначення та розгляду етапів життєдіяльності складної системи «мода», з точки зору фрактальної гармонії і її основних положень.

Література

1. Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы / Б. Мандельброт. – Москва : Институт компьютерных исследований, 2002. – 660 с.

2. Чумак О. В. Энтропии и фракталы в анализе данных. / О. В. Чумак. — М., Ижевск : НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», Институт компьютерных исследований, 2011. — 164 с.

3. Тарасенко В.В. Метафизика фрактала. Стили в математике: социокультурная философия математики / В.В. Тарасенко. – СПб : РХГИ, 1999. – 421 с.

4. Кроновер Р.М. Фракталы и хаос в равновесных структурах / Р.М. Кроновер. – Москва, 2000. – 358 с.

5. Пайтген Х.О. Красота фракталов. Образы комплексных динамических структур / Х.О. Пайтген, П.Х. Рихтер. – Москва : Мир, 1993. – 206 с.

6. Вознюк А.В. Педагогическая синергетика : [монографія] / А.В. Вознюк. – Житомир : ЖГУ им. И. Франко, 2012. – 812 с.

7. Шубников А.В. Симметрия в природе и искусстве. / А.В. Шубников, В.А. Копцик. – М.: Легпромбытиздат, 1972. – 236 с.

8. Смолина Н.И. Традиции симметрии в архитектуре / Н.И. Смолина. – М. : Легпромбытиздат, 1990. – 183 с.

9. Вик Дж. У. Теория гомологий. Введение в алгебраическую топологию / Вик Дж. У. — М. : МЦНМО, 2005. – 175 с.

10. Прасолов В. В. Элементы теории гомологий / Прасолов В. В. — М. : МЦНМО, 2006. – 252 с.

11. Чупріна Н. В. Прогнозування формоутворення як етап художнього проектування костюма : [монографія] / Н.В. Чупріна.– Київ : КНУТД, 2010. – 180 с.

12. Ніколаєва Т. В. Тектоніка формоутворення костюма : навчальний посібник / Т. О. Ніколаєва. – [3-є вид., доповн.]. – Київ : Арістей, 2011. – 340 с.

13. Петушкова Г.И. Проектирование костюма : ученик для ВУЗов / Г.И. Петушкова. – Москва : Академия, 2004. – 416 с.

14. First VIEW [Електрон. ресурс]. – Режим доступу : http://www.firstview.com/

15. Кулешова С.Г. Використання графоаналітичних методів для проектування об'ємно-просторових форм одягу за допомогою комп'ютерної графіки / С.Г. Кулешова // Проблемы легкой и текстильной промышленности Украины. – Херсон. – 2011. – № 1(17). – С. 18–23.

16. Порохненко К. В. Дослідження процесу формоутворення системи костюм. / К. В. Порохненко, С. Г. Кулешова // Зб. тез І міжн. інтернет-конференції «Сучасні тенденції розвитку промисловості» за напрямком «Інформаційні технології проектування». – Хмельницький : ХНУ, 2014. – С. 125–128.

References

1. Mandelbrot B. Fraktalnaya geometriya prirodyi. Moscow, Institut kompyuternyih issledovaniy, 2002, 660 p.

2. Chumak O. V. Entropii i fraktalyi v analize dannyih. Moscow, Izhevsk: NITs «Regulyarnaya i haoticheskaya dinamika», Institut kompyuternyih issledovaniy, 2011, 164 p.

3. Tarasenko V.V. Metafizika fraktala. Stili v matematike: sotsiokulturnaya filosofiya matematiki. St. Peterburg, RHGI, 1999, 421 p.

4. Kronover P.M. Fraktalyi i haos v ravnovesnyih strukturah. Moscow, 2000, 358 p.

5. Paytgen H. O., Rihter P.H. Krasota fraktalov. Obrazyi kompleksnyih dinamicheskih struktur. Moscow, Mir, 1993, 206 p.

6. Voznyuk A.V. Pedagogicheskaya sinergetika: monografIya. Zhitomir, ZhGU im. I. Franko, 2012, 812 p.

7. Shubnikov A.V., Koptsik V.A. Simmetriya v prirode i iskusstve. Moscow, Legprombyitizdat, 1972, 236 p.

8. Smolina N.I. Traditsii simmetrii v arhitekture. Moscow, Legprombyitizdat, 1990, 183 p.

9. Vik Dzh. U. Teoriya gomologiy. Vvedenie v algebraicheskuyu topologiyu. Moscow, MTsNMO, 2005, 175 p.

10. Prasolov V. V. Elementyi teorii gomologiy. Moscow, MTsNMO, 2006, 252 p.

11. Chuprina N. V. Prohnozuvannia formoutvorennia yak etap khudozhnoho proektuvannia kostiuma: monohrafiia. Kyiv, KNUTD, 2010, 180 p.

12. Nikolaieva T. V. Tektonika formoutvorennia kostiuma: navchalnyi posibnyk: [3-tie vyd., dopovn.]. Kyiv, Aristei, 2011, 340 p.

13. Petushkova G.I. Proektirovanie kostyuma: Uchenik dlya VUZov. Moscow, Akademiya, 2004, 416 p.

14. First VIEW. (27.06.2014) Availible at; http://www.firstview.com/

15. Kuleshova S.G. Vykorystannia hrafoanalitychnykh metodiv dlia proektuvannia obiemno-prostorovykh form odiahu za dopomohoiu kompiuternoi hrafiky, *Problemyi legkoy i tekstilnoy promyishlennosti Ukrainyi*, Herson, 2011, No. 1(17), pp. 18-23.

16. Porokhnenko K. V., Kuleshova S. G. Doslidzhennia protsesu formoutvorennia systemy kostium. *Zb. tez I mizhn. internet-konferentsii «Suchasni tendentsii rozvytku promyslovosti» za napriamkom «Informatsiini tekhnolohii proektuvannia»*, Khmelnytskyi, KhNU, 2014, pp. 125-128.

Рецензія/Peer review : 30.3.2015 р. Надрукована/Printed :7.4.2015 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Славінська А.Л.

УДК 687.016.5:572.087

О.П. СИРОТЕНКО, М.О. ПЕРЕЯСЛОВА
Хмельницький національний університет

УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ПРОЕКТУВАННЯ ОРНАМЕНТАЛЬНИХ АПЛІКАЦІЙ ДЛЯ ДЕКОРУВАННЯ МОДЕЛЕЙ ОДЯГУ

Розроблено методику побудови схем аплікацій швейних виробів на основі графічних моделей художніх картин із застосуванням принципу уніфікації іконів. Запропоновано універсальний спосіб побудови групи однорідних лекал на основі принципу масштабування модуля. Запропоновано уніфікацію кольоротипу матеріалів аплікації та універсальну систему кодування її деталей.

Ключові слова: ікон, модуль, графічна схема картини, графічний знак, масштабування лекал, трансформація форми, кольоротип, схема аплікації.

O.P. SYROTENKO, M.O. PEREYSLOVA
Khmelnytsky National University

IMPROVEMENT OF THE METHOD OF DESIGNING ORNAMENTAL APPLICATIONS FOR DECORATING WOMEN'S CLOTHING

Abstract - The Improvement of the method of designing ornamental applications, developed on the basis of painting motives, and the reduction of the complexity of the development of application process patterns on the basis of the parts unification principle.

On the basis of the geometrical concept for building paintings there have been developed graphical models of H. Klimta as the basis of the garments ornamental application patterns. There have been singled out the graphic icon marks of the main elements of applications on the basis of the principle of the similarity of graphic signs of the structural elements of the model paintings. There has been developed the method of application patterns layout for garment products based on the graphical models of paintings using icon unification principle. There has been offered a versatile way to build a group of similar curves on the basis of scaling module. There has been offered a unification of the colour type of application materials and the universal system of its details coding.

The proposed improvement process of the method of designing ornamental applications can be used to develop the application patterns as based on the motives of the paintings of other famous artists.

Keywords: icons, module, painting graphical pattern, graphic sign, pattern scaling, form transformation, colour type, application pattern.

Вступ

Високий рівень конкуренції спонукає шукати різні варіанти інновацій зовнішнього вигляду моделей одягу, одним з яких є використання аплікації, вишивки, принтів та ручного розпису тканини. Завдяки таким провідним фірмам, як *FREYWILLE, D&G, CHANEL, DIOR, OSKAR DE LA RENTA* орнаменталізм стає актуальним і користується попитом у модників усього світу. Сучасні дизайнери все частіше звертаються за ідеями для сюжетів декору до інших форм мистецтва, таких як живопис та прикладне мистецтво. Серед них особливо актуальними є роботи художників: Мілле, Босха, Ван Гога, Клімта, Мухи, Бенуа. Образи, зображені в їхніх картинах, колористика орнаменту і кольору, фактура матеріалів стали натхненням для багатьох художників та дизайнерів сьогодення: Джона Гальяно, Карла Лагерфельда, Оскара де ла Ренти, Ганни Сьюї, Крістіана Лакруа, Дрю Ван Хотена, Лаурен Скотт.

Стрімкий розвиток орнаментальної аплікації та широкі перспективи її використання створюють передумови вибору саме цієї техніки для декоративного оздоблення сучасних авторських колекцій. Імплементація художніх картин в сучасних колекціях одягу є актуальною, оскільки дає можливість передати всю палітру фактур, матеріалів та кольорів, і з точки зору дизайну костюма найвиразніше показати декоративне і композиційне вирішення об'єкту оздоблення.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Для розробки сучасних колекцій одягу одним з найбільш актуальних джерел творчості є роботи художника-модерніста Густава Клімта (рис. 1). Адже за допомогою моделей одягу можна передати не тільки його манеру – геометричні окреслені предмети, локальні плями в поєднані з жорсткою графікою, плоске відображення – але й конкретні полотна [1]. Особливо популярними є роботи «золотого періоду», який відмічений позитивною реакцією критики і є найуспішнішим для митця. Його назва походить від позолоти, використаної в багатьох роботах художника, починаючи з «Палацу Афіни» (1898 р.) і «Юдіфи» (1901 р.), та закінчуючи роботами «Водяні змії І», «Фриз Стокле», «Три віки жінки», «Портрет Аделі Блох-Бауер», які разом з «Золотою Аделью» та найбільш відомою роботою цього періоду «Поцілунок» (1907–1908 рр.) складають вершину творчості золотого періоду Клімта [2].

Площинність зображення робіт Г.Клімта спонукає відомих кутюр'є найчастіше використовувати для відображення його картин техніку орнаментальної аплікації або принт. Жодна із існуючих обробок не має такого широкого декоративного вжитку, як орнаментація аплікацією. Вона ґрунтується на принципах розвитку прикладного мистецтва, а тому може органічно зливатися з конструктивною і декоративною формами одягу. Однак, вона має один недолік – є вкрай дорогою і тому найчастіше застосовується на святкових, сценічних сукнях і на сукнях для урочистих подій.

В переважній більшості, аплікації виготовляють в умовах дрібно серійного та одиничного виробництва, яке змушене здійснювати постійний пошук нових технологічних прийомів, в тому числі з використанням прийомів hand made [3], для розширення дизайнерських можливостей у виготовленні

оригінальних моделей виробів. При цьому відкритим залишається питання пошуку нових способів здешевлення процесу виготовлення аплікації та скорочення часу на її розробку.

Рис. 1. Використання в роботах сучасних дизайнерів картин Густава Клімта: а - «Очікування»; б - «Поцілунок»; в - «Золота Адель»; г - «Медицина»; д - Портрет Меди Прімавезі

Сучасним шляхом вдосконалення процесу проектування та виготовлення одягу є використанням принципу уніфікації [4] на етапах розробки їх конструкції та технології, без втрати якості готових виробів. Принцип уніфікації доцільно використовувати, як перспективний, для проектування орнаментальних аплікацій та виготовлення одиничних та серійних швейних виробів.

Мета і завдання дослідження

Метою дослідження є удосконалення методу проектування орнаментальної аплікації в авторських колекціях жіночого одягу, розроблених за мотивами творів живопису відомих художників, та скорочення трудомісткості процесу розробки та виготовлення елементів аплікації на основі використання принципу уніфікації деталей.

Виклад основного матеріалу

Об’єктом дослідження обрано три роботи Г.Клімта: «Поцілунок», «Очікування» та «Водяні змії І» (рис. 2), які відносяться до «золотого періоду» творчості (1903–1910 рр.) автора.

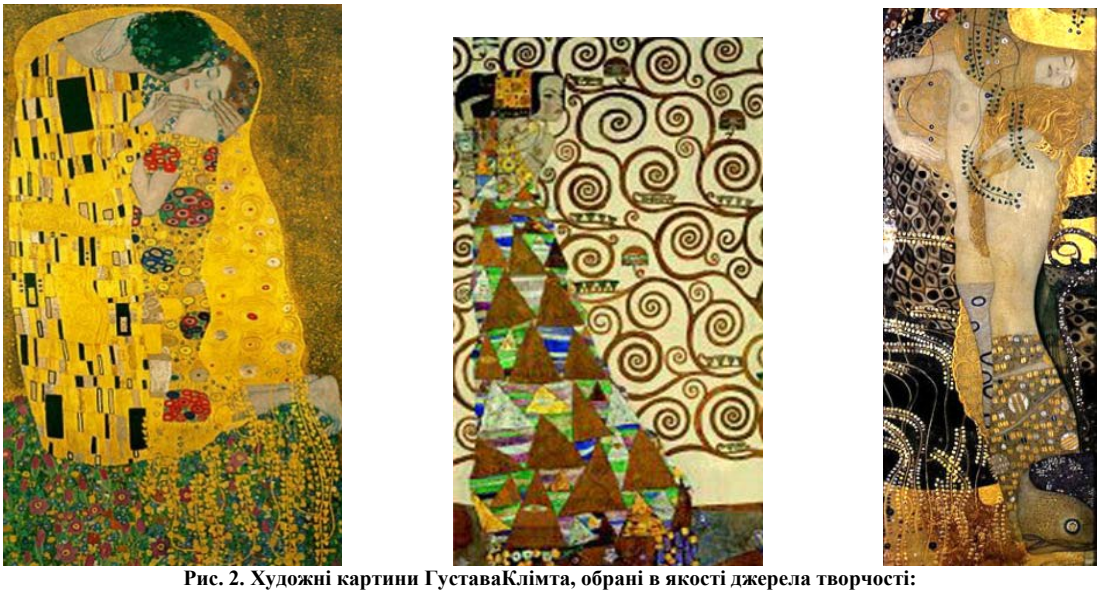


Рис. 2. Художні картини ГуставаКлімта, обрані в якості джерела творчості: а – «Поцілунок», б - «Очікування», в – «Водяні змії»

Картини Г.Клімта за своєю художньою концепцією близькі до предметів декоративно-прикладного мистецтва. Фігури і предмети піддаються стилізації в стилі модерн. Фон завжди площинний, затканий дрібним візерунком. Контрастом до нього є ілюзорні, об'ємно трактовані частини зображення – зазвичай певна особа.

Відповідно орнаментація аплікації продиктована стилем орнаменту картин Клімта. Основною її характеристикою є велика кількість дрібного, нескладного, геометричного орнаменту у поєднанні з реалістичним зображенням обличчя та рук жінок. Складність у відтворенні такого орнаменту полягає у необхідності його зображення на цілісній площині, оскільки значна кількість дрібного орнаменту повинна представляти собою цілісне зображення, а не окремі частини. В декоруванні елементів одягу осіб, що зображені на картинах, переважає геометричний візерунок (прямокутники, трикутники, спіралі, кола,

мигдалини), а в заповненні фону – рослинний або тваринний (зооморфний) орнамент (квіткові поляни, «дерево життя», водяні змії та рибки) (рис. 2).

Всі елементи оздоблення подібні за формою, але дещо відрізняються за розмірами. Вони повторюються безмежну кількість разів і здається розташовані в злегка хаотичному порядку. Їх форма дещо асиметрична, звивається хвилями по всьому полотні. При цьому не можна не помітити цікаву закономірність – на всіх картинах силуети одягу нагадують за своєю формою основні елементи його оздоблення. Подібність художнього вирішення цих картин, їх спільна манера та техніка виконання, близька кольорова гама вказують про доцільність здійснення уніфікації процесу розробки схем аплікацій, створених за аналогією до цих картин та обрати спільний асортимент тканини та фурнітури для їх виготовлення.

Уніфікація процесу проектування схем аплікації дозволила сформувати наступні стадії його виконання:

1. Дослідження геометричної структури картин та розробка графічних схем аплікації.
2. Дослідження форми та параметрів структурних елементів картин і розробка на їх основі схем іконів.
3. Розробка лекал деталей аплікації шляхом масштабування іконів.
4. Дослідження фактурно-колористичної палітри картин та підбір відповідного комплекту матеріалів.
5. Розробка структурних схем аплікацій з урахуванням уніфікованих параметрів та кольорової гами деталей.

Враховуючи геометричну концепцію побудови художніх картин запропоновану А.Н. Поплавним [5], процес переходу від реального зображення картин до їх графічної структури доцільно виконувати в наступній послідовності: 1) пошук композиційного центру; 2) побудова структурних сіток місць розташування основних елементів; 3) нанесення основних елементів; 4) побудова графічної схеми картини.

Побудова структурних сіток та графічних схем обраних картин здійснювалася з використанням комп'ютерної програми Xara Xtreme Pro 5. Для цього попередньо були виконані підготовчі операції:

а) побудовано рамки у відповідності з заданими натуральними параметрами картин;

б) в межах рамок вставлені фотокопії полотен.

На 1-ому етапі стадії розробки графічних схем аплікацій визначено елемент, який займає центральне місце на картині та серед інших є головним сюжетним компонентом – композиційним центром. Його мета – привертати увагу глядача. Як видно з рисунка 2, композиційним центром, на картинах Клімта, є обличчя жінок. Їх контур був нанесений на перший шар схем аплікацій.

На 2-ому етапі, побудовано направляючі лінії орнаменту, які проходять через найбільш виразні елементи картини та характеризують напрямок їх руху. Ці лінії створюють систему «мережа» [5]. У місцях перетину ліній розташовуються основні елементи, що інформативно є вузлами сіток, важливими для впізнання форми та місця розташування елементів мережі.

На 3-ому етапі, було виконано апроксимацію основних елементів картини, шляхом приведення їх форми до простих геометричних фігур (рис. 3). Елементи неправильної форми із величиною зсуву сторін (m) меншою ніж «поріг зорової байдужості (2 см)» [6] були апроксимовані у фігури врівноваженої форми, оскільки за правилами «геометричних перетворень» [7] вони вважаються подібними.

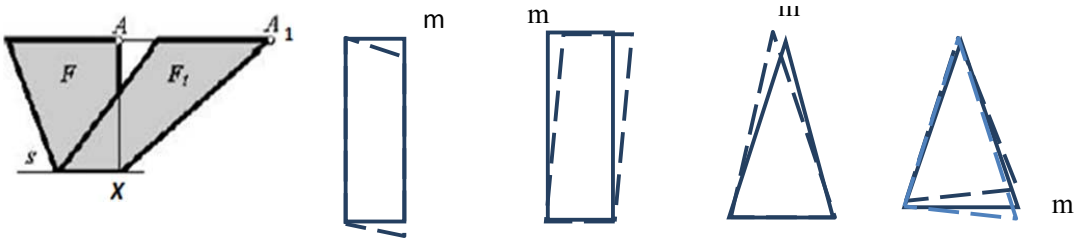


Рис. 3. Схеми апроксимації фігур неправильної форми до простих геометричних фігур

На 4-му заключному етапі виконано нанесення більш дрібних елементів картини, загальних контурів основних елементів, для створення їх повного образу, у вигляді графічних моделей картин (рис. 4), як основи схем аплікацій.

Розроблений вид схем є простим у розумінні, дозволяє досліджувати числові характеристики і якісні властивості об'єктів аплікації, зводячи завдання до вивчення більш простих та зручних об'єктів.

Аналіз графічних моделей картин вказує на подібність графічних знаків структурних елементів схем аплікацій, як всередині аплікації, так і між ними (рис. 5).

Це дозволяє стверджувати, що вони є основоположними у створені композиції картин, тому на їх основі доцільно сформувати базу домінантних іконів. Крім того, всі вони відповідають вимогам іконотворення [8]:

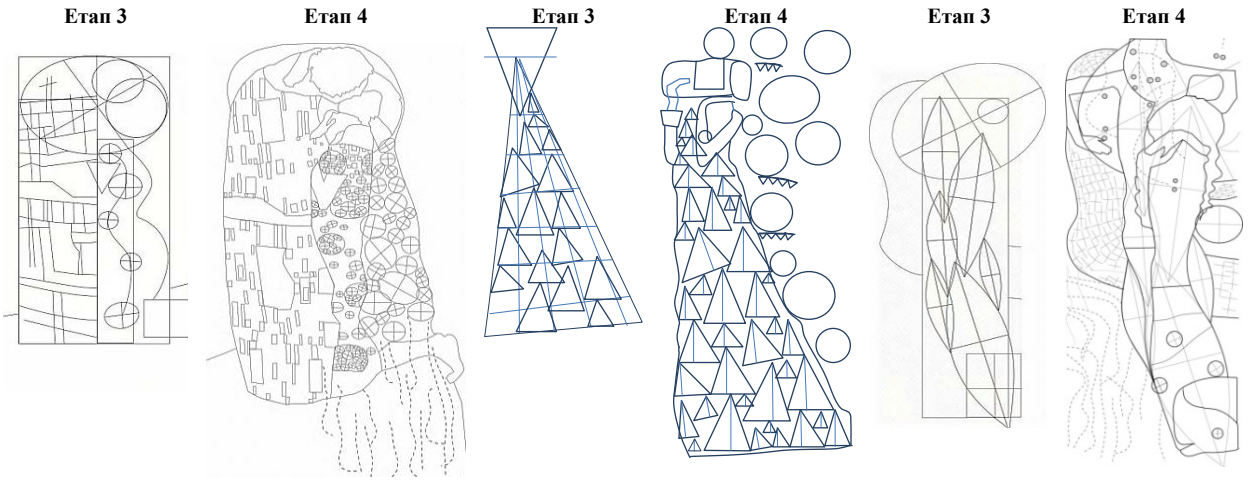
а) простоті (ікон повинен бути простим, як частина цілого);

б) цілісності (кожен з них має завершену і чітку форму);

в) виразності (розташування іконів на однотонному фоні призводить до їх чіткої виразності серед інших елементів картини);

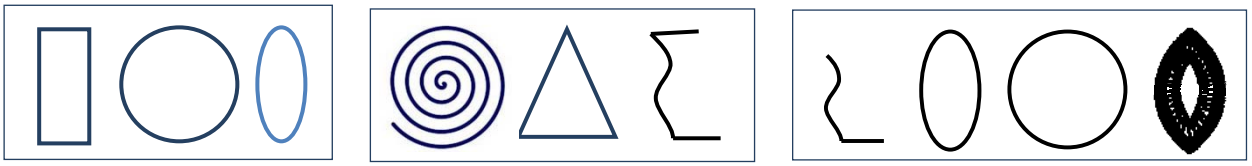
г) можливості комбінування (ікон повинен дозволяти комбінувати різні варіанти твору).

З метою створення системи домінантних іконів була досліджена форма та параметри структурних елементів картин, що вказує на їх значне різноманіття. Для встановлення їх однорідності та подібності було визначено пропорції кожного елементу на основі співвідношення їхніх поздовжніх та поперечних параметрів (рис. 6).



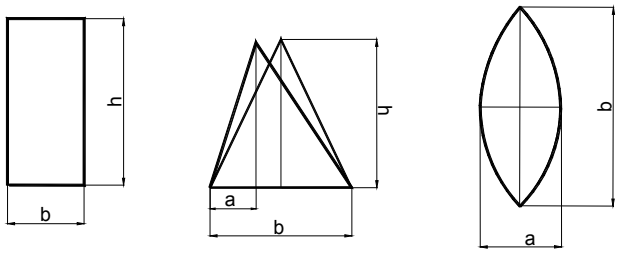
а **б** **в**

Рис. 4. Графічні моделі картин Г. Клімта: а - «Поцілунок»; б - «Очікування»; в - «Водяні змії»



а **б** **в**

Рис. 5. Графічні знаки іконів основних елементів картин Г.Клімта: а- «Поцілунок; б - «Очікування», в – Водяні змії»

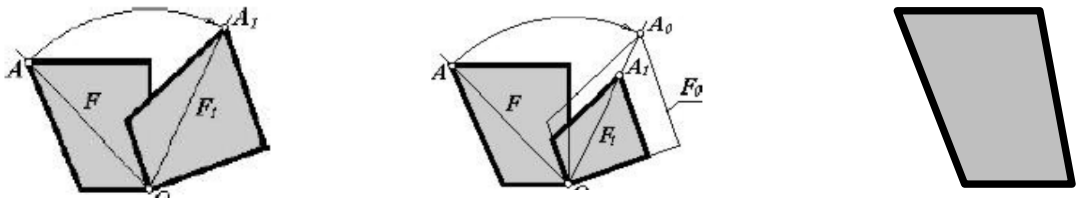


а **б** **в**

Рис. 6. Розміри, що використовуються для визначення пропорцій іконів

Для геометричних знаків трикутник та прямокутники розглядалися співвідношення висоти *h* до основи *b* (рис. 6, а, б); для трикутників додатково визначалася величина зміщення вершини *a* відносно середини трикутника; для фігур vesica piscis [9] та «еліпс» розраховувалося співвідношення меншої осі *a* до більшої *b* (рис. 6, в). Отримані величини пропорційних співвідношень дозволили сформувати групи однорідних форм іконів.

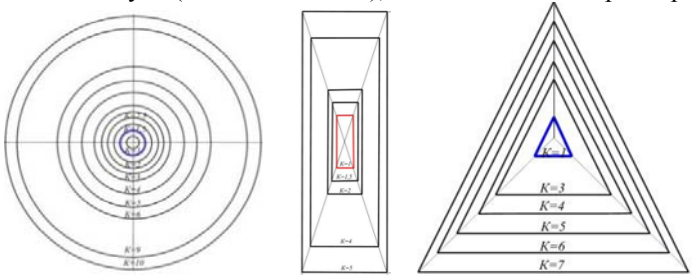
В одну групу іконів були віднесені такі фігури, що мають однакову форму, але різні розміри, а також такі, що за правилами геометричних перетворень є подібними [7, 10], оскільки утворені шляхом повороту (рис. 7, а), повороту та гомотетії (рис. 7, б) та дзеркального відображення (рис. 7, в) ікона врівноваженої форми.



а **б** **в**

Рис. 7. Приклади геометричних перетворень: а - поворот, б - поворот та гомотетія, в - дзеркальне відображення

Уніфікація іконів, була проведена в межах кожної із картин та між картинами і дозволила визначити кількість груп іконів: в прямокутниках – 10, в трикутниках – 12; в еліпсах – 6, в колах – 1. В основі групи лежить модуль (найменший ікон), співвідношення параметрів якого характеризує форму іконів всієї групи.



а **б** **в**

Рис. 8. Комбінування груп іконів:
а – кола; б – прямокутника; в – трикутника

Решта іконів, що входять в групу, мають таке ж пропорційне співвідношення, але відрізняються кратним збільшенням розмірів сторін. Кратність (К) параметрів іконів була встановлена відносно модуля групи. В групі іконів прямокутників вона змінюється в межах К = 1…9, в трикутниках – К = 1 … 20, в еліпсах – К = 1...8, в колах – К = 1…10. Приклад, окремих груп іконів представлений на рис. 8.

Принцип групування іконів однієї форми але різних розмірів створює передумови удосконалення процесу побудови лекал деталей аплікації за рахунок застосування принципу масштабування, тобто зміни розміру вихідної деталі із збереженням вихідних пропорцій. Даний метод дозволяє одночасно отримувати всі деталі, як однієї, так і декількох аплікацій, створених на базі однієї геометричної фігури з однаковими пропорціями, але різними розмірами.

Особливістю методу є те, що розміри деталі визначають відносно розмірів модуля групи, використовуючи формулу:

$$d = l \cdot M \ , \tag{1}$$

де I – розміри модуля конкретної групи іконів;

M – коефіцієнт масштабування.

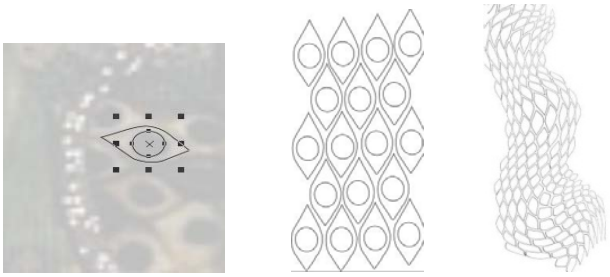
Оскільки в переважній більшості розміри аплікацій мають значно менші розміри, ніж полотна художніх картин, то для переходу від розмірів ікона до розмірів вихідної деталі необхідно враховувати коефіцієнт масштабування аплікації, який розраховується за формулою:

$$M = \frac{i}{j}, \tag{2}$$

де i – значення розміру рамки аплікації,

j – значення розміру рамки картини.

Після визначення параметрів вихідної (найменшої) деталі за допомогою графічного редактора Xara Xtreme способом масштабування будують креслення всіх інших лекала групи. Їх розміри розраховують виходячи із кратності параметрів іконів (К). Використання запропонованого способу масштабування дозволяє розробити лекала аплікацій відповідно до їх розташування в моделі.



а б в

Рис. 9. Схема послідовності побудови лекал «шкіри змії» для аплікації «Водяні змії» за допомогою програми Adobe Photoshop CS5: а – етап 1 та 2; б – етап 3; в – етап 4

Для побудови групи лекал дрібних деталей, що мають однакову вихідну форму, але в результаті зсуву, розтягу або згину дещо видозмінені за формою, доцільно використовувати спосіб трансформації за допомогою комп'ютерної програми Adobe Photoshop CS5. На аплікації «Водяні змії I» такими деталями є елементи шкіри змії.

Процес побудови та трансформації сітки включає в себе наступні етапи: 1) виділення елементу аплікації, на основі фотокопії картини (рис. 9, а); 2) апроксимація контурів фігури та врівноваження її форми; 3) побудова сітчастого орнаменту шляхом об'єднання необхідної кількості вихідних елементів (рис. 9, б); 4) трансформація сітчастого орнаменту з використанням опцій: розтяг, стиск, згин, поворот [10] (рис. 9, в).

Уніфікація процесу побудови схем аплікацій за картинами Г.Клімта, дозволила застосувати їх при розробці авторської колекції жіночих сценічних суконь під девізом «Klimt: quinta essentia aurum» (рис. 10). Поєднання консервативного стилю модерн [11], обраного для розробки моделей, із яскраво вираженою романтикою орнаментальних аплікацій, є засобом вираження оригінальності колекції. Концептуальна ідея її створення виражається в призначенні – колекція для костюмованих тематичних вечорів або сценічних постановок, що підкреслюють урочистість подій та індивідуальність образу.

а б в

Рис. 10. Колекція жіночих суконь під девізом «Klimt: quinta essentia aurum»: а – модель 2; б – модель 1; в – модель 3

Колекція складається з серії ансамблів, розроблених за сценарієм. Кожен з них наділений своїм образно-смисловим змістом, однак система ланцюгів асоціацій між окремими їх елементами забезпечує цілісність композиції та ємність образу колекції.

В межах уніфікації процесу проектування схем аплікацій було виконано уніфікацію процесу підбору кольорових тонів матеріалів, що будуть використовуватися для виготовлення аплікації.

Кольорове рішення колекції засноване на використанні кольорової гами, тотожної з джерелом творчості. Щоб досягнути ідентичності кольорів аплікаційних матеріалів з роботами Клімта, усі картини були розбиті на кольорові спектри за допомогою комп'ютерної програми PC StitchPro 9. Визначені кольори та відтінки (32 кольори та 72 відтінки) були об'єднані у групи споріднених кольорів близьких за тоновими та колористичними ознаками, що дозволило створити 18 іконів кольоротипу тканин (табл. 1). Це дозволило значно спростити процес вибору найближчої кольорової гами аплікаційного матеріалу для кожної моделі та скоротити кольорову гаму матеріалів для колекції.

Таблиця 1

Уніфікація кольоротипу матеріалів для аплікації (фрагмент)

№	Кольори в картинах			Назва кольору	Характеристика кольору	Зображення текстильного матеріалу
	«П»	«О»	«Вз»			
1				Hazelnut brown	Колір фундука – ніжний, спокійний, природний, рослинний тихий. Виражає відпочинок, спокій, неувагу.	
		-	-	Hazelnut brown - dk		
		-		Hazelnut brown – vy dk		
		-	-	Golden olive – md	Колір золотий оливковий – багатий, інтригуючий. Це загадка і невідомість.	
		-	-	Golden olive – vy dk		
		-	-	Golden olive – dk		

Примітка: «П» – картина «Поцілунок»; «О» – «Очікування»; «Вз» – «Водяні змії».
dk – (“dark”) темний тон; vydk – (“verydark ”) дуже темний тон; md – (“medium”) середній тон.

Для створення стійкої асоціації з джерелом творчості використано не лише багатобарвну систему кольорів, але й цілу групу різних за структурою та волокнистим складом матеріалів, які за своїми візуальними ознаками були близькі до фактур та властивостей матеріалів, використаних художником у картинах. В моделях колекції були використані оксамит, органза, сатин, мішковина, золоті нитки, об'ємні квіти із сатину, золотий клей з блискітками, декоративний шовковий шнур, бісер, ріволі, що відтворили природну красу сусального золота, перламутру, скла, цвяхів, казеїнової та олійної фарби, що використовувалися в картинах.

На заключній стадії проектування схем аплікацій була розроблена система умовного кодування лекал. Код є складною комплексною характеристикою деталі аплікації, яка починається із загальної системи всього твору (нижнього шару) і закінчується на рівні ікона (верхнього шару композиції). Відповідно для всіх видів лекал була прийнята спільна система кодування:

W.n.g.m.z.k, (3)

де W – номер умовної зони розташування деталі;
n – порядковий номер деталі;
g – група ікону (величина пропорційних співвідношень розмірів деталей);
m – коефіцієнт масштабування деталей;
z – колір деталей, відповідно до ікону колірного типу;
k – вид матеріалу.

Фрагмент схеми аплікації шлейфа моделі 1 (рис. 10, б), розробленої за мотивами картини «Поцілунок» із нанесенням кодів її деталей представлений на рис. 11.

Введення системи кодування лекал аплікації значно спрощує роботу з великою кількістю деталей і матеріалів на різних етапах її розробки та виготовлення. Крім того, вона є необхідною при розробці схем аплікацій за мотивами творів живопису, що значно спрощує процес пошуку місця розташування елементу на схемі під час виготовлення аплікації.

Висновки

Запропонований процес удосконалення етапів розробки схем аплікацій передбачає використання наступних принципів уніфікації: подібності геометричних фігур, трансформації та масштабування лекал, скорочення кольорової гами матеріалів на основі використання сучасних комп'ютерних технологій, що забезпечує скорочення часу не лише на розробку схем аплікацій та їхніх лекал, на підбір матеріалів але й на їх розкрій та виготовлення. Крім того, розроблені схеми можуть бути неодноразово використані для декорування виробів та деталей інших розмірів та конструкцій технікою аплікація. Для цього слід лише враховувати коефіцієнт масштабування аплікації відносно параметрів джерела творчості.

Відкритим залишається питання спрощення процесу відтворення художніх полотен не лише Г.Клімта, але й інших художників в авторських колекціях одягу за рахунок використання інших технік декорування (вишивки, художнього розпису).

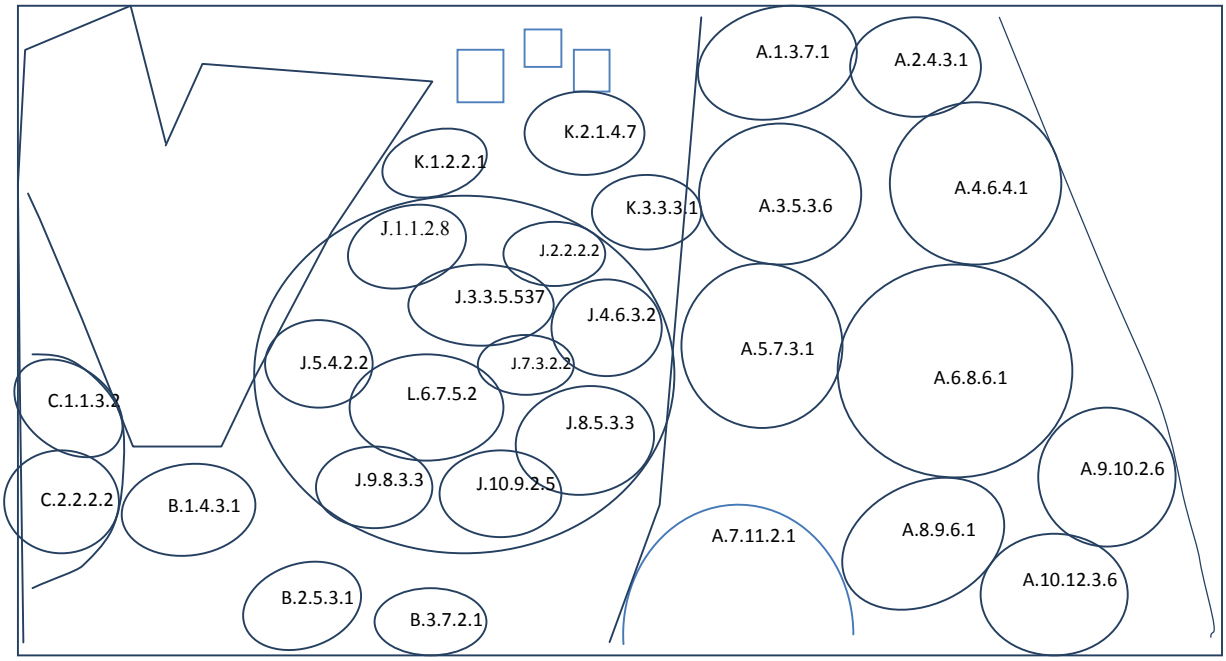


Рис. 11. Схема аплікації шлейфа сукні за мотивами картини «Поцілунок» (фрагмент)

Література

1. Сафина Л.А. Дизайн костюма / Л.А. Сафина, Л.М. Тухбатуллина, В.В. Хамматова. – Ростов-на-Д. : «Феникс», 2006. – 390 с. : ил.

2. Львова Е. П. Мировая художественная культура. Изобразительное искусство и музика / Е. П. Львова. – СПБ : Питер, 2007. – 464 с.

3. Hand made [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.handmade-expo.com.ua/

4. Славінська А.Л. Методи типового проектування одягу : навчальний посібник / А.Л. Славінська. – Хмельницький : ХНУ, 2008. – 159 с.

5. Поплавный А. Н. Движение и ритм в композиции картины / А. Н. Поплавный // Художественная школа. – 2012. – № 6 (51). – С. 6–9.

6. Арнхейм Р. Искусство и визуальное восприятие / Р.Арнхейм. – М. : Прогресс, 1974. – 394 с.

7. Пеклич В.А. Начертательная геометрия / В.А. Пеклич. – М. : Издательство Ассоц. строит. Вузов, 2006. – 321 с.

8. Козлова Т.В. Основы теории проектирования костюма : учеб. пособ. для вузов / Т.В. Козлова. – М. : Легпромбытиздат, 1988. – 352 с. : ил.

9. Nicholas R. Mann. The Sacred Geometry of Washington. D.C. Barnes & Noble, 2006. p. 92.

10. Комиссарук А.М. Основы аффинной геометрии на плоскости / А.М. Комиссарук. – Минск. : Вышэйшая школа, 1967. – 231 с.

11. Тарабукин Н. М. Очерки по истории костюма / Н.М. Тарабукин. – М. : Вереск, 1988. – 152 с.

References

1. Safina L.A. Tarabukina L.M., Hammatova V.V. Dizajn kostuma. Rostov na Donu, “Feniks”, 2006, 390 p.
2. L’vova E.P. Mirovaia hudozhestvennaia kul’tura. Izobrazitel`noe iskusstvo i muzika. SPB, Piter, 2007, 464 p.
3. Hand made. URL: http://www.handmade-expo.com.ua/
4. Slavins`ka A.L. Metody typovogo proektuvannia odiagu: Navchal`nyi posibnyk. Khmelnitsky, KHNU, 2008, 159 p.
5. Poplavniy A.N. Dvizhenie i ritm v kompozitsii kartiny` *Hudozhestvennaia shkola*, 2012, No. 6 (51), pp.6-9.
6. Arnheim R. Iskusstvo i visual`noe vospriatie. Moskow, Progress, 1974, 394 p.
7. Peklich V.A. Nachertatel`naia geometria. Moskow, Izdatel`stvo Assots. stroit. vuzov, 2006, 321 p.
8. Kozlova T.V. Osnovy` teorii proektirovania kostuma: Uchebnoe posobie dlia vuzov. Moskow, Legproby`tizdat. 1988, 352 p.
9. Nicholas R. Mann. “The Sacred Geometry of Washington. D.C.”. NY, Barnes & Noble, 2006, 92 p.
10. Komissaruk A.M. Osnovy’ affinnoy geometrii. Minsk, Vy`shejshaia shkola, 1976, 231 p.
11. Tarabukin N.M. Ocherki po istorii kostuma. Moskow, Veresk, 1988, 152 p.

Рецензія/Peer review : 1.3.2015 р. Надрукована/Printed :7.4.2015 р.
Рецензент: д.т.н., проф., Славінська А.Л.

УДК 687.01:687.172

Л.Д. ТРЕТЯКОВА
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»
Н.В. ОСТАПЕНКО, М.В. КОЛОСНІЧЕНКО, Т.В. ЛУЦКЕР
Київський національний університет технологій та дизайну

ЗОНАЛЬНО-МОДУЛЬНА МОДЕЛЬ ДЛЯ РОЗРОБКИ КОМПЛЕКТІВ ЗАХИСНОГО ОДЯГУ

У статті запропоновано підхід до розробки комплектів захисного одягу з прогнозованими характеристиками шляхом застосування зонально-модульної моделі для реалізації оптимізаційних методів розрахунку параметрів конструкції з неоднорідною багатоелементною структурою. На основі аналітичних досліджень умов експлуатації одягу для працівників АЕС обґрунтовано зони моделі, визначено чисельні характеристики імовірних значень площ окремих зон, що дає змогу в подальшому встановити функціональні зв'язки між модулями та окремими елементами конструкції.

Ключові слова: зонально-модульна модель, засоби індивідуального захисту, захисний одяг, розмірні ознаки.

L. TRETIAKOVA
National Technical University of Ukraine «Kiev Polytechnic Institute»
N. OSTAPENKO, M. KOLOSNICHENKO, T. LUTSKER
Kyiv National University of Technologies and Design

ZONALLY MODULE MODEL FOR DEVELOPMENT OF COMPLETE SETS OF PROTECTIVE CLOTHING

In the article offered approach to development of complete sets of protective clothing with the expected descriptions by application zonal module models for realization of optimization methods of calculation of parameters of construction with a heterogeneous rich elemental structure. On the basis of analytical researches of external of clothes environments for the workers of nuclear power plants grounded, certainly numeral descriptions of credible values of areas of separate areas, that gives model areas possibility in future to set functional connections between the modules and separate elements of construction

Keywords: zonal-module model, facilities of individual defence, protective clothing, size signs.

У процесі виробничої діяльності на працівників АЕС діє певна сукупність небезпечних і шкідливих виробничих чинників, які зумовлюють виникнення професійних травм і захворювань. Оцінка умов праці, яку здійснюють не менше ніж раз у три роки, згідно з положенням про атестацію робочих місць [1], дає можливість визначити відповідний перелік засобів індивідуального захисту, які потрібно використовувати на певному робочому місці [2].

Відомо, що поява нових матеріалів і технологій виготовлення засобів захисту обумовлює їх суттєві зміни. Згідно висунутих вимог до захисного одягу і потреби створення виробів, які відповідають певним умовам їх використання, відбуваються подальші якісні зміни їх конструктивних рішень. Однак, захисний одяг є складним багатоелементним об’єктом проектування і тому його розробка заснована на інформації про базові і типові конструкції.

Постановка завдання.

Мінімізацію впливу небезпечних і шкідливих виробничих чинників можна досягти завдяки використанню комплектів засобів індивідуального захисту, основною складовою яких є захисний одяг. Такі комплекти можна розглядати як неоднорідну багатоелементну структуру, кожний елемент якої має індивідуальне функціональне, захисне, ергономічне призначення та характеризується певними рівнями фізико-механічних, гігієнічних, електричних характеристик тощо та вартістю. Особливе значення у виготовленні захисного одягу становлять способи обробки, які вибирають залежно від призначення, конструкції, структури матеріалів тощо. Так, для роботи в умовах забруднення повітря пилом, аерозолями, парами або випаровуваннями, з розчинами хімічно-, біологічно- та радіоактивних речовин найважливішою вимогою є забезпечення непроникності шкідливих речовин у підодяговий простір, яку можна задовольнити шляхом використання захисного одягу із відповідними способами з’єднання і його резервування – застосування нарукавників, напульсників, функціональних вставок, герметизації швів тощо.

Виділення невирішених частин

Під час створення моделей і конструкцій захисного одягу з прогнозованими параметрами необхідно проаналізувати значну їх кількість варіантів. При цьому більшість вирішених завдань можна привести до вибору найкращого варіанту захисного одягу за умов поєднання різних показників. Усі розглянуті варіанти повинні відповідати основним критеріям – якості продукції, відповідності умовам праці та вимогам безпеки. У реальних умовах поставлену мету необхідно реалізувати в умовах обмежених матеріальних, трудових ресурсів тощо. За таких обставин математичним апаратом досліджень поставленої проблеми вибрано методи оптимізації, які дають змогу отримати обґрунтовані та однозначні рішення. Досвід використання математичних методів оптимізації у проектно-конструкторській розробці захисних виробів високої складності [4], для яких існує достатньо великий набір заходів і засобів удосконалення виробу, свідчить про певні складності у наданні вихідної інформації.

Формулювання цілей

У зв'язку із цим виникає потреба в узгодженні формальних математичних моделей з особливостями проектування захисного одягу, засобів індивідуального захисту рук, ніг, голови, органів дихання для проведення оптимізаційних розрахунків показників якості комплектів і параметрів захисних виробів. Тому завдання обґрунтованого формування вихідних даних ї їх розрахунку при проектуванні захисного одягу потребує першочергового вирішення.

Виклад основного матеріалу

Прийнята нині система індивідуального захисту працівників АЕС малоефективна з низки причин. Як відомо [1], на робочих місцях на працівників одночасно діє комплекс небезпечних і шкідливих виробничих чинників різної інтенсивності та з різною топографією впливу на окремі ділянки тіла. Діючі нормативні документи формулюють вимоги до захисту від одного чинника, розглядають і нормують його значення без узгодження з іншими. Відсутня комплексна оцінка показників ефективності і надійності захисних виробів.

І хоча завдання розробки конструкції захисного одягу постійно є актуальною, однак багато проблем залишаються невирішеними. Так, класичні методи проектування [1] не враховують особливостей конструкції захисного одягу, де домінантними є показники захисту і надійності, тому що розрив, розтріскування, прокол, втрата формостійкості виробів може призвести до потрапляння шкідливих речовин на шкіру працівника і викликати травми або професійні захворювання. Необхідно врахувати щоденний тривалий термін використання, передбачити можливість очищення та утилізації без забруднення довкілля, запобігти виникненню додаткових ризиків у вигляді поверхневих електростатичних полів, порушень теплового стану працівника. Під час проектування захисного одягу розробнику потрібно дотримуватися вимог багатьох нормативних документів, які висувають детерміновані вимоги до багатьох параметрів (маса, площа, товщина, вартість тощо).

Виходячи з основних теоретичних положень роботи, будь-яке конструктивно-технологічне рішення можна представити у вигляді математичних моделей, які відповідають схемам функціональної цілісності захисного виробу і відтворюють процеси його функціонування та обслуговування. Такі схеми дають змогу реалізувати оптимізаційні методи розрахунку параметрів конструкції [1, 2].

У статті запропоновано зонально-модульну модель, яка утворює у своїй сукупності структуру комплекту захисного одягу, і дає змогу в подальшому встановити функціональні зв'язків між модулями та окремими елементами конструкції. Кожен елемент або модуль має відповідне призначення за захисними функціями і характеризується певними технічними та вартісними показниками [1, 2].

Дози радіоактивності, що накопичуються в організмі, нерівномірно розподіляються та неоднаково впливають на органи, тому у проектуванні захисного одягу визначено ділянки, які потребують підвищеного захисту. З метою формування вихідних даних захисного одягу з прогнозованими параметрами запропоновано зонально-модульну модель тіла людини для проведення оптимізаційних розрахунків показників якості комплектів (рис.). Кожен модуль має відповідне призначення за захисними функціями і характеризується певними технічними та вартісними характеристиками. У ході проектно-конструкторської розробки захисного одягу і подальших оптимізаційних розрахунках потрібно знати площі окремих зон, які обумовлюють норми витрат матеріалів, масу, коефіцієнт захисту, показники надійності тощо.

Зріст, обхвати грудей і талії чоловіків є ведучими розмірними ознаками і основними параметрами у визначенні решти характеристик. Величини розмірних ознак віднесемо до імовірно-визначеної вихідної інформації, для якої передбачається знання значень і законів розподілення випадкових величин. Для визначення математичного очікування відповідної розмірної ознаки Z_i *(i* = 1, 2*...)* використано інформацію, наведену у [4, 5]. Математичне очікування кожної з ознак позначаємо як $M(\underline{Z}_i) = \underline{A}$, де $\underline{A}_i$ – оцінка математичного очікування шуканої розмірної ознаки.

Величина $\underline{A}$ перебуватиме в межах довірчого інтервалу визначається за формулою:

$$\underline{Z}_i - \varepsilon_\beta \le \underline{A} \le Z_i + \varepsilon_\beta, \quad (1)$$

де $\varepsilon_к$ – верхня межа похибки результатів розрахунку, яка визначається за відомого значення середньоквадратичного відхилення σ_{Zi} і заданої точності K_p, яку приймаємо з імовірністю 0,9

$$\varepsilon_\beta = \sqrt{\frac{D_i}{n} \cdot \alpha}, \quad (2)$$

де D_i – дисперсія *i*-ї розмірної ознаки;

n – кількість значень;

α – коефіцієнт, який для заданої точності дорівнює 1,643.

Математичне очікування площі зон $M(S_{ij})$ та їхні довірчі інтервали $\varepsilon(S_{ij})$ визначаємо за формулами:

$$M(S_j) = M(Z_i) \cdot M(Z_i), \quad (3)$$

$$\varepsilon(S_{ij}) = M(Z_i) \cdot \varepsilon(Z_j) + M(Z_j) \cdot \varepsilon(Z_i) + \varepsilon(Z_j) \cdot \varepsilon(Z_i), \quad (4)$$

де $\varepsilon(Z_i)$, $\varepsilon(Z_j)$ – довірчий інтервал відповідно *i*-ї та *j*-ї розмірної ознаки.

З урахуванням особливостей проектування захисного одягу і відповідних комплектів запропоновано формули для визначення площ окремих зон. За основу взято розмірні антропометричні ознаки типових фігур чоловіків для проектування одягу відповідно до нормативних документів [3].

У першу зону з кодованим позначенням 31 виокремлено голову, захист якої можна забезпечити

виробами захисту голови, засобами захисту обличчя, очей та органів дихання. Відповідно площу першої зони визначено за формулою:

$$S_1 = O_{гол} \cdot \frac{3 \cdot B_{гол}}{4}, \qquad (5)$$

де $O_{гол}$ – обхват голови, см;
$B_{гол}$ – висота голови, см.

До другої зони належить шия із таким життєво важливим органом як щитовидна залоза. Площа другої зони із кодованим позначенням З2 визначається виразом:

$$S_2 = \frac{O_ш \cdot B_{гол}}{4}, \qquad (6)$$

де $O_ш$ – обхват шиї, см.

Передню частину тулуба людини поділено на дві зони: груди, верхня частина живота (кодоване позначення зони З3) і нижня частина живота, яка охоплює статеві органи (кодоване позначення зони З4). Для визначення площі третьої зони використовують формулу:

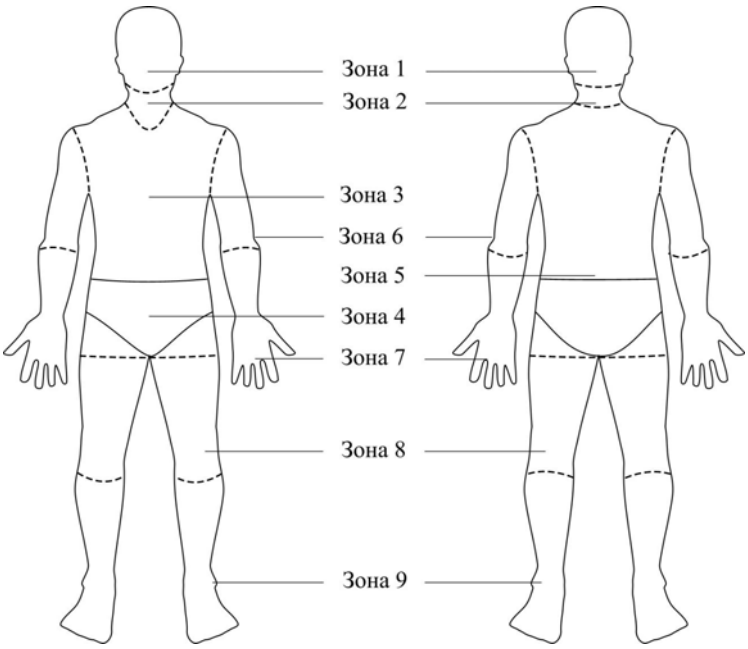


Рис. 1. Зовнішній вигляд тіла людини із позначенням зон: а – вид спереду, б – вид ззаду

$$S_3 = Д_{тпІ} \cdot \left(Ш_г + \frac{O_{гІ} - Ш_с - Ш_г}{2} \right), \qquad (7)$$

де $Д_{тпІ}$ – відстань від точки основи шиї до лінії талії спереду, см;
$Ш_г$ – ширина грудей, см;
$Ш_с$ – ширина спини, см;
$O_{гІ}$ – обхват грудей перший, см.

Площа четвертої зони визначається за формулою:

$$S_4 = \frac{O_б}{2} \cdot (Д_{сп} - Д_н), \qquad (8)$$

де $Д_{сп}$ – відстань від лінії талії до підлоги спереду, см;
$Д_н$ – довжина ноги внутрішньої поверхні, см;
$O_б$ – обхват стегон з урахуванням виступу живота, см.

Задня частина тулуба становить зону з кодованим позначенням З5. Формулу для визначення площі п'ятої зони подано у вигляді:

$$S_5 = Д_{тсІ} \cdot \left(Ш_с + \frac{O_{гІ} - Ш_с - Ш_г}{2} \right) + \left(\frac{O_б}{2} \cdot (Д_{сп} - Д_н) \right), \qquad (9)$$

де $Д_{тсІ}$ – відстань від лінії талії ззаду до точки основи шиї збоку, см.

На дві зони (кодовані позначення З6, З7) поділено руки: лікоть і верхня частина руки належить до шостої зони, сьома зона охоплює нижню частину руки. Площа шостої зони визначається за формулою:

$$S_6 = 2 \cdot Д_{р.лок} \cdot O_п, \qquad (10)$$

де $Д_{р.лок}$ – довжина руки до ліктя, см;
$O_п$ – обхват плеча, см.

Формула для визначення площі сьомої зони має вид:

$$S_7 = 2 \cdot O_п \cdot (Д_{р.зап} - Д_{р.лок}), \qquad (11)$$

де $Д_{р.зап}$ – довжина руки до зап'ястка, см;

До нижніх кінцівок належать дві зони із кодованими позначеннями З8 та З9). Так, верхню частину ноги і коліно віднесено до восьмої зони, нижню частина ноги і ступні – до дев'ятої. Формула для визначення площі восьмої зони набуває такого вигляду:

$$S_8 = 2 \cdot O_{бед} \cdot (B_{пс} - B_к), \qquad (12)$$

де $O_{бед}$ – обхват стегна, см;
$B_{пс}$ – висота підсідничної складки, см;
$B_к$ – висота колінної складки, см

Поділ верхніх та нижніх кінцівок на чотири зони дає змогу запровадити додаткові елементи для захисту ліктьових, колінних, плечових суглобів, а також поєднати модулі захисного одягу із засобами захисту рук (рукавиці, нарукавники, рукавички) та ніг (гамаші, бахили тощо). Площа дев'ятої зони визначається виразом:

$$S_9 = 2 \cdot B_к \cdot O_{кс}, \quad (13)$$

де $O_{кс}$ – обхват коліна в зігнутому положенні ноги, см.

Захисним одягом передбачено відповідні припуски на вільне облягання, а площі окремих зон визначено за розмірними ознаками типових фігур чоловіків другої і третьої повнотних груп.

У результаті розрахунку визначено чисельні характеристики (математичне очікування, дисперсія, довірчі інтервали) дев'ятнадцяти розмірних ознак, які відповідно до наведених формул, дали змогу розрахувати площі зон зонально-модульної моделі (табл.).

Таблиця 1

Чисельні характеристики площ зон зонально-модульної моделі

Назва зони (кодоване позначення зони)	Назва частини/ділянки тіла (назва органів тіла) людини відповідної зони	Математичне очікування площі зони $M(S_{ij})$, см^2	Довірчий інтервал $\varepsilon(S_{ij})$, см^2
Зона 1 (31)	Голова (мозок, органи дихання і зору)	1052,4	45,1
Зона 2 (32)	Шия, частина тулуба спереду (щитовидна залоза)	259,3	12,3
Зона 3 (33)	Груди, живіт (плечовий суглоб, стравохід, шлунок, печінка, легені)	2397,1	90,9
Зона 4 (34)	Нижня частина живота, пахова складка (статеві органи, сечовий міхур, товстий кишечник)	1454,9	61,3
Зона 5 (35)	Плечовий пояс, спина, сідниці (легені, червоний кістковий мозок)	4201,1	155,2
Зона 6 (36)	Плече руки, лікоть (плечовий суглоб, ліктьовий суглоб)	2290,8	164,6
Зона 7 (37)	Передпліччя руки	1744,3	107,6
Зона 8 (38)	Стегно ноги, коліно (колінний суглоб)	3605,8	249,5
Зона 9 (39)	Гомілка, стопа	4029,3	226,2

Чисельні характеристики загальної поверхневої площі захисного одягу такі: математичне очікування – $M[S_n]$ = 2,1035 м^2; коефіцієнт варіації $K_в[S_n]$ = 0,052; з урахуванням антропометричних особливостей працівників змінюється в межах від 1,9922 до 2,2148 м^2. Перевірка за критерієм Пірсона показала, що гіпотеза про підпорядкування випадкових величин S_n рівномірному закону розподілу не суперечить результатам досліджень.

Знання чисельних значень окремих зон захисних комплектів дає змогу формалізувати визначення зміни вартості, маси, показники захисту та надійності у ході проектно-конструкторської розробки з використанням математичних методів оптимізації у комп'ютерних розрахунках. Наприклад, під час впровадження одношарової вставки у зонах 2 – 5 математичне очікування маси $M(\Delta m)$ і вартість $M(\Delta C)$ виробу змінюється відповідно:

$$M(\Delta \mathrm{m}) = M(S_2 \cdot \rho_2 + S_3 \cdot \rho_3 + S_4 \cdot \rho_4 + S_5 \cdot \rho_5), \quad (14)$$

$$M(\Delta \mathrm{C}) = M(S_2 \cdot c_{02} + S_3 \cdot c_{03} + S_4 \cdot c_{04} + S_5 \cdot c_{05}), \quad (15)$$

де ρ – поверхнева густина матеріалу вставки; c_o – вартість 1 м^2 матеріалу вставки. Довірчі інтервали вказаних величин можна розрахувати за формулами (2) і (3).

Висновки. Запропоновано формули для визначення площ окремих зон на основі відомих розмірних ознак типових фігур та визначено їх чисельні характеристики. Завдяки розробці зонально-модульної моделі запропоновано підхід до створення комплектів захисного одягу з прогнозованими характеристиками для реалізації формальних математичних моделей і проведення в подальшому оптимізаційних розрахунків показників якості комплектів.

Література

1. Литвиненко Г.Є. Засоби індивідуального захисту: виготовлення та застосування : навч. посіб. [для студ. вищ. навч. закл.] / Г.Є. Литвиненко, Л.Д. Третякова. – К. : Лібра, 2008. – 317 с.

2. Третякова Л. Д. Оптимізація заходів підвищення ефективності радіаційнозахисного одягу / Л. Д. Третякова // Проблеми охорони праці в Україні : зб. наук. праць. – 2012. – Вип. 22. – С. 116–123.

3. Изделия швейные, трикотажные, меховые. Фигуры типовые мужчин. Размерные признаки для проектирования одежды : ОСТ 17-325-86. – Взамен ОСТ 17-325-81 ; введ. 01.07.87. – М. : ЦНИИТЭИлегпром, 1987. – 75 с.

References

1. Litvinenko G.E. Facilities of individual defence: making and application: train aid [for stud. univer.] / G.E. Litvinenko, L.D. Tretyakova. – K.: Libra, 2008, 317 p.

2. Tretyakova L. D. Optimizaciya measures of increase of efficiency of radiaciynozakhisnogo clothes, Problems of labour protection in Ukraine, 2012., Vol. 22, pp. 116–123.

3. Industry standard 17-325-86 Wares sewings, knittings, fur. Figures are a model men. Size signs for planning of clothes, 01.07.87. is entered , 1987, 75 p.

Рецензія/Peer review : 18.3.2015 р. Надрукована/Printed :7.4.2015 р.
Рецензент: д.т.н. М.В. Колосніченко

УДК 7.05:687.01

Н.В. ЧУПРІНА
Київський національний університет технологій та дизайну

СЕГМЕНТАЦІЯ СУБ'ЄКТІВ ІНДУСТРІЇ МОДИ ЯК УЧАСНИКІВ МОДНОГО ПРОЦЕСУ

В статті сформульовано, охарактеризовано та класифіковано складові компоненти модного бізнесу. Визначено структурно-логічні зв'язки між суб'єктами індустрії моди, які впливають на формування модних стандартів у сучасному суспільстві споживання. Здійснено характеристику форматів торгових точок ринку модного одягу в структурі індустрії моди, сегментацію споживацького ринку модного одягу здійснюють за суттєвими критеріями. Розроблено модель взаємодії суб'єктів індустрії моди.

Ключові слова: суб'єкт індустрії моди, модний продукт, модний стандарт, ринок масового одягу, продукт моди, торгові точки.

N. CHOUPRINA
Kyiv National University of Technologies and Design

SEGMENTATION OF THE FASHION INDUSTRY SUBJECTS OF AS PARTICIPANTS OF FASHION PROCESS

In the article it is formulated, described and classified the constructive components of fashion-business. Certainly structurally-logical connections between subjects of fashion industry, which influence on forming of fashion standards in modern society of consumption, are determined. Description of formats of trade outlets of fashion clothes' market is carried out in the structure of fashion industry; the fashion mass market segmentation of clothes has done after substantial criteria. The model of co-operation of subjects of fashion industry is developed.

Keywords: fashion industry subject, fashion product, fashion standard, fashion mass market, fashion product, trade outlet.

За словами відомих експертів моди Н. Уайта та Й. Гріффітса, в останні роки «…змінилась культура моди – змінився її образ, змінилась її індустрія. Але сама мода жива і прекрасно почувається, залишаючись незмінно новою, такою, що безперервно змінюється» [1, с. 37]. Тож, структура подібних змін заслуговує на ретельне дослідження. Оскільки безпосередньо впливає на формування сучасного ринку модного одягу.

Постановка завдання

Як стверджують деякі аналітики та оглядачі модних процесів у сучасному суспільстві тотального споживання, моди, як такої, більше не існує. Зокрема, так у своїй книзі «The end of fashion» стверджує журналіст Т.Ейджінс, який спеціалізується на висвітленні питань моди та модного бізнесу. [2] З іншого боку, очевидним є факт, що мода безперервно трансформується, розділяючись на два, чи не протилежних табори: haute couture mass market Проте, ці два табори об'єднує одна спільна незмінна риса – вони належать до індустрії моди, яка, як стверджує статистика, займає одне з чільних місць у сфері світової економіки. [3] На жаль, на даному етапі не повністю дослідженими виявляються механізми функціонування індустрії модного одягу, не повною мірою визначеними є властивості та параметри її суб'єктів та причинно-наслідкові зв'язки між процесами створення, виробництва, розповсюдження та споживання продуктів індустрії моди.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Як стверджується в багатьох дослідженнях у сфері маркетингу, «…функціонування індустрії модного одягу – це складний багатофакторний процес розробки, виробництва, розподілу та споживання модного продукту, метою якого є задоволення попиту споживачів в модному одязі, в умовах жорсткої ринкової конкуренції та постійних модних інновацій» [3, с.4].

За словами проф. соціології Технологічного інституту моди Нью-Йоркського державного університету Ю. Кавамура, «…створення одягу в жодному разі не означає, що він автоматично стає модним, а модельєр, який його створив, приймається суспільством. Мода створюється не окремим індивідуумом, а командою спеціалістів, зайнятих в модному виробництві, а тому мода – результат колективної діяльності». [4] В своїй монографії «Теорія та практика створення моди» автор здійснює «ретельний аналіз практики модельєрів як творців матеріального втілення моди, журналістів, редакторів та рекламодавців, які роблять свій внесок виробництво, підтримку та розповсюдження моди; досліджує роль споживачів у сприйнятті суспільством тієї чи іншої моди…» [4, с. 4].

З іншого боку, в авторському дослідженні «Анализ роли масс-медиа в деятельности индустрии моды» визначено «…роль ЗМІ в розповсюдженні модних тенденцій в суспільстві а також проаналізовано роль, яку відіграють мас-медіа у створенні суспільного смаку та споживацького попиту; обґрунтовано принципи взаємодії індустрії ЗМІ та індустрії модного одягу, а також описано алгоритм виробництва одягу як продукту моди, з огляду на участь в цьому процесі ЗМІ, які висвітлюють питання моди» [5, с. 103].

Виділення невирішених частин

З огляду на це, доцільним вважається визначення, характеристика та класифікація складових компонентів модного бізнесу, формування системи їх взаємовпливу при вирішенні одного з найбільш вагомих процесів моди –створення модних стандартів та розробки модних продуктів у суспільстві споживання, а також формування суспільного споживацького попиту на модні продукти, з метою

максимальної комерційної вигоди для всіх суб'єктів модного бізнесу, задіяних у продукуванні цих модних стандартів та продуктів. Здійснення подібної класифікації вважається доцільним, за умови структуризації причинно-наслідкових принципів взаємодії визначених сегментів індустрії моди та їх ролі у розповсюдженні одних стандартів та тенденцій.

Формулювання цілей

У відповідності до цього, метою даного дослідження можна визначити здійснення класифікації суб'єктів індустрії моди, задіяних у продукуванні модних продуктів різних класів та рівнів, а також визначення структурно-логічних зв'язків між суб'єктами індустрії моди, які впливають на формування модних стандартів у сучасному суспільстві споживання, з огляду на дотримання довгострокових та короткострокових модних тенденцій.

Виклад основного матеріалу

Як комплексна багатофакторна система зі створення, розподілу та споживання модних продуктів, метою якої є (на думку багатьох дослідників) повне задоволення споживацького попиту, індустрія моди наділена складною багатокомпонентною структурою, яка включає і виробництво сировини та матеріалів для створення модного продукту, і сферу продажу і маркетингових комунікацій для розподілу цього продукту, і сферу його споживання.

Постачальники сировини і матеріалів відіграють значну роль в створенні модного продукту, оскільки саме тканина і матеріали лежать в основі матеріалізації форми будь-якого модного продукту. До компаній цього ж сегменту виробництва відносять підприємства хімічної і переробної промисловості, які постійно удосконалять фізичні та хімічні властивості матеріалів, сприяючи тим самим розвитку модного одягу як продукту індустрії моди. З іншого боку, просуваючи свою продукцію в сферу діяльності виробників модного одягу, постачальники сировини і матеріалів самі створюють формат пропозиції на цьому ринку (відповідно до останніх тенденцій в розвитку даного сегменту індустрії моди).

Виробники тканин із запропонованої сировини формують тканинні, трикотажні та інші види полотен для виготовлення одягу, додаючи їм актуальних фактурних, пластичних та декоративних властивостей. Цей сегмент індустрії моди є значним елементом загальної структури, оскільки саме при виготовленні тканин та інших матеріалів формуються короткострокові тенденцій моди, які потім реалізують дизайнери і виробники модного одягу. Така участь у формуванні модних тенденцій дозволяє найбільш значним та активним підприємствам впливати на коригування модних тенденцій, у відповідності із власними технологічними можливостями, науково-технічними розробками та комерційним інтересом.

У середовищі ***виробників одягу***, мабуть, найбільш сильна конкуренція, оскільки в цьому сегменті індустрії моди функціонує незліченна безліч учасників різного рівня і масштабу, від значних підприємств та корпорацій, що мають власні розгалужені дизайнерські бренди, чи фабричних та мережевих брендів з модною виробничою базою, до дрібних дизайнерських фірм чи ательє, що працюють у вузькому діапазоні для незначної цільової споживацької аудиторії.

Враховуючи те, що виробництво модного одягу є трудомістким витратним процесом, все сильніше відчуваються тенденцій глобалізації цього сегменту індустрії моди – розробка, промислове виробництво та реалізація все частіше здійснюються в різних регіонах fashion-ринку.

Як відомо, виробники модного одягу в даному сегменті індустрії моди розділяються на дві категорії - прямі виробники і контрактори. Прямі виробники (manufacturers – виробники) це, як правило, крупні компанії, утримувачі власних дизайнерських брендів, які здійснюють весь процес виробництва і розподілу модного продукту, і, відповідно, можуть вносити в нього актуальні поправки для досягнення більшого успіху, у тому числі і комерційного. Проте, керувати всім процесом виробництва модного продукту, від розробки модних тенденцій і створення колекцій модного одягу до випуску цих моделей промисловим способом, хоч і обмеженим тиражем, особливо в сучасних умовах жорсткої конкуренції, вкрай складно. Таку діяльність можуть дозволити собі небагато учасників цього сегменту індустрії моди, наприклад, компанія Levi Strauss & Co.).

Більшість же дизайнерських фірм, які займаються виготовленням модного одягу масового попиту як продукту індустрії моди, концентрують свої сили і увагу на розробці моделей і створенні колекцій модного одягу, включаючи формування асортиментних рядів для промислового виготовлення. Сам же процес промислового тиражування модного одягу такі фірми-розробники делегують промисловим фабрикам-виконавцям, розташованим, як правило, в регіонах з дешевою робочою силою і низьким рівнем соціального розвитку. Такі фабрики-виконавці в індустрії моди зараховують до категорії контракторів (contractor – підрядчик).

Дизайнери тканин і модельєри вважаються творчою елітою індустрії моди, оскільки безпосередньо беруть участь у формуванні модних тенденцій і розробці модного продукту. Вони можуть виступати як самостійні суб'єкти індустрії моди, співпрацювати з фабриками-виробниками модного одягу масового попиту, або можуть очолювати творчі бюро крупних дизайнерських брендів і корпорацій. Проте, не дивлячись на особливості того цільового сегменту fashion-ринку, в якому працює дизайнер або модельєр, йому необхідно повною мірою розбиратися в принципах формування модних тенденцій, специфіці споживацьких вимог своєї цільової аудиторії, а також в тенденціях маркетингових комунікацій на сучасному етапі розвитку індустрії моди. Тільки в цьому випадку, він зможе досягти творчого визнання і комерційного успіху.

З іншого боку, досягши творчого визнання, модельєри і дизайнери мають унікальну можливість закріплювати свій комерційний успіх за рахунок продажу ліцензій на використання свого імені або логотипу свого дизайнерського бренду на виробах, що не мають прямого відношення до індустрії моди.

Ринки модного одягу. Виробники модного одягу, як правило, презентують готовий модний продукт представникам торгової мережі, оскільки саме вони є оптовими каналами розповсюдження модного одягу на різних за своїм споживацьким обсягом та складом ринках збуту. Найчастіше подібні презентації здійснюються в рамках проведення спеціалізованих виставок і ярмарків індустрії моди, в демонстраційних залах і шоу-румах загальновизнаних центрів ділової активності в індустрії моди (Париж, Мілан, Нью-Йорк, Лондон, Токіо, Москва тощо). Подібні заходи покликані охопити закупівельні центри крупних торгових фірм і мережевих компаній. Зі свого боку, представники цих компаній торгового сегменту індустрії моди також відвідують презентації колекцій модного одягу, які проводяться на подіумах, у виставкових залах, на спеціалізованих виставках дизайнерськими брендами і виробниками модного одягу масового попиту.

Представники торгового сегменту індустрії моди меншого масштабу, які пов'язані з просуванням на масовий ринок окремих торгових марок, вважають за краще працювати з виробниками модного продукту безпосередньо, вже на стадії її виготовлення.

Роздрібні торговці. Ця важлива категорія учасників торгового сегменту індустрії моди, в першу чергу, впливає на зміцнення взаємозв'язків і взаємовпливу на відношення до моди виробників і споживачів модного продукту. Саме ця категорія суб'єктів індустрії моди сприяє підвищенню інтересу споживачів до поточних модних тенденцій, а також стимулює процес так званого зворотного зв'язку, за допомогою якого вимоги та побажання споживачів виражають їх сприйняття представленого продукту моди.

Спеціалізовані мас-медіа і сервісні компанії. Ці категорії учасників індустрії моди прийнято відносити до допоміжного сегменту, оскільки вони не беруть участі у фізичному виробництві модного одягу як продукту індустрії моди. Проте, з іншого боку, саме засоби масової інформації наділяють одяг, вироблений ручним або промисловим способом, статусом «модний продукт». Суб'єкти індустрії моди саме цього сегменту – сервісні компанії – беруть участь у формуванні тенденцій моди, в руслі яких в результаті виробляється модний одяг як продукт моди. Проте, реалії сучасної індустрії моди такі, що спеціалізовані професійні мас-медіа створюють і представляють виробничим сегментам індустрії аналітичну та пропагандистську інформацію, на підставі якої вони мають можливість ухвалювати адекватні і своєчасні рішення з приводу виробництва модного продукту.

Існують спеціалізовані ЗМІ, орієнтовані на сприйняття споживачем новітніх тенденцій моди і художніх образів; також поширені професійні журнали для суб'єктів індустрії моди, які характеризують актуальні властивості технологічних процесів або маркетингових комунікацій. Проте, всі вони покликані здійснювати єдину функцію – формування індустрії моди як оптимізованої системи зі створення, розповсюдження та впровадження модних інновацій, виробництва, реалізації і споживання продуктів моди в сучасному суспільстві споживання.

Фахівці Fashion Consulting Group класифікують структуру сегментів індустрії моди на основі аналізу їх взаємодії при формуванні модних тенденцій і в створенні модного продукту, як це показано на рис. 1:

1) the primary group (первинний сегмент) – сегмент виробників сировини і виробничого устаткування;

2) the secondary group (вторинний семент) – сегмент виробників продукту моди;

3) the retail group – торговий сегмент;

4) the auxiliary – допоміжний сегмент.

Вочевидь, сегменти виробників сировини і готового продукту безпосередньо пов'язані між собою. Часто саме зовнішній вигляд або особливі якості матеріалу можуть стати поштовхом до розробки перспективних моделей модного одягу і визначити хід творчої думки дизайнера. З іншого боку, компанії-виробники модного одягу (вторинний сегмент) проектують свої колекції одягу масового попиту саме з тканин і матеріалів, розроблених і запропонованих учасниками первинного сегменту модної індустрії. Таким чином, необхідно сказати, що ці два сегменти беруть участь безпосередньо в розробці і виробництві модного одягу як продукту індустрії моди.

Ще один сегмент індустрії модного одягу складають спеціалізовані мережеві та роздрібні продавці. Це крупні підприємства, які мають право здійснювати продаж модного одягу і тим самим сприяють його розповсюдженню серед споживачів різних цільових груп. Представники цих суб'єктів індустрії моди – байєри – займаються селекцією моделей модного одягу, які складають основу асортименту певної торгової мережі і виконують замовлення підприємствам-виробникам на виготовлення певного тиражу цих моделей. Таким чином, саме байєри визначають асортиментну політику оптових і роздрібних продавців модного одягу як продукту моди і формують смакові переваги кінцевих споживачів. З іншого боку, саме на них лежить відповідальність в прогнозуванні тих позицій асортименту модного одягу, які викличуть найбільший інтерес споживачів, і в своєчасному розміщенні замовлення на їх виготовлення на підприємствах індустрії моди.

Отже, торговий сегмент індустрії моди, який характеризує стан ринку модного одягу в глобальному масштабі, має свою сегментовану структуру, яка безпосередньо взаємозв'язана з класами модного одягу як продукту моди. У даній роботі характеристика форматів основних елементів торгової мережі представлена у взаємозв'язку з тими класами модного одягу, які пропонуються кінцевому споживачу через ці точки (рис. 2).

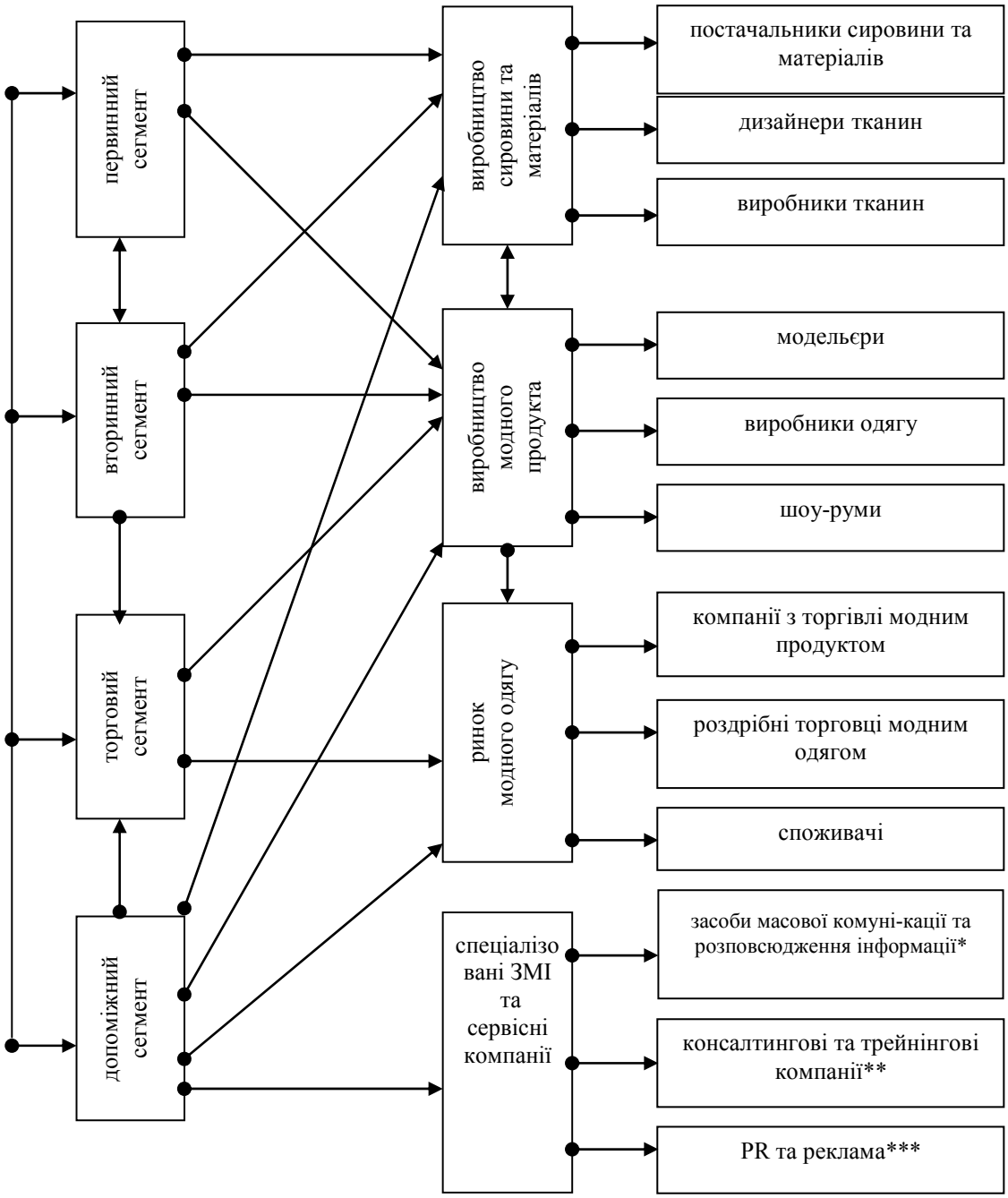


Рис. 1. Структура сегментів індустрії моди

* до засобів масової комунікації та розповсюдження інформації відносяться: спеціалізовані друкарські та Інтернет-видання;

** до консалтингових та трейнінгових компаній відносяться: бюро аналізу і прогнозування тенденцій; оргкомітети професійних конкурсів; торгові об'єднання і асоціації.

*** до PR і реклами відносяться: покази мод; модельні агенції; ЗМІ для масового споживача: теле- і радіопрограми, модні глянсові журнали (glossy magazines), споживацькі журнали (consumer magazines), Інтернет-проекти тощо; різні носії рекламної інформації.

Бутік (монобрендовий фірмовий магазин) – автономна точка роздрібної торгівлі модним одягом класів haute couture і pret-a-porte. Враховуючи ту обставину, що одяг цього класу позиціонується як унікальні розробки Будинку високої моди або дуже крупних дизайнерських брендів, то продаж, як правило, носить одиничний характер, що підноситься клієнту як доказ унікальності зробленої покупки. Це має на увазі невелику площу, яку займає бутік, довірчу обстановку його інтер'єру, з широким використанням елементів фірмового стилю або оформленого особисто провідним модельєром даного бренду. Індивідуальний підхід, високий рівень обслуговування і створення комфортних умов при роботі з клієнтом у фірмових магазинах цього класу надають можливості покупцю зробити потрібний вибір. Такі особливості функціонування бутіків створюють коло постійних клієнтів, що відображається і на їх прихильності певним дизайнерським брендам і Будинкам високої моди.

Каскет (casekit – комбінація вибраного) – формат торгової точки, розташований автономно, що поєднує в собі модний продукт декількох дизайнерських брендів. Його основною відмітною особливістю від

монобрендових фірмових магазинів є те, що в ньому реалізується модний одяг класів pret-a-porte та bridge (всіх підкласів цієї категорії). Природно, такий діапазон модного продукту припускає значно ширший асортимент і доступні ціни в порівнянні з монобрендовими фірмовими магазинами (бутіками). З іншого боку, дизайнерський інтер'єр і висока культура обслуговування клієнтів вигідно відрізняють торгові точки цього формату від мультибрендової категорії торгової мережі.

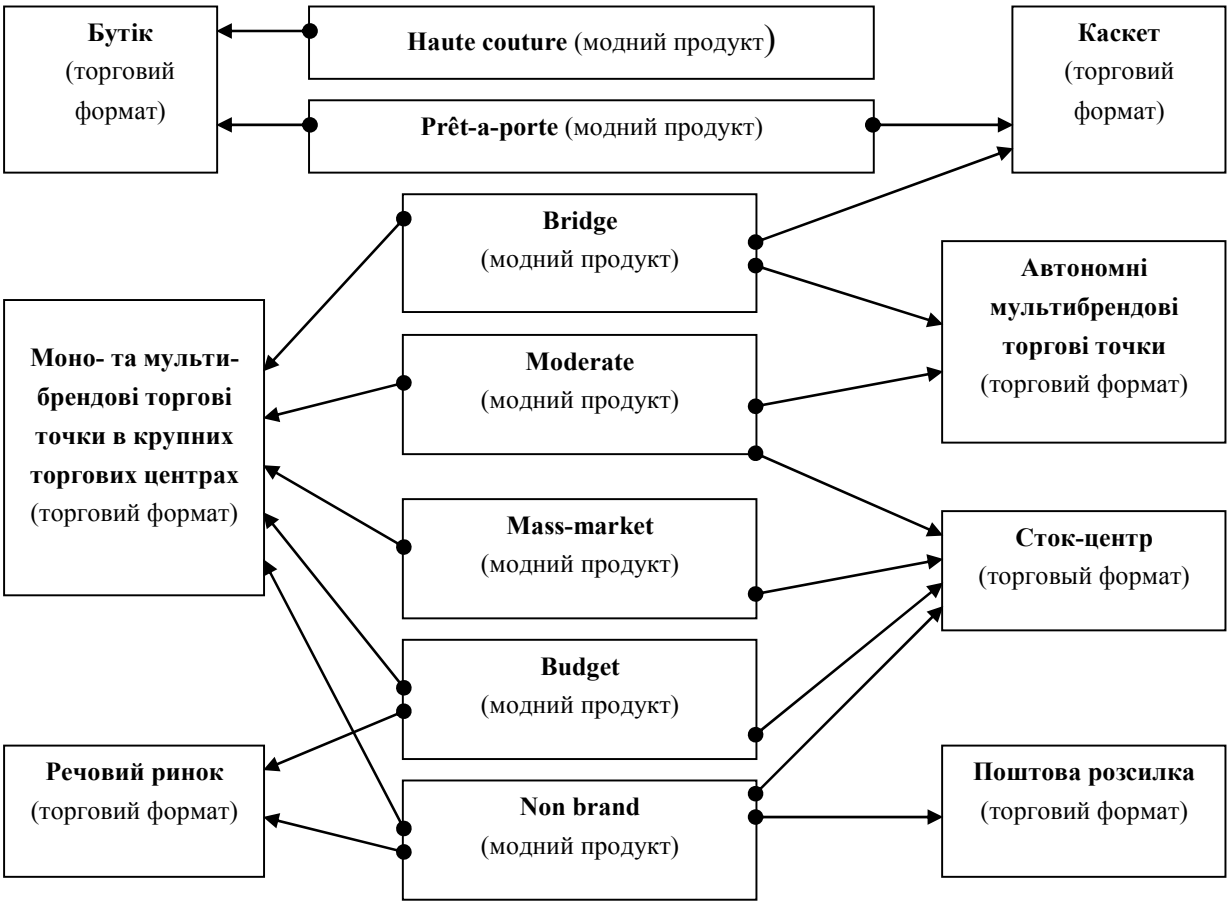


Рис. 2. Характеристика форматів торгових точок ринку модного одягу в структурі індустрії моди

Автономні мультибрендові торгові точки (представляють споживачу модний продукт дифузних брендів Будинків моди). Подібні магазини поєднують в собі модний продукт трьох-чотирьох брендів, розташовуються автономно на відомих торгових вулицях, чим намагаються підтримати ілюзію причетності до монобрендових фірмових магазинів тих Будинків моди і дизайнерських фірм, чию продукцію представляють. Авторський дизайн подібних магазинів використовується вкрай рідко, оскільки це не входить в цінову категорію представленого модного продукту. У торгових точках даного формату, як правило, представлений модний одяг класу bridge (всіх підкласів цієї категорії) і «moderate» (помірна категорія масового одягу).

Моно- та мультибрендові торгові точки в крупних торгових центрах. Від автономних мультибрендових торгових точок магазини даного формату відрізняє те, що в них представляється споживачу одяг для масового ринку («mass-market») не дизайнерських, а фабричних, мережевих чи ритейл-брендів. Це припускає широкий асортимент представленого модного продукту, доступні ціни і демократичність обслуговування (аж до самообслуговування). Найчастіше, торгові точки даного формату співпрацюють з постачальниками і виробниками модного одягу в руслі концепції швидкого реагування fast fashion. Іноді в таких магазинах також представляється модний одяг економ-класу («bugdet» чи «non-brand») досить високої якості виготовлення.

Сток-центр (stock – склад) – формат торгових точок, що реалізують модний продукт різної «класності», який залишився незатребуваним у споживача в контексті поточної модної тенденції (після закінчення модного сезону і сезону розпродажів). Сток-центри характеризуються підбором асортименту пропонованого модного одягу за категорією «Èкласності», мінімальним рівнем обслуговування клієнтів, слабкою прив'язкою до поточних модних тенденцій. Як правило, вони розташовані оддалік престижних торгових вулиць і фірмових магазинів, щоб не порушувати циклічний характер функціонування індустрії моди і не руйнувати ілюзію абсолютної затребуваності і необхідності модних інновацій.

Речові ринки є ринком реалізації модного одягу економ-класу («bugdet» чи «non-brand»), і рівень їх діяльності як торгових точок відповідає ціновому діапазону представленого одягу. З іншого боку, високий оборот реалізації модних продуктів на речових ринках дозволяє припустити їх істотну роль в

розповсюдженні поточних модних тенденцій серед широкого кола кінцевих споживачів.

Крім того, останнім часом набула широкого поширення реалізація модного одягу як модного продукту через ***поштову розсилку або Інтернет-замовлення***. Особливою популярністю при цьому користується продаж модного одягу економ-класу («bugdet» чи «non-brand»).

Одним з основних засобів взаємодії сегментів індустрії моди при виробництві і розподілі модного одягу як потенційного модного продукту слід назвати організацію і проведення таких заходів як різнопланові покази моделей одягу (від дефіле на Тижнях моди до показів на спеціалізованих і торгових виставках), а також різноманітні шоу-руми.

Дефіле на Тижнях моди є ефективним засобом презентації короткострокових і поточних модних тенденцій. У даному контексті, це демонстрація моделей одягу класів haute couture і pret-a-porte, з метою ознайомлення всіх суб'єктів індустрії моди з напрямами формування і розвитку модного одягу масового виробництва.

Покази моделей одягу призначені для демонстрації моделей одягу різних класів, розроблених відповідно до модних тенденцій, всім суб'єктам індустрії моди, зацікавленим у виробництві, тиражуванні, розподілі та реалізації цих моделей кінцевим споживачам.

З метою демонстрації зразків сировини і готового модного одягу масового попиту для подальшого промислового тиражування, також організовується робота ***шоу-румів*** (show room – демонстраційна кімната). Участь в роботі шоу-румів дозволяє на різних умовах (наприклад, франчайзингу) повноправно реалізувати модний одяг відомих брендів в різних форматах торгового сегменту індустрії моди, а також своєчасно розмістити замовлення на виробництво сезонних колекцій.

Переважна більшість всесвітньо відомих фірм-розробників модного продукту презентують свої проектні розробки представникам виробничого і торгового сегментів за допомогою демонстрації в шоу-румах. Їх значення в структурі індустрії моди підкреслюється тим фактом, що шоу-руми функціонують у всіх «столицях світової моди», причому розташовані вони, відповідно до асортиментної, цінової та ін. видів спеціалізації. Окрім цього, в різних регіонах fashion-ринку існує розгалужена система шоу-румів, які ознайомлюють представників регіональних сегментів виробництва і торгівлі з актуальними модними тенденціями, чим сприяють їх оперативному розповсюдженню в масовому одязі. Іншими словами, функціонування таких шоу-румів допомагає оптовим закупникам регіональних сегментів ринку сформувати замовлення для торгової мережі з пропозицій модного продукту, нового і цікавого для ринку даного регіону. Шоу-руми, які функціонують в системі сучасної індустрії моди, можна класифікувати по функціональному призначенню і принципу роботи (див. схему 3).

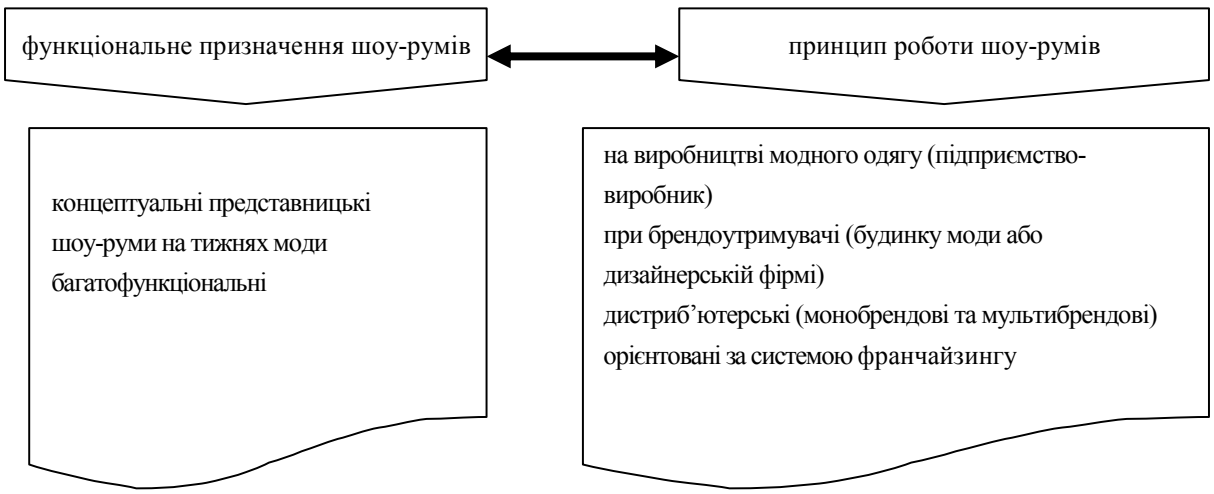


Рис. 3. Класифікація діяльності шоу-румів у сучасній індустрії моди

Раціонально організований простір шоу-руму, презентація модного продукту відомих дизайнерських марок, професійна підтримка консультантів сприяють плідній взаємодії представників різних сегментів індустрії моди при створенні актуального і своєчасного продукту моди, а отже, реалізують основну мету індустрії моди – задоволення споживацького попиту на модний одяг і супутні товари.

Допоміжний сегмент індустрії моди утворюють суб'єкти індустрії, які зайняті в прогнозуванні напрямів розвитку індустрії моди в цілому чи окремих її аспектів, в пропаганді цінностей моди і модних норм поведінки, в розвитку споживацького попиту на модні об'єкти і продукти, в розповсюдженні інформації про моду і fashion-бізнес тощо. Іншими словами, часто затребуваність будь-якого продукту моди залежить не від його функціональних характеристик або виробничих параметрів, а від сприйняття споживачів і громадської думки в цілому. Таким чином, роль рекламно-інформаційних заходів і різноманітних шляхів взаємодії з громадськістю неоціненна, що було проаналізовано вище. Саме завдяки діяльності суб'єктів допоміжного сегменту індустрії моди будь-який продукт, про споживацьку свідомість, може стати модним.

При цьому в діяльності допоміжного сегменту активно задіяні мас-медіа різного толку і масштабу. ***Система спеціалізованих засобів масової комунікації***, і відповідно розповсюдження інформації, які, як вважається, обслуговують індустрію моди і модного одягу, а швидше за все є рушійними силою її розвитку, складається з:

1. PR, рекламних та модельних агентств.
2. Спеціалізованих та професійних друкарських видань (trade publications) та Інтернет-видань.
3. ЗМІ для масового споживача різних рівнів: теле- і радіопрограми, модні глянсові журнали (glossy magazines), споживацькі журнали (consumer magazines), Інтернет-проекти тощо.

Крім того, до суб'єктів даного сегменту індустрії моди відносяться такі, які організовують ***спеціалізовані професійні виставки та ярмарки***, які знайомлять з актуальними тенденціями в розвитку ринку модного одягу, а також ***професійні конкурси дизайнерів***, організатори яких формують проектні завдання відповідно до перспективних напрямів розвитку індустрії моди.

Як обгрунтовано в даній роботі раніше, особливу роль в плануванні роботи окремих суб'єктів індустрії моди грає прогнозування тенденцій розвитку споживацького попиту на певний період часу, а також формування модних тенденцій в розробці модного продукту, заснованих на прогнозі споживацького попиту. Тому важлива роль серед суб'єктів допоміжного сектора індустрії моди відводиться діяльності ***агенцій та компаній, які займаються аналізом і формують прогнози модних інновацій*** на перспективу. Як наголошувалося раніше, серед лідерів цієї сфери діяльності слід назвати такі фірми, спеціалізацією яких є розробка довгострокових прогнозів, і не тільки в індустрії моди – Promostyle (Париж – Нью-Йорк), Trend Union (Париж) тощо. Подібну діяльність зі складання та деталізації різноманітних прогнозів діяльності індустрії моди проводять численні консалтингові фірми, трейнінгові компанії та styling studios, основним завданням яких прийнято вважати адаптацію довгострокових глобальних прогнозів відносно модних інновацій до потреб суб'єктів індустрії моди, які зайняті у виробництві та реалізації модного продукту на основі короткотермінових модних тенденцій і потреб масового fashion-ринку.

Всі суб'єкти індустрії моди, які належать до різних сегментів її структури, реалізують різні доцільні з їхньої точки зору підходи до формування і розповсюдження модного продукту, з метою якнайповнішої взаємодії при задоволенні споживацького попиту.

Для цього суб'єктами допоміжного сегменту індустрії розроблена комплексна сегментація багаточинності споживацького ринку, метою якої є визначення системи потреб покупців в модному одязі, а також визначення критеріїв формування цільових груп споживачів тих або інших видів модного продукту.

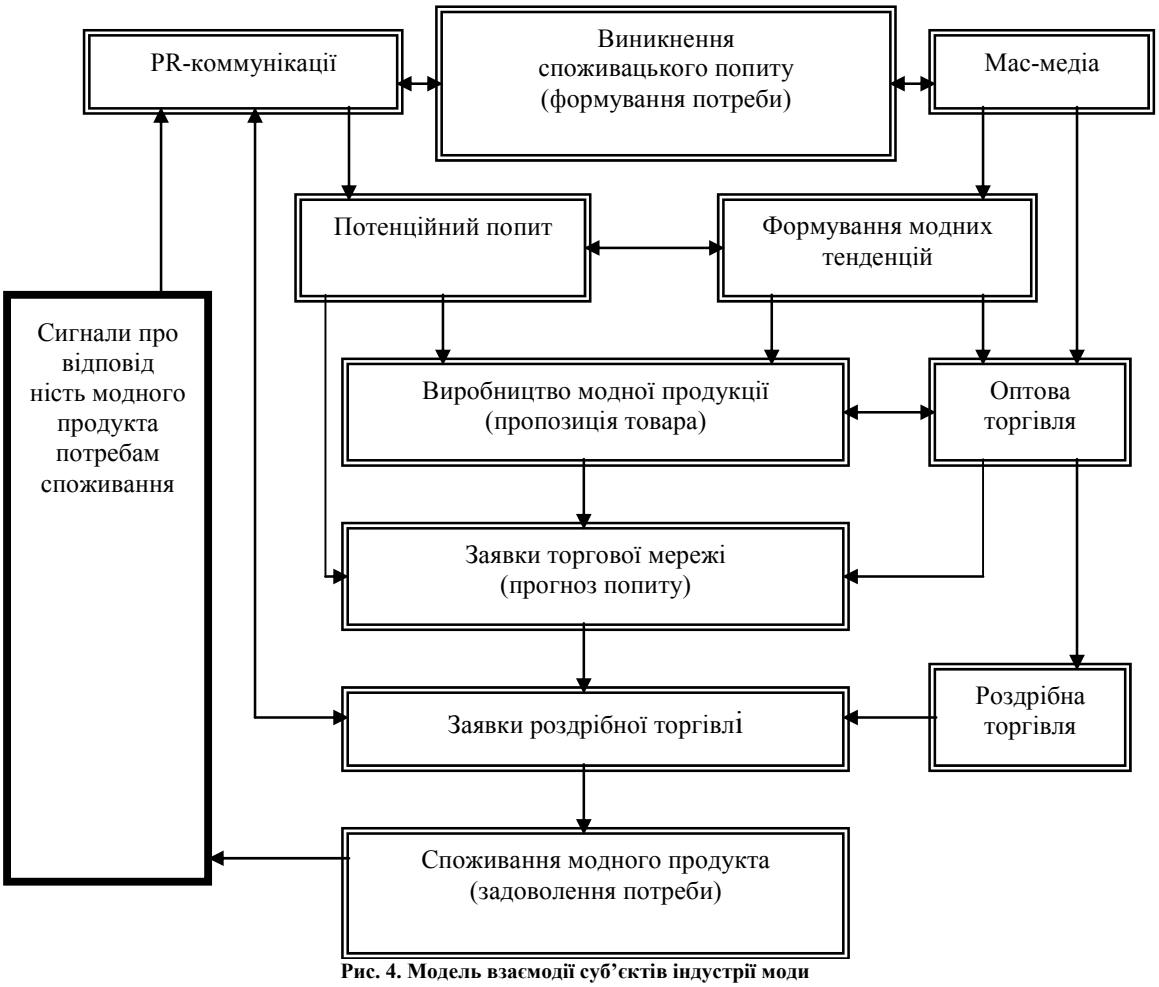


Рис. 4. Модель взаємодії суб'єктів індустрії моди

Сегментація споживацького ринку розроблена за різними критеріями, і кожний з них має свої характерні властивості. Тому, в залежності від поставлених завдань, виробники або реалізатори модного продукту можуть використовувати одиничні критерії сегментації або їх сукупність.

Сегментацію споживацького ринку модного одягу здійснюють за такими критеріями:

- за географічною ознакою – сприяє структуруванню регіональних ринків модного одягу (географічний регіон, крупні місця проживання, густина населення в населених пунктах тощо);
- за демографічною ознакою – найактивніше впливає на сприйняття модного продукту (вік, освіта, віросповідання, життєвий цикл родини, рівень доходу тощо.);
- по відношенню до пропонованого продукту – визначає характер реакції споживача на товар (інтенсивність споживання, ступінь лояльності, готовність здійснити покупку тощо.);
- за ознакою стилю споживання – оскільки звички людини формують шаблони споживання, то на основі аналогій можливо спрогнозувати сприйняття споживачів нового модного продукту;
- за психографічними ознаками – на основі цінностей, що репрезентуються, та інтересів, характеру взаємостосунків і способу життя споживача;
- за особовою ознакою – оскільки кожна окремо взята людина є носієм унікальних рис, властивостей, інтересів і ознак, то потенційно вона може представляти самостійний сегмент споживацького ринку. Дана ознака має пріоритетне значення при розробці продукту моди для індивідуального споживача, зокрема при виготовленні одягу «на замовлення» або створенні модного продукту «haute couture».

Таким чином, сучасна індустрії моди є комплексну систему багатовекторних взаємостосунків різних суб'єктів, що враховує принципи їх взаємодії в контексті приналежності до того або іншого сегменту структури (див. рис. 4).

Висновки

На основі проведеного аналізу та сформульованих узагальнень, в роботі здійснено **структуризацію сегментів сучасної індустрії моди, з огляду на її комерціалізовану спрямованість на масове тиражування модних продуктів та їх впровадження в поточні модні тенденції. Визначена модель взаємодії суб'єктів індустрії модного одягу уможливила визначення та характеристику структурно-логічних зв'язків між такими суб'єктами індустрії як** виробники сировини і готового продукту (розробка та виготовлення модних продуктів), система торгових точок та мереж (схема розповсюдження модних продуктів та їх трансформації в модні стандарти) та споживання модних продуктів та стандартів (в умовах тотальної глобалізації та уніфікації модних стандартів та проектних образів). За результатами дослідження, в роботі визначено та класифіковано структуру сегментів індустрії моди на основі аналізу їх взаємодії при формуванні модних тенденцій і в створенні модного продукту.

Література

1. Уайт Н. Fashion-бизнес: теория, практика, феномен / Н. Уайт, Й. Гриффитс. – Минск : Гревцов Паблишер, 2008. – 272 с.

2. Agins T. The End of Fashion: How Marketing Changed the Clothing Business Forever. NY.: HarperCollins Publishers Inc., 2000. 347 p.

3. Латынова С.В. Управление жизненным циклом модного продукта (на примере модной одежды) : дисс. ... к.э.н. : 08.00.05 "Экономика и управление народным хазяйством: маркетинг" / С.В. Латынова. – Пенза, 2007. – 214 с.

4. Кавамура Ю. Теория и практика создания моды / Ю. Кавамура. – Минск : Гревцов Паблишер, 2009. – 192 с.

5. Чуприна Н.В. Анализ роли масс-медиа в деятельности индустрии моды / Н.В. Чуприна // Дизайн. Материалы. Технология. – СПб : СПбГУТД, 2013. – № 3(28). – С. 103–107.

References

1. White N., Gryffits Y. Fashion-business: theory, practice, phenomenon. Minsk: Grevtsov Publisher, 2008. 272 p.

2. Agins T. The End of Fashion: How Marketing Changed the Clothing Business Forever. NY.: HarperCollins Publishers Inc., 2000. 347 p.

3. Latynova S.V. Management by the life cycle of fashionable product (on the example of fashionable clothes). Diss. on competition of the graduate degree Ph.D. on special. 08.00.05 “Economy and management pertaining to national economy: marketing. Penza, 2007. 214 p.

4. Kavamura Yu. Theory and practice of fashion. Minsk: Grevtsov Publisher, 2009. 192 p.

5. Chouprina N.V. Analysis of mass-media role in activity of fashion industry. Design. Materials. Technology. SPb.: SPbGUTD, 2013. №3(28). P. 103–107.

Рецензія/Peer review : 2.4.2015 р. Надрукована/Printed :15.4.2015 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Д Колосніченко М.В.

УДК 677.047.622.112.2

М.О. КУЩЕВСЬКИЙ, Ю.В. КОШЕВКО
Хмельницький національний університет

РОЗРОБКА УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ ГІДРОВІДЦЕНТРОВОГО СПОСОБУ ФОРМУВАННЯ ГОЛОВОК ГОЛОВНИХ УБОРІВ З ТКАНИН

В статті розкрито проблему розробки обладнання для формування головок головних уборів з тканин. Запропонована установка забезпечує високу якість виконання операції формування за рахунок дії відцентрових сил на головку головного убору, має низьку енергоємність, за рахунок особливостей процесу формування без використання температури та низьку металоємність.

Ключові слова: формування, відцентрові зусилля, головки головних уборів, пресове обладнання, динамічні методи формування.

N.O. KUSHCHEVSKYI, Y.V. KOSHEVKO
Khmelnytsky National University

DEVELOPMENT OF EQUIPMENT FOR REALIZATION OF HYDROCENTRIFUGAL METHOD OF FORMING OF HEADS OF HEAD-DRESSES FROM FABRICS

In the article the problem of development of equipment opens up for forming of heads of head-dresses from fabrics. This setting provides high quality of implementation operation of forming, due to operating of centrifugal forces on the head of head-dress, has low energy capacity due to the features of forming process without the use of temperature and low metal. The necessity of improvement quality of operations of forming sewing wares predetermines realization many numerous researches, new methods of forming sent to creation and on their base of corresponding equipment. Forming of details of sewing wares by nature the power field comes true due to the static and dynamic loading. With the aim of improvement of quality of implementation of technological operation of forming head of head-dresses from fabrics development of equipment is a necessity for realization of hydrocentrifugal method of forming that would remove the lacks of his prototypes.

Keywords: forming, centrifugal efforts, heads of head-dresses, press equipment, dynamic methods of forming.

Вступ

На операціях формування шляхом волого-теплової обробки, головним чином, використовують пресове обладнання укомплектоване різними типами подушок (об'ємними, гофрованим та плоскими) [1–3]. Це обладнання не забезпечує високої якості виконання окремих операцій, а тим більше операцій об'ємного формування в силу ряду недоліків: відсутність спряженості робочих поверхонь, яка призводить до утворення ряду дефектів; використання однотипних подушок для формування виробів різних повнотно-розмірних груп, що обмежує область його використання; формування при статичних навантаженнях, що не забезпечує активної роботи ,,грубої" структури матеріалу, використання в якості робочого середовища пароповітряної суміші, яка не дає можливості максимального використання деформаційних властивостей тканин, а також значна матеріалоємність формуючих органів, що відповідає значній енергоємності.

Необхідність покращення якості операцій формування швейних виробів зумовлює проведення значної кількості досліджень, спрямованих на створення нових способів формування та відповідного обладнання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

При виготовленні швейного виробу значну частку в загальній трудомісткості займають операції волого-теплової обробки, від якої залежить зовнішній вигляд, формостійкість та якість готових виробів. Головні убори, зокрема їх деякі деталі (головки), мають складну об'ємну форму. Вона може бути досягнута двома шляхами – конструктивним (членування деталей) та формоутворенням за допомогою волого-теплової обробки: дія на «тонку» та «грубу» структуру текстильного матеріалу [2].

Формування деталей швейних виробів за природою силового поля здійснюється за рахунок статичних та динамічних навантажень [1]. При статичному навантаженні найпоширенішим є спосіб отримання об'ємної форми шляхом пресування на прес-формах. В найпростішому випадку прес-форма є система з двох частин: перша – рухома (пуансон), друга – стаціонарна (матриця). У процесі пресування матеріал піддається дії температури, вологи та тиску. При цьому форма деталі виробу досягається здебільшого за рахунок зміни розмірів волокон та ниток тканин і лише частково зміною сітьових кутів. Мінімальна деформація матеріалу спостерігається на найбільш випуклій ділянці, а максимальна – на межі переходу від випуклої до плоскої форми подушки. Недоліками статичних способів формування є неоднаковий тиск поверхні подушок на текстильні матеріали при їх зближенні та складність в дотриманні умови еквідистантності робочих поверхонь пуансона та матриці. Статичні способи формування деталей не забезпечують значної активності грубої структури матеріалів. У результаті цього отримана форма деталей потребує додаткового її закріплення шляхом використання стабілізуючих хімічних розчинів [2].

Ці недоліки певною мірою виключаються в процесі гідропресування швейних виробів складної форми, таких як головні убори. Сутність цього способу полягає у використанні в якості матриці гумової форми-мішка, заповненої водою, що забезпечує рівномірне формувальне навантаження на всю внутрішню поверхню деталі головного убору [4].

У зв'язку з цим, при формуванні деталей швейних виробів загалом та головних уборів зокрема

вартими уваги є динамічні методи формоутворення, які дозволяють більш ефективно трансформувати плоский орієнтований матеріал у деталь об'ємної форми за рахунок збільшення рухливості «грубої» структури тканини [2]. Традиційна волого-теплова обробка таких умов не забезпечує в силу різних, раніш перерахованих причин.

Автором [1] запропоновано перспективний відцентровий спосіб формування. В основу способу покладено принцип самоформування деталі за рахунок дії відцентрових сил та робочого середовища. В якості робочого середовища у існуючому способі використовується пара [1, 2]. Проте використання пари має певні недоліки, а саме: обмеження деформаційних властивостей матеріалу завдяки зменшенню волого поглинання.

Формулювання мети статті

З метою покращення якості виконання технологічної операції формування головки головних уборів з тканин є необхідним розробка обладнання для реалізації гідровідцентрового способу формування, що усунуло б недоліки його прототипів.

Виклад основного матеріалу досліджень

На сьогоднішній день запропоновано використання рідинно-активного робочого середовища (РАРС), основою якого є вода [3]. Це дозволяє значно покращити деформаційні властивості матеріалу при формуванні, пластифікуючи його волокна та нитки. Застосування високих температур є не завжди доцільним з точки зору енергоємності процесу, використання РАРС дозволяє здійснювати формування деталей при t=18–20°C. Крім цього перевагою застосування РАРС є передача ним механічних зусиль на текстильний матеріал при формуванні, яке при певних фізико-механічних активаторах може створити поле різного походження: статичне, динамічне, відцентрове, різноплощинне. РАРС активізує «грубу» структуру текстильного матеріалу, та забезпечує зміну кутів між системами ниток, а також дозволяє перенести у «грубу» структуру частинки клею у колоїдному стані.

Отже, удосконалення відцентрового способу формування за рахунок використання у якості робочого середовища РАРС є актуальним, тому що при його використанні зменшуються енерговитрати (при формуванні у даному середовищі виключається температурний фактор), економія матеріалів (оскільки виключається членування деталі) та значною мірою трудомісткість виготовлення швейних виробів, зокрема головних уборів.

Крім того, доцільно використовувати вологу як пластифікатор в стані рідини тому, що структурна пластифікація відбувається без руйнування надмолекулярної структури. Як наслідок, енергія взаємодії вологи з полімером дещо менша міжмолекулярної взаємодії. При цьому відбувається частковий розчин (набухання) полімеру, який приводить до зміни поперечника волокон [4]. Для формування деталей об'ємної форми з текстильних матеріалів розроблено ряд способів та пристроїв для їх реалізації. Всі вони базуються на абсолютно різних принципах, на відміну від існуючих:

- формування відбувається на одному формуючому елементі;
- вода виконує роль робочого середовища, другого формувального елемента, силового поля;
- використання виключно динамічного силового поля;
- формування відбувається при температурі води (T=18–20°C), тобто без температурної дії.

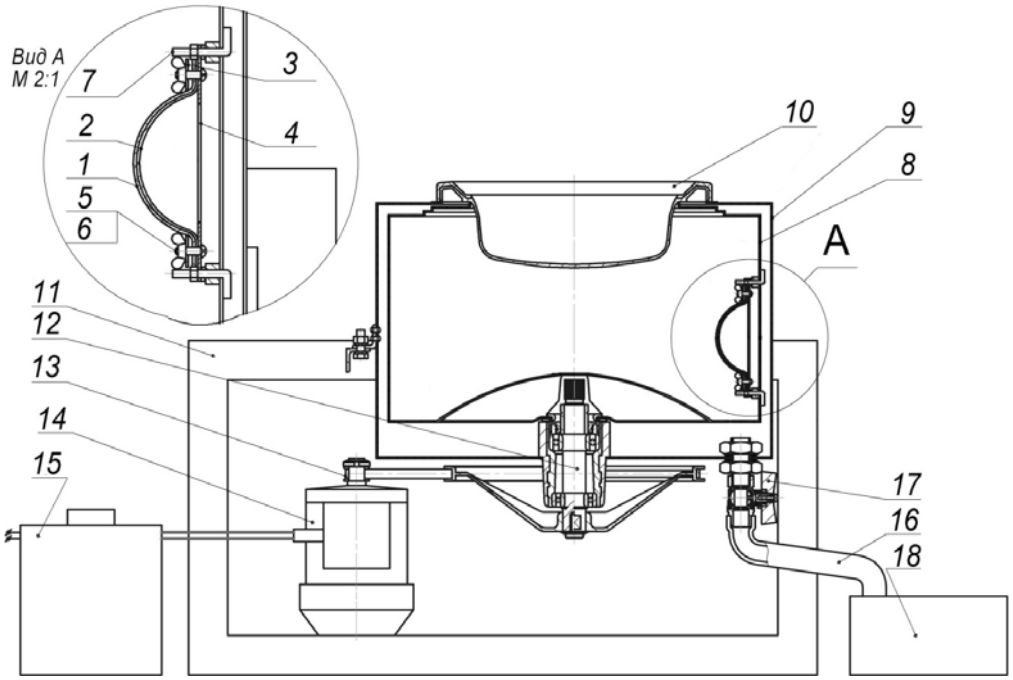


Рис. 2. Схема експериментальної установки для формування текстильних матеріалів гідровідцентровим способом

Для реалізації удосконаленого гідровідцентрового способу формування текстильних матеріалів, за рахунок використання у якості робочого середовища РАРС розроблена експериментальна установка, схема якої представлена на рисунку 2.

Експериментальна установка для реалізації гідровідцентрового способу формування у РАРС (рис. 1) складається з наступних частин: 1 – текстильний матеріал; 2 – формувальний елемент; 3 – притискне кільце; 4 – платформа для кріплення; 5 – гайка; 6 – гвинт; 7 – болт; 8 – барабан; 9 – камера для формування; 10 – кришка камери; 11 – рама установки; 12 – вал; 13 – пасова передача; 14 – електродвигун; 15 – лабораторний трансформатор; 16 – вентиль; 17 – трубопровід; 18 – резервуар.

Таблиця 1

Основні характеристики експериментальної установки:

Характеристика	Технічні умови
Кількість формувальних елементів	3 шт
Висота формувального елемента	39 мм
Маса одного формувального елемента	38,5 г
Частота обертання барабану	0…14 $с^{-1}$
Об'єм РАРС	12…20 л
Лабораторний автотрансформатор	РНО – 250 – 2
Електродвигун	INDESCO 1000 A
Габаритні розміри барабану діаметр висота	 470 мм 260 мм

Суть запропонованого способу формування на цій установці полягає у дії на текстильний матеріал відцентровими силами та круговими потоками РАРС, які зволожують матеріал та створюють додаткове формувальне зусилля.

Досліджуваний спосіб та установка для формування деталей швейних виробів з текстильних матеріалів під дією відцентрового силового поля та РАРС включає розміщення зразка матеріалу на формувальному елементі, закріплення в камері для формування, зволоження, формування.

Розроблена методика та визначені умови проведення формування на експериментальній установці.

Відбір точкових проб матеріалів для формування та їхній розкрій виконують з рулону чи відрізка тканини по всій його ширині із дотриманням паралельності ниток при розкрої. Дозволяється проведення експериментальних випробовувань методом малих проб, діаметр яких складає d=170 мм.

Для проведення експериментальних досліджень із середнім значенням гарантійної помилки 5% та довірчою імовірністю 0,95 необхідне проведення не менше 3 випробувань.

Плоска точкова проба з текстильного матеріалу 1 закріплюється на перфорованому формувальному елементі 2 та платформі для кріплення 4 за допомогою притискного кільця 3 (рис. 2).

Платформу з формувальним елементом та матеріалом розміщують у камері для формування 9 на болтах 7, що закріплені на перфорованій стінці барабану 8. Після чого камера заповнюється певним об'ємом РАРС (t=18–20° С) та закривається кришкою 10.

Через лабораторний автотрансформатор 15 подається напруга на електродвигун змінного струму 14, який через пасову передачу 13 надає обертові рухи барабану 8. Барабан та формувальні елементи обертаються з певною частотою, яка задається регулятором на раніш встановленій шкалі обертів, що знаходиться трансформаторі.

Формування текстильного матеріалу відбувається впродовж встановленого часу за рахунок дії відцентрової сили та кругових потоків РАРС, які зволожують матеріал та створюють додаткове формувальне зусилля. Після закінчення процесу зливають РАРС з камери формування 9 через трубопровід 16 у резервуар 18.

Відформовану деталь на формувальному елементі та платформі знімають з перфорованого барабану установки та розміщують у сушильній шафі для висушування та стабілізації отриманої об'ємної форми до повного видалення вологи.

Сушильна шафа ШСС-80 забезпечує сушіння текстильних матеріалів при заданій температурі. Для пришвидшеного сушіння відформованих деталей сушильна шафа ШСС-80 дещо удосконалена. Замість тенів (нагрівальних елементів) встановлений промисловий автомобільний фен, який забезпечує потік нагрітого повітря, що прискорює процес сушіння саме за рахунок його руху. На терморегуляторі встановлюється певна температура сушіння, в залежності від волокнистого складу текстильного матеріалу, яка весь час підтримується та контролюється термодатчиком, що встановлений у сушильній шафі.

Методика експериментального дослідження відцентрового способу формування також передбачає визначення фактичного вологовмісту відформованих деталей після закінчення процесу формування стандартним тепловим методом за допомогою їх сушіння у сушильних шафах.

Даний метод полягає у тому, що спочатку зважується на технічних вагах суха деталь перед процесом формування з похибкою не більше 0,1 г, а також відформованої деталі після закінчення процесу.

Зволожену деталь висушують, видаляючи всю залишкову вологу. Для перевірки повного видалення вологи з деталі її зважують та порівнюють з вагою повністю сухого зразка. Перше зважування деталі виконують через 10 хв після початку сушіння. Наступні зважування виконують через кожні 5 хв, до тих пір, доки маса деталі буде рівною масі абсолютно сухої.

Вологовміст визначається у відсотках як відношення маси вологи, видаленої з матеріалу при висушуванні до маси сухого матеріалу.

Після висушування та охолодження у нормальних умовах відформовану деталь знімають з формувального елемента та виконують оцінку якості формування. Деталь розташовують на спеціальній платформі мікроскопу ОПТА № 8502 та замірюють висоту найвищої точки (висота стріли прогину). Далі знаходився коефіцієнт формостійкості, як відношення різниці між висотою формувального елемента та висотою відформованої деталі до висоти формувального елемента.

З метою врахування релаксаційних процесів відцентрового способу для відформованої деталі заміри виконують через 1, 6, 12, 24, 48 год відпочинку та визначають релаксацію, як відношення різниці між висотою відформованої деталі відразу після процесу формування та висотою деталі через 48 год відпочинку у нормальних умовах елемента до висоти деталі після формування.

Висновок. Розроблена експериментальна установку для реалізації процесу формування з метою покращення якості виконання технологічної операції виготовлення головки головних уборів з тканин. Висока якість виконання операції формування досягається гідровідцентровим зусиллям. Особливості процесу формування без використання температури забезпечує низьку енергоємність та металоємність устаткування. Дане устаткування дає можливість моделювати реальний процес гідровідцентрового формування головок головних уборів з тканин костюмного та пальтового асортименту.

Література

1. Березненко М.П. Разработка энергосберегающей технологии и повышения уровня качества швейных изделий на операциях влажно-тепловой обработки : дис. … д-ра техн. наук : 05.19.04 / Березненко Микола Петрович. – М., 1986. – 394 с.

2. Рогова А.П. Изготовление одежды повышенной формоустойчивости / А.П. Рогова, А.И. Табакова. – М. : Легкая индустрия, 1979. – 184 с.

3. Кущевський М.О. Новітні технології виготовлення головних уборів з тканин : монографія / М. О. Кущевський. – Хмельницький : ХНУ, 2012. – 198 с.

4. Проектирование и производство головных уборов / [Л.Б. Рытвинская, И.Г. Смородина, Л.А. Меркулова и др.]. – 1987.

References

1. Bereznenko M.P. Razrabotka enerhosberehayushchey tekhnolohyy i povushenyya urovnya kachestva shveynukh izdelyy na operatsyyakh vlazhno-teplovoy obrabotky : dys. … d-ra tekhn. nauk : 05.19.04 / Bereznenko Mykola Petrovych. – M., 1986. – 394 s.

2. Rohova A.P. Yz·hotovlenye odezhdы povышennoy formoustoychyvosty / A.P. Rohova, A.Y. Tabakova. – M. : Lehkaya yndustryya, 1979. – 184 s.

3. Novitni tekhnolohiyi vyhotovlennya holovnykh uboriv z tkanyn : monohrafiya / M. O. kushchevs'kyy. – Khmel'nyts'kyy : KhNU, 2012. – 198s.

4. RitvInska L.B. Proektirovanie i proizvodstvo golovnyih uborov / Ryitvinskaya L.B., Smorodina I.G., Merkulova L.A. i dr.

Рецензія/Peer review : 9.3.2015 р. Надрукована/Printed :7.4.2015 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Славінська А.Л.

УДК 687. 016.5:510.22

О.В. ЗАХАРКЕВИЧ
Хмельницький національний університет

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ШОРСТКОСТІ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

Обґрунтовано доцільність використання показника шорсткості поверхні для оцінки властивостей ковзання підкладкових тканин та вибрано параметри виконання досліджень шорсткості текстильних матеріалів шляхом обробки сканованих зображень зразків тканини в середовищі Rhinoceros. Розроблена методика та скрипти для обробки сканованих зображень зразків тканини в середовищі Rhinoceros, які дозволяють визначити параметри шорсткості у напівавтоматичному режимі.

Ключові слова: тертя, шорсткість, коефіцієнт тангенційного опору, базова довжина.

O.V. ZAKHARKEVICH
Khmelnytsky National University

METHOD OF DETERMINATION FABRICS ROUGHNESS CHARACTERISTICS

Abstract – This work proves the possibility to use the fabrics roughness to evaluate its smoothness. Two parameters (Ra, Rmax) were used to reflect fabric surface roughness characteristics. Special script "Roughness" was written to measure these parameters. The script and scanned images of tissue samples were used in 3D computer graphics software Rhinoceros to evaluate the lining fabrics' roughness.

Sampling length was determined according to the results of scripts' work and standard requirements. In accordance with it the sample dimensions were recommended. Developed method and script were tested by comparing the results of measurements with the roughness parameters which were obtained by photogrammetry. *The multiple linear regression was used to modelling the relationship between Roughness parameters (Ra, Rmax) and the coefficient of friction. So the coefficient of friction of lining fabrics was obtained and evaluate.*

Keywords: friction, roughness, coefficient of friction, sampling length.

Постановка проблеми

Одним із напрямів розвитку асортименту одягу є проектування двобічних виробів, які в залежності від сезону носіння можуть проектуватись одношаровими або багатошаровими.

У багатошарових двобічних виробах, на відміну від традиційних, замість підкладкового матеріалу використовують тканину верху. При чому функцію підкладки почергово виконує кожен із використаних матеріалів верху. Тому матеріали, обрані для виготовлення двобічних виробів, повинні мати такі характеристики, які були б притаманні як для підкладки, так і для верху.

Авторами [1] складено перелік властивостей підкладкових матеріалів та встановлено коефіцієнти їх вагомості. Виявлено, що гладкість поверхні підкладкового матеріалу має найвищий коефіцієнт вагомості (0,363) і повинна бути обов'язково врахована у процесі конфекціонування.

Гладкість поверхні підкладки та її здатність ковзати прийнято характеризувати коефіцієнтом тангенційного опору (КТО) [2]. Тангенційний опір, як фізичне явище, присутній як у багатьох технологічних операціях, так і в процесі експлуатації швейних виробів. Від тангенційного опору залежать умови виконання та параметри таких технологічних операцій як настилання, розрізання та зшивання матеріалів, вибір конструкції швів, методів обробки [3].

Значення коефіцієнту тангенційного опору для різних тканин змінюється в широких межах (від 0,3 до 1,0). Наприклад, КТО при русі по стальній поверхні при навантаженні 2 даН для бавовняного сатину становить 0,1, для напіввовняного шевіоту – 0,17, сукні – 0,2; при русі по тканині він зростає до 0,6 [2].

Дослідженнями проведеними у Костромському державному технологічному університеті [3] визначені значення коефіцієнтів тангенційного опору для тканин різного сировинного складу. Це дозволило узагальнити показники КТО і розробити градацію тканин за їх величиною: 1-а група характеризується низькою величиною КТО<0,4; 2-а група – середньою величиною КТО=0,4-0,8; 3-я група – високою величиною КТО>0,8. Гладку поверхню мають матеріали 1 групи. Як приклад такої тканини автори наводять саржу підкладкову із віскозних ниток (КТО=0,32).

Проте дослідження [3] направлені на прогнозування величини КТС при відомих структурних характеристиках лляних тканин (коефіцієнт переплетення) і не дозволяють порівняти КТС тканин різного призначення без додаткових інструментальних вимірювань.

Визначення значення КТО для конкретного матеріалу стикається із рядом труднощів. На сьогоднішній день відсутній регламентований стандартом метод визначення тангенційного опору текстильних полотен. Крім того, відсутні нормативні дані для сучасних матеріалів. Ситуація ускладнюється неоднозначністю трактування показників, які характеризують тангенційний опір текстильного матеріалу, що, в свою чергу, унеможливлює порівняння їх між собою. Тоді як при виборі матеріалів верху для двобічного виробу потрібно порівняти КТО матеріалу верху із відповідним показником матеріалу підкладки.

Різні методи визначення коефіцієнта тангенційного опору передбачають наявність багатьох змінних факторів. Істотний вплив на значення КТО мають: стан поверхні матеріалів, тиск між ними, швидкість прикладання навантаження, час контакту, температура, вологість, сировинний склад та ін. Проте достеменно відомо, що коефіцієнт тангенційного опору прямо пов'язаний із тертям, яке в свою чергу залежить від характеристик двох шорстких дотичних поверхонь [2]. Взаємозв'язок коефіцієнтів тангенційного опору та

показників шорсткості поверхні тканин переконливо доведено у працях [4, 5].

Крім того, в дослідженнях [3] зазначено, що взаємодія полотен «площина по площині» адекватно характеризує процес настилання та розкрою матеріалів, але практично не зустрічається при експлуатації одягу. Тому для визначення можливості використання матеріалу в якості підкладки доцільно оцінити шорсткість однієї поверхні, а не двох дотичних.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Дослідженнями вчених світу [4–8] доведено, що шорсткість та гладкість тканини є важливим аспектом контролю якості в процесі її виробництва, а також для забезпечення бажаного зовнішнього вигляду тканини та виробів із неї.

Відповідно до ДСТУ 2409-94 [9], шорсткість поверхні – це сукупність нерівностей поверхні з відносно малими кроками, що виділена за допомогою базової довжини. Нормальний профіль – переріз, що перпендикулярний до базової поверхні (рис. 1). Шорсткість поверхні характеризується скінченним набором параметрів, які вимірюють на нормальному профілі: *L* – базова довжина, мм; *m* – середня лінія профілю, мкм; *Smi* – середній крок нерівностей профілю, мкм; *Si* – середній крок місцевих виступів профілю, мкм; *Hi max* – відхилення п'яти найбільших максимумів профілю, мкм; *Hi min* – відхилення п'яти найбільших мінімумів профілю, мкм; *hi min* – відстань від нижчих точок п'яти найбільших мінімумів до лінії паралельної середній і не пересікаючій профіль, мкм; *Rmax* – найбільша висота профілю, мкм; *yi* – відхилення профілю від лінії *m*, мкм; *P* – рівень профілю, мкм.

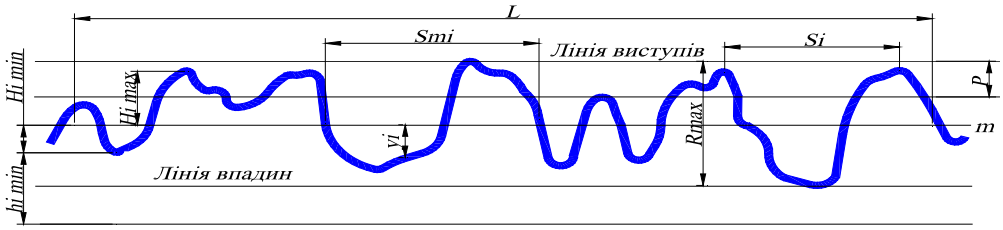


Рис. 1. Нормальний профіль і параметри шорсткості поверхні

Показник *Ra* – середнє арифметичне значення відхилення профілю, вимірюється у мкм та визначається за формулою [9]:

$$Ra = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} y_i \qquad (1)$$

де y_i – відхилення профілю від його середньої лінії *m*, мкм;

n – кількість вимірів.

Дослідженнями вчених лабораторії текстильної інженерії при університеті Монастір (Туніс) [6] доведено, що в якості числових характеристик шорсткості текстильних матеріалів доцільно використовувати показники *Ra* і *Rmax*.

Для оцінки профільних характеристик шорсткості поверхонь текстильних матеріалів можна використати багатонаправлений трибометр [10], оптичний багатонаправлений вимірювач шорсткості [11], так зване «вібруюче лезо» [12], а також, різноманітні безконтактні профілометри: TALYSURF CCI 6000 [13], Micro Measure 3D Station [14], MicroXAM-100 і MicroXAM-1200 [15] та інші. Названі пристрої дороговартісні і не завжди доступні в умовах виробництва.

Дослідження спрямовані на вимірювання та оцінку профільних характеристик шорсткості текстильних матеріалів за допомогою різних пристроїв представлені у роботах [6, 7].

Науковцями Південної Кореї запропоновано спосіб визначення шорсткості з використанням програмних продуктів для обробки сканованих зображень тканини [8]. Такий спосіб порівняно дешевий і не вимагає наявності додаткового обладнання як для досліджень в умовах лабораторії, так і у виробничих умовах.

Тому, можна стверджувати, що проблема розробки методики визначення показників шорсткості текстильних матеріалів безконтактним методом за допомогою спеціалізованих програмних продуктів обробки сканованих зображень тканини є актуальною.

Постановка мети та завдань дослідження

Мета дослідження: розробка методики визначення показників шорсткості текстильних матеріалів, що дозволить порівняти шорсткість матеріалів верху та підкладки для двобічних виробів.

Завдання дослідження:

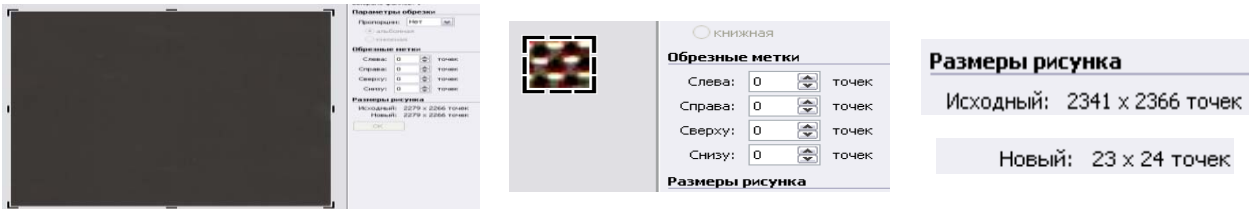
- обґрунтувати параметри для оцінки шорсткості поверхні текстильного матеріалу;
- розробити методику проведення вимірювань параметрів шорсткості підкладкових матеріалів.

Виклад основного матеріалу

Для безпосереднього дослідження параметрів шорсткості підкладкових тканин запропоновано використовувати середовище універсального графічного редактора тривимірної графіки Rhinoceros з метою перетворення плоского сканованого зображення поверхні тканини у тривимірну поверхню з наступним отриманням нормальних профільних перерізів у напрямі основи та піткання.

Зразки тканини підкладки розміром 10х10 см скановані із розширенням 600 *dpi* (рис. 2, а). Усі

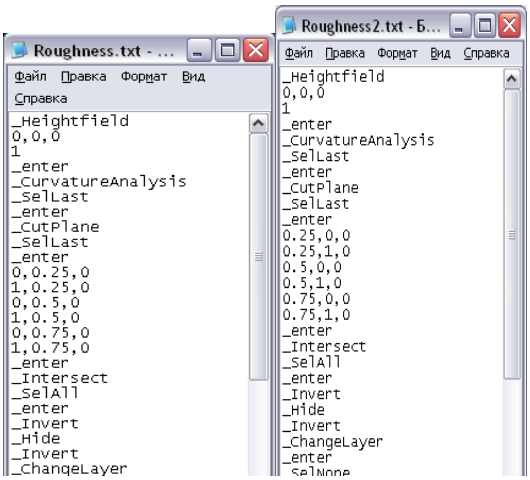
відібрані зразки виготовлені полотняним переплетенням, проте мають різний сировинний склад: 1 – із суміші капронових та триацетатних волокон; 2 – із віскозних волокон; 3 – із суміші віскозних волокон та нітрону. Отримані графічні файли потрібно обробити у будь-якому графічному редакторі для отримання зображення розміром 1х1 мм. Для цього спочатку виконується корегування розмірів зображення до реальної величини зразка (з точністю до 1 мм) (рис. 2, б). Фіксується кількість пікселів по горизонталі та вертикалі. Після цього виконується іще одне корегування розмірів. Точність корегування зразка до розміру 1 мм забезпечується контролем кількості пікселів початкового та кінцевого зображення (рис. 2, в).



а **б** **в**

Рис. 2. Обробка сканованих зображень тканини:
а) вихідне зображення; б) обрізане зображення; в) зміна розмірів рисунка (в пікселях)

Для подальшої роботи із отриманим зображенням розроблено спеціальний скрипт (рис. 3), який містить послідовний перелік окремих команд зі стандартного набору операторів графічного редактора Rhinoceros. Це дозволило внести до панелі інструментів Rhinoceros кнопку «Roughness» (шорсткість) (рис. 4), робота якої передбачає використання скрипту.



а **б**

Рис. 3. Текстові файли скриптів операції «Roughness»:
а) для лівої кнопки миші; б) для правої кнопки миші

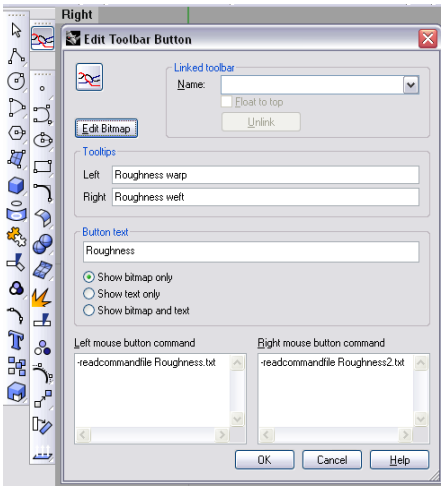


Рис. 4. Вікно налаштувань кнопки «Roughness»

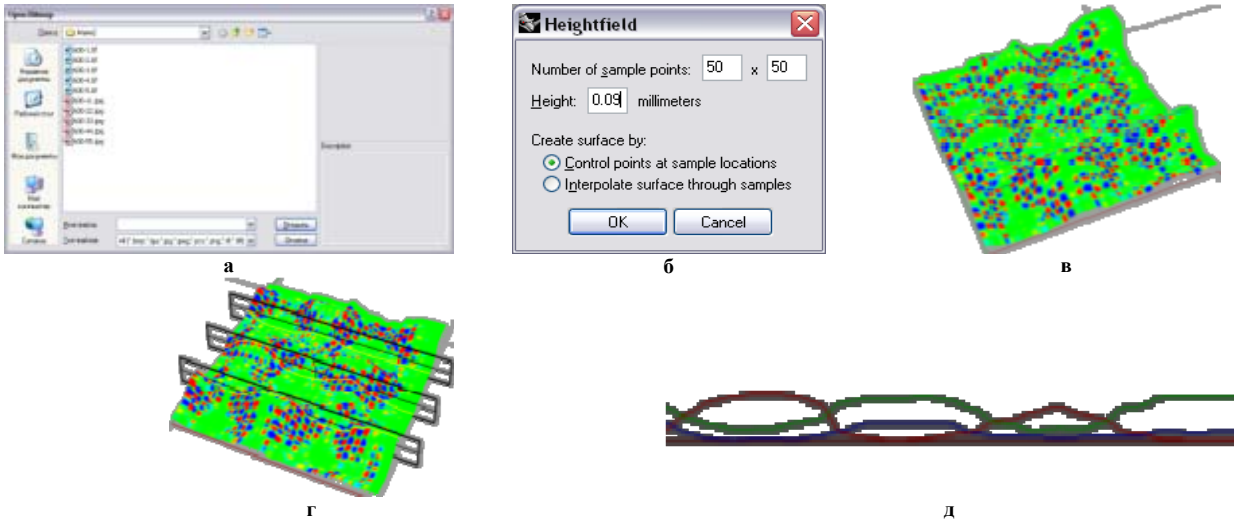
Отримання нормальних профілів текстильних матеріалів виконується у напівавтоматичному режимі: натискання лівої клавіші миші на новоствореній кнопці «Roughness» викликає наступну послідовність дій: завантаження попередньо обраного зображення в програму (рис. 5, а), введення товщини матеріалу (рис. 5, б), масштабування зображення до дійсної величини (1х1 мм), створення тривимірної поверхні (рис. 5, в), нанесення місця розміщення нормальних перерізів (в напрямку паралельному ниткам піткання) (рис. 5, г), безпосереднє отримання перерізів та блокування тимчасово неробочих перерізів (рис. 5, д). Натискання правої клавіші миші по цій же кнопці «Roughness» дозволяє виконати ті ж дії у напрямку ниток основи. Операторами вимірювань із ввімкненими прив'язками до точок полілініій вимірюють параметри шорсткості.

За результатами попереднього експерименту з використанням трьох зразків підкладкових тканин виміряно та розраховано середні значення параметрів *Ra* = 2,5 мкм, *Rz* = 7,75 мкм, *Rmax* = 7,4 мкм. За значеннями цих параметрів згідно рекомендацій ДСТУ 2409-94 [9] обрано відповідну їм базову довжину із рекомендованого ряду: *L* = 0,8 мм при *Ra* = 0,4 - 3,2 мкм, *Rz* = 1,6 - 12,5 мкм, *Rmax* = 1,6 - 12,5 мкм.

Тоді розмір вихідного зразка тканини (для сканування) доцільно змінити на 8х8 см для спрощення розрахунків кількості пікселів при обробці та масштабуванні зображення.

За виміряними значеннями показників розраховані значення *Ra* та *Rmax* для трьох зразків підкладкових тканин (табл. 1).

Для підтвердження можливості використання запропонованого способу для оцінки параметрів шорсткості використано метод цифрової фотограмметрії, який сьогодні широко використовується в легкій промисловості, наприклад, для аналізу структури тканини [16], візуалізації зміни товщини джинсових тканин та деніму [17], в процесах розпізнавання комп'ютерного зображення текстильних виробів [18].



а б в г д

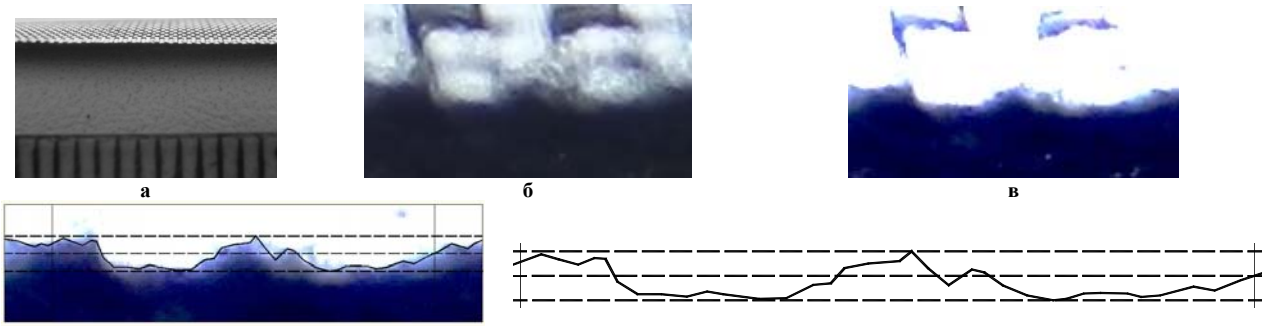
Рис. 5. Послідовність виконання операції «Roughness» у середовищі Rhinoceros
а) вибір файлу зі сканованим зображенням зразка; б) введення товщини тканини (в мм); в) створення тривимірної поверхні; г) нанесення місця розміщення нормальних профілів; д) отримання профілів та блокування тимчасово неробочих профілів

Таблиця 1

Результати попередніх експериментальних вимірювань параметрів шорсткості

Зразок	y_i, мкм									Ra, мкм	$Rmax$, мкм			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9		1	2	3	Середнє
по основі														
1	1,2	2,0	3,2	4,2	2,8	4,4	2,0	2,8	3,6	2,9	8,4	5,6	8,8	7,6
2	4,0	3,6	2,0	4,4	4,0	1,6	4,4	4,4	4,4	3,6	8,8	8,8	8,8	8,8
3	2,4	2,0	2,4	2,0	2,4	2,0	3,0	2,4	3,0	2,4	6,0	4,8	6,0	5,6
по пітканню														
1	1,6	1,6	3,2	4,4	2,8	4,0	3,2	2,8	3,2	2,9	8,8	5,6	8,0	7,4
2	4,4	0,8	3,2	4,0	3,6	3,2	4,8	4,4	4,4	3,6	9,6	8,8	8,8	9,1
3	1,6	0,8	1,2	1,6	1,6	2,0	2,0	2,0	2,0	1,6	4,0	4,0	4,0	4,0

По аналогії з методикою описаною в [17] зразок тканини укладено горизонтально на поверхню контрастного (білого кольору) із попередньо нанесеною шкалою масштабування (рис. 6, а). Ціна поділки – 1 мм. Фотографії виконано при денному освітленні без тіней за допомогою цифрового фотоапарата Olympus SZ-20 (16 Mpix) у режимі макрозйомки, що дозволяє отримувати високоякісні зображення із мінімальної відстані (фокусна відстань використаного фотоапарата 5 см). Отримане цифрове зображення обрізано за допомогою інструментів редактора перегляду та обробки зображень до величини в 1 мм (з використанням шкали масштабування) (рис. 6, б). При цьому обрано ділянку перерізу, що розміщена посередині зразка (тобто знаходиться у фокусі). Таким чином, забезпечено мінімізацію спотворення зображення, яке використовується для вимірювань.



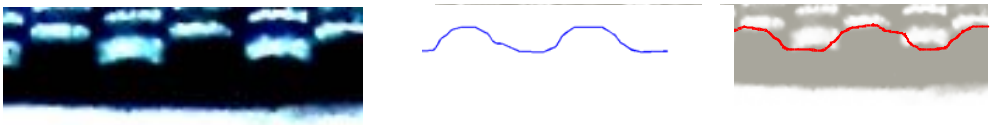
а б в г д

Рис. 6. Оцінка параметрів шорсткості текстильного матеріалу (зразок 1) за допомогою методу фотограмметрії:
а) фото зразка тканини; б) збільшене зображення перерізу довжиною 1 мм; в) регулювання параметрів яскравості та контрасту зображення; г) нанесення допоміжних ліній для вимірювання параметрів шорсткості;
д) умовне зображення нормального профілю зразка тканини (довжиною 0,8 мм)

Інструментами обробки зображень виконано регулювання яскравості та контрасту ділянки зображення (рис. 6, в) з метою отримання нормального профілю матеріалу. Оброблене таким чином растрове зображення перерізу тканини у середовищі графічного редактора векторної графіки AutoCAD масштабовано до реальних розмірів. За допомогою інструменту «Полілінія» нанесено допоміжні лінії для вимірювання параметрів шорсткості (рис. 6, г) на ділянці довжиною 0,8 мм (відповідно до рекомендацій

ДСТУ 2409-94 [9]).

Візуальна оцінка нормальних профілів, отриманих за допомогою кнопки «Roughness» при обробці сканованого зразка тканини у середовищі Rhinoceros, та цифрових фотозображень, отриманих за описаною послідовністю, підтверджує можливість використання запропонованого способу для оцінки параметрів шорсткості текстильного матеріалу (рис. 7).



а б

Рис. 7. Візуальна оцінка нормальних профілів зразка 2: а) фото; б) накладання нормальних профілів, отриманих за допомогою кнопки «Roughness», на фото перерізу

Результати вимірювання параметрів шорсткості зразків підкладкових тканин методом фотограмметрії та порівняння їх із даними, що отримані за допомогою кнопки «Roughness» при обробці сканованого зразка у середовищі Rhinoceros, представлені у таблиці 2.

Таблиця 2

Експериментальна перевірка

Зразок	Метод фотограмметрії												Розроблена методика		*ΔRa*		*ΔRmax*	
	y_i, мкм										*Ra*, мкм	*Rmax*, мкм	*Ra*, мкм	*Rmax*, мкм	мкм	%	мкм	%
1	3,95	1,03	3,72	2,97	3,40	2,83	1,81	3,34	3,47	3,23	2,98	7,90	2,90	7,60	0,08	3,0	0,3	4,0
2	5,40	2,83	4,54	2,90	4,11	2,14	4,41	3,03	2,30	4,54	3,60	9,10	3,62	8,80	0,02	1,0	0,3	3,0
3	1,24	1,60	2,81	2,97	2,97	1,94	2,39	2,39	2,43	2,50	2,30	5,90	2,40	5,60	0,10	3,0	0,3	5,0

Відповідно до даних табл. 2, похибка не перевищує гранично допустимої у легкій промисловості величини (5 %) [19], а отже розробленою методикою можна користуватись для встановлення параметрів шорсткості матеріалів підкладки та верху для подальшого порівняння їх між собою.

Висновки

Розроблена методика та скрипти для обробки сканованих зображень зразків тканини в середовищі Rhinoceros дозволяють визначити вибрані параметри шорсткості текстильних матеріалів у напівавтоматичному режимі.

Таким чином, створено передумови дослідження параметрів шорсткості матеріалів підкладки для формування рекомендованих їх характеристик та наступного порівняння із аналогічними параметрами тканин верху.

Література

1. Боднар Г. І. Встановлення вагомих властивостей підкладки для жіночого верхнього одягу [Електронний ресурс] / Г. І. Боднар, Т. Г. Шаран, О. В. Захаркевич // Ресурсозберігаючі технології легкої, текстильної і харчової промисловості : збірник тез доповідей Всеукраїнської науково-практичної Інтернет-конференції молодих вчених та студентів, 22–24 жовтня 2014 р. – Хмельницький : ХНУ, 2014. – С. 110–111. Режим доступу : https://docs.google.com/file/d/0B97g94GsgUwgSE5Zc0xhZVdPU0E/edit?pli=1

2. Бузов Б.А. Материалы для одежды : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Б. А. Бузов, Г. П. Румянцева. – М. : Издательский центр «Академия», 2010. – 160 с.

3. Флегонтов А. Н. Разработка методов оценки и прогнозирования тангенциального сопротивления льняных тканей : дис. … канд. техн. наук : 05.19.01 / Флегонтов Алексей Николаевич. – Кострома, 2014. – 131 с.

4. Vildan Sülar, Eren Öner, Ayşe Okur Roughness and Frictional Properties of Cotton and Polyester Woven Fabrics. Indian Journal of Fibre & Textile Research. 2013. Vol. 38. pp. 349-356.

5. Apurba Das, V. K. Kothari, Nagaraju Vandana A Study on Frictional Characteristics of Woven Fabrics. AUTEX Research Journal. 2005. Vol. 5. No 3. pp. 133-140.

6. Najeh Maвtoug, Sahnoun Mehdi, Sakli Faouzi Statistical Analysis of Surface Roughness Parameters for Weft Knitted Fabrics Measured by the Textile Surface Tester (TST). Journal of Engineered Fibers and Fabrics. 2012. Volume 7. – Issue 4. pp 104–112.

7. Brigita Kolcavova Sirkova. Description of Fabric Thickness and Roughness on the Basis of Fabric Structure Parameters. AUTEX Research Journal. 2012. Vol. 12. No 2. pp. 40-43.

8. Tae Jin Kang1, Soo Chang Kim, In Hwan Sul, Jae Ryoun Youn, Kwansoo Chung Fabric Surface Roughness Evaluation Using Wavelet-Fractal Method. Part I: Wrinkle, Smoothness and Seam Pucker. Textile Res. J. 2005. № 75 (11). pp. 751–760.

9. Вимірювання параметрів шорсткості. Терміни та визначення : ДСТУ 2409-94. – [Чинний від 1995-01-01]. – К. : Держспоживстандарт України, 1995. – 25 с. – (Національні стандарти України).

10. Bueno M. A., B. Lamy, M. Renner Effect of Grain Size and Abrasion Duration on the State of Textile Fabric Surfaces. Wear. 2002. vol. 253. pp. 448-457.

11. Bueno M. A., B. Durand, M. Renner A non-Contact Measurement of the Roughness of Textile Fabrics Techniques. Experimental Techniques. 2000. vol. 24. no. 2. pp. 23-27.

12. Fontaine S., C. Marsiquet, N. Nicoletti, M. Renner, M. A. Bueno Development of a Sensor for Surface State Measurements Using Experimental and Numerical Modal Analysis. Sensors and Actuators A. 2005.vol. 120. pp. 507–517.

13. Интерференционный микроскоп CCI [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.vniims.ru/nano/participation/cci.html

14. Томский политехнический университет – Трехмерный бесконтактный профилометр [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://portal.main.tpu.ru/departments/centre/cism/prib/measure-3d

15. Оптические профилометры MicroXAM – Оптические и стилусные профилометры – INTERTECH Corporation [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.intertech-corp.ru/aboutproduct.asp?gr=21&subgr=71&prid=195

16. Пат. 2131605 Российская Федерация, МПК: G01N33/36. Бесконтактный способ анализа структуры ткани / Лустгартен Н. В., Сокова Г. Г., Сергеев А. С. ; заявитель и патентообладатель Костромской государственный технологический университет. – № 98108331/12 ; заявл. 29.04.1998 ; опубл. 10.06.1999.

17. Білей-Рубан Н.В. Метод комп`ютерної візуалізації зміни товщини джинсових тканин та деніму у відповідності до "ефектних" обробок / Н. В. Білей-Рубан, Т. В. Облещук // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2009. – № 2. – С. 128–133.

18. Пат. 2151393 Российская Федерация, МПК: G01N33/36, D06H3/08, D03C19/00. Способ распознавания компьютерного изображения текстильных изделий / Сокова Г. Г., Магнитский Е. В., Лукоянов А. Л. ; заявитель и патентообладатель Костромской государственный технологический университет. – № 99111448/12 ; заявл. 27.05.1999 ; опубл. 20.06.2000.

19. Грушко И.М. Основы научных исследований / И. М. Грушко, В. М. Сиденко – 3-е изд. перер. и доп. – Харьков : Вища школа. изд-во при Харьк. ун-те, 1983. – 224 с.

References

1. Bodnar G. I., Sharan T. G., Zakharkevich O. V. Vstanovlennja vaghomykh vlastyvostej pidkladky dlja zhinochogho verkhnjogho odjaghu. Resursozberighajuchi tekhnologhiji leghkoji, tekstyljnoji i kharchovoji promyslovosti: zbirnyk tez dopovidej Vseukrajinsjkoji naukovo-praktychnoji Internet-konferenciji molodykh vchenykh ta studentiv, Khmelnitsky, 2014, pp. 110-111. Available from : https://docs.google.com/file/d/0B97g94GsgUwgSE5Zc0xhZVdPU0E/edit?pli=1

2. Buzov B. A., Rumyanceva H. P. Materialy dlya odezhdy : ucheb. posobie dlya stud. vyssh. ucheb. zavedenij. M., Izdatelskij centr «Akademiya», 2010, 160 p.

3. Flegontov A. N. Razrabotka metodov otsenki i prognozirovaniya tangentsialnogo soprotivleniya lnyanyih tkaney : dis… kand. tehn. nauk 05.19.01. Kostroma, 2014, 131 p.

4. Vildan Sülar, Eren Öner, Ayşe Okur. Roughness and Frictional Properties of Cotton and Polyester Woven Fabrics. Indian Journal of Fibre & Textile Research, 2013, Vol. 38, pp. 349-356.

5. Apurba Das, V. K. Kothari, Nagaraju Vandana. A Study on Frictional Characteristics of Woven Fabrics. AUTEX Research Journal, 2005, Vol. 5, No 3, pp. 133-140.

6. Najeh Mabtoug, Mehdi Sahnoun, Faouzi Sakli. Statistical Analysis of Surface Roughness Parameters for Weft Knitted Fabrics Measured by the Textile Surface Tester (TST). Journal of Engineered Fibers and Fabrics, 2012, Volume 7, Issue 4, pp. 104-112.

7. Brigita Kolcavova Sirkova. Description of Fabric Thickness and Roughness on the Basis of Fabric Structure Parameters. AUTEX Research Journal, 2012, Vol. 12, No 2, pp. 40-43.

8. Tae Jin Kang1, Soo Chang Kim, In Hwan Sul, Jae Ryoun Youn, Kwansoo Chung. Fabric Surface Roughness Evaluation Using Wavelet-Fractal Method. Part I: Wrinkle, Smoothness and Seam Pucker. Textile Res. J., 2005, № 75 (11), pp. 751–760.

9. Vymiriuvannia parametriv shorstkosti. Terminy ta vyznachennia : DSTU 2409-94, K. : Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 1995, 25 p.

10. Bueno M. A., Lamy B., Renner M. Effect of Grain Size and Abrasion Duration on the State of Textile Fabric Surfaces. Wear. 2002. Vol. 253. pp. 448-457.

11. Bueno M. A., Durand B., Renner M. A non-Contact Measurement of the Roughness of Textile Fabrics Techniques. Experimental Techniques. 2000, Vol. 24, No. 2, pp. 23-27.

12. Fontaine S., Marsiquet C., Nicoletti N., Renner M., Bueno M. A. Development of a Sensor for Surface State Measurements Using Experimental and Numerical Modal Analysis. Sensors and Actuators A, 2005, Vol. 120, pp. 507–517.

13. Interferecionny mikroskop CCI. (accesed 05.12.2014) Available from : http://www.vniims.ru/nano/participation/cci.html

14. Tomsky politekhnichesky universitet – Trekhmerny beskontaktny profilometr. (accesed 05.12.2014) Available from: http://portal.main.tpu.ru/departments/centre/cism/prib/measure-3d

15. Opticheskiye profilometry MicroXAM – Opticheskiye i stilusnye profilometry – INTERTECH Corporation. (accesed 05.12.2014) Available from: http://www.intertech-corp.ru/aboutproduct.asp?gr=21&subgr=71&prid=195

16. Lustgarten N. V., Sokova G. G., Sergeev A. S. Pat. 2131605 Rossiyskaya Federatsiya, MPK: G01N33/36. Beskontaktnyiy sposob analiza strukturyi tkani. Zayavitel i patentoobladatel Kostromskoy gosudarstvennyiy tehnologicheskiy universitet. № 98108331/12; zayavl. 29.04.1998; opubl. 10.06.1999.

17. Bilei-Ruban N.V. Metod komp`yuternoi vizualizatsii zminy tovshchyny dzhynsovykh tkanyn ta denimu u vidpovidnosti do "efektnykh" obrobok. Herald of Khmelnytsky National University. Technical science. Khmelnitsky. 2009. Issue 2. pp. 128-133.

18. Sokova G. G., Magnitskiy E. V., Lukoyanov A. L. Pat. 2151393 Rossiyskaya Federatsiya, MPK: G01N33/36, D06H3/08, D03C19/00. Sposob raspoznavaniya kompyuternogo izobrazheniya tekstilnyih izdeliy. Zayavitel i patentoobladatel Kostromskoy gosudarstvennyiy tehnologicheskiy universitet. № 99111448/12; zayavl. 27.05.1999; opubl. 20.06.2000.

19. Grushko I.M., Sidenko V. M. Osnovy nauchnykh issledovany, 3-e izd. perer. i dop., Kharkov : Vishcha shkola. izd-vo pri Khark. un-te, 1983, 224 p.

Рецензія/Peer review : 15.3.2015 р. Надрукована/Printed :7.4.2015 р.
Рецензент: д.т.н., проф. А.Л. Славінська

УДК 677.047.622.112.2

М.О. КУЩЕВСЬКИЙ, Ю.В. КОШЕВКО
Хмельницький національний університет

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ГІДРОВІДЦЕНТРОВОГО СПОСОБУ ФОРМУВАННЯ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

Розроблено фізичну модель процесу деформації тканин під час динамічних відцентрових навантажень. Отримана модель дає змогу більш глибоко вивчити процеси, що відбуваються під час деформацій текстильних матеріалів та теоретично вирахувати оптимальні умови формування тканин з різним сировинним складом та структурою.

Ключові слова: деформація, формування, текстильний матеріал, гідровідцентрове навантаження.

N.O KUSHCHEVSKYI, Y.V. KOSHEVKO
Khmelnytsky National University

THEORETICAL FOUNDATIONS OF HYDROCENTRIFUGAL DEFORMATION METHOD OF TEXTILE MATERIALS

Abstract - The article of research is a study of influence of the dynamic loadings on forming properties of textile materials. The purpose of work is development of physical model of process of deformation of fabrics at the dynamic loadings. In this work influence of the dynamic loading is studied in to liquid-active working environment which is created the appendix of force of batch-type. Such force causes the forced vibrations of the system, in particular to the load, which suspended to the body and creates the additional loading.

The scientific novelty of the got results consists in presented physical model of process of deformation of fabrics at the dynamic loading. The got model gives an opportunity in more depth to learn processes that take place at deformations of textile materials and in theory to calculate the optimal terms of deformation of fabrics with different raw material composition and structure.

Keywords: deformation, forming, textile material, dynamic loading.

Вступ

В умовах сучасного ринку актуальним стає питання створення альтернативних ресурсозберігаючих технологій виготовлення швейних виробів, в числі яких значне місце займають головні убори. Згідно статистичних даних імпорт таких виробів перевищує показники експорту. Серед причин такого стану випуску головних уборів є недостатнє використання наявних сировинних ресурсів, перш за все тканин, низький рівень технічного забезпечення виробництва, недосконалість технологій.

Одним із перспективних напрямків створення високоефективної технології виготовлення виробів складної об'ємної форми є застосування динамічних і хімічних методів впливу на структуру матеріалів, що піддаються деформації. Результати наукових досліджень у цій сфері, серед яких роботи [1–6] сприяли удосконаленню процесів формування і формозакріплення деталей одягу, в тому числі головних уборів.

Актуальним є створення технології отримання стійкої об'ємної форми деталей головних уборів з тканих матеріалів за рахунок одночасної комплексної дії гідровідцентрового навантаження і рідинно-активного робочого середовища (РАРС). Пошук найбільш ефективних способів формування та визначення їх впливу на властивості тканин в умовах динамічних навантажень дозволить вирішити питання отримання суцільно викроєних деталей головних уборів і суттєво розширити модельний ряд конкурентоздатної продукції, знизити трудомісткість та енергомісткість виготовлення виробів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

В роботах [1–4] обґрунтовано доцільність удосконалення гідровідцентрового способу формування, завдяки використанню у якості робочого середовища води, яка підсилює дію відцентрових сил, що діють на матеріал та виконує функцію другого формувального елемента. Даний спосіб вимагає теоретичного обґрунтування шляхом фізичного моделювання процесу, що досліджується.

Для вирішення поставленої задачі розроблено гідровідцентровий спосіб формування деталей швейних виробів за рахунок дії силового фактору і робочого середовища та експериментальну установку для його реалізації.

Процес формування деталей в рідині має дуже складний характер, є безперервним і заповнює простір в робочій камері та структурі матеріалу без пустот і проміжків. Внаслідок рідкого стану в ньому діють сили рівномірного розподілу по об'єму. Будь який об'єм рідини здатний довільно змінювати свою форму від будь-яких малих сил.

Особливості формування силового поля та характеру його розподілу на формувальному елементі з врахуванням структури тканини було досліджено в роботах [2, 3]. Отримані моделі ілюструють фізичну суть дії на тканину явища відцентрової сили в процесі формування.

Широко відома технологія формування складних деталей з фетру.

Останнім часом на кафедрі технології та конструювання швейних виробів Хмельницького національного університету активно ведеться робота по розробці гідро технології формування складних просторових форм-головок головних уборів із текстильних матеріалів. Створення складної просторової форми з тканих матеріалів є надто складним, адже таке формоутворення має відбуватися за рахунок максимального використання деформаційних властивостей текстильних матеріалів. Відповідно має бути розроблена технологія, яка дозволить реалізувати дану гіпотезу. Саме однією з таких є гідро технологія, основу якої складають різні способи формування на відміну від існуючих. Одним з таких способів є гідровідцентровий.

Формулювання мети статті

Метою роботи є розробка фізичної моделі процесу деформації тканин при гідровідцентровому навантаженні в рідинному робочому середовищі. Отримана модель дасть змогу вирішити поставлені завдання:

вивчити процеси, що відбуваються при деформаціях текстильних матеріалів та теоретично визначити оптимальні умови деформації тканин з різним сировинним складом та структурою. Процес розробки нових та удосконалення відомих способів формування деталей швейних виробів з текстильних матеріалів повинен ґрунтуватись на дійсному відображенні досліджуваного процесу, для чого використовують фізичні моделі, які дозволяють вивчити вплив окремих параметрів процесу, які при цьому відбуваються.

Виклад основного матеріалу досліджень

Розробка фізичної моделі процесу гідровідцентрового способу формування у воді полягає в аналізі дії прикладених до тканини формувальних зусиль, враховуючи особливості конфігурації поверхні формувального елемента. Отже необхідним є визначення моделі поведінки систем ниток тканини а також характеру розподілу формувальних зусиль по поверхні деталі головного убору при гідровідцентровому формуванні.

При обертанні барабану циліндричної форми навколо вертикальної вісі ОУ з кутовою швидкістю ω виникає відцентрова сила $F_в^{(l)}$, яка діє на кожну елементарну ділянку текстильного матеріалу δS деталі, розташованого на формувальному елементі, що закріплений на стінці барабана.

Відцентрова сила $F_в$ (Н) визначається за формулою [4]:

$$F_в = m_{(l)}\,\omega^2 \cdot R \tag{1}$$

де $m_{(l)}$ – маса окремої елементарної ділянки текстильного матеріалу деталі з урахуванням вологовмісту г/м^2;

ω^2 – кутова швидкість вала, що обертає барабан, на якому закріплений формувальний елемент та деталь, рад/с;

R – найменша відстань від осі обертання до даної елементарної ділянки матеріалу, м.

Оскільки робочим середовищем формування є вода, тому необхідним є визначення маси окремої елементарної ділянки матеріалу деталі з урахуванням вологовмісту за формулою:

$$m_{(l)} = M_s\, w \tag{2}$$

де M_s – поверхнева густина текстильного матеріалу, г/м^2;

w – коефіцієнт, який враховує вологовміст відформованої деталі.

Вологовміст w (%) текстильного матеріалу визначається [7] за формулою:

$$w = \frac{m_в - m_c}{m_c} \cdot 100 \tag{3}$$

де $m_в$ – маса деталі відразу після формування, г;

m_c – маса абсолютно сухої деталі, г.

Кутова швидкість вала при рівномірному обертанні знаходиться наступним чином [8–10]:

$$\omega = 2\pi \cdot n \tag{4}$$

де n – частота обертання (кількість обертів за 1 секунду), с$^{-1}$.

Підставивши в формулу (1) вираз (4), знайдемо:

$$F_в = 4m_{(l)}\,\pi n^2 \cdot R \tag{5}$$

В аспекті досліджень, важливе місце має інформація про сили, що діють на «грубу» структуру тканини під час дії відцентрових сил підсилений шаром води. Розглянемо дію формувальних зусиль, а саме відцентрової сили, а також взаємодію ниток основи та утоку текстильного матеріалу між собою та формувальною поверхнею [3]. На рис. 1 зображено ділянку опуклої поверхні формувального елементу з радіусом кривизни $r_ф$, на якому розміщено текстильний матеріал, у якому виділено систему ниток основи 1, 2, 3 та утоку 4. Переріз формувального елементу з матеріалом виконаний площиною, що перпендикулярна до осі обертання.

Виходячи з системи дії деформуючої сили $F_в$ в зоні розташування нитки основи 2 можливо визначити нормальну $F_в^н$ та тангенціальну $F_в^т$ складові:

$$F_в^н = F_в \cos\phi \tag{6}$$

$$F_в^т = F_в \sin\phi \tag{7}$$

$F_в$ – відцентрова сила; $F_в^н$ – нормальна складова відцентрової сили; $F_в^т$ – тангенціальна складова відцентрової сили; rф – радіус кривизни формувального елементу; 1,2,3 – нитки основи; 4 – нитка утоку; ω – кутова швидкість обертання; R – найменша відстань від осі обертання до елементарної ділянки матеріалу; l0 плече дії відцентрової сили на нитки основи, що визначається відстанню між нитками основи. Δl – деформація зсуву

Тригонометричні функції кута φ можливо визначити з геометричних співвідношень [8]:

$$\cos\phi = \frac{\sqrt{(r_ф \pm d_y \pm 0{,}5d_o)^2 - l_o^2}}{r_ф \pm d_y \pm 0{,}5d_o}$$

$$\sin\phi = \frac{l_o^2}{r_ф \pm d_y \pm 0{,}5d_o}$$

де d_o та d_y – діаметр ниток основи та утоку,

Нормальна складова відцентрової сили $F_в^н$ забезпечує часткову деформацію ниток по товщині, не змінюючи сітьового кута. На відміну від нормальної тангенційна складова $F_в^т$ спричиняє зсув основних ниток, у результаті чого змінюється величина сітьового кута між нитками основи та утоку.

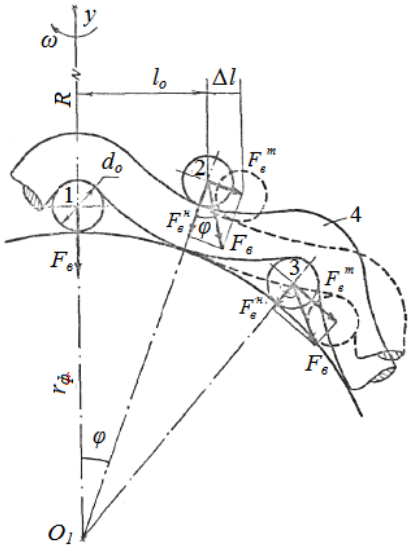
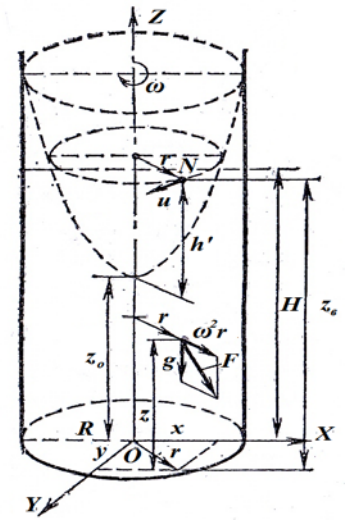


Рис. 1. Схема дії формувальних зусиль на механічну структуру текстильного матеріалу



***OXYZ* – система координат, в якій розміщена циліндрична ємність; *R* – радіус циліндричної ємності; *ω* – кутова швидкість обертання; *H* – рівень рідини у стані спокою; z_0 – вершина вільної поверхні рідини; $z_в$ – координата вільної поверхні рідини; *N* – довільна точка на вільній поверхні**

Рис. 2. Визначення вільної поверхні рідини, що обертається у відкритій циліндричній ємності

Величина деформації зсуву Δl значною мірою залежить від тангенційної складової відцентрової сили, фрикційних, а також фізико-механічних властивостей текстильного матеріалу. Зміна товщини тканини, а особливо її ворсової структури залежить від нормальної складової, а також пружних властивостей елементів текстильного матеріалу.

У зв'язку з тим, що поверхня формувального елемента має напівсферичну форму, відповідно кожна елементарна ділянка δS текстильного матеріалу знаходиться на різних відстанях R від осі обертання, тому величини формувальних сил змінюються по всій поверхні матеріалу. Найменша відцентрова сила буде зосереджена на найменш опуклій ділянці формувального елемента, а найбільша – при його основі.

Так як у барабані знаходиться рідина необхідно дослідити характер її дії на процес формування.

Оскільки барабан обертається з певною частотою, рідина, яка у ньому знаходиться, поступово набере ту ж саму кутову швидкість ω, що і барабан, при цьому вільна поверхня її видозміниться [10]. У центральній частині рівень рідини понизиться, а у стінок – підвищиться і вся вільна поверхня стане деякою поверхнею обертання (рисунок 2).

При розгляді руху рідини її розбивають як і тверді тіла на окремі малі елементи [5]. Для опису руху рідини виділено довільний рідкий об'єм τ, обмежений поверхнею S, і може бути записано рівнянням, що виражає закон кількості руху: похідна за часом кількості руху системи дорівнює сумі діючих на неї зовнішніх сил. Це рівняння є інтегральною формою рівняння руху рідини:

$$\int_\tau \rho \frac{d\overline{u}}{dt} d\tau = \int_\tau \rho \overline{F} d\tau + \int_S \overline{p}_n dS \,, \tag{8}$$

де $\int_\tau \rho \overline{F} d\tau$ – головний вектор масових сил, прикладених до об'єму рідини τ;

$\overline{u}$ – швидкість центра мас елемента $d\tau$;

$\int_\tau \rho \frac{d\overline{u}}{dt} d\tau$ – похідна кількості руху маси рідини в об'ємі τ із врахуванням умови збереження маси рідкого об'єму (головний вектор сил інерції);

$\int_S \overline{p}_n dS$ – головний вектор поверхневих сил, прикладених до об'єму τ, є величина від'ємна, оскільки вектор напруження поверхневих сил (гідродинамічного тиску) $\overline{p}_n$ направлений по внутрішній нормалі до поверхні S, яка обмежує об'єм τ, $\overline{p}_n = -p\,\overline{n}$.

Користуючись формулами векторного аналізу, одержимо диференціальні рівняння руху рідини

$$\rho \overline{F} + \frac{\partial \overline{p}_x}{\partial x} + \frac{\partial \overline{p}_y}{\partial y} + \frac{\partial \overline{p}_z}{\partial z} = \rho \frac{d\overline{u}}{dt} \,. \tag{9}$$

Це рівняння є векторною формою рівняння руху рідини в напруженнях, яке еквівалентне трьом рівнянням в проекціях на координатні осі x, y, z, і мають вигляд

$$F_x+\frac{1}{\rho}\left(\frac{\partial p_{xx}}{\partial x}+\frac{\partial p_{yx}}{\partial y}+\frac{\partial p_{zx}}{\partial z}\right)=\frac{du_x}{dt};$$
$$F_y+\frac{1}{\rho}\left(\frac{\partial p_{xy}}{\partial x}+\frac{\partial p_{yy}}{\partial y}+\frac{\partial p_{zy}}{\partial z}\right)=\frac{du_y}{dt};\qquad(10)$$
$$F_z+\frac{1}{\rho}\left(\frac{\partial p_{xz}}{\partial x}+\frac{\partial p_{yz}}{\partial y}+\frac{\partial p_{zz}}{\partial z}\right)=\frac{du_z}{dt}.$$

Розглянемо рідину, що рухається з прискоренням відносно системи координат, жорстко зв'язаної з Землею, (в стані відносного спокою). Рідина нерухома відносно стінок ємності, в якій вона міститься, і швидкості взаємного переміщення її частинок дорівнюють нулю тобто $u_x=u_y=u_z=0$. В рідині що знаходиться в стані спокою дотичні напруження в кожній точці дорівнюють нулю, а нормальні зводяться до гідродинамічного тиску p, тобто

$$p_{xy}=p_{yx}=p_{yz}=p_{zy}=p_{xz}=p_{zx}=0 \qquad \text{і} \qquad p=-p_{xx}=-p_{yy}=-p_{zz}.$$

Враховуючи ці умови з системи (10) одержимо диференціальні рівняння рівноваги рідини за формулою Ейлера [9, 10]:

$$F_x-\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial x}=0;$$
$$F_y-\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial y}=0;\qquad(11)$$
$$F_z-\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial z}=0.$$

Рівняння (11) виражають умови рівності нулю суми проекцій на осі координат масових і поверхневих сил, що діють на одиницю маси рідини. Ці рівняння справедливі для рідин, що знаходяться в стані спокою відносно стінок ємності, в якій вони містяться, незалежно від того, чи знаходиться в стані спокою чи рухається відносно Землі сама ємність.

Рідина, яка обертається разом із циліндричною ємністю відносно неї, буде знаходитись у стані спокою.

На частинку рідини при обертанні в даному випадку будуть діяти дві масові сили: сила тяжіння та відцентрова сила, які відносяться до одиниці маси та відповідно дорівнюють g та $\omega^2 r$ (рисунок 2). Рівнодійна сила маси F збільшується зі збільшенням радіуса, за рахунок другої складової, а кут нахилу її до горизонту зменшується. Дана сила нормальна до вільної поверхні рідини.

Прийнявши вісь циліндричної ємності за вісь Oz і взявши початок координат на площині дна, проекції відцентрової сили, віднесені до одиниці маси рідини, на осі x, y і z відповідно дорівнюватимуть:

$$F_x=\omega^2 r\cos(r,x);\ F_y=\omega^2 r\cos(r,y);\ F_z=0.$$

Оскільки косинус кута між напрямком радіуса обертання і віссю x: $\cos(r,x)=\frac{x}{r}$, а для осі y – відповідно $\cos(r,y)=\frac{y}{r}$, то

$$\left.\begin{aligned}F_x &= \frac{\omega^2 rx}{r} = \omega^2 x\\ F_y &= \frac{\omega^2 ry}{r} = \omega^2 y\\ F_z &= 0\end{aligned}\right\}.\qquad(12)$$

Проекція сили тяжіння на вісь z дорівнює $-g$. Отже, проекції всіх об'ємних сил, віднесені до одиниці маси, будуть подані такою системою рівнянь:

$$\left.\begin{aligned}X &= \omega^2 x\\ Y &= \omega^2 y\\ Z &= -g\end{aligned}\right\}.\qquad(13)$$

Виведемо рівняння вільної поверхні рідини, яка утворюється при обертанні, використовуючи рівняння поверхні рівного тиску [8]:

$$Fxdx+Fydy+Fzdz=0\qquad(14)$$

та підставивши в нього вирази для Fx, Fy, ma Fz, знайдемо

$$\omega^2 xdx+\omega^2 ydy-gdz=0\qquad(15)$$

Після інтегрування отримаємо:

$$\frac{\omega^2}{2}=(x^2+y^2)-gz=C\qquad(16)$$

або, оскільки $(x^2 + y^2) = r^2$,

$$\frac{\omega^2 r^2}{2} - gz = C \tag{17}$$

де g – прискорення вільного падіння, $g = 9{,}81$ м/с^2

З формули (17) видно, що поверхні рівного тиску в даному випадку являються сімейством конгруентних параболоїдів обертання з вертикальною віссю. Різним значенням постійної С відповідають різні параболоїди рівного тиску.

Отже, вільна поверхня рідини також є поверхнею рівного тиску, у всіх точках якої тиск рівний зовнішньому тиску p_0.

Знайдемо значення довільної постійної С для параболоїда вільної поверхні рідини. Підставивши координати вершини параболоїда $x=0$, $y=0$, $z_в = z_0$ в рівняння (17) отримаємо: $C_0 = -gz_0$

Отже, рівняння вільної поверхні рідини має наступний вигляд:

$$z_в - z_0 = \frac{\omega^2}{2g}(x^2 + y^2) \tag{18}$$

або

$$z_в - z_0 = \frac{\omega^2 r^2}{2g} \tag{19}$$

Висота, на яку піднята над вершиною параболоїда точка вільної поверхні рідини (довільної точки N), рівна:

$$h' = z_в - z_0 = \frac{\omega^2 r^2}{2g} \tag{20}$$

Ордината z_0 вершини параболоїда вільної поверхні при заданій кутовій швидкості залежить від об'єму рідини в ємності. Якщо до обертання ємності рівень рідини був горизонтальним та встановлювався на висоті H, то об'єм рідини дорівнював $\pi R^2 H$. При обертанні барабану вільна поверхня стає параболічною, форма об'єму рідини зміниться, а його значення при густині $\rho = const$ залишається незмінною:

$$\int_0^R (z_0 + \frac{\omega^2 r^2}{2g}) 2\pi r dr = \pi R^2 H \tag{21}$$

Після інтегрування отримаємо:

$$H = z_0 + \frac{\omega^2 R^2}{4g} \tag{22}$$

або

$$z_0 = H - \frac{\omega^2 R^2}{4g} \tag{23}$$

Якщо припустити, що $z_0 = 0$, можливо знайти кутову швидкість ω, при якій вільна поверхня рідини торкнеться дна барабану.

$$\omega = 2\frac{\sqrt{gH}}{R} \tag{24}$$

Підставимо отримані дані (20) в рівняння рівноваги нестисненої рідини з густиною ρ, яке є наслідком перетворень рівнянь руху рідини Ейлера (11),

$$dp = \rho \cdot (Xdx + Ydy + Zdz),$$

де p – гідростатичний тиск, $dp = \frac{\partial p}{\partial x}dx + \frac{\partial p}{\partial y}dy + \frac{\partial p}{\partial z}dz$.

Тоді

$$dp = \rho \cdot (\omega^2 x dx + \omega^2 y dy - g dz). \tag{25}$$

Після інтегрування рівняння (25) одержимо

$$p = \rho(\frac{1}{2}\omega^2 r^2 - gz) + C_1. \tag{26}$$

Підставивши в рівняння (26) координати вершини параболоїда вільної поверхні рідини $r=0$, $z=z_0$ і тиск $p=p_{am}$, знайдемо C_1.

$$C_1 = p_{am} - \rho(-gz_0) = p_{am} + \rho g z_0$$

Підставивши знайдене значення C_1 в (26), отримаємо:

$$p = p_{am} + \rho g(z_0 - z) + \frac{\rho\omega^2 r^2}{2} = p_{am} + \rho g(z_0 - z) + \frac{\omega^2 r^2}{2g} \tag{27}$$

Так як згідно з (20)

$$h' = \frac{\omega^2 r^2}{2g}$$

для довільної точки можливо використати (27) у вигляді:

$$p = p_{am} + \rho g \rho (z_0 - z + h')$$

або

$$p = p_{am} + \rho g h_з \quad (28)$$

де $h_з$ – глибина занурення точки під вільною поверхнею, тобто виміряна по вертикалі відстань від параболічної поверхні до точки, яка розглядається;

p_{am} – атмосферний тиск, p_{am} = 101325 Па;

ρ – густина рідини (води), ρ =1000 кг/м^3.

Таким чином в рідині, яка знаходиться в циліндричній ємності, що обертається, тиск по вертикалі розподіляється по гідростатичному закону. Величина за законом Паскаля p_{am} є однаковою в усіх точках об'єму рідини, тому враховуючи властивість гідростатичного тиску, можливо стверджувати, що тиск, який прикладений до вільної поверхні рідини, передається всім точкам цієї рідини у всіх напрямках однаково.

Отже, фізична суть гідровідцентрового способу формування з використанням РАРС у якості робочого середовища полягає у подвійній дії на текстильний матеріал, що закріплений на формувальному елементі відцентровими силами, та круговими потоками рідини, які зволожують матеріал та створюють додаткове формувальне зусилля у вигляді гідростатичного тиску.

Висновок. Розроблено фізичну модель процесу деформації тканин при гідровідцентрових навантаженнях. Отримана модель дає змогу більш глибоко вивчити процеси, що відбуваються при деформаціях текстильних матеріалів та теоретично визначити оптимальні умови деформації тканин з різним сировинним складом та структурою.

Література

1. Березненко М.П. Разработка энергосберегающей технологии и повышения уровня качества швейных изделий на операциях влажно-тепловой обработки : дис. … д-ра техн. наук : 05.19.04 / Березненко Микола Петрович. – М., 1986. – 394 с.
2. Березненко С.М. Основи теорії ресурсозберігаючих технологічних процесів формування та формозакріплення деталей швейних виробів з врахуванням анізотропії текстильних матеріалів : дис. … д-ра техн. наук : 05.19.04 / Березненко Сергій Миколайович – К., 2002. – 372 с.
3. Рогова А.П. Изготовление одежды повышенной формоустойчивости / А.П. Рогова, А.И. Табакова. – М. : Легкая индустрия, 1979. – 184 с.
4. Кущевський М.О. Новітні технології виготовлення головних уборів з тканин : монографія / М. О. Кущевський. – Хмельницький : ХНУ, 2012. – 198 с.
5. Мирзоев Т.Г. Создание малооперационной технологии формования деталей одежды с интенсивным гигротермическим воздействиям на материал : автореф. дис. на соискание науч. степени к. т. н. : 05.19.04 / Т.Г. Мирзоєв. – К.,1993. – 24 с.
6. Пашаев Н.П. Оптимизация технологических процессов производства одежды по критериям качества и энергозатрат : дис. … канд. техн. наук : 05.19.04. / Н.П. Пашаєв. – К., 1988. – 234 с.
7. Бузов Б.А. Материаловедение швейного производства : учебник для высш. учеб. заведений легкой пром-сти / Б.А. Бузов, Т.А. Модестова, Н.Д. Алыменкова. – М. : Легпромбытиздат, 1986. – 424 с.
8. Кучерук І.М., Загальний курс фізики / І.М. Кучерук, І.Т. Горбачук, П.П. Луцик. – К. : «Техніка», 1999. – 536 с.
9. Башта Т.М. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы / Т.М. Башта, С.С. Рудиев, Б.Б. Некрасов. – М. : Машиностроение, 1982. – 424 с.
10. Штеренлихт Д.В. Гидравлика / Д.В. Штеренлихт. – М. : Энергоатомиздат, 1984. – 640 с.

References

1. Bereznenko M.P. Razrabotka enerhosberehayushchey tekhnolohyy i povushenyya urovnya kachestva shveynukh izdelyy na operatsyyakh vlazhno-teplovoy obrabotky : dys. … d-ra tekhn. nauk : 05.19.04 / Bereznenko Mykola Petrovych. – M., 1986. – 394 s.
2. Bereznenko S.M. Osnovy teoriyi resursozberihayuchykh tekhnolohichnykh protsesiv formuvannya ta formozakriplennya detaley shveynykh vyrobiv z vrakhuvannyam anizotropiyi tekstylnykh materialiv : dys. … d-ra tekhn. nauk : 05.19.04 / Bereznenko Serhiy Mykolayovych – K., 2002. – 372 s.
3. Rohova A.P. Yz·hotovlenye odezhdы povыshennoy formoustoychyvosty / A.P. Rohova, A.Y. Tabakova. – M. : Lehkaya yndustryya, 1979. – 184 s.
4. Novitni tekhnolohiyi vyhotovlennya holovnykh uboriv z tkanyn : monohrafiya / M. O. kushchevs'kyy. – Khmel'nyts'kyy : KhNU, 2012. – 198s.
5. Murzoev T.G. Sozdanie malooperacionnoy tekhnologii formovaniya details odezhdy s intensivnym gigrotermicheskim vozdeystviyam na material. Atoref. Dis. .k. t. n: 05.19.04. 1993.-24 s.
6. Pashaev N.P. Optimizaciya tekhnologicheskikh processov proizvodstva odezhdy po kriteriyam kachestva I: Dis. .kand. tekhn. sciences: 05.19.04. is K., 1988. – 234 s.
7. Byzov B.A. Materealovedinee shveynogo proizvodstva: Ychebnik dla vushux ychebnux zavideniy legkoy promushlenosti / B. A. Byzov – M. Legprombutizdat. 1986 – 424c.
8. Kucheruk I.m., Gorbachuk I.t., Lucik P.P. the Zagalnuy kyrs fizuku K: «Tekhnika»1999r. 536s.
9. Bashta t.m. Gidravlika, gidromashiny i gidroprivody / Bashta t.m., Rudiev S.S., Nekrasov B.B. – M. : Mashinostroenie, 1982. – 424 s.
10. ShterenlikhT D.v. Gidravlika – M.: Energoatomizdat 1984. – 640 s.

Рецензія/Peer review : 15.3.2015 р. Надрукована/Printed :7.4.2015 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Славінська А.Л.

УДК 658.821:677.017

І.С. ГАЛИК, Б.Д. СЕМАК
Львівська комерційна академія

ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ КОНКУРЕНТОСПРОМОЖНОСТІ ВІТЧИЗНЯНОГО ТЕКСТИЛЮ НА РИНКАХ

Стаття присвячена проблемі оцінки конкурентоспроможності текстильних матеріалів і виробів. Вивчені основні чинники, які визначають конкурентоспроможність одягових текстильних матеріалів і одягу. Використано функцію бажаності як один із об'єктивних критеріїв оцінки конкурентоспроможності текстильних одягових матеріалів.

Ключові слова: конкурентоспроможність продукції, текстильні матеріали і вироби, показник конкурентоспроможності, комплексний показник якості.

I.S. GALYK, B.D. SEMAK
Lviv Academy of Commerce

WAYS OF INCREASE OF DOMESTIC TEXTILE COMPETITIVENESS ON MARKETS

Abstract – Entering of Ukraine to WTO, Agreement about an association with the EU, preparation to the entry the EU require the full increase of products competitiveness of textile and light industry. On the basis of analysis of literary data and results of own researches it is necessary to discover and ground basic factors which determine the competitiveness of textile materials and clothes. Fabrics shirt, clothes-shirt and cloak setting were taken as the objects of researches. The methods of analytical and expert analysis of the systems have been used, and also methods of properties determination (research) of fabrics have been standardized. Basic criteria which form the complex (integral) index of competitiveness have been founded out during researches. The experimental researches results of competitiveness estimation of technical component with the use of desirability function are shown. The possibility of the use of complex index of the quality for the evaluation of competitiveness level of textile materials, worked out on the basis of desirability function have been shown.

Keywords: competitiveness of products, textile materials, index of competitiveness, complex index of quality.

Вступ

Вступ України до СОТ, Угода про асоціацію з ЄС, підготовка до вступу в ЄС вимагають не тільки суттєвого підвищення експортного потенціалу підприємств вітчизняної текстильної і легкої промисловості, але й передусім корінного підвищення конкурентоспроможності продукції підприємств цих галузей, яка поставляється на ринки. Все це вимагає детального вивчення чинників, які визначають конкурентоспроможність названої продукції на вітчизняному та зарубіжних ринках.

Постановка проблеми

Судячи з інформації в тлумачному словнику «Текстильні матеріали та вироби» [1], конкурентоспроможність – це найважливіша комплексна ринкова характеристика текстильного, як і будь-якого іншого товару, яка свідчить про його здатність бути проданим на конкретному ринку в певні терміни за наявності аналогічних товарів конкурентів.

Як відомо, конкурентоспроможність текстильного матеріалу чи виробу, як і любого іншого товару, – це відносне комплексне багатоаспектне поняття, що характеризує рівень його відповідності умовам ринку і конкретним вимогам споживачів не тільки за технічними, ціновими, естетичними, екологічними характеристиками, але й умовами їх реалізації на ринку (терміни постачання, канали збуту, сервіс, реклама та ін.). Окрім цього, до складу конкурентоспроможності названих товарів входять ще й затрати споживачів за доглядом за цими товарами в умовах їх експлуатації.

Слід підкреслити при цьому, що конкурентоспроможність конкретних видів текстильних матеріалів чи одягу з них на ринку можна визначити шляхом порівняння їх властивостей з властивостями товарів-аналогів. Причому кожний вид текстильного матеріалу чи фасон готового виробу визначається своїми критеріями. Більше того, критеріями для оцінювання конкурентоспроможності названих товарів можуть служити ті їх характеристики, які мають пряме відношення до задоволення конкретних потреб споживача в цих товарах [2, 3].

Конкурентоспроможність любого виду товару, як відомо, може оцінюватись різними типами суб'єктів – споживачами, виробниками, інвесторами, державою. При цьому споживачі оцінюють конкурентоспроможність товару з точки зору своїх потреб і повноти їх задоволення, виробники цих товарів її оцінюють з точки зору отримання суми прибутків від їх реалізації, інвестори при цьому оцінюють ефективність своїх вкладів у виробництво цих товарів, а держава оцінює конкурентоспроможність товару з точки зору оцінки рівня їх затребування та соціальної значимості.

Конкурентоспроможність товару може оцінюватись різноманітними методами (диференціальними, комплексними, змішаними) та з використанням різноманітних критеріїв (одиничних, групових, комплексних, узагальнених), а також безпосередньо споживачем цього товару на ринку [2, 3]. Разом з тим, оцінювання конкурентоспроможності товару споживачем безпосередньо на ринку не може бути повним і об'єктивним через недостатню його обізнаність із властивостями конкретного товару. Тому невипадково в практиці маркетингових і товарознавчих досліджень конкурентоспроможності товарів в основному користуються традиційними експертними методами.

Конкурентоспроможність любого виду товару на ринку – це його комплексна характеристика, яка

оцінюється споживачем цього товару одночасно за допомогою як технічних, так і економічних критеріїв. При цьому при визначенні споживачем на ринку, наприклад, рівня конкурентоспроможності вовняної пальтової тканини чи пошитого жіночого зимового пальто з неї як основні технічні критерії для оцінки цієї характеристики можуть служити:

- рівень якості та екологічної безпечності цих товарів;
- рівень художньо-естетичного оформлення тканини верху та оригінальності фасону цього пальто;
- відповідність вимогам сучасної моди як тканини верху, так і обраного фасону пальто;
- оригінальність фасону та відповідність вимогам моди хутряного коміра;
- оригінальність використаної фурнітури та інших оздоблень;
- рівень престижності та елітності на даному ринку, наявність чи відсутність аналогів.

Автором роботи [4] запропонована загальна схема оцінювання конкурентоспроможності продукції промислового підприємства, яка певною мірою, на нашу думку, може бути придатною і для оцінювання конкурентоспроможності вітчизняних товарів текстильної і легкої промисловості. Ця схема включає такі основні блоки:

- вивчення вітчизняного ринку (стан і загальна характеристика ринку);
- збір даних про конкурентів аналізованого ринку;
- попит потенційних споживачів товарів даного ринку;
- формування вимог до асортименту та якості товару, який підлягає оцінюванню конкурентоспроможності;
- оцінка вартості товару, оцінка ємності ринку та перспектив збуту товару;
- визначення цілей аналізу конкурентоспроможності товару;
- визначення переліку параметрів, необхідних для оцінки конкурентоспроможності товару;
- аналіз необхідної нормативної документації;
- визначення групового показника конкурентоспроможності товару за технічними параметрами;
- визначення групового показника конкурентоспроможності товару за економічними параметрами;
- розрахунок інтегрального показника товару;
- розрахунок конкурентоспроможності товару;
- формулювання заходів з метою підвищення конкурентоспроможності товару і оптимізації витрат.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Однією із основних причин тривалої кризи, яка нині спостерігається у вітчизняній текстильній і легкій промисловості, є низький рівень конкурентоспроможності їх продукції. Це, в свою чергу, обумовлено низкою причин. Назвемо основні з них:

- відсутність багатьох видів власної текстильної сировини та порівняно невисока її якість (це стосується передусім бавовни, вовни, деяких видів хімічних волокон, окремих класів синтетичних барвників та ін.);
- значна зношеність технологічного обладнання багатьох підприємств текстильної і легкої промисловості і відсутність коштів для його оновлення;
- низька платоспроможність населення.

У зв'язку з цим, пошук шляхів підвищення конкурентоспроможності товарів вітчизняної текстильної і легкої промисловості слід вважати одним із ефективних шляхів виходу цих галузей із затяжної кризи. Цим і слід пояснити появу в останні роки в періодичних виданнях значної кількості публікацій, присвячених пошуку шляхів підвищення конкурентоспроможності товарів текстильної і легкої промисловості та вдосконалення методів її оцінювання. Зупинимось на більш детальному аналізі деяких з них [5–8].

Автором роботи [5] на основі аналізу відомої "піраміди потреб" обґрунтована номенклатура критеріїв оцінювання конкурентоспроможності товару. Для цього він рекомендує, крім інтегрального показника якості, використовувати наступні критерії оцінки конкурентоспроможності товару – його привабливість, безпечність, новизну, оригінальність, соціальну адресність, інформованість. При цьому формування і класифікація критеріїв оцінки конкурентоспроможності товару повинні базуватись на таких трьох оцінках: вид задовольняємих потреб, призначення товару та кількість врахованих характеристик.

Автор роботи [6] розглядає якість нетканих текстильних матеріалів меблевого призначення як основу підвищення конкурентоспроможності вітчизняної меблевої продукції на вітчизняному та зарубіжному ринках. В роботі дана оцінка конкурентоспроможності перспективного асортименту нетканих матеріалів для оббивки меблів. Сформульовані вимоги до механічних і естетичних властивостей цих матеріалів. Розглянуто сучасні технології виробництва конкурентоспроможних видів нетканих матеріалів для потреб меблевої промисловості України.

Автором роботи [7] запропонована методика для кількісної оцінки конкурентоспроможності на прикладі тканин меблевого призначення. Особливість цієї методики полягає в тому, що вона враховує різноманітні вимоги споживачів меблевих товарів залежно від їх прибутків. Це, в свою чергу, дозволяє

регулювати конкурентоспроможність і ціни на дану продукцію. При цьому відповідно зростає для них і значимість якості продукції. Це дозволило визначити найбільш конкурентоспроможні види тканин для різних сегментів ринку.

Автором роботи [8] розглянуто шляхи підвищення конкурентоспроможності бавовняних текстильних матеріалів вітчизняного виробництва. Для досягнення цієї мети автор рекомендує застосування сучасних ресурсо- і енергозберігаючих технологій в обробному текстильному виробництві, а також використання більш ефективних обробних препаратів (барвників, апретів, текстильно-допоміжних сполук).

Мета роботи – на основі аналізу літературних даних і узагальнення результатів власних досліджень виявити та обґрунтувати ті ключові чинники, які визначають конкурентоспроможність одягових текстильних матеріалів і одягу на ринках.

Викладення основного матеріалу та його авторська трактовка

Як відомо, згідно з ДСТУ 3993-2000 "Товарознавство. Терміни та визначення" термін конкурентоспроможність товару відноситься до об’єкту товарознавства. Однак, в даному стандарті дається тільки визначення цієї характеристики товару замість класифікації та характеристики критеріїв її оцінювання, враховуючи популярність і поширення цієї характеристики на ринку. Тому, на нашу думку, в ДСТУ 3993-93 слід дати більш повну характеристику поняття "конкурентоспроможність товару".

Стосовно понять конкурентоспроможність текстильних матеріалів чи виробів, то ці поняття слід конкретизувати у відповідних стандартах, наприклад:

- ДСТУ 2201-93 Полотна текстильні. Види. Дефекти. Терміни та визначення;
- ДСТУ 3047-95 Тканини та вироби ткані поштучні. Класифікація та номенклатура показників якості;
- ДСТУ 3045-95 Полотна і вироби трикотажні, хутро штучне трикотажне. Класифікація та номенклатура показників якості.

Не дивлячись на те, що для визначення конкурентоспроможності товару в основному (до 70–80%) використовуються технічні (товарознавчі) критерії, а саме це поняття регламентується ДСТУ 3993-2000 як об’єкт товарознавства, автори деяких економічних періодичних видань [2–4] безпідставно відносять термін "конкурентоспроможність товару" до економічної категорії (комерційний чи маркетинговий показник), що вносить певну плутанину в характеристику цієї категорії.

Однак, на наш погляд, в нинішніх умовах, враховуючи ситуацію на вітчизняному та зарубіжному ринках продукції текстильної і легкої промисловості, виникає потреба не тільки в обґрунтованому товарознавчому визначенні поняття конкурентоспроможність товару, але й проведенні поглиблених комплексних досліджень конкурентоспроможності цих товарів, включаючи і розроблення більш досконалих методів її оцінювання у сфері виробництва та торгівлі.

Тепер зупинимось на більш детальному розгляді теоретико-методологічних засад формування та оцінювання конкурентоспроможності товарів вітчизняної текстильної і легкої промисловості, акцентуючи основну увагу на сучасній товарознавчій трактовці піднятих питань. При цьому досліджені об’єкти служили різні за способами виробництва, призначенням, будовою та обробкою текстильні матеріали і вироби, над оптимізацією асортименту, дослідженням властивостей, оцінкою якості, екологічною безпечністю та конкурентоспроможністю яких автори працюють тривалий час [9–12].

Спочатку на прикладі одягових текстильних матеріалів і одягу з них розглянемо загальну схему формування та оцінювання їх конкурентоспроможності, використовуючи для цього загальноприйняті підходи [4, 5] (рис. 1).

Розглядаючи наведену на рис. 1 схему формування та оцінювання конкурентоспроможності вітчизняного одягу, перш за все слід коротко зупинитись на особливостях вибору критеріїв її оцінювання для одягу різного цільового призначення, способів виробництва, умов експлуатації, вибору матеріалів верху, сезону та інших ознак.

Разом з тим, незалежно від виду одягу, його призначення та способу виробництва, загальновизнаними технічними критеріями оцінки його конкурентоспроможності, окрім рівня якості, гігієнічності та екологічної безпечності, завжди вважались: оригінальність волокнистого складу, будова та художньо-естетичне оформлення матеріалу верху, привабливість, оригінальність і відповідність моді фасону цього одягу. Серед економічних критеріїв оцінки конкурентоспроможності одягу, як правило, використовуються цінові показники та показники собівартості його виготовлення. Окрім цього, для окремих видів одягу критеріями його конкурентоспроможності, окрім названих, можуть служити такі показники якості текстильних матеріалів і виробів: довговічності пофарбувань і стійкості їх білості (для вибілених матеріалів), величини і стійкості ефектів формостійкості, біостійкості, водоопірності, вогнетривкості та інших [9, 10].

Наведемо деякі приклади розрахунку конкурентоспроможності текстильних одягових матеріалів різного цільового призначення за результатами наших досліджень [9–12].

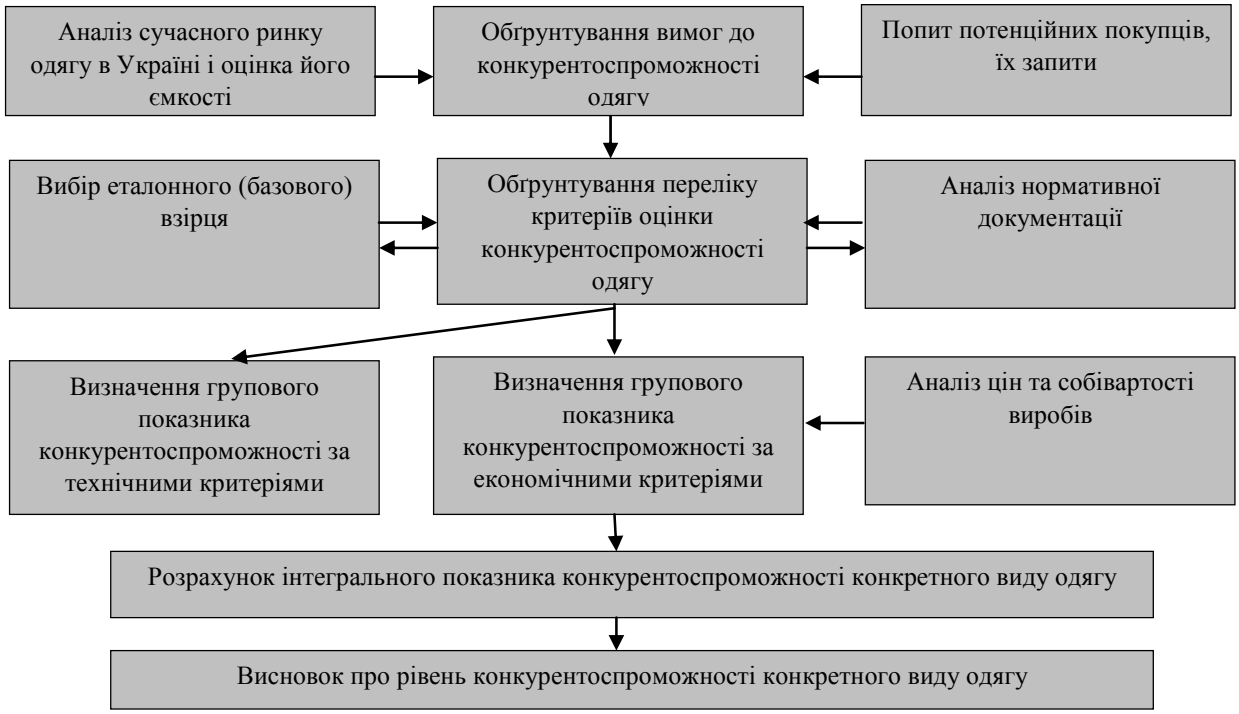


Рис. 1. Загальна схема формування та оцінювання конкурентоспроможності одягових текстильних матеріалів і одягу з них

1. Тканини сорочково-платтяні бавовняні виробництва Херсонського бавовняного комбінату [9]. Для прикладу в табл.1 наведені одиничні показники якості (розмірні/відносні показники бажаності) деяких артикулів названих тканин.

Таблиця 1

Показники якості платтяно-сорочкових бавовняних тканин

№ з/п	Перелік найбільш вагомих показників якості досліджуваних тканин	Назва тканин і значення показників якості			
		Тканина сорочкова "Нива"	Тканина сорочкова "Степова"	Тканина сорочкова "Поплін"	Тканина платтяно-сорочкова "Херсонка"
1	Гігроскопічність, Г, %	10,90/0,84	9,24/0,75	10,40/0,82	10,00/0,80
2	Повітропроникність, Пн, $дм^3/(м^2 \cdot с)$	322/0,53	238/0,46	330/0,54	690/0,78
3	Паропроникність, Пп, мг/ $(см^2 \cdot с)$	1,14/0,60	1,02/0,55	0,99/0,34	1,02/0,55
4	Тривалість висихання, Тв, хв.	20/0,63	21/0,59	22/0,37	34/0,24
5	Стійкість до прання, Сп, число прань	64/0,92	52/0,83	66/0,94	28/0,34
6	Зміна лінійних розмірів після прання, %	1,4/0,81	0,88/0,84	1,2/0,82	2,0/0,76
7	Незминальність, град. (сумарно)	253/0,75	242/0,72	247/0,73	233/0,70
8	Жорсткість при згині, Ж, $мН \cdot см^2$	2,6/0,75	3,3/0,69	4,2/0,60	3,8/0,64
9	Комплексний показник якості, К	0,82	0,65	0,68	0,57
10	Градації якості	"відмінно"	"добре"	"добре"	"задовільно"

Як видно з аналізу даних табл. 1, числові значення комплексного показника бажаності для досліджуваних варіантів бавовняних сорочково-платтяних тканин знаходяться в межах 0,82-0,57, тобто знаходяться в межах градації "відмінно" (К>0,80) і градації "задовільно" (К<0,63), що підтверджує необхідність подальшої оптимізації параметрів будови і способів оброблення досліджуваних тканин. З іншого боку, використовуючи комплексний показник функції бажаності, як узагальнений критерій конкурентоспроможності названих тканин, за допомогою цього показника ми можемо визначити не тільки рівень їх конкурентоспроможності, але й за допомогою одиничного показника функції бажаності для кожної конкретної тканини виявити її найбільш вразливі ланки. Так, наприклад, для тканини "Нива" (градація "відмінно") це буде показник повітропроникності (0,53), а для тканини "Херсонка" – час висихання (0,24). Виявлення відзначених недоліків дозволяє уяснити причини їх появи та шляхи усунення.

2. Окрім використання комплексного показника функції бажаності як критерію для оцінки конкурентоспроможності бавовняних сорочково-платтяних тканин (табл. 1), цей критерій було нами

використано і для оцінки конкурентоспроможності перспективного асортименту поліефірно-бавовняних плащових тканин [9, 10]. Отримані результати досліджень наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Вплив компонентного складу і обробки поліефірно-бавовняних плащових тканин на формування показників їх якості, придатних для визначення конкурентоспроможності цих тканин

№ з/п	Назва показника якості	Роз-мір-ність	Абсолютні значення показника/показник бажаності								
			Шифри варіантів тканин:								
			1-Г	1-П	1-Х	2-Г	2-П	2-Х	5-Г	5-П	5-Х
1	Стійкість гідрофобного ефекту до прання/ хіміч-ного чищення	цик-лів	9/ 0,75	6/ 0,56	4/ 0,39	9/ 0,75	6/ 0,56	4/ 0,39	8/ 0,69	7/ 0,63	4/ 0,39
2	Атмосферостійкість	цик-лів	160/ 0,95	174/ 0,97	158/ 0,94	133/ 0,91	129/ 0,90	124/ 0,89	109/ 0,84	114/ 0,86	88/ 0,74
3	Незминальність (сумарно)	град.	270/ 0,80	255/ 0,76	299/ 0,77	247/ 0,73	233/ 0,69	238/ 0,71	174/ 0,48	161/ 0,42	169/ 0,47
4	Зміна лінійних розмірів	%	0,2/ 0,87	0,3/ 0,87	0,2/ 0,87	1,1/ 0,82	1,8/ 0,78	1,0/ 0,83	2,5/ 0,71	4,5/ 0,50	1,3/ 0,81
5	Сумарний тепловий опір	$м^2$·К/ Вт	0,018 / 0,49	0,018/ 0,49	0,018/ 0,49	0,017/ 0,47	0,017/ 0,47	0,01 7/0,4 7	0,01 6/0,4 3	0,01 6/0,4 3	0,01 6/0,4 3
6	Стійкість до стирання	тис. цикл.	10,9/ 0,2	11,1/ 0,83	10,1/ 0,80	8,1/ 0,70	8,2/ 0,71	7,3/ 0,66	3,9/ 0,45	3,8/ 0,43	2,8/ 0,36
7	Стійкість забарв-лень до сухого і мокрого тертя	один. ΔЕ	2,8/ 0,75	2,8/ 0,75	2,8/ 0,75	2,8/ 0,75	2,8/ 0,75	2,8/ 0,75	2,8/ 0,75	2,8/ 0,75	2,8/ 0,75
8	Стійкість забарв-лень до світло-погоди	ΔЕ	12,0/ 0,52	12,5/ 0,50	6,5/ 0,69	10,3/ 0,57	10,4/ 0,57	7,8/0 ,66	9,5/0 ,61	10,0/ 0,58	10,0/ 0,58
	Комплексний по-казник якості, К		0,77	0,66	0,71	0,73	0,67	0,63	0,63	0,57	0,53

Примітка: варіант тканин: 1 – тканина з вмістом 100% поліефірного волокна; 2 – з вмістом 67% поліефірного і 33% бавовняного; 5 – 100% бавовняного. Шифр оброблення: Г – оброблення ГКР-94; П – оброблення ПІНзом; Х – хромоланом.

На основі аналізу даних табл.2 можна зробити висновок, що за комплексним показником якості, а відповідно і рівнем конкурентоспроможності найбільш конкурентними виявились:

- чистополіефірна плащова тканина з обробкою ГКР-94 (вар. 1-Г);
- поліефірно-бавовняна плащова тканина з обробкою ГКР-94 (67% поліефірного і 33% бавовняного волокна) (вар. 2-Г);
- чистополіефірна плащова тканина з обробкою хромоланом (вар. 1-Х).

Комплексний показник якості для названих варіантів складає відповідно 0,77; 0,73 і 0,71. Всі вони за градацією якості наближаються до градації "відмінно" (К>0,80).

Чистобавовняні плащові тканини за всіма одиничними і комплексними показниками якості (вар. 5-Г, 5-П, 5-Х) значно поступаються чистополіефірним і поліефірно-бавовняним тканинам і оцінюються: вар. 5-Г градацією "добре" (0,63), а вар. 5-П і 5-Х – градацією "задовільно". Відповідно значення К складають 0,58 і 0,53.

Висновки

1. Обґрунтована доцільність поглиблення та розширення товарознавчих досліджень, пов'язаних із формуванням та оцінюванням конкурентоспроможності текстильних одягових матеріалів і одягу з них. При цьому першочергову увагу слід приділити товарам експортного призначення.

2. Вивчена можливість використання для кількісного оцінювання рівня конкурентоспроможності одягових текстильних матеріалів комплексного показника їх якості, розрахованого на основі функції бажаності.

3. Запропоновано розширити номенклатуру критеріїв оцінки конкурентоспроможності текстильних одягових матеріалів за рахунок наступних показників цих матеріалів: атмосферостійкості, гігієнічності, екологічної безпечності, пілінгуємості, стійкості пофарбувань.

В основу методики визначення конкурентоспроможності екологобезпечних видів текстильних

матеріалів і виробів (екотекстилю), на нашу думку, окрім використання традиційних показників їх якості та економічної доцільності їх виробництва, обов'язково слід використати ті показники, які регламентовані в міжнародному екологічному стандарті Екотекс-100 і гармонізовані з ним ДСТУ 4239-2003 [11, 12], а саме:

- вміст формальдегіду;
- залишки важких металів, що здатні до екстрагування;
- вміст пестицидів;
- вміст пентахлорфенолу;
- вміст азобарвників канцерогенних марок;
- вміст хлорорганічних носіїв;
- стійкість пофарбувань.

Література

1. Галик І.С. Текстильні матеріали та вироби : тлумачний словник / І.С. Галик, Б.Д. Семак. – Львів : Видавництво Львівської комерційної академії, 2010. – 224 с.

2. Конкурентоздатність товару як вирішальний фактор його комерційного успіху [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://osvita.ua/vnz/reports/econom-pidr/22175/.

3. Мельникова О.О. Комплексний метод оцінки конкурентноспроможності продукції підприємства [Електронний ресурс] / О.О. Мельникова, О.П. Кавтиш // Ефективна економіка. – Режим доступу : http://www.economy.nayka.com.ua/?op=18z=3000.

4. Циганок О.О. Загальна схема оцінки конкурентоспроможності продукції: теоретичний та методологічний аспект / О.О. Циганок // Економіка промисловості. – 2009. – № 1. – С. 148–156.

5. Лифиц Й. Характеристика критериев конкурентоспособности товаров и услуг / Й. Лифиц // Товари і ринки. – 2008. – № 1. – С. 15–23.

6. Олійник Г.С. Якість як основа конкурентоздатності нетканих текстильних матеріалів для меблевої промисловості / Г.С. Олійник // Вісник Хмельницького національного університету. – 2014. – № 3. – С. 247–253.

7. Власова Е.Н. Количественная оценка конкурентоспособности текстильных изделий / Е.Н. Власова // Технология текстильной промышленности. – 2012. – № 2(338). – С. 20–23.

8. Міневич Г.Я. Шляхи підвищення конкурентоспроможності вітчизняних бавовняних текстильних матеріалів / Г.Я. Міневич // Товарознавчий вісник : збірник наукових праць. – Випуск 6. – Луцьк : ЛНТУ, 2013. –С. 80–84.

9. Комплексная оценка качества текстильных материалов / А.Е. Чайковская, Л.В. Полищук, И.С. Галик, Б.Д. Семак. – К. : Тэхника, 1989. – 254 с.

10. Оптимизация ассортимента и качества текстильных материалов / И.С. Галик, Д.И. Козьмич, Б.Д. Семак, И.И. Шийко. – К. : Тэхника, 1991. – 174 с.

11. Галик І.С. Екологічна безпека та біостійкість тестильних матеріалів : монографія / І.С. Галик, О.Б. Концевич, Б.Д. Семак. – Львів : Видавництво Львівської комерційної академії, 2006. – 232 с.

12. Галик І.С. Проблеми формування та оцінювання екологічної безпечності текстилю : [монографія] / І.С. Галик, Б.Д. Семак. – Львів : Видавництво Львівської комерційної академії, 2014. – 488 с.

References

1. Halyk I.S. Tekstyl'ni materialy ta vyroby: tlumachnyy slovnyk / I.S. Halyk, B.D. Semak. – L'viv: Vydavnytstvo L'vivs'koyi komertsiynoyi akademiyi, 2010. – 224 s.

2. Konkurentozdatnist' tovaru yak vyrishal'nyy faktor yoho komertsiynoho uspikhu. http://osvita.ua/vnz/reports/econom-pidr/22175/.

3. Mel'nykova O.O. Kompleksnyy metod otsinky konkurentnospromozhnosti produktsiyi pidpryyemstva / O.O. Mel'nykova, O.P. Kavtysh // Efektyvna ekonomika. http://www.economy.nayka.com.ua/?op=18z=3000.

4. Tsyhanok O.O. Zahal'na skhema otsinky konkurentospromozhnosti produktsiyi: teoretychnyy ta metodolohichnyy aspekt / O.O. Tsyhanok // Ekonomika promyslovosti. – 2009. – 1. – S.148-156.

5. Lyfyts Y. Kharakterystyka kryteryev konkurentosposobnosty tovarov y usluh / Y. Lyfyts // Tovary i rynky. – 2008. – 1. – S.15-23.

6. Oliynyk H.S. Yakist' yak osnova konkurentozdatnosti netkanykh tekstyl'nykh materialiv dlya meblevoyi promyslovosti / H.S.Oliynyk // Visnyk Khmel'nyts'koho natsional'noho universytetu. – 2014. – 3. – S.247-253.

7. Vlasova E.N. Kolychestvennaya otsenka konkurentosposobnosty tekstyl'nykh yzdelyy / E.N. Vlasova // Tekhnolohyya tekstyl'noy promyshlennosty. – 2012. – 2(338). – S.20-23.

8. Minevych H.Ya. Shlyakhy pidvyshchennya konkurentospromozhnosti vitchyznyanykh bavovnyanykh tekstyl'nykh materialiv / H.Ya. Minevych // Tovaroznavchyy visnyk: Zbirnyk naukovykh prats'. – Vypusk 6. – Luts'k: LNTU, 2013. –S.80-84.

9. Kompleksnaya otsenka kachestva tekstyl'nykh materyalov / A.E. Chaykovskaya, L.V. Polyshchuk, Y.S. Halyk, B.D. Semak . – K.: Tekhnyka, 1989. – 254s.

10. Optymyzatsyya assortymenta y kachestva tekstyl'nykh materyalov / Y.S. Halyk, D.Y. Koz'mych, B.D. Semak, Y.Y. Shyyko. – K.:Tekhnyka, 1991. – 174s.

11. Halyk I.S. Ekolohichna bezpeka ta biostiykist' testyl'nykh materialiv. Monohrafiya / I.S. Halyk, O.B. Kontsevych, B.D. Semak. – L'viv: Vydavnytstvo L'vivs'koyi komertsiynoyi akademiyi. – 2006. – 232 s.

12. Halyk I.S. Problemy formuvannya ta otsinyuvannya ekolohichnoyi bezpechnosti tekstylyu [monohrafiya] / I.S. Halyk, B.D. Semak. – L'viv: Vydavnytstvo L'vivs'koyi komertsiynoyi akademiyi, 2014. – 488s.

Рецензія/Peer review : 26.2.2015 р. Надрукована/Printed :15.4.2015 р.
Рецензент: д.т.н., професор Доманцевич Н.І.

УДК 677.075+004.896

Т.Г. ЛЮДВІЧЕНКО
Київський національний університет технологій та дизайну

ПРОЕКТУВАННЯ ТРИКОТАЖНИХ ВИРОБІВ НА ОСНОВІ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ «M1PLUS» В УМОВАХ ПАТ «СОФІЯ»

Стаття присвячена висвітленню результатів діяльності провідного трикотажного підприємства – Публічного Акціонерного Товариства «Софія». Розглянуто інструменти та модулі процесу проектування моделей трикотажного одягу із залученням останньої розробки програмного забезпечення «M1PLUS» німецької фірми «STOLL».

Ключові слова: *трикотажні вироби заданої форми, модулі, трикотажний одяг, модулі програмного забезпечення, інструменти проектування.*

T.G. LYUDVICHENKO
Kyiv National University of Technologies and Design, Kyiv, Ukraine

DESIGNING OF KNITTED PRODUCTS ON THE BASIS SOFTWARE «M1PLUS» IN THE PSC "SOFIA"

The STOLL pattern software «M1plus» ensures production benefits by generating patterns for highly optimized knitting processes. The knitting processes can take place with jist a few clicks. Benefit from numerous built-in, ready-to-use automatic knitting solutions available in the Module Explorer Database. For even more flexibility and for individual knitting requirements two editors are offered: Color Arrangement (CA) and Module Arrangement (MA). With these, individual knitting sequences and color adjustments can be made easily. The ideal partner for the prolific production of knitted products-the STOLL «M1plus». Article is devoted to coverage of the results of many years of work leading knitwear companies - public joint stock company "Sofia". Considered one of the main directions of the success of the company for the design range of knitwear using software leading German company «Stoll». The rapid development of computer technology has created a new generation of knitting machines, equipped with an electron-individual selection of needles, various devices and mechanisms for monitoring the process of knitting knitwear. In knitting are increasingly used energy saving technologies based on manufacturing products and parts made in a regular way.

Keywords: STOLL, jerseys given shape, clusters, knitted garments, modules, software , design tools, knitwear, knitting machines.

Постановка задачі

Впровадження та використання новітніх технологій зумовило підвищення вимог що до процесу вироблення трикотажного одягу. Стрімкий розвиток комп'ютерних технологій дозволив створити нове покоління в'язальних машин, оснащених електронно-індивідуальним відбором голок, різними пристроями, модулями і механізмами, що дозволяють контролювати процес проектування і в'язання трикотажу. У промисловому виробництві все частіше використовуються ресурсозберігаючі технології, засновані на виготовленні суцільнов'язаних виробів і деталей, виконаних регулярним способом. Поєднання новітніх комп'ютерних технологій і нового покоління в'язальних машин, надало можливості сучасним підприємствам створювати і виробляти трикотажні вироби заданої складної форми, як промислового, так і технічного призначення.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Розробкою систем автоматизованого проектування трикотажних полотен та виробів займається значна кагорта вчених. Так робота Шустова Є.Ю. [1] присвячена розробці методу отримання зображення будови трикотажу за допомогою сучасної комп'ютерної техніки, що у свою чергу дозволяє мінімізувати час розрахунку параметрів структури трикотажу та витрат сировини. Автором роботи розроблена система автоматизованого перетворення вихідної інформації про малюнок в елементи структури трикотажу для різних видів кулірних переплетень; розроблено систему побудови зображення одиничних елементів структури трикотажу з урахуванням аналітичних моделей, принципів масштабування і виду використовуваного сировини; розроблений алгоритм автоматизованого побудови зображень трикотажу з урахуванням індивідуальних особливостей і взаємного розташування елементів структури; створений механізм побудови зображення структури переплетення.

Автором роботи [2] створено програмний продукт, що дозволяє проектувати трикотажні вироби і дані для в'язання на круглов'язальних автоматах «Джумберка» і плоско в'язальних автоматах «Соболь». Розроблено універсальний графічний редактор, що дозволяє створювати малюнки для трикотажу, програма конструювання лекал.

Робота [3] Березкіна А.Г. присвячена розробці методу кодування виворітного боку трикотажу жакардових переплетень, який заснований на принципі регулярності. Запропонований метод дає змогу проектувати полотна з кольоровими візерунками і рівномірною петельною структурою.

У роботі [4] вирішується лише окремі питання автоматизованого проектування трикотажних виробів, а саме на етапі конструювання та розробці технології виготовлення в середовищі інтеграції САПР «Конструктор» та САПР «Технолог».

Слід зазначити, що переважна більшість робіт присвячена вирішенню лише окремих задач автоматизованого проектування, в них відсутній комплексний підхід до вирішення питання автоматизованого проектування трикотажу в цілому від сировини до готової продукції. Крім того,

розроблене програмне забезпечення є вузькоспеціалізованим і не може бути адаптованим до програмного комплексу в'язального обладнання фірми «Stoll» [5, 6].

Мета і завдання дослідження

Метою даної статті є аналіз виготовлення регулярним способом трикотажних виробів складних форм на в'язальному обладнанні фірми «STOLL» на основі програмного забезпечення «M1PLUS», та обмін досвідом у сфері проектування і впровадження у трикотажне виробництво новітніх технологій проектування трикотажних виробів.

Об'єктом дослідження є інструменти і модулі програмного забезпечення етапів проектування категорій одягу з трикотажу в умовах Публічного Акціонерного Товариства «Софія» – української компанії з виробництва верхнього трикотажу, зокрема асортименту трикотажних виробів заданої складної форми. У роботі використані аналітичні методи дослідження.

Виклад основного матеріалу

Сучасні комп'ютерні системи, спеціалізовані для розробки програм в'язання, передбачають проектування форми тільки пласких деталей і не дозволяють проектувати трикотажні вироби складної форми. Тому актуальністю даної роботи є розробка та використання інструментів програмного забезпечення «M1PLUS» для автоматизації підготовки даних для проектування об'ємних трикотажних виробів складних форм. Що, у свою чергу, забезпечує отримання суцільнов'язаних виробів та охоплює питання зменшення витрати сировини , за допомогою нових більш складних програм з більш простим управлінням (рис.1).

Практична значущість розробок нової програми «M1PLUS », несе в собі великий потенціал не лише для проектування трикотажних виробів складної форми, а й інших виробів, наприклад, поверхонь обертання для виробів технічного призначення.

Розробка моделі процесу проектування виробу заданої форми. Теорія і практика виробництва трикотажного одягу показує, що запорукою досягнення цілей сучасного виробника є оптимізація способів забезпечення ефективності процесів проектування. При оновленні сезонних промислових колекцій трикотажного одягу виникає питання про прискорення і виконання певних строкових зобов'язань. Тому важливо мати численні вбудовані у програмне забезпечення готові до використання автоматичні модулі, які виконують наявні рішення для операцій в'язання.

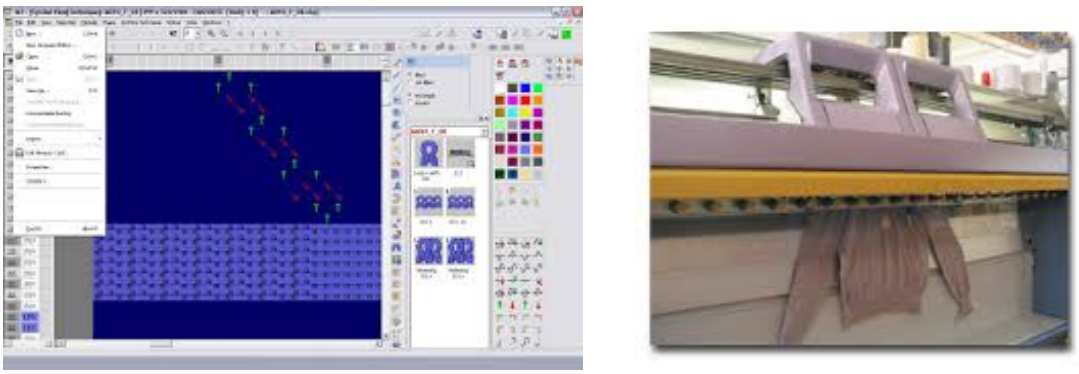


Рис. 1. Отримання суцільнов'язаних виробів за новою технологією в'язання

Використання модуля "Форма" (*Shape Tools*) дозволяє повністю контролювати процес проектування виробу на ділянках «зменшення-збільшення», що значно здешевлює та прискорює процес проектування (рис.2).

Рис. 2. Вікно програми M1, модуль "Форма" (*Shape Tools*)

Модуль "Форма" ("*Shaper*") є дизайн-програма, яка автоматично генерує форми трикотажу , а також легко і швидко виконує «випускні» завдання для постановки на виробництво зразка трикотажного одягу на в'язальному устаткуванні. Ці форми, викладені у програмі у вигляді необхідних технологічних параметрів трикотажу та зберігаються у базах даних і використовуються для подальшої роботи дизайнера-проектувальника.

Модуль інструментів («*Argyle Tools»)* дозволяє зробити процес більш прозорим та ефективним, вбудовані автоматичні функції працюють гнучко. Кластер для оптимізації часу в'язання створює візуалізацію форми трикотажу у режимі «конструктор». До того ж є можливість генерувати шаблони для оптимізації процесу.

Модуль *«Module support»* виконує функції підтримки і допомагає об'єднувати в потрібному порядку операції процесу формування петельної структури трикотажу на в'язальному обладнанні. Також, можлива

візуалізація операції з корегуванням певних дій. Модуль може бути з'єднаний з іншими інструментами програмування у необхідному порядку обробки зразка трикотажу.

За допомогою модуля «*Machine explorer*» комп'ютерні блоки, які оснащені програмою «M1PLUS» легко приєднаються до інтернет-бази даних через операційну систему «Explorer». Система швидко налаштовує пристрої, легко розробляє особисту базу даних. Модуль *«Module support»* використовується як корисний інструмент, який значно поліпшує виробничий процес. Таким чином, зазначені опції, такі як «основний» і «додаткові» нитководи, а також механізм відбору голок, відтяжки налаштовуються он-лайн, у режимі «тандем». На додаток, параметри трикотажу можуть передаватися он-лайн між розробниками та проектантами і надійно завантажуватися та зберігатися у базі даних.

Модуль автоматичного технічного редагування («*Automatic tecnical editing*») зберігає кілька робочих кроків («steps»)- для автоматичного редагування показників і завершує технічний пошук необхідної математичної величини параметрів трикотажу і пропонує можливі рішення. Це необхідно для запобігання конфліктів всередині програми. Процес відбувається дуже легко, тільки один «клік» і при необхідності знову можливо повернутися у початковий стан розробки в будь-який момент.

Модуль («*Simple operation*») забезпечує простоту роботи з програмою «M1PLUS» та гарантує оптимальний рівень продуктивності. Частково, завдяки інтуїтивному відчуттю та кваліфікації робітника-програміста формуються операційні бази даних.

Модуль «*Explorer*», містить численні он-лайн інструменти, які готові до використання. Процес об'єднання модулів має назву *компіляція*. Усі вживані модулі виконані і зберігаються у запрограмованому шаблоні. Це робить використання програми «M1PLUS» особливо комфортним і легким.

Використання модуля «*Sintral chek/calculation of knitting time and yarn use*» – розрахунок часу для в'язання та використання пряжі, надає можливість реалізувати бездоганно розрахунок моделі. Модуль створений для того, щоб гарантувати економічне планування виробництва. Програма «M1PLUS» надає розрахунок часу для в'язання та кількісних показників рівня використання пряжі. Можливе також одночасне порівняння часу в'язання окремих зразків трикотажу для розрахунку ефективності виробництва. Це цікавий інструмент для оптимізації окремих процесів в умовах сучасних підприємств.

Модуль аранжування («*Arrangment*»). Різні модулі, зібрані за допомогою *компіляції* можуть регулюватися вручну відповідно до індивідуальних вимог. Такий вільний підхід робить можливим програмування абсолютно індивідуальної послідовності в'язання, яка узгоджена з особистими вимогами виробництва, за допомогою розширення функцій. Нові модулі вмонтовані в програмне забезпечення, як повні кластери і дозволяють керувати окремими рядками в'язання. Виділені «за-домовленістю» модулі можна «аранжувати» і ставити як завгодно до будь-якого готового кластеру програми «M1PLUS» та повторно використовувати в будь-який час. Модуль («*Arrangment*») активно підтримує оптимізацію в'язання, послідовність процесів розрахунку і виготовлення як заданого виробу, так і експериментального зразка трикотажу.

Кластерна організація програмного забезпечення «M1PLUS» дозволяє довільно керуватися підбором необхідних модулів. Модулі можуть бути об'єднані в потрібному порядку обробки інформації.

Спеціальна кольорова палітра містить 32 відтінки пряжі. Підтримується «Функція імпорту» зображень для автоматичного перетворення ***.bmp** і ***.mif** – файлів для вихідних даних.

До складу програмного забезпечення «M1PLUS» окремо входить модуль 3D моделювання. В залежності від вимог виробництва можливе встановлення такого інструменту для подальшого розвитку процесу проектування безшовного одягу з трикотажу. За допомогою інструментів модуля 3D моделювання, можливо помістити у процесі розробки виріб на віртуальний манекен або переглянути з усіх боків структуру трикотажу. Спеціальний інструмент модуля: за допомогою цього кластеру можливо провести уніфікацію конструкції деталей в заданих розмірах і ростах та, навіть, представити свої проекти на віртуальному подіумі.

Висновки

1. Вирішальну роль у подальшому розвитку трикотажного виробництва всебічно відіграють комп'ютерні програми, які дозволяють вміщувати в себе всі етапи процесу підготовки і виготовлення зразків виробів.

2. Сучасні комп'ютерні системи, які спеціалізовані для розробок програм в'язання, передбачають проектування форми тільки пласких деталей і не дозволяють проектувати вироби складної форми. Тому актуальністю даної роботи є популяризація автоматизованих методів підготовки даних для проектування об'ємних трикотажних виробів складних форм за допомогою програмного забезпечення «M1PLUS» німецької фірми «Stoll» , що забезпечують отримання суцільнов'язаних виробів за новітньою он-лайн технологією , а також контролюють витрати сировини.

3. Програмне забезпечення «M1PLUS» німецької фірми «Stoll» використовується для проектування виробів складної форми в практичному виробництві ПАО «Софія». Це дозволяє значно прискорити процес підготовки до виробництва нового асортименту трикотажного одягу, якісно змінити процеси дизайнерської, технічної і технологічної підготовки інформаційних даних для проектування та виготовлення виробів.

Література

1. Шустов Е.Ю. Разработка методов машинной визуализации структуры трикотажа кулирных переплетений с целью его рационального проектирования : дис. ... канд..техн. наук : 05.19.02 / Шустов Юрий Евгеньевич. – М. : МГТУ им. А.Н. Косыгина, 2005. – 220 с.

2. Щербаков Г.В. Технологическое и компьютерное обеспечение процесса вязания на трикотажных машинах : дис. ... канд. техн. наук : 05.19.02 / Щербаков Геннадий Викторович. – М. : МГТУ им. А.Н. Косыгина, 2002. – 170 с.

3. Березкин А.Г. Оптимизация структуры и процессов выработки трикотажа жаккардовых переплетений при его автоматизированном проектировании : дис. ... канд. техн. наук : 05.19.02 / Андрей Геннадиевич. – М. : МГТУ им. А.Н. Косыгина, 2008. – 297 с.

4. Золотцева Л.В. Разработка методологических основ проектирования технологии и процессов производства швейно-трикотажных изделий : дис. ... доктора техн. наук : 05.19.04 / Золотцева Любов Викторовна. – М. : МГУДТ, 2007. – 447 с.

5. Stoll: software-solutions [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.stoll-software-solutions.com/ index.php? sprache_get=sprache-en

6. Stoll's ADF technology: A new dimension in flat knitting? [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.knittingindustry.com/stolls-adf-technology-a-new-dimension-in-flat-knitting/#sthash.2

7. Шершнева Л.П. Конструирование одежды в системе САПР / Шершнева Л.П. – М. : ЦНИИТЭИ, 1992. – 235 с.

8. Докучаева О.И. Автоматизированные методы художественного проектирования трикотажа / Докучаева О.И. – М. : МГТА, кафедра моделирования костюма, 1993. – 246 с.

9. Шалов И.И. Технология трикотажного производства / Шалов И.И., Далидович А.С., Кудрявин Л.А. – М. : Легпромбытиздат, 1986. – 376 с.

10. Кудрявин Л.А. Автоматизированное проектирование основных параметров трикотажа с использованием ЭВМ / Кудрявин Л.А. – М. : Легпромиздат, 1992. – 278 с.

References

1. Shustov E.Yu. Razrabotka metodov mashynnoi vyzualyzatsyy struktury` trykotazha kulyrny`kh perepletenyi s tseliu eho ratsyonalnoho proektyrovanyia. Moscow, MHTU, 2005, 220 p.

2. Shcherbakov H.V. Tekhnolohycheskoe y kompiuternoe obespechenye protsessa viazanyia na trykotazhny`kh mashynakh. Moscow, MHTU, 2002, 170 p.

3. Berezkyn A.H. Optymyzatsyia strukturu y protsessov vыrabotky trykotazha zhakkardovy`kh perepletenyi pry eho avtomatyzyrovannom proektyrovanyy. Moscow, MHTU, 2008, 297 p.

4. Zolottseva L.V. Razrabotka metodolohycheskykh osnov proektyrovanyia tekhnolohyy y protsessov proyzvodstva shveino-trykotazhny`kh yzdelyi. Moscow, MHTU, 2007, 447 p.

5. Stoll: software-solutions. URL: http://www.stoll-software-solutions.com/ index.php? sprache_get=sprache-en

6. Stolls ADF technology: A new dimension in flat knitting? URL: http://www.knittingindustry.com/stolls-adf-technology-a-new-dimension-in-flat-knitting/#sthash.2

7. Shershneva L.P. Konstruyrovanye odezhdы v systeme SAPR. Moscow, 1992, 235 p.

8. Dokuchaeva O.Y. Avtomatyzyrovannue metody` khudozhestvennoho proektyrovanyia trykotazha. Moscow, MHTA, 1993, 246 p.

9. Shalov Y.Y., Dalydovych A.C., Kudriavyn L.A. Tekhnolohyia trykotazhnoho proyzvodstva. Moscow, Lehpromby`tyzdat, 1986, 376 p.

10. Kudriavyn L.A. Avtomatyzyrovannoe proektyrovanye osnovny`kh parametrov trykotazha s yspolzovanyem E`VM. Moscow, Lehpromyzdat, 1992, 278 p.

Рецензія/Peer review : 3.4.2015 р. Надрукована/Printed :15.4.2015 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Березненко С.М.

УДК 677.025

Л.Є. ГАЛАВСЬКА
Київський національний університет технологій та дизайну

ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ ВИЗНАЧЕННЯ РОЗТЯЖНОСТІ ТА ЗАКРУЧУВАНОСТІ ПОДВІЙНОГО НЕПОВНОГО ТРИКОТАЖУ

У роботі розглянуто вплив порядку чергування лицьових та виворітних петельних стовпчиків в структурі неповного трикотажу на розтяжність та закручуваність. Запропоновані теоретичні залежності для визначення дійсного й приведеного коефіцієнтів розтяжності та коефіцієнта закручуваності подвійного неповного трикотажу, виробленого на базі ластику 1+1 з будь-яким порядком чергування лицьових та виворітних петельних стовпчиків у рапорті переплетення.

Ключові слова: неповний трикотаж, структура неповного трикотажу, закручуваність неповного трикотажу, розтяжність неповного трикотажу.

L.YE. GALAVSKA
Kyiv National University of Technologies and Design, Kyiv, Ukraine

THEORETICAL ASPECTS OF EXTENSIBILITY AND CURL DEFINITION OF INCOMPLETE DOUBLE KNITTINGS

This article examines the impact of consecutive order face and backing loop in structure of incomplete knit for extensibility and curl. Because of the presence of curl in the conditional-equilibrium state of incomplete double knit structures - proposed to distinguish between the actual and the reduced coefficient of extensibility. The actual coefficient of extensibility of incomplete double knit is the ratio of its width at the operational load to the width of a conditional-equilibrium state (including change of width knit). The reduced coefficient of extensibility –to the width of incomplete stitch of knit that reduced the width of the base stitch of knit (without changing the width).Based on the analysis of the structure of incomplete knit established theoretical dependence for the determination of the actual and reduced coefficient of extensibility and coefficient of curl incomplete double knit, produced on the basis of rib 1+1 with any consecutive order face and backing loop in the repeat of stitch.

Keywords: incomplete knitted fabric, incomplete knitted fabric structure, curling of incomplete double knitwear, extensibility of incomplete double knitwear.

Постановка задачі

Неповний трикотаж утворюється на базі одинарних і подвійних головних і похідних переплетень за рахунок пропуску в їх структурі петельних стовпчиків у відповідності до рапорту переплетення. Ластики з рапортом чергування лицьових та виворітних петельних стовпчиків, відмінним від 1+1 належать до подвійного неповного трикотажу [1]. Розтяжність неповного трикотажу залежить від кількості протяжок типу "е", що з'єднують остови сусідніх петельних стовпчиків одного шару трикотажу і типу "в" – остови сусідніх петель різних шарів. Вищезазначені характеристики структури подвійного неповного трикотажу є визначальними у формуванні ширини полотна. У подвійному неповному трикотажі, приведеному в умовно-рівноважний стан, спостерігається захід петель одного шару за петлі іншого та закручуваність вздовж петельних стовпчиків за рахунок релаксаційних процесів, що відбуваються в трикотажі в силу прояву пружних властивостей ниток після зняття з машини, де він знаходиться в розтягнутому стані під дією механізму відтягування [2]. За умови незмінної кількості працюючих голок внаслідок зміни порядку чергування лицьових та виворітних петель в подвійному неповному трикотажі спостерігається зміна ширини полотна. Встановлення теоретичної залежності для визначення розтяжності та закручуваності дозволить прогнозувати ступінь зміни цих характеристик в структурі подвійного неповного трикотажу у відповідності до порядку чергування лицьових та виворітних петель. Цей аспект проектування параметрів петельної структури неповного трикотажу є особливо важливим для суцільно в’язаних та виробів заданої форми.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Вивченню та висвітленню питань будови та властивостей подвійного неповного трикотажу у теорії трикотажного виробництва присвячені роботи багатьох відомих вчених таких як Шалов І.І., Далідович О.С., Кудрявін Л.О. [2], Кобляков О.І. [3], Ровінська Л.П. та Труєвцев О.В. [4] та ін.. Проектування параметрів структури неповного трикотажу здійснюють на підставі загальновідомих геометричних моделей Далідовича О.С. Однак питання визначення розтяжності та закручуваності подвійного неповного трикотажу у відповідності до порядку чергування лицьових та виворітних петельних стовпчиків у рапорті залишається відкритим [1].

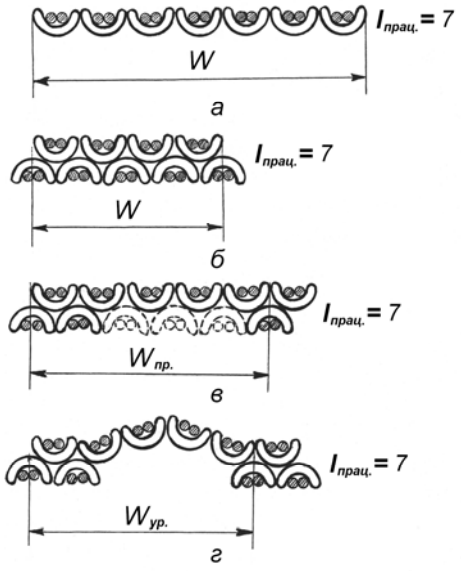
У роботі [5] запропонована методика визначення довжини нитки в петлі подвійного неповного трикотажу з нетрадиційного виду сировини. Автор іншої роботи [6] зазначає, що довжина елементів структури подвійного неповного переплетення є одним з визначальних факторів, що впливає на розміри полотна. Крім того зміна величини цих елементів впливає не лише на параметри структури трикотажу, а й на його механічні властивості, зокрема розтяжність та закручуваність. Встановлення математичних залежностей для визначення приведеного коефіцієнта розтяжності та коефіцієнта закручуваності забезпечить раціональне використання людських та сировинних ресурсів з метою виготовлення трикотажу з прогнозованими параметрами структури та споживними властивостями.

Мета і завдання дослідження

Метою даної роботи є вивчення факторів, що впливають на розтяжність та закручуваність подвійного неповного трикотажу, та встановлення теоретичних залежностей для розрахунку приведеного коефіцієнта розтяжності та коефіцієнта закручуваності у відповідності до порядку чергування лицьових та виворітних петельних стовпчиків у рапорті переплетення.

Виклад основного матеріалу

Як зазначалося вище, на розтяжність подвійного неповного трикотажу впливає зміна його ширини в умовно-рівноважному стані внаслідок зміни порядку чергування лицьових та виворітних петельних стовпчиків. Чинниками, що викликають зміну ширини в подвійному неповному трикотажі, є захід петель одного шару за петлі іншого та закручуваність петельних стовпчиків. Зазначені фактори, у свою чергу, визначаються взаємним розташуванням елементів структури трикотажу.



а – переплетення гладь;

б – переплетення ластик 1+1;

в – неповне переплетення без урахування закручуваності петельних стовпчиків (приведене до ластику 1+1);

г – неповне переплетення з урахуванням закручуваності в умовно-рівноважному стані.

Рис. 1. Структура трикотажу, виробленого різноманітними переплетеннями [1]

Нехай W, мм – ширина ділянки трикотажу, розтяжність якого необхідно визначити; ΔW, мм – величина подовження цієї ділянки, при навантаженні, рівної експлуатаційної. Тоді коефіцієнт розтяжності визначається за такою залежністю:

$$Rs = \frac{W + \Delta W}{W} = 1 + \frac{\Delta W}{W} \quad (1)$$

При визначення коефіцієнта розтяжності на підставі залежності (1) може бути використана ширина ділянки в умовно-рівноважному стані $Wур$ (рис.3.6, г). Даний ***коефіцієнт розтяжності*** назвемо ***дійсним*** $Rs_д$:

$$Rs_д = \frac{Wур + \Delta W}{Wур} = 1 + \frac{\Delta W}{Wур} \quad (2)$$

Головним базовим для подвійних неповних переплетень є ластик 1 + 1, петлі якого утворені на кожній голці обох голечниць. У разі виключення з роботи якоїсь кількості голок $I_{непрац.л}$ передньої та $I_{непрац.в}$ задньої голечниці утворюється подвійний неповний трикотаж. Рапорт розставлення голок $Rв$ для отримання такого трикотажу може бути виражений наступним співвідношенням:

$$Rв = Rв_{л.} + Rв_{в.} = \left(I_{прац.л} + I_{непрац.л}\right) + \left(I_{прац.в} + I_{непрац.в}\right), \quad (3)$$

де $Rв_{л.}$ – рапорт виставлення голок для в'язання лицьової сторони;
$Rв_{в.}$ – рапорт виставлення голок для в'язання виворітної сторони;
$Iпрац.л$ – кількість працюючих голок передньої голечниці;
$Iпрац.в$ – кількість працюючих голок задньої голечниці;
$Iнепрац.л$ – кількість непрацюючих голок передньої голечниці;
$Iнепрац.в.$ – кількість непрацюючих голок задньої голечниці.

Тоді рапорт переплетення $Rв_{прац.}$ дорівнює:

$$Rв_{прац.} = I_{прац.л} + I_{прац.в} \quad (4)$$

Якщо ж для визначення коефіцієнта розтяжності у якості ширини ділянки трикотажу використовувати ширину трикотажу переплетення ластик 1+1, виробленого на голках передньої і задньої голечниць, сума яких дорівнює $Rв$ (тобто "приведену" до ластика 1+1 ширину $Wпр$ - рис. 1, в), то в цьому

випадку коефіцієнт розтяжності, що визначаємо, назвемо ***приведеним коефіцієнтом розтяжності Rsnp***:

$$Rsnp = \frac{Wnp + \Delta W}{Wnp} = 1 + \frac{\Delta W}{Wnp} \quad (5)$$

На підставі відомої приведеної ширини ділянки трикотажу ***Wnp*** та його ширини в умовно-рівноважному стані ***Wyp*** визначаємо коефіцієнт закручуваності, ***Кзакр***:

$$Кзакр. = \frac{Wyp}{Wnp} \quad (6)$$

Коефіцієнт закручуваності показує, яку частку становить ширина трикотажу неповного переплетення в умовно-рівноважному стані від ширини трикотажу переплетення ластик з рапортом 1+1.

Звідси:

$$Wnp = \frac{Wyp}{Кзакр} \quad (7)$$

Підставивши значення ***Wnp*** у залежність (5) після перетворень одержимо:

$$Rsnp = 1 + \frac{\Delta W}{Wyp} \cdot Кзакр \quad (8)$$

З рівняння (2):

$$\frac{\Delta W}{Wyp} = Rsд - 1 \quad (9)$$

Підставивши у формулу (8) співвідношення (9) отримуємо залежність, що описує взаємозв'язок між дійсним та приведеним коефіцієнтами розтяжності:

$$Rsnp = 1 + (Rsд - 1) \cdot Кзакр \quad (10)$$

$$Rsд = 1 + (Rsnp - 1) / Кзакр \quad (11)$$

Для визначення ширини ділянки трикотажу подвійного неповного переплетення "приведеної" до ластику з рапортом 1+1 і при експлуатаційному навантаженні представимо його структуру у вигляді сукупності первинних елементів ластику 1+1 та гладі. Виходячи з дійсних коефіцієнтів розтяжності ***Rл*** трикотажу переплетення ластик 1 + 1 та і ***Rгл*** гладі, отриманих на підставі експериментальних досліджень, ширина ділянки $We_л$, що складається тільки з первинних елементів ластику 1+1, при експлуатаційному навантаженні дорівнює:

$$We_л = (1 - 1/Rв) \cdot Aд \cdot Rл \cdot Nв \quad (12)$$

де *(1 – 1/Rв)* – коефіцієнт для визначення приведеного петельного кроку ластику 1+1 (*Rв*=2);

Ад – дійсний петельний крок, тобто відстань між сусідніми петельними стовпчиками однієї голечниці;

Rл, Rгл – дійсні коефіцієнти розтяжності відповідно ластику і гладі;

Nв – кількість протяжок типу "в", що з'єднують сусідні петельні стовпчики різних шарів.

Ширина ділянки трикотажу $We_{гл}$ при експлуатаційному навантаження, що складається виключно з первинних елементів гладі:

$$We_{гл} = Aд \cdot Rгл \cdot Ne \quad (13)$$

де *Ne* – кількість протяжок типу "е", що з'єднують петельні стовпчики одного шару.

"Приведена" до ластику 1+1 ширина трикотажу ***Wnp*** подвійного неповного переплетення дорівнює:

$$Wnp = (1 - 1/Rв) \cdot Aд \cdot Nв + Aд \cdot Ne \quad (14)$$

З урахуванням формул (12), (13) и (14) залежність(10) приймає наступний вигляд:

$$Rsnp = \frac{(1 - 1/Rв) \cdot Aд \cdot Nв \cdot Rл + Aд \cdot Ne \cdot Rгл}{(1 - 1/Rв) \cdot Aд \cdot Nв + Aд \cdot Ne} \quad (15)$$

Після перетворень отримуємо:

$$Rsnp = \frac{0{,}5 \cdot Nв \cdot Rл + Ne \cdot Rгл}{0{,}5 \cdot Nв + Ne} \quad (16)$$

Таким чином, при відомих дійсних коефіцієнтах розтяжності трикотажу переплетення гладь і ластик з рапортом 1+1 відповідно до виведеної формули можна визначити приведений коефіцієнт розтяжності ділянки трикотажу, виробленого подвійним неповним переплетенням з будь-якою кількістю та порядком чергування первинних елементів структури гладі та ластику. Приведений коефіцієнт розтяжності показує у скільки разів ширина ділянки трикотажу неповного переплетення при експлуатаційному навантаженні більше ширини ділянки ластику 1+1, виробленого на кількості голок, що дорівнює сумі працюючих і непрацюючих голок ділянки трикотажу неповного переплетення. У разі, коли відомий коефіцієнт розтяжності трикотажу подвійного неповного переплетення та його коефіцієнт закручуваності вздовж петельних стовпчиків на підставі залежності (11), можна визначити дійсний коефіцієнт розтяжності. Якщо потрібно дізнатися у скільки разів ширина трикотажу подвійного неповного переплетення, отриманого шляхом перерозподілу голок, при експлуатаційному навантаженні ***We*** більше ширини

трикотажу переплетення ластик з рапортом 1+1, виробленого на тій же кількості голок $Wл_{(1+1)}$, необхідно приведений коефіцієнт розтяжності помножити на "***n***".

$$Rsnp = \frac{We}{Wл(1+1)\cdot n} \tag{17}$$

Звідси:

$$\frac{We}{Wл(1+1)} = Rsnp \cdot n \tag{18}$$

Розрахунок величини приведеного коефіцієнта розтяжності дозволяє проектувати вироби заданої форми з кругло-панчішних автоматів та суцільно в'язані вироби з круглов'язальних машин, що виробляються неповними переплетеннями, виходячи з їх необхідної розтяжності, як найважливішої властивості вказаного асортименту виробів.

Висновки

1. На відміну від трикотажу жакардових, пресових і перекидних платированих переплетень, трикотаж неповних переплетень не містить елементів структури, що обмежують його розтяжність. Однак у трикотажі неповних переплетень, що знаходиться в умовно-рівноважному стані, відбувається зміна його ширини, що і призводить до різних значень коефіцієнта його розтяжності при однаковій кількості петельних стовпчиків.

2. В силу пружних властивостей нитки зміна ширини подвійного неповного трикотажу відбувається за рахунок заходу петельних стовпчиків і закручуваності трикотажу вздовж петельних стовпчиків.

3. Запропоновано розрізняти дійсний і приведений коефіцієнти розтяжності неповного трикотажу.

4. Дійсний коефіцієнт розтяжності трикотажу неповних переплетень являє собою відношення його ширини при експлуатаційному навантаженні до ширини в умовно-рівноважному стані (з урахуванням зміни ширини трикотажу). Приведений коефіцієнт розтяжності – до ширини трикотажу неповних переплетень приведеної до ширини трикотажу базового переплетення (без урахування зміни ширини).

5. На підставі аналізу структури неповного трикотажу встановлені теоретичні залежності для розрахунку дійсного і приведеного коефіцієнтів розтяжності.

Література

1. Галавська Л.Є. Теоретичні аспекти визначення ширини подвійного неповного трикотажу /Л.Є. Галавська // Вінник Хмельницького національного університету. – 2014. – № 5. – С. 67–70.

2. Шалов И.И. Технология трикотажа / Шалов И.И., Далидович А.С., Кудрявин Л.А. – М. : Легпромбытиздат, 1986. – 376 с.

3. Кобляков А.И. Структура и механические свойства трикотажа / Кобляков А.И.. – М. : Легкая индустрия, 1973. – 240 с.

4. Ровинская Л.П. Трикотаж неполных переплетений / Л.П. Ровинская, А.В. Труевцев. – СПб : РИО СПИТЛП им. С.М. Кирова, 1992. – 77 с.

5. Лылова О.Н. Определение длины нити в петле в структуре неполного трикотажа из кожанной нити / О.Н. Лылова, Н.С. Румянская [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.sworld.com.ua/index.php/ru/technical-sciences-311/technology-of-textile-and-light-industry-311/7948-determining-the-length-of-thread-in-the-loop-in-the-structure-of-non-leather-yarn-jersey-from

6. Григорьева Е.Г. Разработка структур комбинированного трикотажа с заданными свойствами : дис. … канд. техн. наук : 05.19.03 / Григорьева Елена Геннадиевна. – СПб : СПбГУТД, 2002. – 179 с.

References

1. Halavska L.Ye. Teoretychni aspekty vyznachennia shyryny podviinoho nepovnoho trykotazhu. Herald of Khmelnytsky National University, 2014. № 5. S.67–70.

2. Shalov Y.Y., Dalydovych A.C., Kudriavyn L.A. Tekhnolohyia trykotazha. Lehpromby`tyzdat, 1986, 376s.

3. Kobliakov A.Y. Struktura y mekhanycheskye svoistva trykotazha. – M.: Lehkaia yndustryia, 1973. – 240s.

4. Rovynskaia L.P., Truevtsev A.V. Trykotazh nepolny`kh perepletenyi. RYO SPYTLP ym. S.M. Kyrova, 1992, 77s.

5. Ly`lova O.N. Rumianskaia N.S. Opredelenye dlyny`nyty v petle v strukture nepolnoho trykotazha yz kozhannoi nyty. [Elektronnyi resurs].– Rezhym dostupu: http://www.sworld.com.ua/index.php/ru/technical-sciences-311/technology-of-textile-and-light-industry-311/7948-determining-the-length-of-thread-in-the-loop-in-the-structure-of-non-leather-yarn-jersey-from

6. Hryhoreva E.H. Razrabotka struktur kombynyrovannoho trykotazha s zadanny`my svoistvamy: dyss… kand. tekhn. nauk /SPbHUTD. – SPb, 2002. – 179s.

Рецензія/Peer review : 1.4.2015 р. Надрукована/Printed :15.4.2015 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Слізков А.М.

УДК 677.075:658.562

М.Г. МАРТОСЕНКО, Л.В. ПОЛІЩУК
ВНЗ Укоопспілки «Полтавський університет економіки і торгівлі»
Б.Д. СЕМАК
Львівська комерційна академія

КОМПЛЕКСНЕ ОЦІНЮВАННЯ РІВНЯ ЯКОСТІ ВЕРХНЬОТРИКОТАЖНИХ КОТОНІНОВМІСНИХ ПОЛОТЕН

Доведена важливість та необхідність комплексного оцінювання рівня якості нових видів верхньотрикотажних котоніновмісних полотен для легкого одягу. Розроблена і випробувана кваліметрична модель процесу оцінювання рівня якості з виокремленням складових алгоритму, трактуванням принципів, форм і способів її реалізації. Комплексне оцінювання рівня якості надало можливість співставити, проранжувати, виявити найоптимальніші варіанти полотен за комплексним показником.

Ключові слова: комплексне оцінювання, верхньотрикотажне котоніновмісне полотно, номенклатура показників, градація якості, показник бажаності, номограма, рівень якості.

M.G. MARTOSENKO, Л L.V. POLISHCHUK
Higher Educational Establishment of Ukoopspilka «Poltava University of Economics and Trade»
B.D. SEMAK
Lviv Academy of Commerce

A COMPLEX EVALUATION OF THE QUALITY LEVEL OF KNITWEAR COTTONIN CLOTHES

Abstract – The importance and necessity for a complex evaluation of the quality of new types of knitwear cottonin clothes for an aneasy clothing are proved. The qualimetric model of evaluation the quality of the components distinguishing algorithm interpretation principles, forms and methods of implementation are designed and worked out. The complex evaluation the level of quality made it possible to compare, rank and identify the most optimal variants of clothes by the complex index.

Keywords: the complex evaluation, the knitwear cottonin clothes, the range of indicators, the quality grading, the index of desirability, monogram, the quality.

Вступ

Оцінювання якості продукції, товарів має свою історію. Людина завжди намагалася мати вироби доброї якості, для досягнення цього і в давні часи вживались відповідні міри. Наприклад, в 1214 році в Страсбурзі було прийнято закон, за яким сукна, що не мали в ширину двох ліктів із четвертиною, повинні були спалюватися. Одночасно змінювалися методологія процесу оцінювання якості товарів на основі системних ідей, принципів, форм із врахуванням зростання виробництва і збуту товарів. Але, в епоху ремісничого виробництва не існувало загальноприйнятих положень про те, що собою являє доброякісна продукція. Вимоги до виробу формувались описово, без встановлення певних норм. Оцінювання якості виробів обмежувалось аналізом його відповідності ідеальній уяві про його призначення, а корисний ефект, його функціональна роль безпосередньо не оцінювалась і не виділялась як критерій оцінки. Більш важливою сприймалась регламентація сировинних матеріалів, способів виробництва, торгівлі. Тобто, оцінювання якості продукції ремісничого виробництва було поєднано самою виробничою діяльністю та реалізацією продукції.

З часом розвиток промисловості, використання нових матеріалів і технологій, розширення географії обміну призвели до різкого зростання виготовлення нових товарів із різними властивостями та функціями. При цьому, виникла потреба в порівнянні рівня якості продукції різних виробників, в її кваліфікованому оцінюванні. Цим зацікавився споживач. Процес виробництва продукції, товарів поєднався з споживанням та оцінкою їх якості. Оцінювальна діяльність поступово виділяється в окрему сферу і набуває офіційного статусу у вигляді окремої частини товарознавства – товарознавчої експертизи [1]. Оцінюванню якості товарів відводиться все більше місця у сфері виробництва та збуту, але підвищення якості лише за рахунок вдосконалення технічного рівня не забезпечили очікуваного ефекту. Часто продукція з високим рівнем технічних показників не підлягала збуту. Це явище пояснювалося тим, що неможливо було повністю охарактеризувати цінність продукції лише на основі її виробничих, насамперед технічних характеристик. Виникла необхідність в оцінюванні практичної цінності продукції через її функціональність, з точки зору споживацьких вимог та з позиції отримання корисного ефекту споживачем [2, 3].

Таким чином, паралельно з розробленим підходом до оцінювання якості продукції і товарів, формується новий підхід, який враховує різке зростання вагомості споживних властивостей. Споживачу важливо не лише те, як товар виготовлений, а й те, що він дає при його використанні і експлуатації. Розробляється ряд методичних вказівок для оцінювання рівня якості промислової продукції в цілому та за окремими групами показників якості [5, 6]. З'являється та обґрунтовується необхідність розробки узагальненого критерію оцінки якості [7, 8]. Перші пропозиції щодо розробки комплексного показника якості виникли у машинобудуванні, матеріалознавстві, товарознавстві. Одночасно набуває розвитку комплексний підхід до оцінювання якості продукції в художньому конструюванні. Сутність комплексного підходу до оцінювання якості продукції було викладено у роботах вчених різних галузей науки [3, 4, 7, 8].

На початку 70-х років минулого століття почали активно впроваджуватися комплексні системи

управління якістю та стандартизацією продукції. Водночас виникла необхідність якість виражати кількісними характеристиками, і для цього було залучено нову наукову дисципліну – кваліметрію [9–15].

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Комплексний підхід до оцінювання якості товарів та інших об'єктів, процесів, послуг став одним із основних методів, так як комплексний показник має перевагу, а саме: виражається однією числовою підсумковою оцінкою, якою зручно оперувати під час співставлення, ранжування, виявлення конкурентоспроможної продукції. Поряд із усвідомленням переваг, комплексна оцінка якості наштовхується на критику окремих науковців, спеціалістів, як із загально філософської позиції, так і з огляду на конкретні заперечення. Головним із них є те, що високі показники одних властивостей можуть забезпечити високе значення комплексного показника, при порівняно низьких показниках інших властивостей. Але ж цю перешкоду можна усунути. Для цього враховуються визначені границі градації якості кожного показника при диференційному аналізі отриманих результатів. І якщо хоч одне значення показника виходить за відповідну межу, продукція повинна бути забракованою навіть при високих рівнях усіх інших показників [15].

Щодо відсутності фізичної сутності комплексного показника, то прихильники комплексного підходу пояснюють, що саме вона полягає в кількісному вираженні ступеня наближення до певного еталона [12, 15]. Таке наближення, що передбачено однією з дій алгоритму комплексного оцінювання об'єкта (розробкою номенклатури показників якості) може не охоплювати всю сукупність властивостей конкретної продукції, але будь-яка модель передбачає певне спрощення реальності і ставить завдання через спрощення виявити характерні ознаки явища з метою його пізнання. З цієї точки зору комплексна оцінка достатньо обґрунтована і широко запроваджена протягом десятиліть для оцінки рівня якості різноманітної промислової продукції, товарів з метою управління як якістю, так і асортиментом та задоволення найвибагливіших потреб споживачів. Доведені переконання про ефективність комплексного оцінювання якості продукції, товарів успішно реалізуються і в нинішній період [16, 17, 18]. Інші труднощі, зокрема різна розмірність показників та їх вагомість, вирішуються в процесі розробки і побудови самої методології комплексної оцінки.

Постановка завдання

Метою даного дослідження є розробка кваліметричної моделі комплексного оцінювання рівня якості верхньотрикотажних котоніновмісних полотен і її застосування для виявлення оптимальних варіантів за гарантованим набором показників споживних властивостей, який би максимально задовольнив високі потреби сучасного споживача. Необхідність комплексного оцінювання якості досліджуваних верхньотрикотажних котоніновмісних полотен зумовлена, перш за все, тим, що аналіз характеристик показників споживних властивостей ускладнений значною кількістю вихідних даних. А заміна набору показників споживних властивостей однією комплексною оцінкою суттєво скорочує обсяг цифрового матеріалу при порівнянні досліджуваних трикотажних полотен різної структури та волокнистого складу, а також надає можливість розподілу полотен нового асортименту на групи за градаціями якості і визначення їх споживної цінності з урахуванням призначення і вимог споживача.

Виклад основного матеріалу

Комплексні оцінки якості поділяють на реальні та умовні [11]. Реальні комплексні оцінки наділені певним фізичним змістом. Для трикотажних полотен такою оцінкою є термін експлуатації цього матеріалу, що визначається за методикою комплексного випробування, яке відтворює основні експлуатаційні дії.

Умовні або узагальнені комплексні оцінки – це безрозмірні величини, що розраховані як середньоарифметичні, геометричні або гармонічні з комплексу безрозмірних показників (рангів, тестів, балів, індексів якості, показників бажаності та ін.). Ряд авторів [12, 14, 15], які досліджували ефективність цих показників, сформулювали вимоги до безрозмірного показника якості і довели, що найбільш ефективною комплексною оцінкою якості є узагальнений показник бажаності **G**. Він становить середньо геометричну величину з певної кількості n окремих безрозмірних показників бажаності d_i, вирахованих із урахуванням їх вагомості y_i в конкретному наборі властивостей.

Узагальнений показник бажаності вираховується за формулою:

$$G = \prod_{i=1}^{n} d_i^{\gamma_i}, \tag{1}$$

Для визначення безрозмірного показника бажаності використовується функція бажаності, що має вигляд:

$$d_i = \exp[-\exp(-y_i)], \tag{2}$$

де d_i – безрозмірний показник бажаності і-го показника якості;

y_i – безрозмірний допоміжний параметр, відповідний розмірному значенню x_i-го натурального **і**-го показника якості матеріалу.

Доцільність використання кваліметричного підходу до оцінювання рівня якості різних видів текстильних матеріалів доведена в роботах багатьох авторів, і основне місце серед них займають роботи Соловйова О.М., Кирюхіна С.М., Варковецького М.М., Чайковської А.Є., Поліщук Л.В., Галика І.С., Семака Б. Д., Склянникова В. П., в яких наведена фундаментальна розробка теоретичних і практичних

питань кваліметрії текстильних матеріалів. Враховуючи досвід науковців із цієї проблеми та особисті результати досліджень з оцінювання якості текстильних матеріалів розроблена кваліметрична модель комплексного оцінювання рівня якості верхньотрикотажних котоніновмісних полотен для легкого одягу. Ця модель передбачає виконання такого алгоритму послідовних дій, який враховує методологічні принципи її побудови, форми і способи пізнання реальної дійсності процесу:

- аналіз існуючої номенклатури показників якості для цієї групи полотен;
- вибір номенклатури одиничних показників для комплексного оцінювання рівня якості цих полотен та визначення вагомості кожного з них у загальній ієрархії показників експертними методами;
- вибір ефективних методів і критеріїв оцінювання окремих показників і рівня якості досліджуваних полотен;
- проведення лабораторних випробувань полотен з метою визначення значень одиничних розмірних показників якості;
- обґрунтування граничних рівнів цих показників за градаціями якості «погано», «задовільно», «добре», «відмінно»;
- визначення і застосування функції переходу від розмірних до безрозмірних показників якості в побудові **xyd**-номограм;
- складання на основі побудованих **xyd**-номограм, таблиць переходу розмірних показників до безрозмірних;
- визначення безрозмірного допоміжного параметру **y** та безрозмірного показника бажаності **d** для натуральних значень одиничних показників за трьохосьовими номограмами;
- розрахунок комплексного показника рівня якості верхньотрикотажних котоніновмісних полотен для легкого одягу;
- аналіз рівня якості досліджуваних полотен на основі комплексних і диференційних оцінок;
- розробка напрямів вдосконалення асортименту і підвищення якості досліджуваних полотен.

Виконання алгоритму розробленої моделі на першому етапі вимагає визначення номенклатури одиничних показників для комплексного оцінювання рівня якості, яка нами сформована за результатами достатньо великої кількості соціологічних досліджень із використанням експертних методів [12, 19] та розроблена авторами і випробувана [15], яка включає 8 найбільш вагомих показників споживних властивостей і їх коефіцієнти вагомості (табл. 1).

Таблиця 1

Номенклатура найбільш вагомих показників споживних властивостей досліджуваних полотен і їх коефіцієнти вагомості

Показник, його умовне позначення, одиниця вимірювання	Коефіцієнт вагомості
Гігроскопічність, Г, %	0,21
Повітропроникність, $П_п$, $дм^3/(м^2 \cdot с)$	0,16
Паропроникність, П, $мг/(м^2 \cdot с)$	0,14
Вологовіддача, $В_в$, %	0,12
Стійкість до прання, $С_п$, кількість разів прання	0,11
Зміна лінійних розмірів після прання (усадка), У, %	0,10
Незминальність, Н, град.	0,08
Жорсткість, Ж, МН $см^2$	0,08
Всього	1,00

Набір цих показників сформовано на базі аналізу експертних оцінок і результатів їх обробки (підрахунку узагальнених характеристик опитуваної групи експертів; встановлення ступеня узгодженості думок експертів) і, на нашу думку, найбільшою мірою відображає як вимоги нормативної документації, так і умови експлуатації верхніх трикотажних виробів, що в підсумку підвищує об'єктивність комплексного показника.

Аналіз розробленої і вибраної номенклатури основних показників споживних властивостей для оцінювання рівня якості верхньотрикотажних котоніновмісних полотен свідчить, що вона включає показники гігієнічності та надійності цих полотен. Цей набір показників не випадковий і пояснюється тим, що верхньотрикотажні котоніновмісні полотна, що рекомендуються для легкого одягу, переважно для літнього сезону використання. У процесі експлуатації дані вироби контактують із шкірою людини і її самопочуття значною мірою залежить від гігієнічних властивостей матеріалів. Тому саме ці показники внесені в номенклатуру найбільш вагомих показників якості споживних властивостей (гігроскопічність, повітропроникність, паропроникність, вологовіддача). Загальний високий рівень комфортності, працездатності і задоволення від одягу з цих полотен залежатиме від того, наскільки використаний матеріал забезпечує захист споживача від зовнішніх впливів, відводу тепла та продуктів життєдіяльності людського організму. Разом з тим, не менш важливими є показники, що характеризують надійність одягу в експлуатації, тобто збереженість розмірів і форми матеріалів від впливів багаторазового догляду та чинників навколишнього середовища. Тому, до обраної номенклатури включені такі показники даної групи: стійкість до прання; зміна лінійних розмірів після прання (усадка); незминальність; жорсткість.

Як вище, зазначалося розробка комплексного показника якості верхньотрикотажних котоніновмісних полотен потребує вибору рівнів граничних значень для основних показників споживних властивостей, передбачених вище наведеною номенклатурою, в розрізі градацій їх якості («погано», «задовільно», «добре», «відмінно»). Така процедура є важливою, оскільки від її правильного виконання залежить дотримання одного з принципів побудови комплексного показника. Цей вибір здійснюється на основі аналізу існуючих нормативів для окремих показників, регламентованих стандартами з врахуванням вже досягнутих кращих результатів, а також бажаних показників, отриманих авторами експериментально і зазначених у літературних джерелах. Визначенні граничні значення застосовані при оцінюванні перспективних верхньотрикотажних котоніновмісних полотен з точки зору задоволення потреб людини в якісному одязі. При цьому ми керувалися наступними принципами: забезпечувалась рівномірність шкали натуральних показників; у градацію «відмінно» включалися такі показники, які б відображали останні досягнення науки та виробництва в цій галузі; у градацію «погано» включалися нормативи, при виборі нижчого з яких випуск верхньотрикотажних котоніновмісних полотен для легкого одягу є недоцільним і економічно невиправданим; при наявності двох рівнозначних критеріїв будь-яка властивість полотна оцінювалася за гіршим із них [14, 15, 19–21].

При виборі рівнів для показника гігроскопічності ми керувалися наступним. Враховували погіршення самопочуття людини при експлуатації верхніх легких виробів із матеріалів, що виготовлені з целюлозних волокон, гігроскопічність яких менше від 5% [20, 22, 23]. Тому для градації «погано» вибрано значення гігроскопічності нижче ніж 5%. При виборі рівня градації «відмінно» для цього показника (більше від 10%) враховувалися нормативи стандартів та дані, експериментально отримані при дослідженні трикотажних полотен для легкого верхнього одягу [24, 25].

Обґрунтовуючи рівні показника повітропроникності, ми враховували наступне: комфортний стан організму людини, що носить вироби з трикотажних полотен, які завдяки структурі забезпечують високий рівень цього показника в межах 100-1300 $дм^3/(м^2 \cdot с)$ і більше [19, 21–23, 26, 27]; нормативи за стандартами [24, 25] та результати власних досліджень. З врахуванням зазначеного для верхньотрикотажних котоніновмісних полотен для легкого одягу вибрано показник повітропроникності для градації «відмінно» на рівні більше від 1300 $дм^3/(м^2 \cdot с)$, а для градації «погано» – менше від 100 $дм^3/(м^2 \cdot с)$.

Рівень показника паропроникності вибрано з урахуванням його впливу на загальну вологопроникність та здатність верхньотрикотажних котоніновмісних полотен виводити вологу з підодягового простору. Крім того, враховано результати реальної експлуатації та узагальнених нормативних і літературних даних. За цими даними рівень показника паропроникності для легких виробів повинен знаходитися в межах 1,0 – 2,0 $мг/(м^2 \cdot с)$ [19, 22]. Тому для градації «відмінно» обраний рівень цього показника складає більше від 2 $мг/(м^2 \cdot с)$, а для градації «погано» – менше від 0,5 $мг/(м^2 \cdot с)$.

Рівень показника вологовіддачі вибрано з врахуванням його суттєвого впливу на тепловий стан людини, адже швидкість вологовіддачі пов'язана з інтенсивністю охолодження поверхні випаровування і це може призвести до надмірного охолодження тіла людини. За відсутності нормативів на показник вологовіддачі при виборі його рівня враховувалися величини цього показника для різних видів експериментально досліджених трикотажних полотен і тканин [19, 22, 23]. Тому для градації «відмінно» обраний рівень цього показника складає більше від 40%, а для градації «погано» – менше від 8,0%.

Вибираючи рівень стійкості до прання, ми враховували результати дослідного носіння верхніх чоловічих сорочок [28]. При цьому враховували, що в реальних умовах експлуатації верхніх чоловічих сорочок останні протягом строку експлуатації можуть піддаватися не більше як 50 разів повторного прання, тому для градації «погано» було взято менше від 30 разів прання, а для градації «відмінно» – більше від 50 разів прання. Мінімальну стійкість до прання верхньотрикотажних котоніновмісних полотен виражали такою кількістю разів прання, що необхідна для зниження розривального навантаження до 0,5 Н/пет.ст. смужки розміром 25х50 мм.

Рівень показника зміни лінійних розмірів після прання (усадки) вибрано відповідно до нормативів ДСТУ 3823-98 та літературних даних [29]. Градація «відмінно» вибрана менше від 1,5 %, а градація «погано» – на рівні 5%.

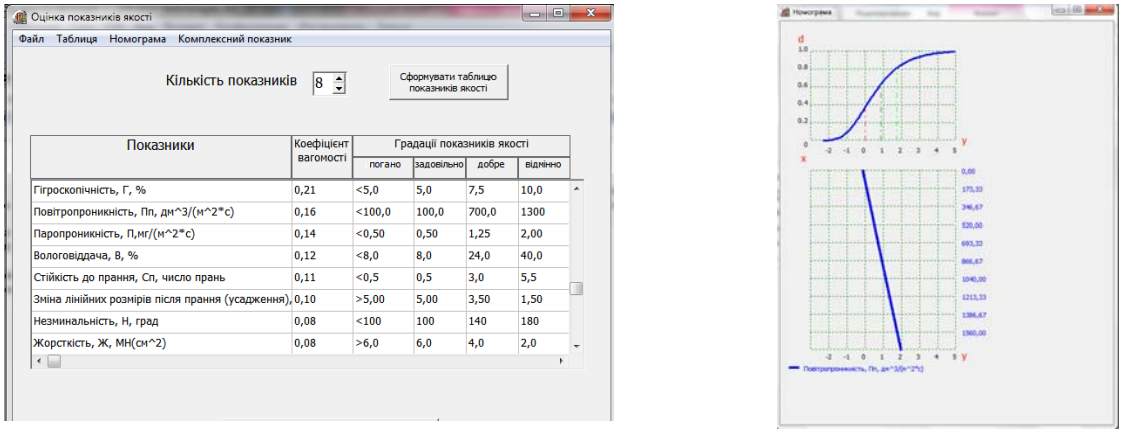
Рівень показника незминальності вибрано з врахуванням призначення досліджуваних трикотажних полотен та їх волокнистого складу, літературних [22, 27] і отриманих нами даних. Для градації «погано» сумарний кут склав менше від 100º, а для градації «відмінно» – більше від 180º.

Рівні показника жорсткості за градаціями вибрано з врахуванням літературних даних [21]. При цьому ми брали до уваги, що при зменшенні товщини трикотажного полотна зменшується об'ємність його структури, знижується можливість переміщення окремих елементів структури полотна відносно один одного, що і зменшує його гнучкість та рухливість, а зменшення рухливості структури призводить до збільшення жорсткості полотна. Тому для градації «погано» вибраний показник жорсткості складає 6МН $см^2$, а для градації «відмінно» – 2 МН $см^2$, що відповідає оптимальній жорсткості трикотажних полотен для легкого одягу.

Для збереження лінійності шкали показників властивостей для градації «задовільно» і «добре» було вибрано значення всередині вибраних інтервалів.

Для обробки результатів дослідження нами була розроблена комп'ютерна програма Estimate_of_quality, яка вперше використана в цьому дослідженні. Її використання прискорило процес

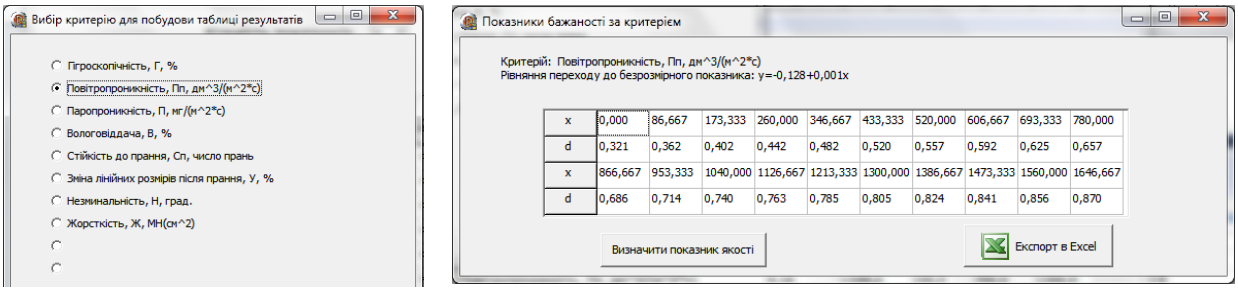
обробки отриманих результатів і вивело процес дослідження на рівень високої об'єктивності, достовірності в обчисленні, виключивши вплив людського чинника. Фрагменти програми з оцінювання одного із показників, як приклад, наведені нижче. Результати обгрунтованого вибору показників у межах градації «погано», «задовільно», «добре» і «відмінно» наведені на рис. 1. На основі вибраних рівнів розмірних показників в межах градацій побудовані трьохосьові **xyd**-номограми (рис. 1).



а) **б)**

Рис. 1. Фрагмент програми Estimate_of_quality: а) вибір рівнів розмірних показників в межах градацій; б) побудова xyd-номограми

На основі побудованих **xyd**-номограм складені таблиці переходу **xd** від розмірних до показників бажаності **d**, що подані на рис.2.



а) **б)**

Рис. 2. Фрагмент програми Estimate_of_quality: а) вибір показника із номенклатури для побудови таблиці переходу до показника бажаності; б) результати показника бажаності повітропроникності, Пп, дм^3/(м^{2}с)

Визначення показника бажаності для всіх обраних показників якості досліджуваних трикотажних полотен та розрахунок комплексного показника якості показані на рис. 3 та рис. 4.

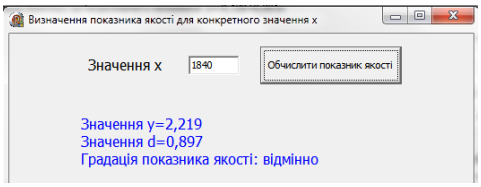


Рис. 3. Фрагмент програми Estimate_of_quality, визначення показника бажаності для розмірного показника повітропроникності, Пп, дм^3/(м^{2}с)

Рис. 4. Фрагмент програми Estimate_of_quality, розрахунок комплексного показника якості для другого варіанта верхньотрикотажного котоніновмісного полотна

Характеристика розроблених варіантів (сирових) верхньотрикотажних полотен наведена в табл. 2

Таблиця 2

Характеристика параметрів будови верхньотрикотажних полотен

№ варіанта	Вид переплетення	Довжина нитки в петлі, мм	Величина петельного кроку, мм	Висота петельного ряду, мм	Лінійний модуль петлі	Щільність за горизонталлю, петельні стовпчики на 100 мм, шт.	Щільність за вертикаллю, петельні ряди на 100 мм, шт.	Товщина, мм	Поверхнева густина полотна, г/м^2
Бавовнянокотонінові (80% бавовни, 20% лляного котоніну)									
1	Кулірна гладь	6,2	1,56	1,59	10,7	64	63	0,4	97,2
2	Ластикова гладь (1х1)	7,0	1,41	1,49	12,1	71	67	0,8	191,3
3	Ластикова гладь (2х2)	6,5	1,64	1,61	11,2	61	62	0,8	208,4
4	Інтерлочна гладь	5,4	1,41	1,32	9,3	71	76	0,9	237,8
5	Пресове жакардове на базі кулірної гладі	6,2	1,67	2,27	10,7	60	44	0,5	115,3
6	Комбіноване	7,0	1,61	2,08	12,1	62	48	0,8	190,8
Чисто бавовняні (100% бавовни)									
7	Інтерлочна гладь	6,3	1,25	1,59	14,0	80	63	0,7	178,3
8	Комбіноване	7,7	1,47	1,92	17,1	68	52	0,6	162,0

З даних табл. 2 видно, що досліджувані полотна виготовлені з чисто бавовняної пряжі (100%) та котоніновмісної пряжі (80% бавовни, 20% лляного котоніну) і більшість із них мало відрізняється за величиною довжини нитки в петлі, яка знаходиться в межах 5,4–7,7 мм. Більшість із досліджуваних полотен наближені за величиною петельного кроку, яка знаходиться в межах 1,25–1,64 мм. Помітно відрізняються досліджувані полотна комбінованих переплетень (вар. 5, 6, 8) за величиною висоти петельного ряду, яка відповідно складає 2,27, 2,08, 1,92 і впливає на щільність цих полотен по вертикалі, яка значно менша (44, 48, 52 пет. ст. на 100 мм), ніж по горизонталі відповідно – 60, 62, 68. Відрізняються досліджувані трикотажні полотна і за величиною поверхневої густини, яка коливається в межах 97,2–237,8 г/м^2. Результати випробування, розрахунку комплексного показника якості розроблених варіантів верхньотрикотажних полотен подані в табл. 3.

За результатами аналізу даних табл. 3 встановлено, що два варіанти досліджуваних трикотажних полотен за комплексним показником споживних властивостей відповідають градації «добре», це варіанти 6-А, 8-А, а десять – «задовільно», причому всі з цих варіантів мають оцінку «задовільно», яка наближається до оцінки «добре» і, відповідно, знаходиться в межах від 0,55 до 0,62. Досліджуване полотно варіанта 4 відповідає рівню градації «задовільно» і складає 0,57. З табл. 3 видно, що полотно цього варіанта отримало оцінки на рівні «погано» за показником паропроникність, а на рівні «задовільно» – за двома показниками: вологовіддача, зміна лінійних розмірів. Показник повітропроникності на рівні «відмінно» (0,83) та чотири показники на рівні «добре» (0,74) не вплинули на підвищення комплексного показника якості навіть при високому значенні їх вагомості в комплексі властивостей. Показник бажаності з паропроникності для п’яти варіантів (2, 3, 4, 7, 8) досліджуваних трикотажних полотен відповідає рівню градації «погано». Це переважно сирові подвійні за структурою полотна. Показник бажаності з паропроникності суттєво вплинув на значення комплексного показника якості. Менш ущільнені легкі вибілені полотна відносяться за рівнем показника бажаності паропроникності до градації «задовільно».

Для шести варіантів досліджуваних полотен (варіанти 1, 2, 4, 5, 7, 8) значення комплексного показника якості знизилося за рахунок рівня показника бажаності за зміною лінійних розмірів, який відповідає градації «задовільно». Це пояснюється перш за все тим, що трикотажні полотна легко деформуються під час виробництва і після прання. Основним чинником, що спричиняє цю зміну, є релаксаційні процеси, які відбуваються у волокнах, структурі полотна завдяки набуханню волокон. Тобто, на зміну лінійних розмірів впливають природа і структура волокна, структура та обробка полотна, а також технологічні режими виробництва трикотажу. Оптимальними за рівнем комплексного показника якості та близькими за поверхневою густиною виявилися полотна варіантів 6-А, 8-А. Так, полотна цих варіантів близькі за всіма значеннями показників бажаності комплексу споживних властивостей. Ці варіанти полотен є найоптимальнішими за рівнем комплексного показника якості та матеріаломісткістю.

Таблиця 3

Результати випробувань та комплексний показник якості досліджуваних верхньотрикотажних полотен

№ варіанта	Переплетення полотна	Одиничні показники якості (розмірні / показники бажаності)								Комплексний показник якості
		Г*, %	$П_п$, $дм^3/(м^2с)$	П, $мг/(м^2с)$	$В_в$, %	$С_п$, к-сть разів прання	У, %	Н, град.	Ж, $МНсм^2$	
Сирові полотна										
1	Кулірна гладь	9,2 / 0,76	1990 / 0,91	9,2 / 0,52	28,9 / 0,69	1,04 / 0,54	3,8 / 0,55	122 / 0,52	5,7 / 0,41	0,62
2	Ластикова гладь (1х1)	8,1 / 0,68	1840 / 0,90	0,42 / 0,34	23,3 / 0,62	2,23 / 0,66	3,6 / 0,58	127 / 0,55	4,6 / 0,56	0,59
3	Ластикова гладь (2х2)	7,8 / 0,68	1750 / 0,89	0,37 / 0,32	19,5 / 0,56	2,28 / 0,65	3,5 / 0,63	136 / 0,61	4,4 / 0,58	0,58
4	Інтерлочна гладь	7,7 / 0,65	1300 / 0,81	0,40 / 0,33	18,5 / 0,55	2,19 / 0,64	4,2 / 0,49	140 / 0,63	4,0 / 0,63	0,57
5	Пресове жакардове на базі кулірної гладі	9,0 / 0,75	2090 / 0,92	0,88 / 0,51	29,2 / 0,70	1,25 / 0,56	4,9 / 0,38	144 / 0,47	5,4 / 0,45	0,59
6	Комбіноване	8,2 / 0,69	1545 / 0,85	0,50 / 0,37	21,3 / 0,59	2,30 / 0,65	3,4 / 0,61	105 / 0,40	4,7 / 0,54	0,58
7	Інтерлочна гладь	6,4 / 0,52	1455 / 0,84	0,41 / 0,33	22,5 / 0,61	1,80 / 0,61	4,3 / 0,48	139 / 0,62	3,2 / 0,71	0,55
8	Комбіноване	7,2 / 0,6	1725 / 0,88	0,45 / 0,35	27,4 / 0,67	1,77 / 0,61	4,1 / 0,51	118 / 0,48	2,6 / 0,76	0,58
Вибілені полотна										
4-А	Інтерлочна гладь	9,2 / 0,76	975 / 0,72	1,21 / 0,62	14,7 / 0,48	1,22 / 0,55	4,0 / 0,52	137 / 0,61	2,7 / 0,75	0,62
6-А	Комбіноване	8,9 / 0,74	1155 / 0,77	1,17 / 0,60	22,5 / 0,61	1,31 / 0,56	3,9 / 0,51	111 / 0,45	2,1 / 0,80	0,63
7-А	Інтерлочна гладь	8.4 / 0,70	1085 / 0,75	0,90 / 0,51	20,2 / 0,57	1,25 / 0,56	3,5 / 0,60	1,34 / 0,59	2,3 / 0,78	0,62
8-А	Комбіноване	8,3 / 0,70	1175 / 0,78	1,34 / 0,65	23,1 / 0,62	1,49 / 0,58	3,4 / 0,61	108 / 0,42	1,9 / 0,81	0,64

Примітка: *Г, % – гігроскопічність (одиничні показники якості відповідно до табл. 1).

Висновки

Розроблена кваліметрична модель оцінювання рівня якості для нових варіантів верхньотрикотажних котоніновмісних полотен з успішним використанням узагальненого показника бажаності, який є безрозмірною величиною, розрахованою як середньогеометрична з певної кількості окремих безрозмірних показників бажаності вирахуваних із урахуванням їх вагомості.

Результати дослідження комплексного показника якості нових варіантів верхньотрикотажних котоніновмісних полотен оброблені з використанням комп'ютерної програми Estimate_of_quality відповідно до алгоритму моделі. Отримані результати надали можливість провести аналіз рівня якості досліджуваної групи полотен на основі комплексних і диференційних оцінок, співставити і проранжувати відповідно до градацій якості, виявити найоптимальніші з них (6А; 8А) за рівнем комплексного показника.

Комплексне оцінювання не виключає можливості оцінки полотен за диференціальними показниками, і безперечно сприяє розробці напрямів подальшого вдосконалення їх властивостей з метою забезпечення вимог споживачів. Розробка напрямів вдосконалення асортименту і підвищення якості цієї групи полотен ґрунтується на основі оптимізації сировинного складу, їх структури та технології виробництва.

Література

1. Андрусевич Д. А. Товароведение промышленных и продовольственных товаров. Ч. 1. /

Д. А. Андрусевич. – М. : Госторгиздат, 1953. – 124 с.

2. Гличев А. В. Что такое качество? / А. В. Гличев, В. П. Панов, Г. Г. Азгальдов. – М. : Экономика, 1968. – 135 с.

3. Сомов Ю. С. Потребительские качества промышленных изделий / Ю.С. Сомов, М.В. Федоров. – М. : Издательство стандартов, 1969. – 214 с.

4. Федоров М. В. Оценка эстетических свойств товаров / М. В. Федоров, Ю. С. Сомов. – М. : Экономика, 1970. – 147 с.

5. Методика оценки уровня качества промышленной продукции. – М. : Изд-во стандартов, 1971. – 45 с.

6. Методические указания по оценке эстетических показателей качества промышленной продукции. – М. : Издательство стандартов, 1971. – 49 с.

7. Гличев А. В. Комплексная оценка качества промышленной продукции / А. В. Гличев. – М. : Экономика, 1975. – 135 с.

8. Федоров М. В. Оценка качества промышленных товаров / М. В. Федоров, Е. Е. Задесенец. – М. : Экономика, 1977. – 110 с.

9. Агзальдов Г. Г. О квалиметрии / Г. Г. Агзальдов, Э. П. Райхман. – М. : Издательство стандартов, 1973. – 172 с.

10. Райхман Э. П. Экспертные методы в оценке качества товаров / Э. П. Райхман, Г. Г. Азгальдов. – М. : Экономика, 1974. – 151 с.

11. Соловьев А. Н. Оценка качества и стандартизация текстильных материалов / А. Н. Соловьев, С. М. Кирюхин. – М. : Легкая индустрия, 1974. – 248 с.

12. Варковецкий М. М. Количественное измерение качества продукции в текстильной промышленности / М. М. Варковецкий. – М. : Легкая индустрия, 1976. – 103 с.

13. Азгальдов Г. Г. Теория и практика оценки качества товаров (основы квалиметрии) / Г. Г. Азгальдов. – М. : Экономика, 1982. – 256 с.

14. Соловьев А. Н. Оценка и прогнозирование качества текстильных материалов / А. Н. Соловьев, С. М. Кирюхин. – М. : Легкая и пищевая промышленность, 1984. – 215 с.

15. Комплексная оценка качества текстильных материалов / А. Е. Чайковская, Л. В. Полищук, И. С. Галык, Б. Д. Семак – К. : Техника, 1989. – 254 с.

16. Куць В. Р. Методи оцінки рівня якості продукції / В. Р. Куць // Вимірювальна техніка та метрологія. – 2000. – № 56. – С. 130–133.

17. Дубініна А. А. Оцінка якості комбінованого пакувального матеріалу із застосуванням функції бажаності / А. А. Дубініна, О. С. Круглова, С. О. Ленерт, Т. М. Летута // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2013. – № 5(3). – С. 57–61.

18. Рензяева Т. В. Разработка обобщённого комплексного показателя качества хлебобулочных и мучных кондитерских изделий / Т. В. Рензяева, А. Д. Мерман, И. Б. Шарфунова // Техника и технология пищевых производств. – 2010. – № 3 (18). – С. 91–95.

19. Склянников В. П. Гигиеническая оценка материалов для одежды (теоретические основы разроботки) / В. П. Склянников, Р. Ф. Афанасьева, Е. Н. Машкова. – М. : Легпромбытиздат, 1985. – 144 с.

20. Галык И. С. Оптимизация ассортимента и качества текстильных материалов / И. С. Галык, Д. И. Козьмич, Б. Д. Семак. – К. : Техника, 1991. – 174 с.

21. Гущина К.Г. Эксплуатационные свойства материалов для одежды и методы оценки их качества / К. Г. Гущина, С. А. Беляева, Е. А. Командрыкова – М. : Легкая и пищевая промышленность, 1984. – 312 с.

22. Дианич М. М. Потребительские свойства тканей и трикотажа из смесей льняных и химических волокон / М. М. Дианич. – М. : Легкая и пищевая промышленность, 1984. – 112 с.

23. Мартосенко М. Г. Проблеми формування асортименту та якості котоніновмісного трикотажу / М. Г. Мартосенко, Б. Д. Семак // Проблемы лёгкой и текстильной промышленности Украины. – 2011. – № 1(17). – С. 157–163.

24. Полотна трикотажні. Норми та методи оцінки якості: ДСТУ 3823-98. – [Чинний від 2000-01-01]. – К. : Держстандарт України, 1999. – 21 с. – (Державний стандарт України).

25. Матеріали та вироби текстильні та шкіряні побутового призначення. Основні гігієнічні вимоги: ДСТУ 4239-2003. – [Чинний від 2004-10-01]. – К. : Держспоживстандарт України, 2004. – 18 с. – (Національний стандарт України).

26. Мартосенко М. Г. Влияние заключительной отделки на воздухопроницаемость котонинсодержащих трикотажных полотен / М. Г. Мартосенко // Материалы III Международной научно-практической конференции [«Управление торговлей: теория, практика, инновации»], (Москва, 11 ноября 2010 р.) / Автономная некоммерческая организация высшего профессионального образования Центросоюза Российской Федерации «Российский университет кооперации». – М. : РУК, 2010. – С. 140–144.

27. Торкунова З. А. Испытания трикотажа / З. А. Торкунова. – М. : Легкая индустрия, 1975. – 224 с.

28. Семак Б. Д. Износостойкость и формоустойчивость одежных тканей с малосминаемой и малоусадочной отделкой / Б. Д. Семак. – М. : Легкая индустрия, 1979. – 192 с.

29. Бузов Б. А. Материаловедение швейного производства / Б. А. Бузов, Т. А. Модестова, Н. Д. Алыменкова. – М. : Легпромбытиздат, 1986. – 424 с.

Reference

1. Andrusevich D. A. Tovarovedenie promy`shlennyh i prodovolstvenny`h tovarov. Ch. 1. Moscow, Gostorgizdat, 1953, 124 p.
2. Glichev A.V., . Panov V.P, Azgal`dov G.G. Chto takoe kachestvo? Moscow, E`konomika, 1968, 135 p.
3. Somov YU.S., M.V. Fedorov Potrebitel`skie kachestva promy`shlenny`h izdelij. Moscow, Izdatel`stvo standartov, 1969, 214 p.
4. Fedorov M.V., Somov YU.S. Oczenka e'steticheskih svojstv tovarov. Moscow, E`konomika, 1970, 147 p.
5. Metodika oczenki urovnya kachestva promy`shlennoj produkczii. Moscow, Izdatel`stvo standartov, 1971, 45 p.
6. Metodicheskie ukazaniya po oczenke e`steticheskih pokazatelej kachestva promy`shlennoj produkczii. Moscow, Izdatel`stvo standartov, 1971, 49 p.
7. Glichev A.V. Kompleksnaya oczenka kachestva promy`shlennoj produkczii. Moscow, E`konomika, 1975, 135 p.
8. Fedorov M.V., Zadesenecz E.E. Oczenka kachestva promy`shlenny`x tovarov. Moscow, E`konomika, 1977, 110 p.
9. Azgal`dov G.G., Rajxman E`.P. O kvalimetrii. Moscow, Izdatel`stvo standartov, 1973, 172 p.
10. Rajxman E`.P., Azgal`dov G.G. E`kspertny`e metody` v oczenke kachestva tovarov. Moscow, E`konomika, 1974, 151 p.
11. Solov`ev A.N., Kiryuxin S.M. Oczenka kachestva i standartizacziya tekstil`ny`x materialov. Moscow, Legkaya industriya, 1974. 248 p.
12. Varkoveczkij M.M. Kolichestvennoe izmerenie kachestva produkczii v tekstil`noj promy`shlennosti. Moscow, Legkaya industriya, 1976, 103 p.
13. Azgal`dov G.G. Teoriya i praktika oczenki kachestva tovarov (osnovy` kvalimetrii). Moscow, E`konomika, 1982, 256 p.
14. Solov`ev A.N., Kiryuxin S.M. Oczenka i prognozirovanie kachestva tekstil`ny`x materialov. Moscow, Legkaya industriya, 1974, 215 p.
15. Chajkovskaya A.E., Polishhuk L.V., Galy`k I.S, Semak B.D. Kompleksnaya oczenka kachestva tekstil`ny`x materialov. Kyiv, Texnika, 1989, 254 p.
16. Kuts V.R. Metody otsinky rivnia yakosti produktsii, *Vymiriuvalna tekhnika ta metrolohiia*, 2000, No. 56, pp. 130-133.
17. Dubinina A.A., Kruhlova O.S., Lenert S.O., Letuta T.M. Otsinka yakosti kombinovanoho pakuvalnoho materialu iz zastosuvanniam funktsii bazhanosti, *Vostochno-Evropejskij zhurnal peredovy`x texnologij*, 2013, No. 5(3), pp.57-61.
18. Renzyaeva T.V., Merman A.D., Sharfunova I.B. Razrabotka obobshhyonnogo kompleksnogo pokazatelya kachestva xlebobulochny`x i muchny`x konditerskix izdelij, *Texnika i texnologiya pishhevy`x proizvodstv,* 2010, No. 3 (18), pp. 91-95.
19. Sklyannikov V.P., Afanas`eva R.F., Mashkova E.N. Gigienicheskaya oczenka materialov dlya odezhdy` (teoreticheskie osnovy` razrobotki). Moscow, Legpromby`tizdat, 1985, 144 p.
20. Galy`k I.S, Koz`mich D. I., Semak B.D. Optimizacziya assortimenta i kachestva tekstil`ny`x materialov. Kyiv, Texnika, 1991, 174 p.
21. Gushhina K.G., Belyaeva S.A., Komandry`kova E. A. E`kspluataczionny`e svojstva materialov dlya odezhdy` i metody` oczenki ix kachestva. Moscow, Legkaya i pishhevaya promy`shlennost`, 1984, 312 p.
22. Dianich M. M. Potrebitel`skie svojstva tkanej i trikotazha iz smesej l`nyany`x i ximicheskix volokon. Moscow: Legkaya i pishhevaya promy`shlennost`, 1984, 112 p.
23. Martosenko M.G., Semak B.D. Problemy formuvannia asortymentu ta yakosti kotoninovmisnoho trykotazhu, Problemy` lyogkoj i tekstil`noj promy`shlennosti Ukrainy`, 2011, No. 1(17), pp. 157-163.
24. DSTU 3823-98 Polotna trykotazhni. Normy ta metody otsinky yakosti. – [Chynnyi vid 2000-01-01]. Kyiv, Derzhstandart Ukrainy, 1999. 21 p. – (Derzhavnyi standart Ukrainy).
25. DSTU 4239-2003 Materialy ta vyroby tekstylni ta shkiriani pobutovoho pryznachennia. Osnovni hihiienichni vymohy. – [Chynnyi vid 2004-10-01]. Kyiv, Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2004, 18 p. – (Natsionalnyi standart Ukrainy).
26. Martosenko M.G. Vliyanie zaklyuchitel`noj otdelki na vozduxoproniczaemost` kotoninsoderzhashhix trikotazhny`x poloten. Upravlenie torgovlej: teoriya, praktika, innovacii : Materialy` III Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii`, Avtonomnaya nekommercheskaya organizacziya vy`sshego professional`nogo obrazovaniya Centrosoyuza Rossijskoj Federacii «Rossiijskij universitet kooperaczii», Moscow, RUK, 2010, pp. 140-144.
27. Torkunova Z.A. Ispy`taniya trikotazha. Moscow, Legkaya industriya, 1975, 224 p.
28. Semak B.D. Iznosostojkost` i formoustojchivost` odezhny`x tkanej s malosminaemoj i malousadochnoj otdelkoj. Moscow, Legkaya industriya, 1979, 192 p.
29. Buzov B.A., Modestova T.A., Aly`menkova N.D. Materialovedenie shvejnogo proizvodstva. Moscow, Legpromby`tizdat, 1986, 424p.

Рецензія/Peer review : 12.3.2015 р. Надрукована/Printed :15.4.2015 р.
Рецензент: д.т.н., професор Кожушко Г.М.

УДК 677.31:537.528

Ю.Г. САРИБЕКОВА
Херсонский национальный технический университет

ВЛИЯНИЕ СПОСОБА МОДИФИКАЦИИ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ СВОЙСТВ ШЕРСТЯНОГО ВОЛОКНА

В статье представлены результаты исследования влияния химических, биохимического и физического способов модификации шерстяного волокна на физико-механические свойства. Изучено влияние способов модификации на изменение таких показателей свойств волокна, как белизна, потеря массы, относительная разрывная нагрузка, длина, тонина и извитость шерстяных волокон. Определено, что осуществление процесса модификации путем электроразрядной обработки способствует получению высококачественной шерсти, которая характеризуется улучшенными физико-механическими свойствами по сравнению с образцами шерстяного волокна, полученными при обработке классическими химическими и биохимическим способами.

Ключевые слова: шерсть, шерстяное волокно, модификация, электроразрядная обработка.

YULIYA GEORGIEVNA SARIBYEKOVA
Kherson National Technical University

INFLUENCES OF THE WAY OF MODIFICATION ON PHYSICAL AND MECHANICAL INDICATORS OF PROPERTIES OF THE WOOL FIBER

Abstract – In article results of research of influence of chemical, biochemical and physical ways of modification of a wool fiber on physical and mechanical properties are presented. Influence of ways of modification on change of such indicators of properties of a fiber as a whiteness, weight loss, relative explosive loading, length, fineness and tortuosity wool fibers are investigated. It is defined, that realization of process of modification by electro-discharged processing promotes reception of high-quality wool which is characterized by the improved physical and mechanical properties in comparison with the samples of a wool fiber received at processing classical chemical and biochemical ways.

Keywords: wool, wool fiber, modification, electro-discharged processing.

Введение

Шерсть – уникальное природное волокно, из которого можно получить разнообразные по структуре и назначению текстильные материалы. Однако благодаря химическому составу и структуре отдельных волокон шерстьсодержащие ткани и изделия из них обладают небольшой прочностью, значительным удлинением, усадкой, свойлачиваемостью, что приводит к быстрой потере формы одежды в процессе ее эксплуатации. Решением проблемы улучшения технологических и эксплуатационных характеристик изделий из шерсти является модификация шерстяного волокна.

Анализ исследований и публикаций

Традиционно свойства шерстяного волокна изменяют химическими способами: в процессе хлорирования водным раствором гипохлорита натрия и путем обработки пероксидами, а также, но значительно реже, биологическими методами за счет обработки ферментами при подготовке, белении, крашении и заключительной отделке шерстяных текстильных материалов [1–3].

Несомненным достоинством данных методов является простота их применения. Однако данные классические способы обработки шерсти имеют и существенные недостатки. Так, применение хлорсодержащих растворов опасно попаданием газообразного хлора, как в атмосферу цеха, так и в окружающую среду. При этом хлорирование и отбеливание пероксидом водорода также часто негативно сказываются и на качестве сырья, ухудшая его физико-механические свойства, что усложняет дальнейшие операции технологической цепочки производства шерстяных текстильных материалов – прядение, ткачество, крашение, заключительную отделку [4]. Кроме того, условия обработки ферментами строго ограничены, поскольку в результате значительно повышается растворимость шерсти в щелочной среде [5], вследствие того, что такая модификация сопряжена с деструкцией биополимера, приводящей к существенному падению прочностных показателей шерсти.

Наравне с химическими методами модификации шерстяного волокна в текстильной промышленности нашли свое применение и физические методы, которые основаны на применении различных физико-химических эффектов, использующих внутренние и внешние источники энергии [6]. К таким воздействиям относятся: электромагнитное поле, луч лазера, плазма газового разряда (дуговая, тлеющая, барьерная и др.).

В 1959 г. впервые была открыта возможность использования электрических воздействий для обработки шерстяного волокна. После такой обработки шерсть быстрее окрашивалась, улучшались ее прядильные свойства, снижалась валкоспособность и способность к усадке. На сегодняшний день в мире накоплен большой опыт практического промышленного применения электрических воздействий, в частности плазменной технологии, для обработки шерстяных тканей при подготовке их под печать активными и кислотными красителями. Однако плазменная технология из-за сложности технологического исполнения оборудования все же не получила широкого распространения.

Проанализировав публикации отечественных и зарубежных исследователей за последние десятилетия в данном направлении [7–10], можно заключить, что ни один из разработанных физических методов модификации поверхности волокна не был реализован до конца и не нашел своего широкого

практического применения.

Поэтому были проведены исследования для разработки нового способа модификации шерстяного волокна, который обеспечит получение экологически чистой, экономически конкурентоспособной, качественной готовой продукции. На сегодняшний день перспективным направлением в процессе обработки текстильных материалов является применение высоковольтных импульсных электрических разрядов.

Несмотря на то, что в технической литературе появились публикации о применении высоковольтных импульсных электрических разрядов в текстильной промышленности, для процесса модификации шерсти применение этого метода мало изучено, а потому представляет большой научный интерес.

Нами предложена научная гипотеза модификации шерстяного волокна под действием электроразрядной нелинейной объемной кавитации (ЭРНОК), которая возникает вследствие воздействия импульсно-возникающего высокого давления на надмолекулярную структуру волокна, а также путем изменения химических свойств волокна свободными радикалами и пероксидом водорода, который образуется в воде под действием электроразрядной обработки.

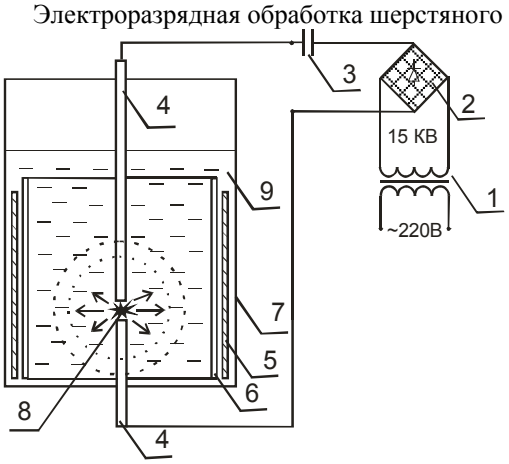
Постановка цели исследования

Целью данной работы было изучение влияния ЭРНОК на физико-механические свойства шерстяного волокна для обоснования выбора электроразрядной обработки как способа модификации.

Методика проведения исследования

Обоснование выбора ЭРНОК как способа модификации шерстяного волокна было проведено путем сравнения данного способа обработки с химическими (хлорированием и обработкой пероксидом водорода) и биохимическим способом с применением фермента щелочной протеазы.

Электроразрядная обработка шерстяного волокна проводилась на установке (рис. 1.).



1 – повышающий трансформатор;
2 – диодный мост;
3 – конденсатор;
4 – электроды;
5 – обрабатываемый текстильный материал;
6 – цилиндрическая сетка;
7 – корпус реактора;
8 – зона возникновения разряда;
9 – жидкость.

Рис. 1. Схема лабораторной установки для электроразрядной обработки

При хлорировании шерстяное волокно обрабатывали при температуре 18–20°С и модуле ванны М=50 кислым раствором гипохлорита натрия, содержащий: активный хлор – 1 г/л; серная кислота (конц.) – 1 мл/л. Обработку проводили в течение 40 мин. при перемешивании. Далее материал промывали холодной водой, затем в растворе серной кислоты при концентрации 5% в течение 2-3 мин. и снова холодной водой. После этого с целью антихлорирования материал подвергали обработке раствором сульфита натрия при концентрации 2%, модуле ванны М=50, температуре Т=40°С в течение 15 мин. Затем шерсть промывали и высушивали [11].

Пероксидная обработка шерстяного волокна осуществлялась по периодическому способу. Волокно помещали в белящий раствор следующего состава (г/л): пероксид водорода (30%) – 5; силикат натрия – 2; карбонат натрия – 0,5; вода – до 1000 мл. Обработку проводили при М=30 при Т=50°С-55°С в течении 45 мин. По окончании процесса беления волокно промывали холодной водой. Для нейтрализации остатка щелочи волокно обрабатывали на холоду в течение 10 мин. раствором уксусной кислоты концентрацией 2 г/л, а затем промывали холодной водой и высушивали [11].

Ферментная обработка шерстяного волокна проводилась с применением щелочной протеазы. Образцы шерсти обрабатывали в растворе фермента концентрацией 1 г/л при Т=60°С в течение 60 мин. После этого волокно промывали сначала в теплой воде при Т=40–45°С, а затем в холодной воде и высушивали [12].

Эксперимент выполняли на тонком шерстяном волокне в виде чесаной ленты, которая в отличие от немытого шерстяного волокна является более однородной по структуре, а, следовательно, и по физико-механическим и физико-химическим свойствам.

В ходе исследования были определены следующие физико-механические свойства шерсти: белизна по ГОСТ 18054-72, потеря массы весовым методом [11], относительная разрывная нагрузка на динамометре ДШ-3М согласно ГОСТ 20269-93, длина по ГОСТ 21244-75, тонина согласно ГОСТ 17514-93 и извитость по ГОСТ 13411-90.

Результаты исследования и их обсуждение

Показатель потери массы в процессе обработки является характеристикой разрушения шерстяного волокна, которое происходит за счет частичной деструкции мембран клеток чешуйчатого слоя (эпикутикулы), находящегося на поверхности волокна. Показатель белизны также значим, так как наиболее

ценной с технологической точки зрения является белая шерсть из-за возможности окрашивания ее в любой цвет. Относительная разрывная нагрузка характеризует степень разрушения шерсти в процессе обработки. В табл. 1 представлены результаты влияния различных способов модификации на исследуемые показатели качества шерсти.

Таблица 1

Влияние способа модификации на качество шерстяного волокна

Способ модификации	Белизна, %	Масса образцов, m, г	Относительная разрывная нагрузка, P_0, сН/текс
Необработанное волокно	45,7	1,000	6,56
Хлорирование	46,3	0,975	6,02
Пероксидная обработка	52,4	0,982	5,97
Ферментная обработка	50,8	0,986	6,27
Электроразрядная обработка	49,5	0,990	7,15

Представленные в табл. 1 результаты свидетельствуют о том, что все исследуемые способы модификации оказывают влияние на шерстяное волокно. Для более удобного сравнения и анализа полученные данные представлены на рис. 2 в качестве относительных показателей изменения белизны и массы по сравнению с необработанным волокном.

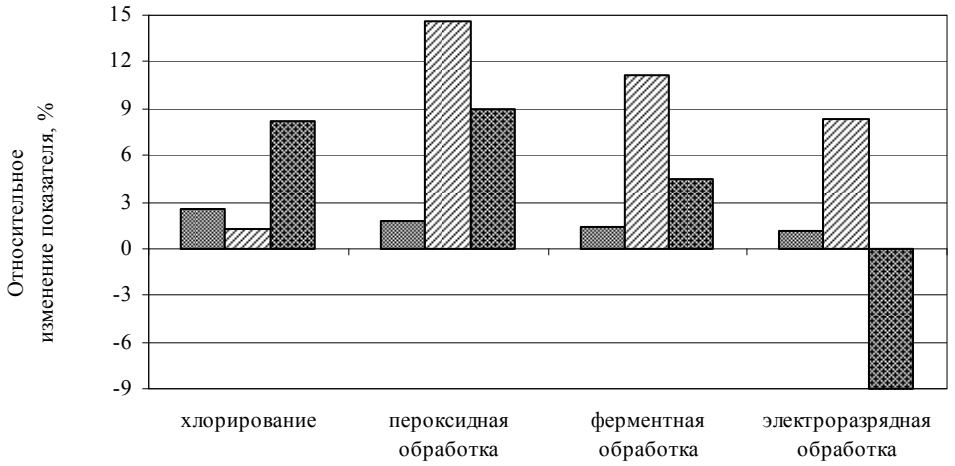


Рис. 2. Влияние способа модификации на относительное изменение показателей качества шерстяного волокна

Анализ данных, представленных на рис. 2, показывает, что после хлорирования при существенном пожелтении образцов шерстяного волокна, наблюдаются наибольшая потеря массы и падение разрывной нагрузки. Пероксидная обработка, в свою очередь, также приводит к значительной потере массы и падению разрывной нагрузки, но при этом виден наибольший прирост белизны.

Повышение белизны в процессе хлорирования и пероксидной обработки обусловлено удалением с поверхности волокон остатков жировосковых веществ, липопротеинов, искажающих ее натуральный цвет и придающих волокну желтый оттенок. Обесцвечивание шерстяного волокна связано не только с удалением природных пигментов, но также липидов и зольных веществ, включенных в структуру мембраны кутикулярных клеток и межмакрофибриллярного вещества коркового слоя. Известно, что гранулы эумеланина располагаются в паракортексе в большем количестве, чем в ортокортексе [13, 14].

При биохимической модификации шерсти ферментами не происходит значительного повышения белизны волокна, по сравнению с обработкой пероксидом водорода, однако потеря массы и падение разрывной нагрузки значительно выше, чем после электроразрядной обработки.

В ходе исследования установлено, что воздействие ЭРНОК хотя и не приводит к значительному приросту белизны, однако способствует существенному повышению разрывной нагрузки при незначительной потере массы обрабатываемой шерсти. Мы предполагаем, что под влиянием действующих факторов ЭРНОК происходит уплотнение надмолекулярной структуры шерсти при одновременном скалывании чешуек кутикулы.

Потеря массы шерсти при всех исследуемых способах модификации не превышает 2,5%, что находится в пределах нормы.

Комплексный технический анализ полученных результатов показал, что электроразрядная обработка обеспечивает модификацию волокна без существенного нарушения структуры кератина. Повышение относительной разрывной нагрузки, по нашему мнению, обусловлено влиянием ЭРНОК на надмолекулярное строение шерстяного волокна. При этом происходит незначительное разрушение поверхности, о чем свидетельствует невысокие показатели потери массы.

Известно, что длина, тонина и извитость волокна оказывают существенное влияние на

потребительские свойства материала и определяют выбор системы прядения: короткое волокно перерабатывают по аппаратной системе прядения, длинное и тонкое используют в тонкогребенной системе прядения, длинное и грубое – в грубогребенной системе [15]. В свою очередь абсолютная прочность волокна также находится в прямой зависимости от его тонины и извитости.

Далее необходимо было определить влияние способа обработки на такие геометрические свойства волокна как истинная длинна, тонина и степень извитости, поскольку именно они определяют деформационные изменения в волокнистом материале и его технические свойства, а следовательно конечный результат и эффект технологической операции. Результаты исследования приведены в табл. 2.

Таблица 2

Влияние способа модификации на геометрические свойства шерстяного волокна

Способ модификации	Среднее значение истинной длины, мм	Средняя тонина, мкм	Среднее значение степени извитости, %
Необработанное волокно	123,8	19,40	20,53
Хлорирование	88,0	18,94	22,15
Пероксидная обработка	84,2	19,08	21,76
Ферментная обработка	103,7	19,15	22,69
Электроразрядная обработка	116,4	19,24	24,02

Анализ геометрических свойств волокна выявил отличительные особенности воздействия электроразрядной обработки от действия хлора, пероксида водорода и фермента (табл. 2). Установлено, что наиболее значительное изменение длины и тонины волокна шерсти наблюдается после пероксидной обработки и хлорирования, а менее заметное – после ферментного гидролиза и электроразрядной обработки. Степень извитости, характеризующая упруго-эластические свойства волокна, наиболее существенно повышается вследствие электроразрядной обработки. Влияние способов модификации на изменение геометрических свойств шерстяного волокна представлено на рис. 3.

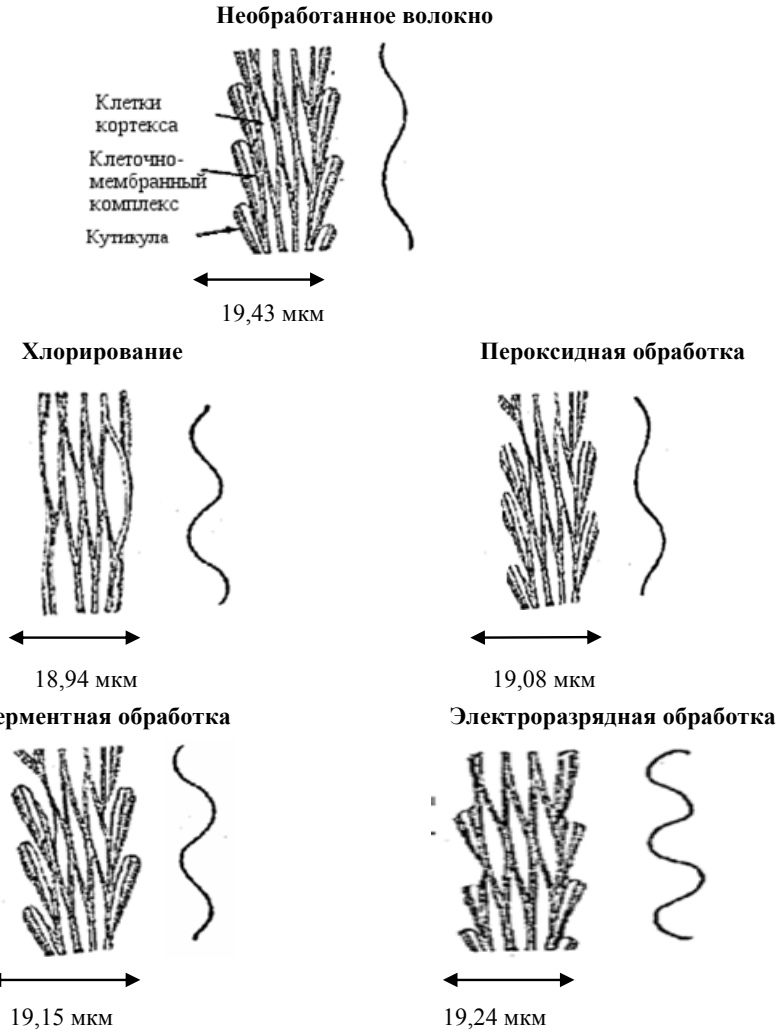


Рис. 3. Влияние способа модификации на геометрические свойства шерсти

Результаты исследования позволяют заключить, что приобретаемые свойства высокой извитости при незначительном утонении и укорочении волокна после воздействия ЭРНОК позволяют рекомендовать электроразрядную обработку для модификации шерстяного волокна и прогнозировать его упруго-эластические свойства, определяя при этом технологию дальнейшей переработки шерсти. Увеличение извитости волокна будет способствовать повышению объемных свойств пряжи или ткани и, следовательно, положительно влиять на теплоизоляционные потребительские характеристики материала, в частности, его пушистость.

Выводы

Определено, что осуществление процесса модификации способом электроразрядной обработки способствует получению высококачественной шерсти, которая характеризуется улучшенными физико-механическими свойствами по сравнению с образцами шерстяного волокна, полученными при обработке классическими химическими и биохимическим способами. Шерстяное волокно после электроразрядной обработки характеризуется высокой прочностью, извитостью, низкой степенью свойлачивания при

максимальном сохранении длины и тонины отдельных волокон

Литература

1. Jocic D., Jovancic P., Trajkovic R., Seles G. Influence of a chlorination treatment on wool dyeing. Textile Research Journal. 1993. № 63 (11). P. 619–626.

2. Taki F. Surface treatments of wool by potassium hydroxide in dehydrated butanol. Sen'i Gakkaishi. 1996. № 9. P. 500–503.

3. Das T., Ramaswamy G.N. Enzyme treatment of wool and specialty hair fibers. Textile Research Journal. 2006. № 76 (2). P. 126–133.

4. Кричевский Г.Е. Прошлое, настоящее и будущее биотехнологий в отделке текстильных материалов и смежных отраслях / Г.Е. Кричевский // Текстильная химия. – 1998. – № 2. – С. 41–57.

5. Mandovska B., Prendzova M. The effect of enzyme treatments of wool yarns and their products. Preceding of the 10th International Wool Textile Research Conference, DWI, Aachen. Germany, 2000. P. 56.

6. Разработка научных основ и промышленного освоения новых технологий, направленных на повышение конкурентоспособности продукции шерстяной и смешанных отраслей текстильной и легкой промышленности / [под ред. К.Э. Разумеева]. – М. : Оргсервис, 2006. – 236 с.

7. Сафонов В.В. Интенсификация химико-текстильных процессов отделочного производства / Сафонов В.В. – М. : МГТУ им. А.Н. Косыгина, 2006. – 405 с.

8. Абдуллин И.Ш. Влияние потока низкотемпературной плазмы на свойства текстильных материалов / И.Ш. Абдуллин, В.В. Хамматова. – Казань : Изд-во Казанского университета, 2004. – 428 с.

9. Rakowski W. Plasma treatment of wool today. Part 1 – Fibre properties, spinning and shrinkproofing. Journal of the Society of Dyers and Colourists. 1997. №113. P. 250–255.

10. Gupta S. Enzyme applications in chemical processing of textiles. 19-th IFATCC Congress, Paris, 2002. P. 309.

11. Лабораторный практикум по химической технологии текстильных материалов / [под ред. Г.Е. Кричевского]. – М., 1994. – 400 с.

12. Чешкова А.В. Теория и практика ферментативного облагораживания волокнистых и текстильных материалов / А.В. Чешкова, В.И. Лебедева, Б.Н. Мельников // Текстильная химия. – 1998. – № 2. – С. 57–65.

13. Кричевский Г.Е. Теория и практика подготовки текстильных материалов / Г.Е. Кричевский, В.А. Никитков. – М. : Легпромиздат, 1989. – 208 с.

14. Бендер М. Биоорганическая химия ферментативного катализа / М. Бендер, Р. Бергерон, М. Комияма ; [по ред. И.В. Березина]. – М. : Мир, 1987. – 352 с.

15. Афанасьев В.К. Справочник по шерстопрядению / В.К. Афанасьев, Г.О. Лежебрух, И.Г. Рашкован ; [под ред. В.К. Афанасьева]. − М. : Легкая и пищевая промышленность, 1993. − 488 с.

References

1. D. Jocic, P. Jovancic, R. Trajkovic and G. Seles, „Influence of a chlorination treatment on wool dyeing“, Textile Research Journal, Vol. №63 (11), 1993 pp. 619-626.

2. F. Taki, „Surface treatments of wool by potassium hydroxide in dehydrated butanol“, Sen'i Gakkaishi, Vol. 9, 1996 pp. 500-503.

3. T. Das and G.N Ramaswamy, „Enzyme treatment of wool and specialty hair fibers“, Textile Research Journal, Vol. 76 (2), 2006 pp. 126-133.

4. Krichevskiy G.Ye. Proshloye, nastoyashcheye i budushcheye biotekhnologiy v otdelke tekstil'nykh materialov i smezhnykh otraslyakh, *Tekstil'naya khimiya,* 1998, No 2, pp. 41-57.

5. B. Mandovska and M. Prendzova, „The effect of enzyme treatments of wool yarns and their products“ in 10th International Wool Textile Research Conference, DWI, Aachen, Germany, 2000 pp. 56.

6. Razrabotka nauchnykh osnov i promyshlennogo osvoyeniya novykh tekhnologiy, napravlennykh na povysheniye konkurentosposobnosti produktsii sherstyanoy i smeshannykh otrasley tekstil'noy i legkoy promyshlennosti. Ed. by K.E. Razumeyev. Moscow, Orgservis, 2006, 236 p.

7. Safonov V.V. Intensifikatsiya khimiko-tekstil'nykh protsessov otdelochnogo proizvodstva. Moscow, MGTU im. A.N. Kosygina, 2006, 405 p.

8. Abdullin I.Sh., Khammatova V.V. Vliyaniye potoka nizkotemperaturnoy plazmy na svoystva tekstil'nykh materialov. - Kazan', Izdatel'stvo Kazanskogo universiteta, 2004, 428 p.

9. W. Rakowski, „Plasma treatment of wool today. Part 1 – Fibre properties, spinning and shrinkproofing“, Journal of the Society of Dyers and Colourists, Vol. 113, 1997 pp. 250-255.

10. S. Gupta, „Enzyme applications in chemical processing of textiles“ in19-th IFATCC Congress, Paris, France, 2002 p. 309.

11. Laboratornyy praktikum po khimicheskoy tekhnologii tekstil'nykh materialov. Ed. by G.Ye. Krichevskiy. Moscow, 1994, 400 p.

12. Cheshkova A.V., Lebedeva V.I., Mel'nikov B.N. Teoriya i praktika fermentativnogo oblagorazhivaniya voloknistykh i tekstil'nykh materialov, Tekstil'naya khimiya, 1998, No. 2, pp. 57-65.

13. Krichevskiy G.Ye., Nikitkov V.A. Teoriya i praktika podgotovki tekstil'nykh materialov. Moscow, Legpromizdat, 1989, 208 p.

14. Bender M., Bergeron R., Komiyama M. Bioorganicheskaya khimiya fermentativnogo kataliza. Ed. by I.V. Berezin. Moscow, Mir, 1987, 352 p.

15. Afanas'yev V.K., Lezhebrukh G.O., Rashkovan I.G. Spravochnik po sherstopryadeniyu. Ed. by V.K. Afanas'yev. Moscow, Legkaya i pishchevaya promyshlennost', 1993, 488 p.

Рецензія/Peer review : 2.3.2015 р. Надрукована/Printed :15.4.2015 р.
Рецензент: д.т.н., професор, Валько М.І.

УДК 685.31

А.В. ВДОВЕНКО, В.П. КОНОВАЛ
Київський національний університет технологій та дизайну

ТИПОЛОГІЯ СТОП ДІТЕЙ УКРАЇНИ. ПОВІДОМЛЕННЯ 2. ВИЗНАЧЕННЯ ТИПОЛОГІЇ СТОП ДІТЕЙ ЗА СТАТЕВОВІКОВОЮ ТА ТЕРИТОРІАЛЬНОЮ ОЗНАКАМИ

Робота присвячена вирішенню проблеми вдосконалення процесу формування розмірно-повнотного асортименту взуття. Використано дискретно-цифрову модель умовної середньо-типової стопи за її антропометричними даними, яка дозволяє дати повну комплексну характеристику поєднанню стоп, провести порівняльний математичний аналіз розмірів стоп двох і більше груп населення, об'єктивно оцінити різницю або ймовірну близькість і прийняти рішення про доцільність створення нової колодки. Крім того дані математичної моделі можуть бути використані в системі автоматичного проектування колодок та взуття, а також розрахунку оптимального розмірно-повнотного асортименту.

Ключові слова: стопа, антропометричні дослідження, математична модель, розмірно-повнотний асортимент.

A.V. VDOVENKO, V.P. KONOVAL
Kyiv National University of Technologies and Design

TYPOLOGY OF THE CHILDREN FEET REGIONS OF UKRAINE. MESSAGE 2. DETERMINING TYPOLOGY OF CHILDREN'S FEET BY AGE-SEX AND TERRITORIAL CHARACTERISTICS

Abstract – Work is devoted to solving the problem of perfection of process of forming size assortment of shoe. The discrete numerical model of a typical mid-conventional foot by it's anthropometric data was used in the research, which allows to give a complete description of a complex characteristic of feet combination; to hold comparative mathematical analysis of feet size of two or more population groups; to objectively evaluate the difference or probable proximity and decide on the feasibility of inventing new shoe t lasts. Besides data mathematical models can be used in the manufacturing of children's shoes, including in the designing of shoe lasts and development of size assortment of shoe.

Keywords: foot, anthropometric research, mathematical model, size assortment of shoe.

Вступ

Номенклатура критеріїв зручності взуття, особливо для школярів, на даний час не достатньо науково обґрунтована. А оскільки ступінь оптимальності внутрішньої форми взуття для кожного окремого споживача визначається виключно морфологічними характеристиками його стоп, то єдиним (і найбільш достовірним) способом забезпечення раціональної внутрішньої форми і розмірів взуття залишаються антропометричні, морфологічні та біомеханічні дослідження стоп. Сьогодні такі дослідження передбачають визначення розмірних характеристик і форми стоп населення всіх статевовікових груп у різних регіонах і вважаються основою для побудови параметрів і внутрішньої форми взуттєвих колодок, взуття та розрахунку оптимального розмірно-повнотного асортименту взуття.

Виготовлення взуття у значних кількостях для невідомого споживача вимагає точних і репрезентативних даних про розміри і будову стопи майбутніх споживачів, бо без таких даних практично не можливо виготовити взуття навіть за ознакою відповідності розмірів (не кажучи про відповідність за іншими параметрами). Крім цього, знання про розподіл розмірних характеристик стоп споживачів і їх територіальну диференціацію обов'язкові в ринкових умовах для виробників взуття, для працівників торгівлі цією групою товарів і, зрозуміло, для споживача [1].

Задоволення потреб споживачів у взутті шкільного віку багато в чому залежить від правильної побудови розмірно-повнотного асортименту, який в значні мірі впливає як на його зручність, так і на якість в цілому. Розмірний асортимент взуття для дітей шкільного віку у порівнянні з розмірним асортиментом для дорослих має певні особливості, що пов'язані із розподілом стоп дітей та змінюванням їх розміру в залежності від віку дитини [2, 3].

Необхідність дослідження стоп населення у різних географічних регіонах експериментально доведена ще у 1930-і роки їх диференціацією за цією ознакою [3]. На основі проведених пізніше антропологічних досліджень населення України і антропометричних досліджень його стоп [4, 5] за територіальною ознакою в Україні було виокремлено чотири територіально-антропологічні типи і відповідні їм територіальні регіони: центральний, карпатський (західний), східний, південний.

Постановка проблеми

Сьогодні виробництво шкільного взуття за розмірами здійснюється відповідно до ГОСТ 3927-88 «Колодки обувные. Общие технические условия», від часу впровадження якого минуло вже понад 25 років. За цей період часу мала місце акселерація та сонячна активність, з якою безпосередньо пов'язують цей процес [6, 7]. Сутність акселерації полягає в більш ранньому досягненні певних етапів біологічного, в тому числі фізичного, розвитку організму та його окремих органів, що не було передбачено вищеназваним

стандартом [4].

Крім того, в Україні останні масові антропометричні дослідження проводилися в 50-х роках минулого століття [3–5, 8, 9], які не конкретизувались за окремими статевовіковими групами в регіонах країни.

В*иклад основного матеріалу дослідження*

З метою розвитку розмірного асортименту і підвищення рівня задоволеності потреб споживачів підліткового віку було проведено антропометричні дослідження близько 1300 стоп школярів віком 8–11 років регіонів України. При цьому по кожній стопі визначалося біля 50 параметрів (довжинних і широтних – на стопомірі, висотних і обхватних – за плантограмою).

В результаті отримано великий банк антропометричних даних, обробка яких проводилася методами математичної статистики з використанням ПК (програм Microsoft Office Excel та «STAT» на базі Microsoft Office Access).

Великий статистичний матеріал створює можливість розробити комплексну математичну модель антропометричних, морфологічних, біомеханічних і фізіологічних показників стоп-аналогів. У цю модель можна включити і показники раціонального співвідношення розмірів стоп та внутрішньої форми взуття, тому її можна вважати вихідною для автоматизованого проектування.

Питання побудови математичної дискретно-цифрової моделі умовної середньо-типової стопи за її антропометричними даними вперше відображене у роботах Фукіна В. А. [10] та Коновала В. П. [4]. Для розробки математичної моделі використовувалися не тільки антропометричні дані, але і морфологічні, біомеханічні, фізіологічні властивості стоп. Така комплексна математична модель по сукупності характеристик стоп була основою для розробки програм з визначення топографії стоп і автоматизованого проектування взуттєвої колодки. Математична модель дала визначення сумісності різних ознак стоп і можливості побудови колодки.

Виходячи з теорії подоби, Коновал В. П. [4] спочатку вирішував задачу визначення антропофізіологічного типу досліджуваних стоп, установлених ГОСТ 3927. Потім були визначені їх функціональні особливості, виходячи з біомеханіки відповідно до внутрішньої форми взуття і стопи в реальних умовах його використання. Ґрунтуючись на цій моделі, з урахуванням особливостей досліджуваних стоп школярів нами була використана математична модель, що дала можливість провести аналіз і визначення сумісності ознак для можливості побудови єдиного типу колодки і розрахунку раціонального розмірно-повнотного асортименту для окремих груп.

Комплексна математична модель є більш повним аналогом вибіркової сукупності стоп, так як вона відображає не тільки статичні (антропометричні та морфологічні), а й функціональні властивості за показниками біомеханіки, а також і раціональне співвідношення розмірів стопи і внутрішньої форми взуття.

В нашому випадку розглядались основні середні розміри вибіркових сукупностей характеристик стоп за 3 різнойменними параметрами (довжина стопи – $Д_{СТ}$, ширина по середині пучків – Шп, обхват по середині пучків – $О_П$). Крім цього визначалися середньоквадратичні відхилення ($\sigma_{Дст}$, $\sigma_О$, $\sigma_Ш$), коефіцієнти кореляційної залежності $r_{О/Д}, r_{О/Ш}\ r_{Ш/Д}, r_{Ш/О}, r_{Д/О}, r_{Д/Ш}$ та коефіцієнти варіації ($V_{Дст}$, $V_О$, $V_Ш$).

Для виявлення взаємозв'язку цих параметрів стоп застосовуємо показник мінливості, що виражається коефіцієнтом коваріації – μ, який розраховується за формулою:

$$\mu_{x,y} = \frac{\sum (x - M_x)(y - M_y)}{n} \tag{1}$$

В нашому випадку $x = \ddot{A}_{\text{ñò}}$, $y = \hat{I}_{\text{ï}}$, тоді:

$$\mu_{\ddot{A}_{\text{ÑÒ}},\hat{I}_{\text{Ï}}} = \frac{\sum (\ddot{A}_{\text{ñò}} - \overline{A}_{\text{ñò}})(\hat{I}_{\text{ï}} - \overline{I}_{\text{ï}})}{n}, \tag{2}$$

де n – об'єм вибірки.

Для визначення коефіцієнту коваріації також можна використовувати формулу:

$$\mu_{õ,ó} = r_{ó/õ} * \sigma_õ * \sigma_ó \tag{3}$$

або

$$\mu_{\ddot{A},\hat{I}} = r_{\hat{I}_{\Gamma}/\ddot{A}_{\text{ÑÒ}}} * \sigma_{\ddot{A}_{\text{ÑÒ}}} * \sigma_{\hat{I}_{\Gamma}}$$

Подібним чином складається 9 рівнянь, за якими розраховуються 9 коефіцієнтів коваріації для 3 параметрів основних характеристик стоп. Залежності між параметрами записуються в симетричній матриці третього порядку з коефіцієнтом коваріації (у загальному вигляді):

$$A_\mu = \begin{vmatrix} \mu_{11}\mu_{12}\mu_{13} \\ \mu_{21}\mu_{22}\mu_{23} \\ \mu_{31}\mu_{32}\mu_{33} \end{vmatrix} \tag{4}$$

Детермінант A_μ – є виразом взаємозалежності трьох основних розмірів стопи (Дст, Оп, Шп), характерних для даної вибіркової сукупності стоп.

Визначник цієї матриці після нескладних перетворень приймає вигляд:

$$A_\mu = \sigma_1^2\sigma_2^2\sigma_3^2\begin{vmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{vmatrix}; \quad (5)$$

або після перетворення:

$$\grave{A}_\mu = \sigma_{Д}^2\sigma_{Ї}^2\sigma_{Ø}^2\sigma_{Д}^2\begin{vmatrix} r_{Д/Д} & r_{Ї/Д} & r_{Ø/Д} \\ r_{Д/Ї} & r_{Ї/Ї} & r_{Ø/Ї} \\ r_{Д/Ø} & r_{Ї/Ø} & r_{Ø/Ø} \end{vmatrix} \quad (6)$$

де $r_{Д/Д} = r_{Ø/Ø} = r_{Ї/Ї} = 1$.

Для перегляду взаємозв'язків параметрів стоп в певній групі населення нами знайдена репрезентативна вибірка за даними антропометричних досліджень стоп дітей. Статистичні характеристики цієї сукупності стоп наведено в Таблиці 1.

Таблиця 1

Статистичні характеристики стоп

№ з/п	Статевовікова група	Дст, мм	Шп, мм	Оп, мм	гд/ш	гш/д	го/д	гд/о	го/ш	гш/о
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1.	Хлопчики 8 років Північного регіону України	214,8	80,8	207,4	0,73	0,68	0,63	0,77	0,71	0,70
2.	Дівчатка 8 років Північного регіону України	209,4	81,9	206,2	0,49	0,87	0,58	0,82	0,81	0,70
3.	Хлопчики 9 років Північного регіону України	225,1	84,0	212,7	0,52	0,91	0,52	0,95	0,72	0,69
4.	Хлопчики 9 років Центрального регіону України	213,0	81,2	192,7	0,64	0,79	0,63	0,78	0,83	0,56
5.	Дівчатка 8-9 років Західного регіону України	214,3	82,3	194,7	0,63	0,78	0,70	0,71	0,77	0,64
6.	Хлопчики 8-9 років Західного регіону України	219,2	84,0	198,6	0,65	0,76	0,53	0,90	0,73	0,68
7.	Хлопчики 8-9 років Східного регіону України	214,2	82,5	198,2	0,55	0,84	0,68	0,73	0,84	0,54
8.	Дівчатка 10 років Західного регіону України	224,1	83,4	204,3	0,52	0,91	0,50	0,86	0,32	0,79
9.	Хлопчики 10 років Західного регіону України	228,7	86,0	208,5	0,51	0,86	0,56	0,93	0,83	0,56
10.	Дівчатка 10 років Північного регіону України	231,4	87,3	218,2	0,57	0,88	0,58	0,92	0,59	0,81
11.	Дівчатка 10 років Південного регіону України	224,8	85,7	205,9	0,72	0,69	0,49	0,87	0,72	0,69
12.	Хлопчики 10 років Північного регіону України	225,1	86,4	217,2	0,59	0,81	0,69	0,72	0,81	0,59
13.	Дівчатка 10 років Центрального регіону України	227,6	85,9	205,4	0,53	0,85	0,52	0,86	0,81	0,59
14.	Хлопчики 11 років Західного регіону України	225,9	87,1	210,8	0,68	0,73	0,68	0,74	0,88	0,48
15.	Дівчатка 11 років Західного регіону України	226,0	85,3	204,2	0,75	0,78	0,56	0,71	0,91	0,51
16.	Хлопчики 10-11 років Східного регіону України	231,6	84,7	214,8	0,63	0,77	0,80	0,60	0,68	0,74
17.	Дівчатка 11 років Північного регіону України	232,2	86,4	218,0	0,60	0,80	0,60	0,80	0,82	0,57
18.	Дівчатка 11 років Південного регіону України	229,7	87,0	210,4	0,72	0,69	0,65	0,76	0,82	0,58
19.	Хлопчики 11 років Північного регіону України	240,3	89,7	220,0	0,66	0,75	0,56	0,96	0,58	0,81
20.	Хлопчики 10-11 років Південного регіону України	231,0	88,5	216,2	0,59	0,80	0,65	0,76	0,86	0,51

Продовження табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
21.	Хлопчики 11 років Центрального регіону України	233,2	88,2	207,6	0,67	0,74	0,59	0,84	0,84	0,50
22.	Дівчатка 11 років Центрального регіону України	234,1	86,1	206,1	0,58	0,82	0,76	0,65	0,79	0,61
23.	Дівчатка 10-11 років Східного регіону України	224,3	83,9	205,2	0,72	0,69	0,68	0,74	0,68	0,74

На основі даних, наведених у Таблиці 1, складено матрицю коефіцієнтів співмінливості для трьох розмірів стоп – Дст, Оп, Шп.

Для прикладу наведено розрахунок для дівчаток 8 років Північного регіону України:

$$A_\mu = 10{,}07^2 * 12{,}7^2 * 4{,}5^2 * \begin{vmatrix} 1 & 0{,}58 & 0{,}80 \\ 0{,}70 & 1 & 0{,}70 \\ 0{,}49 & 0{,}81 & 1 \end{vmatrix}.$$

Вираз перед матрицею позначимо через Р, тоді:

$$\mathrm{P} = 10{,}07^2 * 12{,}7^2 * 4{,}5^2 = 331200{,}83.$$

A_μ знаходиться так:

$$A\mu = \mathrm{P}\left[1\begin{vmatrix} 1 & 0{,}70 \\ 0{,}81 & 1 \end{vmatrix} - 0{,}58\begin{vmatrix} 0{,}70 & 0{,}70 \\ 0{,}49 & 1 \end{vmatrix} + 0{,}8\begin{vmatrix} 0{,}70 & 1 \\ 0{,}4 & 0{,}81 \end{vmatrix}\right] =$$

$$= \mathrm{P}\left[1(1*1 - 0{,}70*0{,}81) - 0{,}58(0{,}70*1 - 0{,}70*0{,}49) + 0{,}80(0{,}70*0{,}81 - 1*0{,}49\right] =$$

$$= 331200{,}83*0{,}2875 \approx 95234 \approx 9*10^4 \quad \text{ì ì}^2.$$

Таким же чином робимо розрахунок для 23 статевовікових груп дітей віком 8–11 років регіонів України. Результати розрахунків наведено в Таблиці 2.

Проведено аналіз отриманих даних з урахуванням середньоарифметичних значень $Д_{ст}$, $О_п$, $Ш_п$, їх середньоквадратичних відхилень, коефіцієнтів їх кореляційної залежності та інтервалу байдужості

Поняття «інтервал байдужості» є основним в теорії розмірної типології. Інтервал байдужості – це проміжок, всередині якого різниця між розмірами виробів не відчувається споживачем. Поняття інтервалу байдужості для стоп введено Ю. П. Зибіним [7], який спочатку ввів поняття «межа відчуття» – величини, на яку можна змінити розмір взуття без помітного відчуття для людини, тобто шкідливого впливу на стопу. Величина межі відчуття дає межу значень розмірів, після яких слід брати інший розмір взуття, так як попередній виявляється занадто малим або занадто великим.

Від правильності визначення інтервалу байдужості для кожної основної ознаки залежить побудова доцільної системи типових фігур. При інтервалі байдужості близькому до нуля, промислове виробництво виробів особистого користування неможливе. В цьому випадку довелося б виготовляти незліченна безліч розмірів виробів, так як в природі не зустрічається двох людей з абсолютно однаковими розмірами тіла і його частин, зокрема, стоп. Отже, одним і тим же розміром виробів можуть користуватися не тільки ті люди, розмір яких точно збігається з розміром вироби, а й люди, розмір яких більше або менше зазначеної величини в межах встановленого інтервалу байдужості. Якщо інтервал байдужості обмежений з одного боку, це означає, що виріб не може бути менше певного розміру. Мається на увазі, що виріб, розраховане на більший розмір, підійде і людям значно меншого розміру. На інтервал байдужості може впливати величина розмірної ознаки: чим більша ознака, тим більший інтервал байдужості.

Наші дослідження практично відповідають результатам досліджень МТІЛП [7], де допустимі межі зменшення обхвату стопи в пучках у відсотках від її величини в статиці становлять: для дітей віком 1–6 років – 0 %, для дітей 7-8 років – 1,5-1,6%, для дітей 11-12 років – 2,3-2,4%, для дорослих – 3,2-3,4%.

Так, межа байдужості по довжині в основному залежить від прийнятої системи нумерації взуття: в метричні системі становить 5 мм, в штихмасовій – 6,67 мм, в дюймовій – 4,23 мм. За повнотою вона визначається в залежності від межі відчуття, яка приймається за результатами досліджень змін кровоносної системи за обхватом в плесно-фаланговому з'єднанні стопи під дією тиску і відчуття людини. Дослідження Фарнєєвої О. В. [8] і наші показують, що межа відчуття (поновлення нормального кровообігу у відділах стопи після зняття тиску) у дітей 6–8 років наступає після зменшення обхвату на 3мм, молоді – 5-6 мм. Тобто зменшення його в два рази дасть межу відчуття по довжині: в метричні системі – ±2,5 мм, в штихмасовій системі – ±3,23 мм, в дюймовій системі – ±2,1 мм; за обхватом, відповідно, ±1,5 мм, ±3-3,5 мм,

±3-4 мм.

Наші дослідження інтервалу байдужості і межі відчуття стоп людей різного віку і в різних видах взуття показали, що ці параметри в розмірах, як для довжини, так і для обхвату, залежать від виду взуття, сезону носіння, висоти каблука тощо.

В нашій роботі ми приймали до уваги межу відчуття по довжині ±2,5 мм, за обхватом ±3 мм, за шириною в пучках ±1,5 мм.

Для визначення типології нами проводилися порівняння тільки тих розмірних величин, для яких за даними математичних розрахунків значення детермінанта були близькими. Результати розрахунків за математичною моделлю для стоп дітей віком 8–11 років регіонів України наведено в таблиці 2.

Таблиця 2

Результати розрахунків за математичною моделлю для стоп дітей віком 8–11 років регіонів України

№ з/п	Статевовікова група	Значення визначника матриці, мм^2
1.	Хлопчики 8 років Північного регіону України	$4*10^4$
2.	Дівчатка 8 років Північного регіону України	$9*10^4$
3.	Хлопчики 9 років Північного регіону України	$1*10^5$
4.	Хлопчики 9 років Центрального регіону України	$1*10^5$
5.	Дівчатка 8-9 років Західного регіону України	$2*10^5$
6.	Хлопчики 8-9 років Західного регіону України	$4*10^4$
7.	Хлопчики 8-9 років Східного регіону України	$1*10^5$
8.	Дівчатка 10 років Західного регіону України	$1*10^4$
9.	Хлопчики 10 років Західного регіону України	$1*10^5$
10.	Дівчатка 10 років Північного регіону України	$1*10^4$
11.	Дівчатка 10 років Південного регіону України	$1*10^5$
12.	Хлопчики 10 років Північного регіону України	$5*10^4$
13.	Дівчатка 10 років Центрального регіону України	$1*10^5$
14.	Хлопчики 11 років Західного регіону України	$5*10^5$
15.	Дівчатка 11 років Західного регіону України	$6*10^4$
16.	Хлопчики 10-11 років Східного регіону України	$1*10^5$
17.	Дівчатка 11 років Північного регіону України	$2*10^5$
18.	Дівчатка 11 років Південного регіону України	$2*10^5$
19.	Хлопчики 11 років Північного регіону України	$5*10^4$
20.	Хлопчики 10-11 років Південного регіону України	$1*10^5$
21.	Хлопчики 11 років Центрального регіону України	$1*10^5$
22.	Дівчатка 11 років Центрального регіону України	$3*10^5$
23.	Дівчатка 10-11 років Східного регіону України	$3*10^5$

Висновки

З урахуванням особливостей досліджуваних стоп школярів нами була використана математична модель, що дала можливість провести аналіз і визначення сумісності ознак для можливості побудови єдиного типу колодки і розрахунку раціонального розмірно-повнотного асортименту для окремих груп.

Аналізуючи дані розрахунків за математичною моделлю, а також дані антропометричних досліджень, розраховані методами математичної статистики, попередньо можна зробити такі висновки:

- об’єднувати стопи дітей віком 8, 9, 10, 11 років регіонів України в одні групи з використанням колодок відповідно до ГОСТ 3927 не можливо;
- необхідно асортимент колодок для хлопчиків і дівчаток цих статевовікових груп робити окремо;
- попередньо можна рекомендувати такі об’єднання стоп: дівчат 11 років Північного та Південного регіонів, дівчаток 10 років Західного і Центрального регіонів, хлопців 9 років Західного і Центрального регіонів, оскільки як інтервали в розмірах цих вікових категорій дають підставу визнати їх типовими, тобто можна проектувати окремі колодки та проводити інші розрахунки.

Література

1. Омельченко Н. М. Розробка раціонального взуття для молоді Західного регіону України. Повідомлення 1. Морфологічні особливості стоп підлітків Західного регіону України / Н. М. Омельченко, М. С. Беднарчук, В. П. Кернеш // Вісник КНУТД. – 2011. – № 1. – С. 106–111.

2. Вдовенко А. В. Типологія стоп дітей України. Повідомлення 1. Особливості статевовікових змін параметрів стоп дітей шкільного віку / А. В. Вдовенко, В. П. Коновал // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2014. – № 4 . – С. 208–213.

3. Ресурсозберігаючі технології легкої, текстильної і харчової промисловості : матеріали Всеукраїнської науково-практичної Інтернет-конф. молодих вчених та студентів (Дослідження типології

стоп дітей віком 8–11 років різних регіонів України), (Хмельницький, 23–25 жовт. 2013) / Хмельницький національний університет. – 2013. – С. 136–137.

4. Фарниева О. В. Антропометрические исследования стоп населения Украинской ССР / О. В. Фарниева // Научные труды Московского технологического института легкой промышленности. – М. : МТИЛП, 1962. – Вып. 22.

5. Коновал В. П. Теоретические и практические основы создания и фиксации формы обуви : дис. ... доктора техн. наук : 05.19.06 / Коновал Виктор Павлович / ГАЛПУ. – К., 1994. – 321 с.

6. Бюджетна програма: «Фундаментальні дослідження у вищих навчальних закладах та наукових установах» (КПКВ 2201020). Тема НДР «Комплексні антропометричні дослідження типології молоді України віком від 14 до 23 років». Шифр 16.01.10 ДБ. Номер державної реєстрації теми: 0108Ш01307.

7. Кернеш В. П. Исследование влияния процесса акселерации на параметры и форму стоп детей-старшеклассников / В. П. Кернеш, Н. Н. Омельченко, В. П. Коновал // Междунар. сб. науч. трудов. – Шахты : Изд-во ЮРГУЭС, 2008. – С. 98–101.

8. Гаркавенко С. С. Гіпотеза щодо впливу сонячних циклів на антропометричні дані стоп населення / С. С. Гаркавенко // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2010. – № 5. – С. 58–62.

9. Зыбин Ю. П. Основы разработки формы и размеров обуви массового производства / Зыбин Ю. П – М. : Гизлегпром, 1949. – 131 с.

10. Фарниева О. В. Совершенствование размерной стандартизации и ассортимента обуви / О. В. Фарниева, К. Н. Нургельдиев – А. : Ылым, 1982. – 192 с.

11. Фукин В. А. Теоретические и методологические основы проектирования рациональной внутренней формы обуви : дис. ... докт. техн. наук / Фукин В. А. – М. : МТИЛП, 1980. – 305 с.

References

1. Omelchenko N. M. Rozrobka ratsionalnogo vzuttia dlia molodi Zakhidnogo reginy Ukrainy. Povidomlennia 1. Morfologichni osoblyvosti stop pidlitkiv Zakhidnogo regionu Ukrainy / N. M. Omelchenko, M. S. Bednarchuk, V. P. Kernesh // Visnuk KNUTD – 2011. – № 1. – pp.106-111.

2. Vdovenko A. V. Typologiia stop ditei Ukrainy. Povidomlennia 1. Osoblyvosti statevo-vikovykh zmin parametriv stop ditei shkilnogo viku / A. V. Vdovenko, V. P. Konoval // Herald of Khmelnytsky National University. Technical science. Khmelnytsky. 2014. Volume 4. pp. 208-213.

3. Resursozberigaiuchi tekhnologii legkoi, tekstylnoi ш kharchovoi promyslovosti: materialy Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi Internet-konferentsii molodyh vchenyh (Doslidzhennia typologii stop ditei Ukrainy vikom 8-11 rokiv regioniv Ukrainy), (Khmelnytsky, 23-25 zhovt., 2013) Khmelnytskyi natsionalnyi universytet, 2013 – pp. 136-137.

4. Farnieva O. V. Antropometricheskie issledovaniya stop naseleniya Ukhainskoj CCP. Nauchny't trudy' Moskovskogo technologicheskogo instituta legkoj promy'shlennocti. Moskva. MTILP, 1962, Issue 22.

5. Konoval V. P. Teoreticheskie i prakticheskie osnovy' sozdaniya I fiksacii formy' obuvi: dys …. dokt. tehn. Nauk: 05.19.06 / Konoval Viktor Pavlovych. – GALPU. – K., 1994. – 321 p.

6. Biudzhetna programa: «Fundamentalni doslidzhennia u vyshchykh navchalnykh zakladakh ta naykovykh uctanovakh» (KPKV 2201020). Tema NDR «Kompslekni antropometrychni doslidzhennia typologii molodi Ukrainy vikom vid 14 do 23 rokiv». Shyfr 16.01.10 DB. Nomer derzhavnoi reiestratsii temy: 0108SH01307.

7. Kernesh V. P., Omel'chenko N. N., Konoval V. P. Issledovanie vliyaniya processa akseleracii na parametry' i formu stop detej-starsheklasnikov. Mezhdunarodny'j sbornik nauchny'h trudov. Shahty'. Izdatel'stvo YURGUE'S. 2008. pp. 98-101.

8. Garkavenko S. S. Gipoteza shchodo soniachnyh tsykliv na antropometrychni dani stop naselennia/ Herald of Khmelnytsky National University. Technical science. Khmelnitsky. 2010. Volume 5. pp. 58-62.

9. Zy'bin Yu. P. Osnovy' razrabotki formy' i razmerov obuvi massovogo proipvodstva. Moskva, GIZLEGPROM, 1949, 131 p.

10. Farnieva O. V., Nurgeldiev K. N. Sovershenstvovanie razmernoj standartizacii i assortimenta obuvi. Ashxabad, Y'ly'm, 1982, 192 p.

11. V. A. Fukin. Teoreticheskie i metedologicheskie osnovy' proektirovaniya raczional'noj vnutrennej form' obuvi: dis…. dokt. tehn. nauk/ Fukin V. A. – M: MTILP, 1980.-305 p.

Рецензія/Peer review : 18.3.2015 р. Надрукована/Printed :15.4.2015 р.
Рецензент: д. т. н., проф. Супрун Н.П.

УДК 685.31.051.3

Т.А. НАДОПТА
Хмельницький національний університет

ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ВИЗНАЧЕННЯ ПОЛОЖЕННЯ ОСІ СТОПИ ПІД ЧАС ПРОЕКТУВАННЯ ВЗУТТЯ

В статті запропоновано загальні положення, на основі яких передбачається розробити аналітичні основи та практичні рекомендації для знаходження точного положення умовної осі стопи. Наведено основні аналітичні аспекти, зокрема описано принципи застосування балки на пружній основі, що дасть змогу визначити положення осі стопи.

Ключові слова: антропометричні дослідження, умовна вісь стопи, аналітична модель.

T.A. NADOPTA
Khmelnytskyi National University

THEORETICAL FOUNDATIONS FOR DETERMINING THE POSITION OF THE FOOT AXIS FOR DESIGNING SHOES

The general provisions on the basis of which analytical foundations and practical advice for finding the exact position of the conditional axis of the foot will be developed. is considered. The analysis showed that existing methods of conditional axis of the foot defining is not perfect and do not allow to apply innovative technology design shoes. The hypothesis that the exact position of conditional axis of the foot can be determined based on the fact that it is the axis of equilibrium diagrams compressive stress as a consequence of reaction pressure on the bearing surface of the foot is proposed. The basic analytical aspects, including the application of the principles described beam on elastic foundation that will help determine the position of the axis of the foot is offered. Using the aforementioned principles potentially improve the accuracy of getting anatomical and morphological information about a foot and will create conditions for the automation of the design process.

Keywords: anthropometric study notional axis of the foot, analytical model.

Постановка проблеми

Взуттєва галузь є багатономенклатурним виробництвом, із швидкою зміною асортименту і орієнтована на масове споживання з необхідністю при цьому врахування анатомічних характеристик стоп.

Завдання виробництва взуттєвих виробів вимагає скорочення циклу "дослідження – розробка – виробництво". Особливо слід звернути увагу на такі важливі такі етапи, як дослідження та розробка, оскільки саме вони дозволяють визначити напрямок розвитку нової продукції, її техніко-економічні, естетичні показники, тощо.

Перехід до ринкових відносин вітчизняних підприємств взуттєвої промисловості виявив низьку конкурентоспроможність продукції, що випускається та застарілі методи проектування взуття. Тому виникає необхідність проведення технологічної модернізації взуттєвих підприємств, зокрема за рахунок впровадження автоматизованих методів проектування взуття та забезпечення на цій основі стабільного інноваційного розвитку галузі. Використання закордонних напрацювань щодо автоматизованого проектування взуття вимагає значних капіталовкладень, які не завжди є прийнятними для вітчизняних підприємств. Розробка ж власних систем потребує попередньої розробки їх наукової аналітичної основи, спираючись при цьому на концепцію виробництва, характерного для масового, але враховуючи при цьому анатомічні характеристики стоп.

Аналіз досліджень та публікацій

Відомо, що без достовірної інформації про стопу неможливо розробити зручне і комфортне взуття, яке задовольняло б всі вимоги споживача [1]. З цією метою постійно створюються нові та вдосконалюються вже існуючі методи та обладнання для отримання антропометричної інформації про стопу. При цьому для проведення антропометричних досліджень важливе значення має положення осі стопи. На практиці ця вісь служить однією з осей координат [2].

В цьому сенсі вибір положення осі стопи, як теоретичної бази для проектування взуття становить важливу теоретичну та практичну задачу.

Встановлено, що умовна вісь стопи (УВС) у п’ятковій частині проходить через центр п’яткового заокруглення. Однак існує декілька напрямків розташування УВС у носково-пучковій частині стопи. Запропоновано [3] проводити умовну вісь стопи в носковій частині через перший міжпальцевий проміжок. Як зазначено в [4], вісь стопи проходить між другим та третім пальцями (через другий міжпальцевий проміжок). На основі досліджень розподілу навантажень на опорній поверхні стопи встановлено, що вісь стопи у носковій частині проходить між другими та третіми головками плеснових кісток [5]. В роботі [6] прийнято проводити умовну вісь стопи через середину великого пальця, оскільки великий палець повинен продовжувати по прямій плеснові кістки. В [7] визначає умовну вісь як вісь рівноваги стопи, що проходить всередині кута, утвореного дотичними до зовнішньої та внутрішньої сторін відбитка стопи.

Проведений аналіз вказує на те, що існуючі способи проведення умовної осі стопи базуються на основі емпіричних досліджень, які були проведенні 30–50 років тому. З огляду на сучасні технології проектування необхідно аналітично обґрунтувати розташування умовної осі стопи з метою подальшого

використання у розробці основ автоматизованого проектування взуття, враховуючи при цьому анатомо-морфо-функціональні властивості стоп, що дозволить підвищити рівень конкурентоспроможності взуттєвих виробів.

Мета і завдання досліджень

Метою дослідження є визначення положення умовної осі стопи, котра використовується при проведенні антропометричних досліджень стоп та проектуванні взуття.

Завдання дослідження:

- навести основні підходи до визначення положення умовної осі стопи;
- розробити теоретичні положення визначення умовної осі стопи з використанням аналітичних моделей.

Виклад основного матеріалу

Оскільки поняття осі, яка використовується в різних аспектах дослідження та практичного застосування, суттєво відрізняється, то в даній роботі мова йде про вісь стопи, яка буде однією з осей координат, направленої вздовж довжини стопи.

Вісь стопи, яка необхідна при проведенні антропометричних досліджень, може бути отримана:

- експериментально (Ю.П. Зибін, Л. Г.Семенова та ін.): проведено дослідження розподілу навантаження на опорній поверхні стопи та основі нього визначено положення осі;
- геометрично (Ченцова К.І. та ін.): побудова за відповідною методикою, яка визначає вісь як геометричне місце точок рівноваги стопи, що проходить всередині кута, утвореного дотичними до зовнішньої та внутрішньої сторін відбитка стопи;
- теоретично: на базі відповідної гіпотези або принципу, що ґрунтується на силовій взаємодії стопи та опорної поверхні. На жаль, цей шлях поки що у вітчизняній науці не має прийнятного апаратного рішення.

На практиці найчастіше використовуються перші два методи, які відзначаються невисокою точністю і низькою трудомісткістю. Спроектоване на базі цих методів взуття може призвести до порушення нормального розподілу маси тіла, спричинить напругу м'язів і виникнення патологічних видозмін організму. А також проблематично їх застосування при створенні автоматизованого методу проектування колодок та взуття в цілому.

З огляду на зазначене, висунута гіпотеза про те, що точне положення умовної осі стопи може бути визначено, виходячи з того, що вона є віссю рівноваги епюри напружень стиску як наслідку реакції опорної поверхні на тиск стопи.

Розглянемо більш детальніше запропоновані принципи визначення УВС.

Для цього проекцію стопи на горизонтальну площину в характерних місцях, які враховують анатомо-морфо-функціональні властивості, розбивають на ділянки з певним кроком *h.* Далі необхідно визначити реакцію в кожній ділянці та встановити суму реакцій по всій проекції стопи, що дасть змогу отримати положення УВС.

У інженерній практиці часто використовують поняття балка, що являє собою конструктивний елемент, який може витримувати значні навантаження на згин. Балка на пружній основі – це балка, яка опирається по всій своїй довжині на пружну основу, яка дає в кожній точці балки реакцію, пропорційну прогину балки в даній точці (рис. 1).

При вигині вісь балки викривляється, а поперечні перерізи переміщаються поступально і повертаються навколо нейтральних осей, залишаючись при цьому нормальними до вигнутої поздовжньої осі. Деформована (вигнута) поздовжня вісь балки називається пружною лінією, а поступальні переміщення перетинів, рівні переміщенням $y = y(x)$ їх центрів ваги перерізів, – прогинами балки.

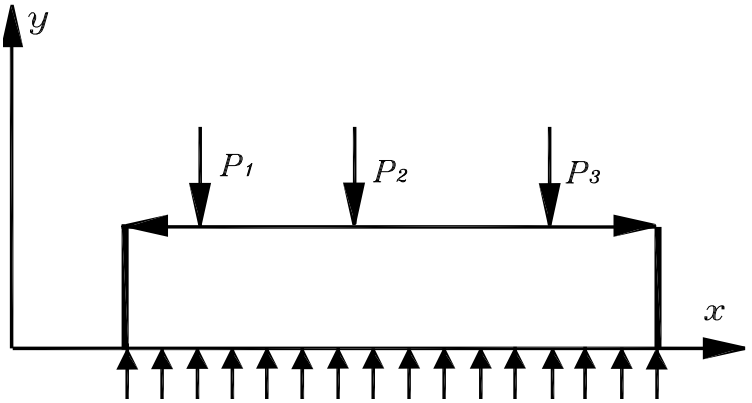


Рис. 1. Розрахункова схема балки на пружній основі

Розрахунок балки на пружній основі в строгій постановці зводиться до вирішення контактної задачі між конструкцією і основою. Оскільки вирішення контактних задач в строгій постановці загальновідома, тому для вирішення інженерних завдань, пов'язаних з розрахунком балки застосовуються наближені підходи, суть яких полягає в наступному. Статично невизначеної така балка буде тому, що умова статики – сума навантажень дорівнює всій реакції основи – не дає можливості встановити розподіл цієї реакції по довжині балки, а значить, обчислити згинальні моменти і поперечні сили.

Розглянемо розрахунок балок на пружній основі з застосуванням гіпотези про пропорційну залежності між реакцією і осадкою основи [8]. Ця гіпотеза була запропонована Н.І. Фусс в 1801 р. і застосована Вінклером в 1867 р. до балок на пружній основі. Відповідно до гіпотези Фусса – Вінклера, реакція пружної основи в кожній точці пропорційна прогину балки :

$$P = -k_0 \cdot y \cdot b = -k \cdot y,$$

де b – ширина балки,

y – просадка основи,

k_0 – постійний для даної основи коефіцієнт (коефіцієнт постелі).

Пропозиція ввести в розрахунок коефіцієнт пропорційності k, який ще називають «коефіцієнтом постелі», було вперше зроблено російським академіком Миколою Івановичем Фусс в 1801 році. Приймаючи це припущення, отримуємо, що інтенсивність реакції основи в кожній точці сила дорівнює ky і вимірюється в одиницях сили і довжини; розмірність коефіцієнта k при цьому буде сила і квадрат довжини. Будемо вважати, що основа надає реакцію при прогинах балки як вниз, так і вверх. Введені припущення про пропорційність реакцій прогину є наближенням, хоча і досить близьким до дійсних умов.

Інтенсивність реакції в кожній точці пов'язана з прогинами балки. Тому для вирішення завдання необхідно знайти спочатку рівняння зігнутої осі $y=f(x)$, а вже потім формули для обчислення згинального моменту і поперечної сили.

Означені принципи будемо застосовувати в подальшому для визначення точного визначення положення умовної осі стопи, що необхідно при розробці аналітичних основ автоматизованого проектування взуття.

Висновки

1. Проведений аналіз показав, що існуючі способи визначення та проведення умовної осі стопи є не досконалими та не дають змоги в повній мірі застосовувати інноваційні технології проектування взуття.

2. Запропоновані загальні положення, на основі яких передбачається розробити аналітичні основи та практичні рекомендації для знаходження точного положення умовної осі стопи.

3. Використання означених принципів потенційно підвищить точність отримання анатомо-морфологічної інформації про стопу та дозволить створити умови для автоматизації процесу проектування.

Література

1. 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.

2. Надопта Т. А Передмова до розробки аналітичного методу проектування деталей верху взуття / Т.А. Надопта // Вісник Хмельницького національного університету. – 2008. – № 3. – С. 235–239.

3. Замарашкин Н.В. Обувь: проектирование, производство, эксплуатация / Н.В. Замарашкин, К. Н. Замарашкин. – Спб : СПГУТД, 2002. – 543 с.

4. Фукин В. А. Проектирование внутренней формы обуви / Виталий Александрович Фукин – М. : Легпромбытиздат, 1985. – С. 47–49.

5. Зыбин Ю. П. Конструирование изделий из кожи / Юрий Петрович Зыбин – М. : Легкая индустрия, 1966. – 318 с.

6. Пат. 94006846 РФ, МПК A43D1/00. Способ измерения поверхности объекта, преимущественно следа колодки или затянутой обуви / Комиссаров А. Г., Катвалян Ю. Г., Татаров С. В. (РФ). – № 94006846/12 ; заявлено 22.02.94 ; опубл. 10.12.95.

7. Ченцова К.И. Стопа и рациональная обувь / Клавдия Иустиновна Ченцова – М. : Легкая индустрия, 1974. – 216 с.

8. Лобас Л.Г. Теоретична механіка : підручник для студентів вищих технічних навчальних закладів / Л.Г. Лобас, Л.Г. Лобас. – К. : ДЕТУТ, 2008. – 406 с.

References

1. 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.

2. Nadopta T. A Peredmova do rozrobki analitichnogo metodu proektuvannya detalej verhu vzuttya / T.A. Nadopta // Herald of Khmelnytsky National University. – 2008, № 3. – S. 235–239

3. Zamarashkin N.V. Obuv': proektirovanie, proizvodstvo, ehkspluataciya / N.V.Zamarashkin, K. N.Zamarashkin / Spb. : SPGUTD, 2002. – 543 s.

4. Fukin V. A. Proektirovanie vnutrennej formy obuvi / Vitalij Aleksandrovich Fukin – M. : Legprombytizdat, 1985. – S.47-49.

5. Zybin YU. P. Konstruirovanie izdelij iz kozhi / YUrij Petrovich Zybin – M. : Legkaya industriya, 1966. – 318 s.

6. Pat. 94006846 RF, MPK A43D1/00. Sposob izmereniya poverhnosti obekta, preimushchestvenno sleda kolodki ili zatyanutoj obuvi / Komissarov A. G., Katvalyan YU. G., Tatarov S. V. (RF). – № 94006846/12; zayavleno 22.02.94; opubl. 10.12.95.

7. CHencova K.I. Stopa i racional'naya obuv' / Klavdiya Iustinovna Chencova – M. : Legkaya industriya, 1974. – 216 s.

8. Lobas L.G.. Teoretichna mekhanika: Pidruchnik dlya studentiv vishchih tekhnichnih navchal'nih zakladiv / L.G. Lobas, Lyudm.G. Lobas. – K.: DETUT, 2008. – 406 s

Рецензія/Peer review : 6.4.2015 р. Надрукована/Printed :15.4.2015 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Параска Г.Б.

РАДІОТЕХНІКА, ЕЛЕКТРОНІКА ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ

УДК 621.316

П.Д. ЛЕЖНЮК, О.Є. РУБАНЕНКО, І.О. ГУНЬКО
Вінницький національний технічний університет

ВПЛИВ ІНВЕРТОРІВ СЕС НА ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В ЛЕС

В статті розглядаються проблеми, що виникають в локальних електричних системах (ЛЕС) з розосередженими джерелами енергії (РДЕ). Увага приділяється сонячним електричним станціям (СЕС), що використовують контролери інверторів, які працюють за пропорційно-інтегральним, пропорційно-резонансним та прогнозуючим законами керування. Також в статті проведений порівняльний аналіз коефіцієнтів спотворення синусоїдальності кривої напруги на шинах СЕС з різними законами керування інверторами.

В статті на прикладах доведено, що послідовне або з невеликою різницею в часі неузгоджене між собою увімкнення та вимкнення СЕС та потужних споживачів, особливо за великої кількості інверторів в ЛЕС, призводить до зростання кількості та амплітуд гармонік в напрузі фаз ЛЕС та до затяжних перехідних процесів. Гармонійні складові в напрузі ЛЕС негативно впливають на технічний стан високовольтного обладнання ЛЕС (особливо такого, яке відпрацювало паспортний ресурс), та можуть призвести до його пошкодження.

Ключові слова: локальна електрична система, сонячна електростанція, розосереджені джерела енергії, пропорційно-інтегральний, пропорційно-резонансний та прогнозуючий закони керування, інвертор.

P.D. LEGNUK, O.E. RUBANENKO, I.A. GUNKO
Vinnytsia National Technical University

SOLAR POWER STATIONS INVERTER INFLUENCE ON ELECTRIC ENERGY QUALITY IN LOCAL ELECTRIC SYSTEMS

The article deals with the problems that arise in the local electrical systems (LES) with dispersed sources of power (DSP). Attention is paid to solar power plants (SPP) that use inverter controllers operating under proportional-integral, proportional-resonant and predictive control laws. Also in the article the comparative analysis of voltage sine wave distortion rate on SPP buses with different inverter control laws.

In the article , for example, demonstrated that consistent or with a small difference in time between the co- inconsistent battle on and off SES and powerful consumers , especially when a large number of inverters in Les leads to an increase in the number and amplitudes of harmonics in the voltage phase and the loess transition processes . Harmonic components in voltage Les negative impact on the technical condition of high voltage equipment loess (especially such that the resource exhausted passport) and may cause damage .

Key words: local electrical system, solar power plant, dispersed sources of power, scattered energy, proportional-integral, proportional-resonant and predictive control laws, inverter.

Вступ

Кардинальна зміна економічних відносин, формування енергоринку, поява змішаної приватно-державної форми власності потребують докорінного реформування енергетичного сектору України. Більше 50% експлуатованого в галузі обладнання вимагає заміни, оскільки фізично і морально застаріло [1, 2].

В енергетиці України розвиваються нові технології, впроваджуються інформаційні і діагностичні системи, сучасні засоби вимірювань і управління. В наш час перед споживачами стоїть вибір: орієнтуватися на централізовані джерела або використовувати автономну енергетику [3]. В Україні впроваджується розподілена генерація на основі активного використання альтернативних джерел енергії води, сонця, вітру і т.п. Станом на 1 січня 2015 року в Україні встановлена потужність об'єктів відновлюваної енергетики, яким встановлено «зелений» тариф, становила 1462,2 МВт, з яких у 2014 році було введено 280,6 МВт. Різними розосередженими джерелами енергії у 2014 році вироблено 2,01 млрд. кВт*год. електроенергії, що на 32 % більше, ніж у 2013 році. [4].

Ця генерація активно розвивається в багатьох країнах світу [8].

На кінець 2013 року, частка відновлювальної енергетики у світовому енергобалансі становила майже 22,1%, (як показано на рис. 1,а) і з кожним роком зростає, що пов’язано з стрімким ростом цін на викопне паливо. Також з кожним роком зростає і потужність фотоелектричних систем у світі, і на кінець 2013 року становила 139 ГВт (рис. 1,б). В розвинутих країнах світу, таких як Нідерланди, Японія, Данія, Німеччина та інші, створюються навіть цілі міста, що використовують сонячні панелі на дахах будинків (рис. 2) [5, 6].

Проте у мережах, де активно встановлюються та експлуатуються РДЕ, а саме СЕС, має місце погіршення показників якості електричної енергії. Це, наприклад, понад нормоване відхилення напруги на шинах підстанцій 10/0,4 кВ, та такого показника якості електричної енергії, як коефіцієнт спотворення синусоїди напруги (K_u) [9–12].

Отже актуальною є задача розробки математичних та комп’ютерних моделей ЛЕС з РДЕ, які дозволяють досліджувати процеси зміни показників якості електричної енергії в цих системах, з метою використання результатів таких досліджень в розробці методів та засобів забезпечення оптимальної

експлуатації обладнання ЛЕС [9]. Для цього широко використовуються такі програмні засоби, як Matlab (Simulink), PS Cad та інші.

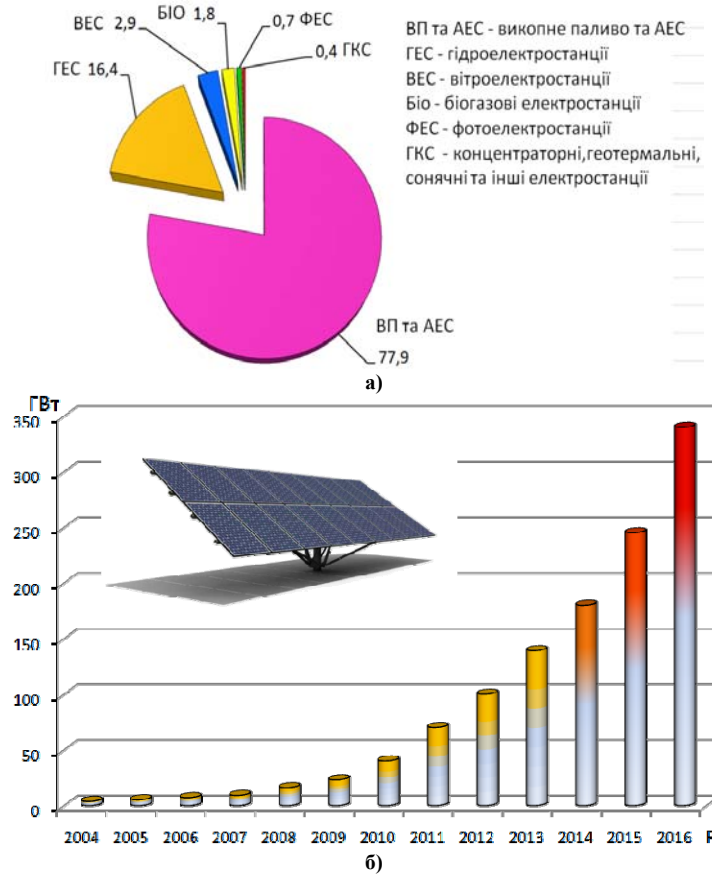


Рис. 1. Розвиток відновлювальної енергетики в світі: а) частка відновлювальної енергетики в світовому енергобалансі; б) встановлена потужність фотоелектричних систем в світі (2004–2012 дані [10], 2016 – [11], 2014-2015 - апроксимовані)

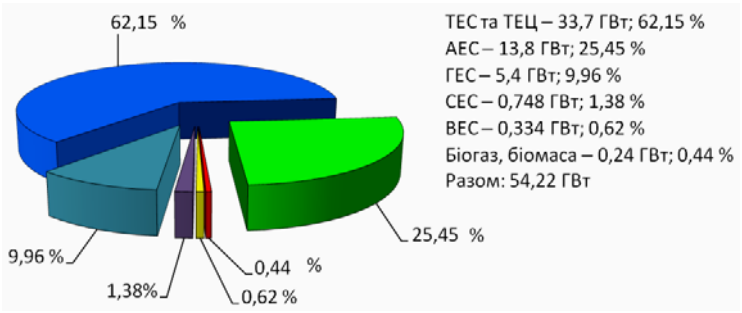


Рис. 2. Діаграма встановленої потужності електроенергетики України на кінець 2013 року

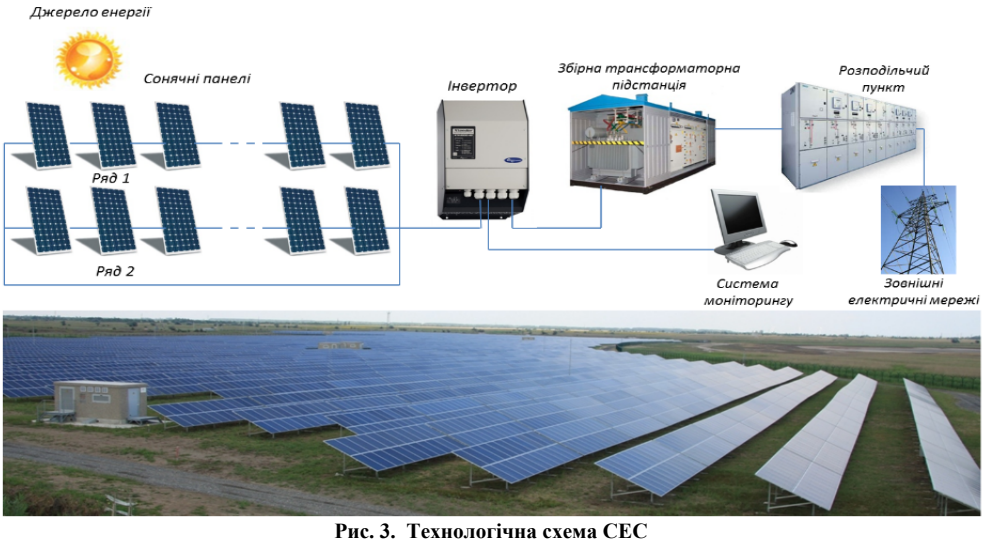


Рис. 3. Технологічна схема СЕС

1. Аналіз особливостей існуючих контролерів інверторів СЕС

Технологічна схема СЕС показана на рис. 3 [7]. Основними елементами СЕС є сонячні панелі, інвертор, збірна трансформаторна підстанція та розподільний пункт. Важливим пристроєм СЕС є інвертор, основне призначення якого – перетворення постійної напруги в зміну трифазну напругу, відслідковування точки максимальної генерації (maximum power tracking point – MPPT), автоматичної синхронізації напруги інвертора з напругою мережі (phase-locked loop-PLL) та інші.

В інверторах СЕС реалізуються різні закони керування, серед яких такі, як: пропорційно-інтегральний (PI), пропорційно-резонансний (PR) та прогнозуючий (DB) закони (рис. 4).

Рис. 4. Класифікація законів керування інверторами СЕС

Кожен з інверторів СЕС має свої переваги та недоліки.

Відомо, що якість електричної енергії в ЛЕС залежить від параметрів, стану, режиму РДЕ взагалі і СЕС, як одного з видів РДЕ. Водночас на показники якості електричної енергії значний вплив мають інвертори цих станцій і контролери. В експлуатації знаходяться СЕС, багатьох виробників у яких реалізуються різні закони керування їх інверторами. Тому актуальною є задача дослідження впливу конструктивних особливостей та законів керування інверторами СЕС на показники якості електричної енергії в ЛЕС.

Особливості пропорційно-інтегрального контролера інверторів СЕС

В пропорційно-інтегральному (PI) контролері інверторів СЕС зазвичай реалізовується перетворення напруг і струмів з *abc* системи координат в *dq* систему координат. Передатна функція системи керування інвертором, яка працює за PI законом керування, визначається за виразом (1):

$$G_{PI}(s) = K_p + \frac{K_i}{s} \tag{1}$$

де K_p, K_i – пропорційний та інтегральний коефіцієнти підсилення контролера, s – оператор Лапласа,.

Структурна схема керування інвертором СЕС з PI контролером показана на рис. 5.

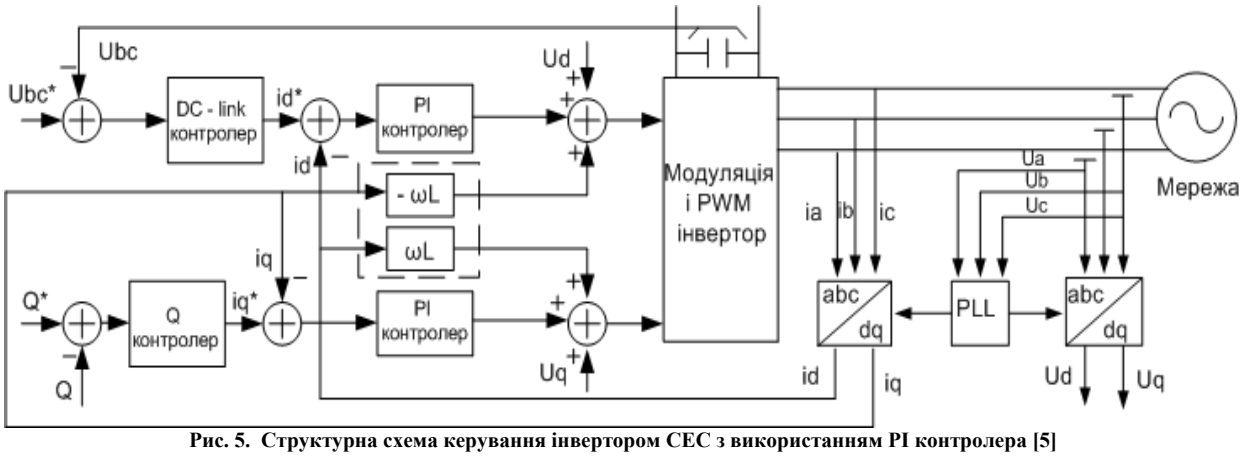


Рис. 5. Структурна схема керування інвертором СЕС з використанням PI контролера [5]

З метою покращення характеристик СЕС програмне забезпечення контролера, який керує інвертором СЕС вдосконалюється. Так, зокрема передатна функція (в *abc* координатах) системи керування інвертором СЕС, в якій застосовується PI закон керування, знаходиться за виразом (2):

$$G^{(abc)}{}_{PI}(s) = \frac{2}{3}\begin{bmatrix} K_p + \frac{K_i s}{s^2+\omega^2{}_0} & -\frac{K_p}{2} - \frac{K_i s + \sqrt{3}K_i\omega_0}{2(s^2+\omega^2{}_0)} & -\frac{K_p}{2} - \frac{K_i s - \sqrt{3}K_i\omega_0}{2(s^2+\omega^2{}_0)} \\ \frac{K_p}{2} - \frac{K_i s - \sqrt{3}K_i\omega_0}{2(s^2+\omega^2{}_0)} & K_p + \frac{K_i s}{s^2+\omega^2{}_0} & -\frac{K_p}{2} - \frac{K_i s + \sqrt{3}K_i\omega_0}{2(s^2+\omega^2{}_0)} \\ -\frac{K_p}{2} - \frac{K_i s + \sqrt{3}K_i\omega_0}{2(s^2+\omega^2{}_0)} & -\frac{K_p}{2} - \frac{K_i s - \sqrt{3}K_i\omega_0}{2(s^2+\omega^2{}_0)} & K_p + \frac{K_i s}{s^2+\omega^2{}_0} \end{bmatrix} \tag{2}$$

де K_p, K_i – пропорційний та інтегральний коефіцієнти підсилення контролера, s – оператор Лапласа, $\omega_0 = 2\pi f$ – кутова швидкість та f – частота.

На рис. 5 показана структурна схема керування інвертором СЕС з PI контролером, в якому (з використанням перетворення Парка-Горєва) реалізоване перетворення сигналів струмів і напруг з трифазної *abc* системи координат в обертову *dq* систему координат. Контролер інвертора СЕС здійснює узгоджене з напругою ЛЕС на шинах СЕС керування інвертором, таким чином, що увімкнення СЕС стає неможливим за відсутності напруги на шинах. В схемі керування інвертором струмові сигнали після їх перетворення з *abc* системи координат в *dq* систему координат, надходять на блоки, які працюють за PI законами керування. Далі перетворені сигнали подаються на входи PWM (pulse width modulation) – широтно-імпульсного модулятора. На виході PWM отримуємо трифазну напругу. Також в схемі (рис. 5) використовується пристрій PLL (Phase-Locked Loop) автоматичного фазового підстроювання, за допомогою якого інвертор СЕС синхронізується з напругою в мережі.

Перевага PI контролера полягає в простоті його реалізації та в найменшому гармонійному спотворенню сигналу на його виході в нормальних режимах роботи ЛЕС**.**

Недоліком PI контролера є те, що він є керованим напругою ЛЕС на шинах СЕС. Отже, якщо в мережі є спотворення синусоїди напруги або струму (наприклад, під час увімкнення та вимкнення інших РДЕ, або потужних навантажень і т.п.), то і на виході інвертора мають місце спотворення синусоїд напруг та струмів фаз.

Особливості пропорційно-резонансного контролера інвертора СЕС

Пропорційно-резонансні **(**PR) контролери інверторів СЕС стали більш поширені у минулому десятилітті, що пов'язано з тим, що в них використовуються фільтри гармонійних складових. Ці контролери реагують на резонансну частоту фільтра ω та усувають сталу похибку при регулюванні синусоїдального сигналу. Вони мають простий гармонійний компенсатор гармонік низького порядку, який не впливає на динамічні характеристики PR контролерів СЕС, які використовується в ЛЕС, що приєднані до ЕЕС (рис. 6). Передатна функція PR контролера G_{PR} визначається за виразом (3):

$$G_{PR}(s) = K_p + K_i \frac{s}{s^2 + \omega^2} \tag{3}$$

де K_p, K_i – пропорційний та інтегральний коефіцієнти підсилення контролера, s – оператор Лапласа, $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$ – резонансна частота.

Передатна функція фільтра низьких частот G_{HC} знаходиться за виразом (4):

$$G_{HC}(s) = \sum_{h=3,5,7} K_i \frac{s}{s^2 + (\omega^2 h)} \tag{4}$$

де h – порядковий номер гармоніки.

На рис. 6 показана структурна схема керування інвертором СЕС з PR контролером.

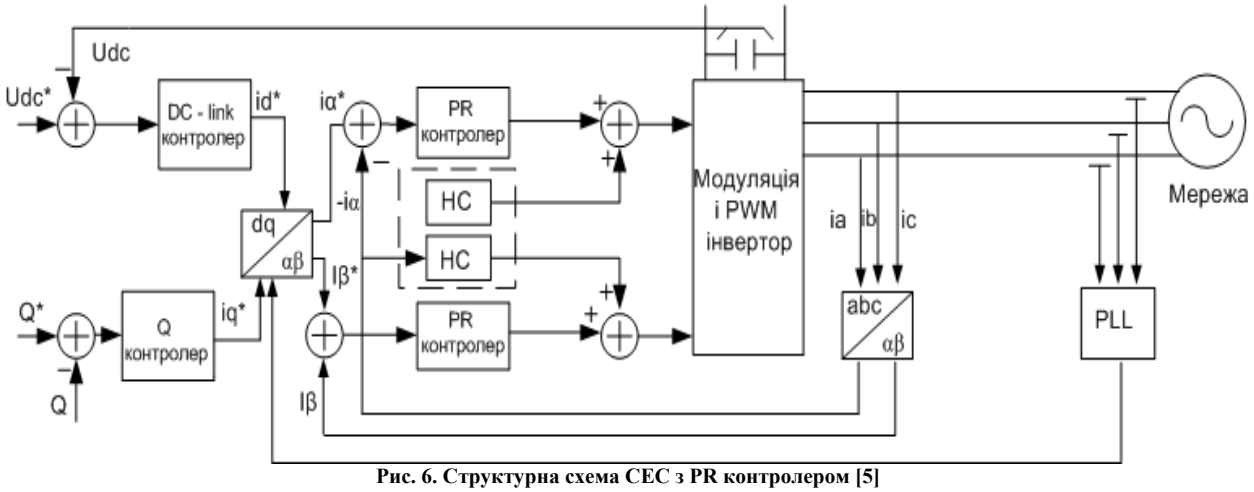


Рис. 6. Структурна схема СЕС з PR контролером [5]

На відміну від рис. 5, на рис. 6 використовується блок перетворення струмів з *abc* трифазної системи координат в $\alpha\beta$ стаціонарну систему координат. Блок PLL (рис. 6) дозволяє, використовуючи напруги фаз в трифазній системі координат, знайти кут зсуву на який необхідно скорегувати сигнал на виході інвертора відповідно до опорного сигналу (напруги на ЛЕС на шинах СЕС). У блоці перетворення *dq* / $\alpha\beta$ струми в *dq* системі координат перетворюються в струми в $\alpha\beta$ системі координат. Порівняно зі схемою на рис. 5 в структурній схемі рис. 6 додатково використовуються блоки HC (harmonic compensator) компенсаторів гармонік, які виконують функції зменшення впливу 3, 5, 7-ї гармонік в напругах на виході інвертора СЕС.

Недоліком PR контролера інвертора СЕС є потреба в складній системі синхронізації інвертора з мережею. Закон керування цього контролера не усуває вплив гармонік високого порядку (вище 11

гармоніки) на напругу на виході інвертора СЕС.

Передатна функція системи керування інвертором СЕС в якій використовується PR контролер (в *abc* системі координат) знаходиться за виразом (5):

$$G^{(abc)}{}_{PR}(s)=\begin{bmatrix} K_p+\dfrac{K_i s}{s^2+\omega^2{}_0} & 0 & 0 \\ 0 & K_p+\dfrac{K_i s}{s^2+\omega^2{}_0} & 0 \\ 0 & 0 & K_p+\dfrac{K_i s}{s^2+\omega^2{}_0} \end{bmatrix}. \quad (5)$$

Особливості прогнозуючого (DB) контролера інвертора СЕС

Однією з властивостей прогнозуючого DB (deadbeat) контролера інвертора СЕС є те, що в його програмному забезпеченні, для прогнозування сигналу на виході контролера, застосовується математичний апарат нечіткої логіки. Для пояснення передатної функції системи керування інвертором СЕС в якій використовується прогнозуючий контролер на рис. 7 показана однолінійну схема з DB контролером (рис. 7).

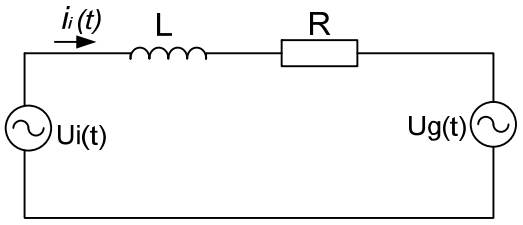


Рис. 7. Однолінійна схема СЕС з DB контролером

На рис. 7 показані: індуктивність $L= +L_g$ та активний опір $R= R_i+R_g$, де $R_і$, L_i – індуктивний та активний опір інвертора, L_g, R_g – індуктивний та активний опір мережі).

Струм в електричному колі інвертора визначається за виразом (6).

$$\frac{di_i(t)}{dt}=\frac{R}{L}i_i(t)+\frac{1}{L}(U_i(t)-U_g(t)), \quad (6)$$

де i_i – струм в колі інвертора, R – загальний активний опір, L – загальна індуктивність, U_i – напруга на шинах інвертора, U_g – напруга в на шинах СЕС.

Після перетворення отримаємо вираз (7):

$$i_i((k+1)T_s)=e^{-(R/L)T_s}i_i(kT_s)-\frac{1}{R_T}(e^{-(R/L)T_s}-1)(U_i(kT_s)-U_g(kT_s)), \quad (7)$$

де T_s – постійна інерції, R – загальний активний опір, L – загальна індуктивність.

Передатна функція DB визначається за виразом (8):

$$G^{(abc)}{}_{DB}=(\frac{1}{b})(\frac{1-az^{-1}}{1-az^{-1}}), \quad (8)$$

де $a=e^{-(R/L)T_s}$, $b=-\dfrac{1}{R}(e^{-(R/L)T_s}-1)$, T_s – постійна інерції.

В цьому контролері використовується LCL фільтр та блок, в якому реалізована спрощена розрахункова модель ЛЕС та параметрів режиму на шинах СЕС. Це дає можливість контролеру бути чутливим до невідповідності параметрів моделі до параметрів поточного режиму ЛЕС на шинах СЕС.Недоліком цього контролера є затримка в часі, що значно погіршує його швидкодію та якість реакції на зміну параметрів режиму в ЛЕС.

2. Дослідження режимів роботи та параметрів інверторів СЕС на гармонійні складові в ЛЕС

Досить активно будуються СЕС у Вінницькій області, так, наприклад, в Ямпільських районних електричних мережах є такі СЕС, як: Слобода-Бушанська СЕС, Гальжбіївська СЕС, Цекинівська СЕС та Порожнянська СЕС. Розглянемо фрагмент схеми ЛЕС Ямпільських РЕМ та під'єднання Слобода-Бушанської СЕС до них (рис. 8).

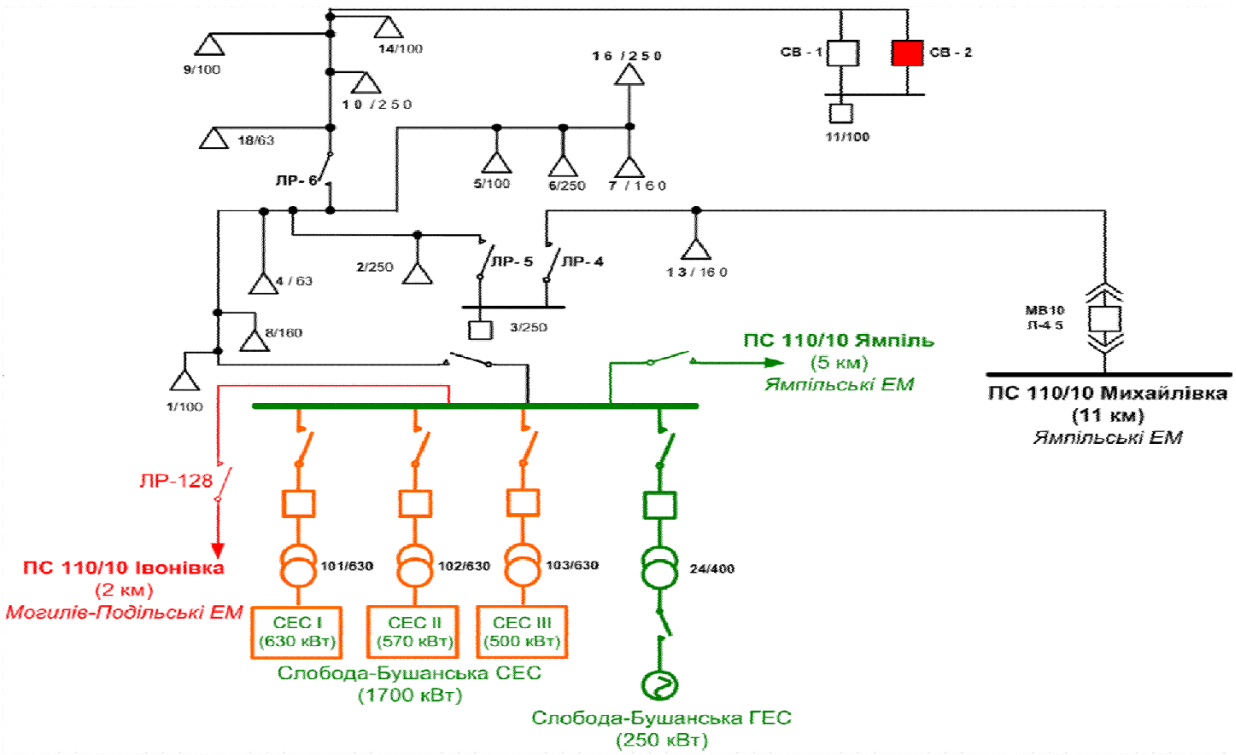


Рис. 8. Фрагмент схеми Слобода-Бушанської СЕС та ГЕС в Ямпільських РЕМ

З метою аналізу процесів, що відбуваються в ЛЕС з СЕС, було створено модель ЛЕС напругою 110/10/0,4 кВ в програмному середовищі PS CAD (Power System Simulation) показану на рис. 9. У комп'ютерній моделі, схема якої показана на рис. 9, в якості джерел електричної енергії, використовуються: енергосистема, яка приєднана до шин 110 кВ ЛЕС, СЕС1 та СЕС2 (потужність яких вибиралася в межах 0,5 до 1 МВт). Також на схемі показані батарея статичних конденсаторів (БСК) для компенсації реактивної потужності, три понижувальні трансформатори (110/10 кВ та 10/0,4кВ) та два підвищувальні трансформатори (0,4/10 кВ) на підстанціях СЕС, а також дві лінії 10 кВ для живлення споживачів (під час моделювання потужність навантаження змінювалась в межах 0,3 МВт до 1,23 МВт). Схема СЕС в якій використовується контролер інвертора, що реалізує PI закон керування в *dq* системі координат показана на рис. 10.

В якості показника якості електричної енергії пропонуємо використовувати коефіцієнт гармонійних складових напруги (K_u), який визначається за виразом (9):

$$K_u = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} U_n^2}}{U_1} \times 100\%, \tag{9}$$

де U_1 – амплітуда основної гармоніки, U_n – амплітуда n-ї гармонійної складової.

Використання в схемі двох СЕС рис. 9 дає можливість проаналізувати коефіцієнти гармонійних складових в напрузі на шинах ЛЕС при різних законах керування інверторів СЕС. На рис. 9 показані результати досліджень гармонійних складових в напрузі на шинах СЕС, які використовують контролери інверторів, що працюють за різними законами керування.

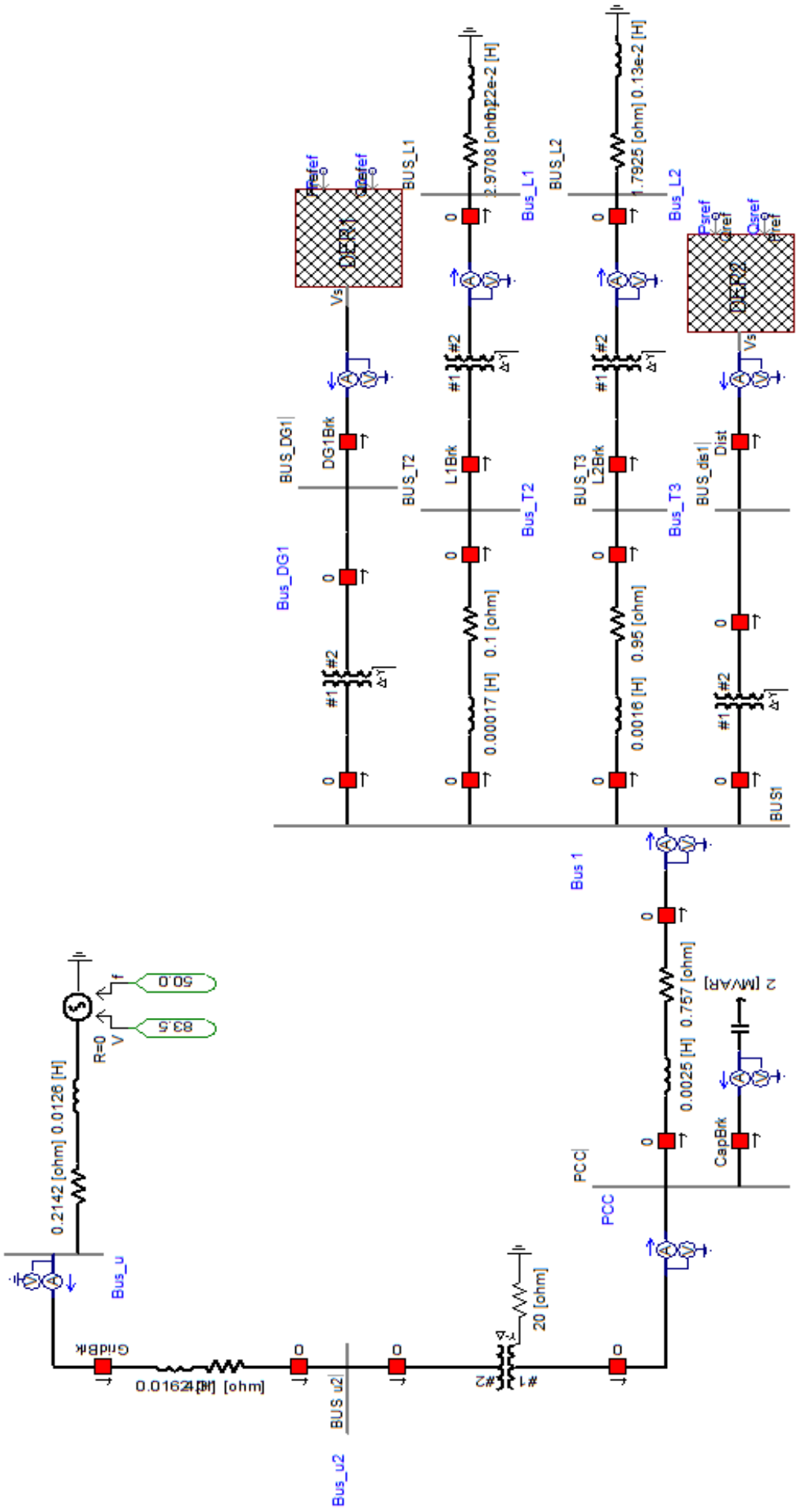


Рис. 9. Схема моделі ЛЕС напругою 110/10/0,4 кВ в програмному середовищі PS CAD

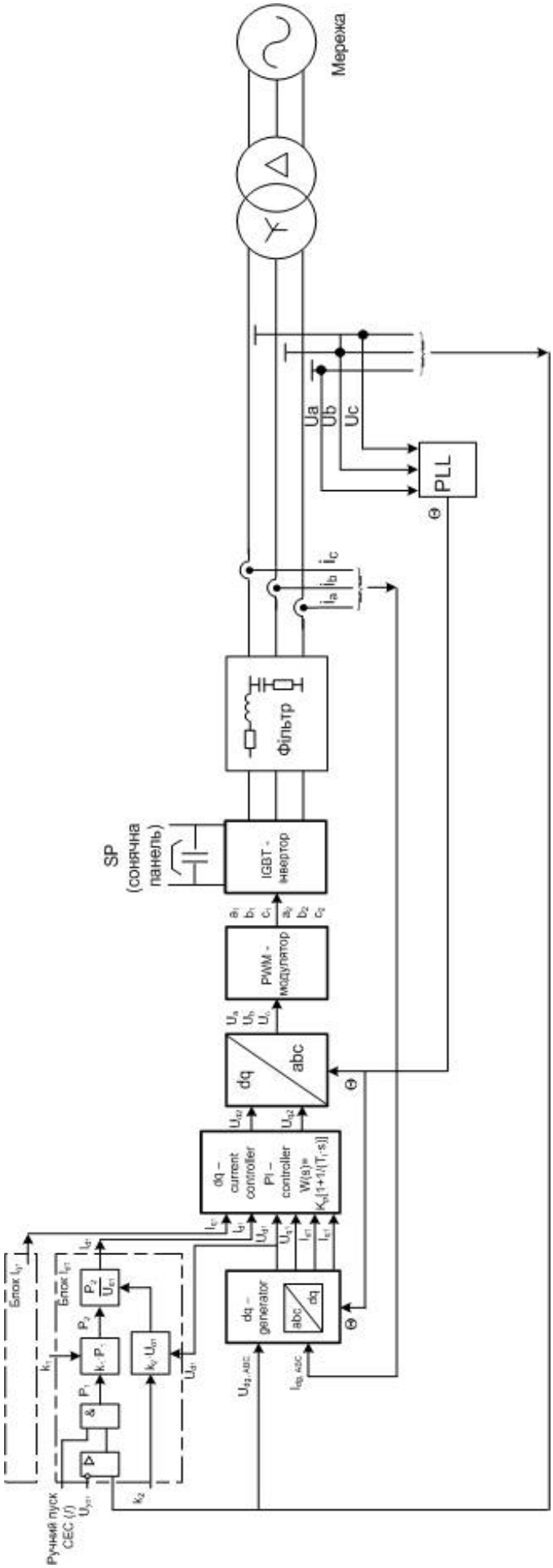
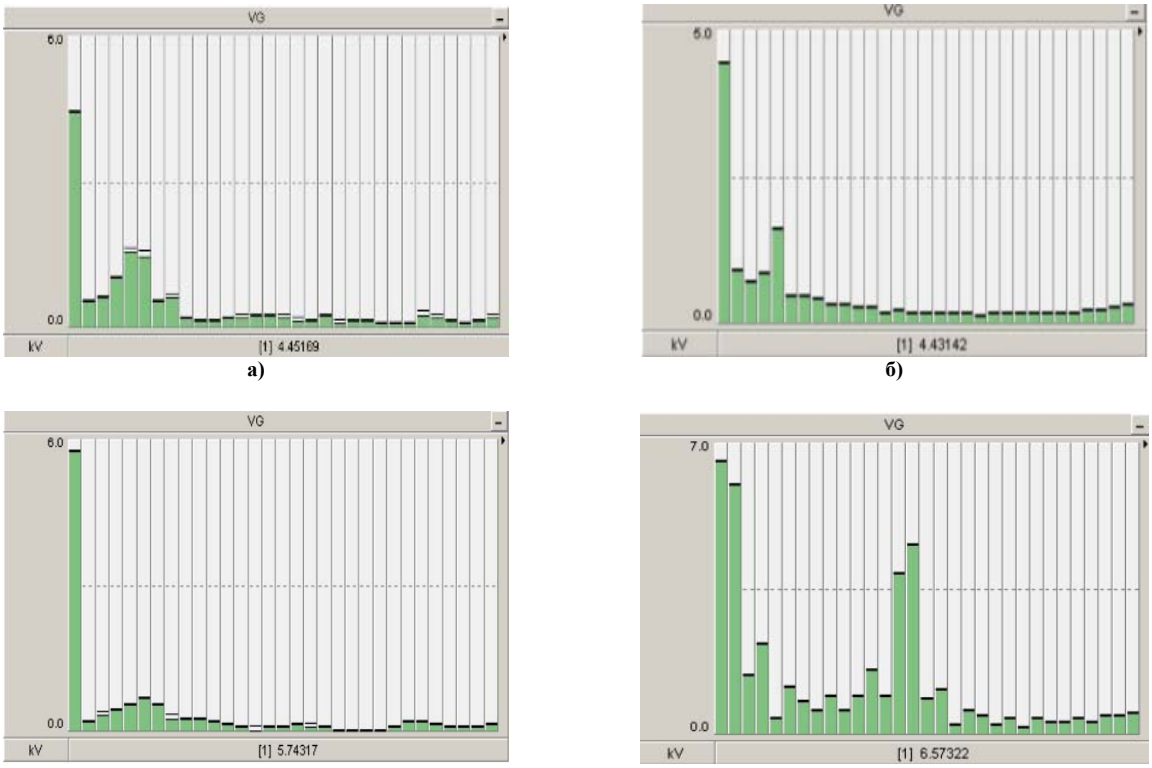


Рис. 10. Схема моделі СЕС з PI контролером в програмному середовищі PS CAD



а) б)

в) г)

Рис. 11. Спектр гармонійних складових в напрузі на шинах СЕС

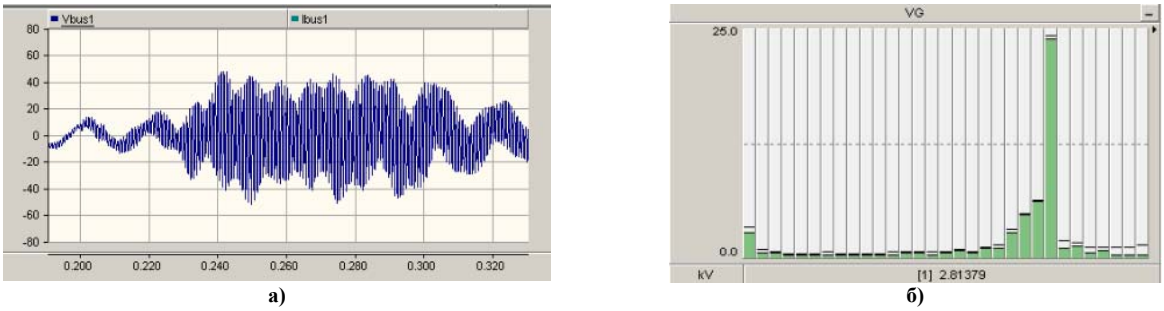
На рис 11 показані гармонійні складові в напрузі на шинах СЕС за умови використання на СЕС: а) PI контролера, в якому застосовується перетворення в *dq* систему координат; б) PR контролера, в якому застосовується перетворення в *бв* систему координат; в) PI контролера, в якому застосовується перетворення в *abc* систему координат; г) використання DB контролера, в якому застосовується перетворення в *abc* систему координат. Результати досліджень наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Значення коефіцієнту гармонійних складових

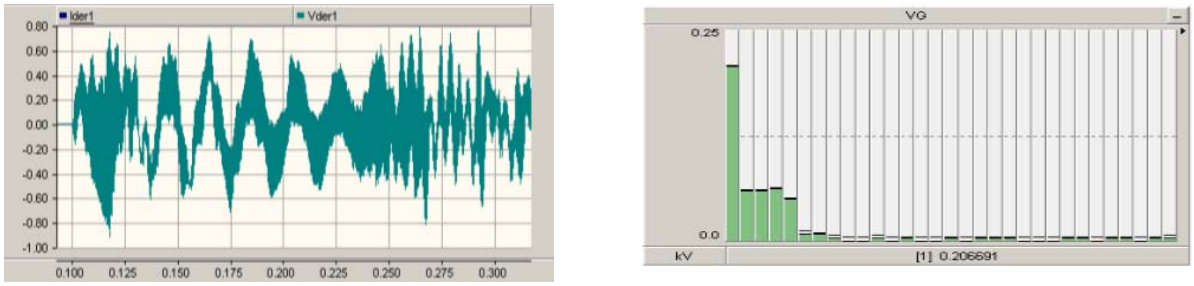
Закон керування контролером і система координат	Значення коефіцієнту K_u, %
PI (abc)	6,3
PI (dq)	6,9
DB (abc)	7,5
PR (αβ)	7,8

Отже, порівнявши отримані результати можна зробити висновок, що найменше гармонійне спотворення синусоїди напруги буде при використанні PI контролера, що реалізує перетворення в *abc* систему координат, а використання PR контролера, що реалізує перетворення в *бв* систему координат дасть найбільше гармонійне спотворення на виході інвертора. В подальший дослідженнях використовувались PI контролери на обох СЕС. Результати комп'ютерного моделювання свідчать про те, що найбільші спотворення форми синусоїди напруг та струмів на виході СЕС викликають перехідні процеси, пов'язані з увімкненням та вимкненням потужних споживачів, самих СЕС, потужної БСК і т. п. Особливо значні спотворення виникають в режимі увімкнення різних СЕС та потужних споживачів з малим інтервалом часу між ними (наприклад, у разі успішного АПВ на різних ділянках ЛЕС). Результати досліджень наведені на рис. 12 та 13.



а) б)

Рис. 12. Послідовне увімкнення СЕС1 та СЕС2, та потужного споживача: а) спотворення синусоїди напруги на шинах ПС 10кВ; б) спектр гармонійних складових напруги на ПС 10 кВ



а) **б)**

Рис. 13. Одночасне ввімкнення СЕС1 та СЕС2, та потужного споживача (за успішного АПВ): а) спотворення синусоїди напруги на шинах СЕС1 0,4 кВ; б) спектр гармонійних складових напруги на СЕС1 0,4 кВ

Як видно з рис. 12 та 13 в мережах з РДЄ виникає явище резонансу та ферорезонансу. На спотворення синусоїди напруги впливають як потужності навантажень, так і параметри самих інверторів СЕС. Одним з параметрів, що характеризує СЕС є постійна інерції (Т) в законах керування. Результати досліджень свідчать про те, що при зменшенні T зростають гармонійні складові в напрузі на шинах СЕС (рис. 14).

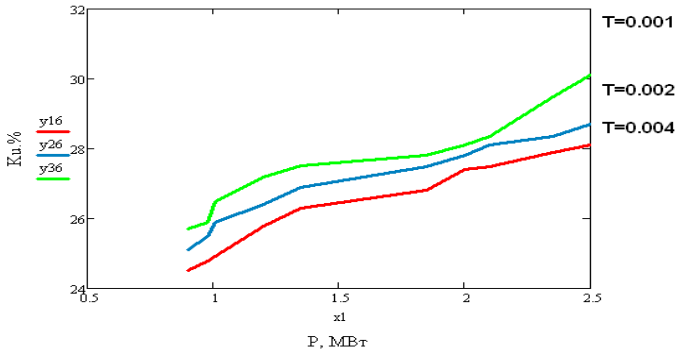


Рис. 14. Залежність K_u від постійної інерції T та навантаження СЕС P

3. Дослідження впливу гармонійних складових напруги на технічний стан високовольтного обладнання ЛЕС

Високовольтне обладнання розподільних електричних мереж швидко старіє [1, 2]. За таких умов актуальною постає задача дослідження впливу гармонійних складових напруги на технічний стан високовольтного обладнання ЛЕС з метою розробки заходів щодо раціонального використання залишкового ресурсу та безаварійної його експлуатації. В якості прикладу дослідимо вплив гармонійних складових напруги технічний стан високовольтних вимірювальних трансформаторів напруги та муфти кабельних ліній.

Відомо, що кабельні лінії (КЛ) мають більшу ємність ізоляції ніж повітряні лінії електропередач. Велика ємність ізоляції особливо у кабельних муфт. Тому для розрахунку впливу зростання частоти гармонійних складових в напрузі фаз кабельних ліній на струм через ізоляцію їх кабельних муфт, було використано спрощену схему наведену на рис. 15.

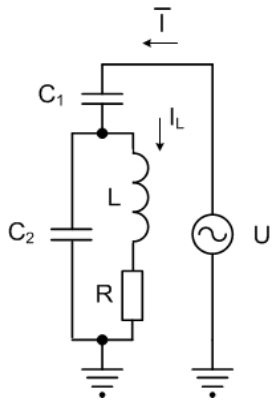


Рис. 15. Заступна схема електричної мережі з КЛ

В наведеній на рис. 15 заступній схемі C_1 – міжконтактна ємність вимикача, C_2 – ємність кабельної лінії, R – загальний активний опір ЕМ, L – індуктивність навантаження, наприклад вимірювального трансформатора напруги і т. п.

Струм, що протече через ізоляцію кабелю визначається за виразом (10):

$$\bar{I}_{C_2} = \frac{\bar{U} \cdot \omega \cdot C_2 \cdot (\omega \cdot L + R)}{z_{\Sigma}(\omega \cdot L \cdot C_2 - j\omega \cdot R \cdot C_2 - 1)} \qquad (10)$$

де I_{C2} – струм що протікає через ізоляцію КЛ; $\omega = 2\pi \cdot f$ – кутова швидкість, f – частота в мережі.

Для КЛ 10кВ з ємністю в 0,0016 мкФ при збільшенні частоти до 300 Гц, струм в ізоляції КЛ становитиме 10,56 А, при гранично допустимому значенні – 300 мкА, а отже це може призвести до передчасного пошкодження ізоляції КЛ.

Дослідження свідчать про те, що при порядку гармонійних складових в напрузі фаз кабельних ліній, збільшується значення сили струму, що протікає через ізоляцію КЛ. Залежність струму в ізоляції КЛ від частоти показана на рис. 16.

Іншим видом досліджуваного обладнання були вимірювальні трансформатори напруги. Для розрахунку струму, що протече в обмотці трансформатора, було використано узагальнену схему заміщення

(рис. 15).

Струм, в обмотці трансформатора визначається за виразом (11):

$$\overline{I}_L = \frac{\overline{U}}{z_\Sigma \left[(R + j\omega \cdot L) \cdot j\omega \cdot C_2 + 1 \right]}, \quad (11)$$

де I_L – струм що протікає через обмотку трансформатора; C_1 – міжконтактна ємність вимикача, C_2 – міжвиткова

ємність обмотки трансформатора, R – активний опір обмотки трансформатора, L – індуктивність обмотки трансформатора.

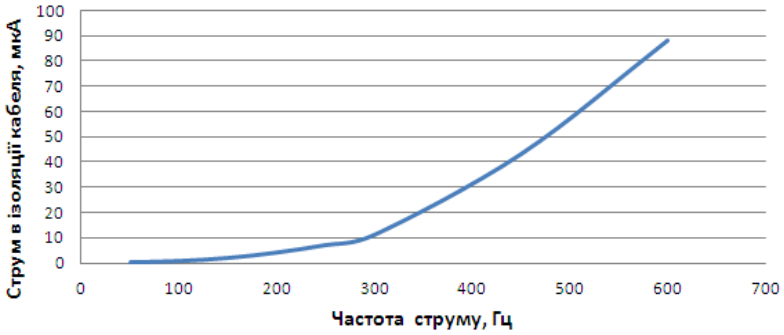


Рис. 16. Залежність величини струму в ізоляції КЛ від частоти в мережі

Максимально допустимий струм через обмотку трансформатора не повинен перевищувати 0,3 А для трансформатора типу НТМИ-10. Підставивши паспортні данні трансформатора НТМИ-10 (C_2 – 200–400 пФ, R –1800 Ом, L – 74 Гн) в вираз 11, було отримано залежність струму в обмотці ТН від частоти цього струму, яка показана на рис. 17.

Аналіз результатів досліджень свідчить про те що, при зменшенні частоти струму в обмотці зростатиме струм, тому поява в струмі на напрузі трансформатора напруги гармонік низьких частот (менше 50 Гц), може призвести до зростання струму, який значно перевищує гранично допустимі межі, що (за певних умов) може призвести до пошкодження обмотки трансформатора.

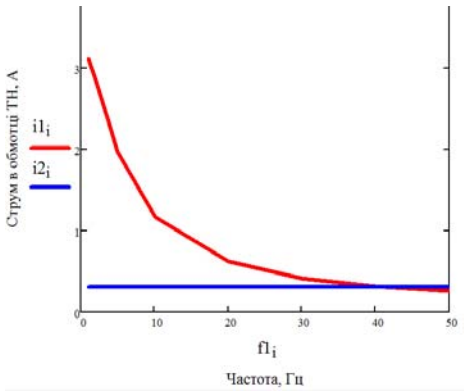


Рис. 17. Залежність струму в обмотці НТМИ від частоти цього струму

Висновки

В усталених режимах роботи ЛЕС з СЕС норми якості електричної енергії не порушуються, а при перехідних режимах роботи ЛЕС порушуються по параметру коефіцієнту гармонійних складових напруги.

Послідовне або з невеликою різницею в часі неузгоджене між собою ввімкнення та вимкнення СЕС та потужних споживачів, особливо при великій кількості інверторів в ЛЕС, призводить до зростання кількості та амплітуд гармонік в напрузі фаз ЛЕС та до затяжних перехідних процесів.

Гармонійні складові в напрузі ЛЕС негативно впливають на технічний стан високовольтного обладнання ЛЕС (особливо такою, яке відпрацювало паспортний ресурс), та можуть призвести до його пошкодження.

Необхідно розробити методичне, апаратне та програмне забезпечення узгодженого увімкнення та вимкнення СЕС в ЛЕС, що відповідає впровадженню в експлуатацію засад концепції Smart Grid – створенню активних інтелектуальних ЛЕС.

Література

1. Лежнюк П.Д. Оперативне діагностування високовольтного обладнання в задачах оптимального керування режимами електроенергетичних систем / П.Д. Лежнюк, О.Є. Рубаненко, О.В. Нікіторович // Технічна електродинаміка. – 2012. – № 3. – С. 35–36.

2. Алексеев Б.А. Контроль состояния (диагностика) крупных силовых трансформаторов / Алексеев Б.А. – М. : НЦ ЭНАС, 2002. – 216 с.

3. Кириленко А. В. Оптимизация режимов энергосистем в условиях рынка / А. В. Кириленко, В. Л. Прихно // Праці Інституту електродинаміки НАН України. Спеціальний випуск. Енергетичні ринки: перехід до нової моделі ринку двосторонніх контрактів і балансуючого ринку. – К., 2009. – С. 3–10.

4. Ковальчук О. А. Малі ГЕС в локальних електричних системах з розосередженим генеруванням / О. А. Ковальчук, О. В. Нікіторович, П. Д. Лежнюк, В. В. Кулик // Гідроенергетика України. – 2011. – № 1. – С. 54–58. – ISSN 1812-9277.

5. Timbus A., Lisser M., Teodorescu R., Rodriguez P., Blaabjerg F. Evaluation of current controllers for distributed power generation system. IEEE Transactions on power electronics. 2009. V.24, № 3. P. 654–664.

6. Enslin J., Heskes P. Harmonic interaction between a large number of distributed power inverters and the distribution network. IEEE Transactions on power electronics. 2004. V.19, № 6. P. 1586–1593.

7. Будівництво промислових СЕС [Електронний ресурс] / Інжинірингова компанія – Нові енергетичні технології. – Режим доступу : http://iknet.com.ua/uk/presentation/full/ses

8. Pepermans G., Driesen J., Haeseldonckx D., Belmans R., D'haeseleer W. Distributed generation: definition, benefits and issues. Energy Policy. 2005. № 33. P. 787–798.

9. Degeroote L., Vandevelde L., Renders B. Fast harmonic simulation method for the analysis of network losses with converter-connected distributed generation. Electric Power Systems Research. 2010. № 80. P. 1332–1340.

10. Power sector. Global status report. Renewables. Steering committee. Ren. 21. 2014. P. 25–27. URL: http://www.ren21.net/Portals/0/documents/Resources/GSR/2014/GSR2014_full%20report_low%20res.pdf

11. Solar PV industry. Market and industry trends. Global status report. Renewables. Steering committee. Ren. 21. 2014. P. 48–50. URL: http://www.ren21.net/Portals/0/documents/Resources/GSR/2014/GSR2014_full%20report_low%20res.pdf

12. Перспективы солнечной энергетики в 2015 году [Електронний ресурс] / Иркутский национальный исследовательский технический университет. – 2014. – Режим доступу : http://www.istu.edu/structure/57/3943/

References

1. Lezhnyuk P.D. Operativne diagnostuvannya visokovoltnogo obladnannya v zadachakh optimalnogo keruvannya rezhimami yelektroyenergetichnikh sistem / P.D. Lezhnyuk, Rubanenko O.I., O.V. Nikitorovich // Tekhnichna yelektro-dinamika. 2012. № 3. S. 35-36.

2. Alekseyev B.A. Kontrol sostoyaniya (diagnostika) krupnykh silovykh transformatorov / Alekseyev B.A. M .: NTS ENAS, 2002. 216 s.

3. Kirilenko A. V. Optimizatsiya rezhimov energosistem v usloviyakh rynka / A. V. Kirilenko, V. L. Prikhno // Pratsi institutu yelektrodinamiki NAN Ukraini. Spetsialniy vipusk. Yenergetichni rinki: perekhid do novoi modeli rinku dvostoronnikh kontraktiv i balansuyuchogo rinku. - K .: 2009. - S. 3-10.

4. Koval'chuk O. A. Mali GES v lokalnikh yelektrichnikh sistemakh z rozoseredzhenim generuvannyam / O. A. Koval'chuk, O. V. Nikitorovich, P. D. Lezhnyuk, V. V. Kulik // Gidroyenergetika Ukraini. 2011. №1. S. 54-58. ISSN 1812-9277.

5. Timbus, A. Otsenka tekushchikh kontrollerov dlya raspredelennoy generatsii energii sistemy / A. Timbus, M. Lisser, R. Teodorescu, P. Rodriges, F. Blaabjerg // IEEE Transactions na silovoy elektroniki. 2009. V.24, № 3. S. 654-664.

6. Enslin, J. garmonik vzaimodeystviye mezhdu bol'shim chislom raspredelennykh silovykh preobrazovateley i raspredelitel'noy seti / J. Enslin, P. Heskes // IEEE Transactions na silovoy elektroniki. 2004. V.19, № 6. S. 1586-1593.

7. Budivnitstvo promislovikh SES: inzhiringova kompaniya - Novi yenergetichni tekhnologii. URL: http://iknet.com.ua/uk/presentation/full/ses

8. Pepermans, G raspredelennoy generatsii: opredeleniye, preimushchestva i problemy / G. Pepermans, J. Driesen, D. Haeseldonckx, R. Belmans, W.D'haeseleer // energeticheskoy politiki. 2005. № 33. P. 787-798.

9. Degeroote, L. Bystraya garmoniki metod modelirovaniya dlya analiza setevykh poter' s preobrazovatelem podklyuchennykh DISTRIB-prostranyayetsya pokoleniya / L. Degeroote, L. Vandevel'de, B. delayet / Elektroenergeticheskiye sistemy issledovaniy. 2010. №80. S. 1332-1340.

10. Energeticheskiy sektor. Doklad o sostoyanii. vozobnovlyayemykh istochnikov energii. Rukovodyashchiy komitet – Ren. 21. 2014 P. 25-27. URL: http://www.ren21.net/Portals/0/documents/Resources/GSR/2014/GSR2014_full%20report_low%20res.pdf

11. Solnechnyye fotoelektricheskiye promyshlennosti. Rynochnyye i otraslevyye tendentsii. Doklad o sostoyanii. vozobnovlyayemykh istochnikov energii. Derzhites'-ki komitet – Ren. 21. 2014 P. 48-50. URL: http://www.ren21.net/Portals/0/documents/Resources/GSR/2014/GSR2014_full%20report_low%20res.pdf

12. Perspektivy solnechnoy energetiki v 2015 godu. Irkutskiy natsional'nyy issledo-vatel'skiy tekhnicheskiy universitet. Glavnaya. 2014. URL: http://www.istu.edu/structure/57/3943/

Рецензія/Peer review : 20.3.2015 р. Надрукована/Printed :15.4.2015 р.
Рецензент: д.т.н. проф. Злепко С.М.

UDC 004.032.26::004.93

V.V. ROMANUKE
Khmelnitskiy national university

EQUALIZATION OF NONUNIFORM DISTRIBUTION OF RECOGNITION ERRORS PERCENTAGE OVER CLASSES IN CLASSIFYING SHIFTED MONOCHROME 60-BY-80-IMAGES

A study for equalizing nonuniform distribution of recognition errors percentage over classes is presented. The problem is exemplified on classifying shifted monochrome 60-by-80-images of 26 English alphabet letters. A general conception of adjusting the training process of two-layer perceptron classifier for the equalization is stated. In classifying shifted monochrome 60-by-80-images, this conception is used partially for cutting off extremely long training sample set. Within the example, the non-uniformity is reduced nearly for 25 %. The conception root is that the class representative recognized poorer is repeated in the training set. As the class recognition errors percentage increases, the repeat number is greater. However, the equalization conception is usable only for reasonable number of classes, so that the training sample set length could be shorter. Besides, the two-layer perceptron classifier can be adjusted by four parameters, determining the training sample set length and number of times when this set is passed through the perceptron. While equalizing, the hidden layer size of the two-layer perceptron should not be changed. For estimating non-uniformity, variance unbiased estimates may be used as well. The variance is decreased further using boosting ensembles of perceptron classifiers.

Keywords: object classification, shift, recognition errors percentage, distribution non-uniformity, perceptron, monochrome images, training sample.

В.В. РОМАНЮК
Хмельницький національний університет

ВИРІВНЮВАННЯ НЕРІВНОМІРНОГО РОЗПОДІЛУ ВІДСОТКОВОГО РІВНЯ ПОМИЛОК РОЗПІЗНАВАННЯ ЗА КЛАСАМИ У КЛАСИФІКАЦІЇ ЗСУНУТИХ МОНОХРОМНИХ ЗОБРАЖЕНЬ ФОРМАТУ 60-НА-80

Представляється дослідження з метою вирівнювати нерівномірний розподіл відсоткового рівня помилок розпізнавання за класами. Ця задача підкріплена прикладом класифікації зсунутих монохромних зображень 26 літер англійського алфавіту формату 60-на-80. Висвітлюється загальна концепція підлаштування навчального процесу класифікатора на основі двошарового персептрону для описуваного вирівнювання. При класифікації зсунутих монохромних зображень формату 60-на-80 ця концепція використовується частково задля обрізання надзвичайно великої множини навчальної вибірки. У цьому прикладі нерівномірність знижується приблизно на 25 %. Суть висвітлюваної концепції полягає у тому, що представник певного класу, що розпізнається гірше, повторюється у навчальній множині. Зі зростанням відсоткового рівня помилок розпізнавання у цьому класі кількість повторів стає більшою. Однак дана концепція вирівнювання є застосовною лише для помірної кількості класів, щоб розмір множини навчальної вибірки був меншим. Крім того, класифікатор на основі двошарового персептрону може бути підлаштований за чотирма параметрами, що визначають розмір множини навчальної вибірки та число разів, яке ця множина пропускається через персептрон. Під час вирівнювання розмір прихованого шару двошарового персептрону не змінюють. Для оцінювання нерівномірності також можуть бути застосовані й оцінки незміщеної дисперсії. Ця дисперсія знижується ще далі з використанням бустингових комітетів класифікаторів на основі персептронів.

Ключові слова: класифікація об'єктів, зсув, відсотковий рівень помилок розпізнавання, нерівномірність розподілу, персептрон, монохромні зображення, навчальна вибірка.

Problem of classification with nonuniform distribution of recognition errors percentage over classes

Performance of object classification mainly includes [1, 2] period of realtime classification, probability of the classification system failure, and recognition errors percentage (REP). Classification errors are plainly inevitable. Their estimations, obtained through testing the classification system, are needed for evaluating the classification quality on average [1, 3, 4]. An REP estimation $\tilde{r}_{\text{ep}}$ is compared to the maximally tolerated REP value $\hat{r}_{\text{ep}}$, and the classification system is implemented when $\tilde{r}_{\text{ep}} \leqslant \hat{r}_{\text{ep}}$. But here is a trivial example of that knowing REP is insufficient in controlling the classification system quality: for two classes, where $\tilde{r}_{\text{ep}} = 0.5 \cdot \left[r_{\text{ep}}(1) + r_{\text{ep}}(2) \right] = 9$ by $\hat{r}_{\text{ep}} = 10$, the first class REP is $r_{\text{ep}}(1) = 7$, and the second class REP is $r_{\text{ep}}(2) = 11$, whence it is clear that such classification quality is not admissible as system recognizes the second class too poor. Besides, even if REP in every class is less than $\hat{r}_{\text{ep}}$, but ratio of REP over some classes is far less or greater than one, then irregular distribution of REP over those classes is also unwanted. So, distribution of REP over classes is desirable to be uniform, and this is a problem for many fields of classification.

Assembling the classification system and controlling its quality

The contemporary classification system is usually a computer program or complex of computer programs, coded by algorithms on the basis of classification model. This model is a functional or an operator map, defined on the general totality of objects. The multilayer perceptron, being universal approximator, is one of the fastest classification models [2, 3, 5]. Its single hidden layer is sufficient for classifying almost everything. The two-layer perceptron classifier (TLPC) may be easily assembled in MATLAB, whereupon performance features of TLPC are being accumulated into MATLAB workspace and saved [1, 2, 4, 5]. Any performance feature, including REP over classes, TLPC acquires while being trained. Hence, control of TLPC quality is possible via adjusting the training process parameters. Particularly, it is about the training sample set feeding the input of TLPC.

Goal formulation

Let their be a general totality of objects from N classes, $N \in \mathbb{N} \setminus \{1\}$. Suppose that the trained TLPC performs with REP $r_{\text{ep}}(m)$ in m-th class, where the desired uniformity

$$r_{\text{ep}}(m) = N^{-1} \quad \forall\ m = \overline{1,\ N} \tag{1}$$

is not true, although

$$\frac{1}{N}\sum_{m=1}^{N} r_{\text{ep}}(m) = \tilde{r}_{\text{ep}} \leqslant \hat{r}_{\text{ep}}\,. \tag{2}$$

Moreover, the ultimately tolerated non-uniformity (UTNU), at which

$$\max\left\{\frac{r_{\text{ep}}(m)}{r_{\text{ep}}(n)}, \frac{r_{\text{ep}}(n)}{r_{\text{ep}}(m)} : r_{\text{ep}}(n) > \breve{r}_{\text{ep}},\ m \in \left\{\overline{1,\ N}\right\},\ n \in \left\{\overline{1,\ N}\right\}\right\} = r_{\max} \leqslant r_1 \tag{3}$$

by an admissible REP $\breve{r}_{\text{ep}}$ and some $r_1 > 1$, is not true also. That is there exist such $m_1 \in \left\{\overline{1,\ N}\right\}$ and $n_1 \in \left\{\overline{1,\ N}\right\}$ by $m_1 \neq n_1$ that

$$\max\left\{r_{\text{ep}}(m_1)\cdot\left[r_{\text{ep}}(n_1)\right]^{-1},\ r_{\text{ep}}(n_1)\cdot\left[r_{\text{ep}}(m_1)\right]^{-1}\right\} > r_1\,. \tag{4}$$

The goal is to adjust the training process of TLPC to get the condition (3) true. And the goal must be hit along with that the other performance features of TLPC should be changed minimally. This minimal-intruding theoretical adjustment for equalizing the nonuniform distribution of REP over classes should be demonstrated on a real example of classification.

Adjusting the training process of TLPC for REP equalization

A simple model of the object for its classification is monochrome image. For the monochrome image format $R \times C$ its model is $R \times C$ matrix of zeros and ones. So, the m-th class is represented as matrix $\mathbf{A}^{\langle m\rangle} = \left(a_{rc}^{\langle m\rangle}\right)_{R\times C}$ at $a_{rc}^{\langle m\rangle} \in \{0, 1\}$ by $r = \overline{1,\ R}$ and $c = \overline{1,\ C}$ for $m = \overline{1,\ N}$. While training, the input of TLPC is fed with the finite number of representatives of all the classes. Denote $\mathbf{A} = \left(\overline{a}_{jm}\right)_{RC\times N}$ as the matrix of all original N monochrome $R \times C$-images, reshaped into N columns. The input of TLPC is fed with U replicas of the matrix $\mathbf{A}$ along with F noised matrices $\{\mathbf{A}_k\}_{k=1}^{F}$, where the k-th noised matrix

$$\mathbf{A}_k = \Psi\left(\mathbf{A}, \Xi_k\right) \tag{5}$$

is got after mapping the matrix $\mathbf{A}$ by the randomized parameters Ξ_k. Particularly, the map Ψ can be just adder for the noise as pixel distortion, where Ξ_k is usually $RC \times N$ matrix of values of normal variate [4, 6]. Generally, this map defines the character of distortions in original N images, because these distortions are model of differences between objects to be classified and representatives of N classes. The set

$$\tilde{P}_{\text{train}}\left(NU + NF\right) = \left\{\tilde{\mathbf{P}}_i\right\}_{i=1}^{U+F} = \left\{\{\mathbf{A}\}_{l=1}^{U}, \{\mathbf{A}_k\}_{k=1}^{F}\right\} \tag{6}$$

of original images and distorted images feeds the input of TLPC by the set of identifiers (targets)

$$T = \{\mathbf{T}_i\}_{i=1}^{U+F} = \{\mathbf{I}\}_{i=1}^{U+F} \tag{7}$$

with identity $N \times N$ matrix $\mathbf{I}$, where number U indicates at how many replicas of undistorted images should be recognized in the training process. The set (6), being formed by (5), is passed through TLPC with identifiers (7) for Q_{pass} times. However, the trained TLPC with (6) by convention cannot ensure the inequality (3).

Let the map $\Omega\left(\left\{r_{\text{ep}}^{\langle 1\rangle}(m)\right\}_{m=1}^{N}\right)$ transfer every normed REP

$$r_{\text{ep}}^{\langle 1\rangle}(m) = r_{\text{ep}}(m)\cdot\left(\sum_{n=1}^{N} r_{\text{ep}}(n)\right)^{-1} \tag{8}$$

into relative frequency $\lambda_{\text{rprs}}(m)$ of appearance (ARF) of the m-th class representatives in an updated set $\tilde{P}_{\text{train}}$, $m = \overline{1,\ N}$ and $\sum_{m=1}^{N}\lambda_{\text{rprs}}(m) = 1$. In the simplest case, Ω is the identity map, and

$$r_{\text{ep}}^{\langle 1\rangle}(m) = \lambda_{\text{rprs}}(m) \quad \forall\ m = \overline{1,\ N}\,. \tag{9}$$

If the set $\left\{r_{\text{ep}}(m)\right\}_{m=1}^{N}$ were tolerated then the equality (9) would have meant that the greater REP in a class the more replicas of this class representatives must be included into the feeding set $\tilde{P}_{\text{train}}$. Surely, sometimes this is far from actuality. Anyway, suppose that relative frequencies $\left\{\lambda_{\text{rprs}}(m)\right\}_{m=1}^{N}$ are known through the map of the normed

tolerated REP $\left\{r_{\text{ep}}^{\langle 1\rangle}(m)\right\}_{m=1}^{N}$ according to the inequality (3). Also let the operator $\mathfrak{F}$ be defined on the set of N terminating fractions with values from the half-interval $[0;1)$ with their sum, being equal to 1. The operator $\mathfrak{F}$, having its argument as the set $\left\{\lambda_{\text{rprs}}(m)\right\}_{m=1}^{N}$, returns the denominator d_N, which is the least as possible after reducing every fraction from $\left\{\lambda_{\text{rprs}}(m)\right\}_{m=1}^{N}$ by the least common multiple. For instance, if

$$\left\{\lambda_{\text{rprs}}(m)\right\}_{m=1}^{3}=\{0.3,\ 0.2,\ 0.5\}$$

then $\mathfrak{F}\left(\{0.3,\ 0.2,\ 0.5\}\right)=10$, but for

$$\left\{\lambda_{\text{rprs}}(m)\right\}_{m=1}^{5}=\{0.18,\ 0.2,\ 0.1,\ 0.22,\ 0.3\}$$

the denominator d_5 is

$$\mathfrak{F}\left(\{0.18,\ 0.2,\ 0.1,\ 0.22,\ 0.3\}\right)=50.$$

Consequently, for

$$d_N=\mathfrak{F}\left(\left\{\lambda_{\text{rprs}}(m)\right\}_{m=1}^{N}\right) \tag{10}$$

there should be altogether $d_N\cdot(U+F)$ replicas of representatives of N classes in the updated set $\tilde{P}_{\text{train}}\left(d_N U+d_N F\right)$. This set feeds the input of TLPC with $d_N\cdot(U+F)$ replicas of representatives of N classes, what lets obtain the condition (3) for REP in all classes, unlike the set (6) with $N\cdot(U+F)$ replicas of representatives of N classes. Notably that the m-th class representative is repeated $U+F$ times in the set (6), and in the set $\tilde{P}_{\text{train}}\left(d_N U+d_N F\right)$ this representative is repeated $\lambda_{\text{rprs}}(m)\cdot d_N\cdot(U+F)$ times.

Thus adjusting the training process of TLPC for REP equalization consists in the new training set

$$\tilde{P}_{\text{train}}\left(d_N U+d_N F\right)=\left\{\tilde{\tilde{\mathbf{P}}}_i\right\}_{i=1}^{U+F}=\left\{\left\{\tilde{\mathbf{A}}\right\}_{l=1}^{U},\left\{\tilde{\mathbf{A}}_k\right\}_{k=1}^{F}\right\} \tag{11}$$

that feeds the input of TLPC, wherein $\tilde{\mathbf{A}}$ and $\tilde{\mathbf{A}}_k$ are $RC\times d_N$ matrices, each of which contains $\lambda_{\text{rprs}}(m)\cdot d_N$ columns, representing the m-th class $\forall\, m=\overline{1,\ N}$. The set of targets is

$$T=\left\{\tilde{\mathbf{T}}\right\}_{i=1}^{U+F}, \tag{12}$$

where $\tilde{\mathbf{T}}=\left[t_{mq}\right]_{N\times d_N}$ is matrix with $t_{mq}\in\{0,1\}$, having $\lambda_{\text{rprs}}(m)\cdot d_N$ columns of their numbers within the set $C_N(m)$, where $t_{nq}=1$ by $n=m$ and $t_{nq}=0$ by $n\in\left\{\overline{1,\ N}\right\}\setminus\{m\}$ for $q\in C_N(m)$. Due to the operation (10) for columns of matrices in the set (11), the adjusted training process with the updated training set (11) for identifiers (12) must change performance features of TLPC minimally.

REP equalization for classification of monochrome 60-by-80-imaged alphabet letters

It is clear that for hitting the formulated goal explicitly there must be taken a certain general totality of objects. Therefore may 26 letters of English alphabet as monochrome images be the general totality. Here the letter is a generalized object model. At that may its format be 60×80, not small, and not large, for efficient work with images.

Monochrome image distortion is commonly its shift. For treating this distortion type, some pixel color inversion is required during training TLPC [4]. Therefore let the map Ψ of the matrix $\mathbf{A}=\left(\overline{a}_{jm}\right)_{4800\times 26}$ shift ("shake") every image from $\left\{\mathbf{A}^{\langle m\rangle}=\left(a_{rc}^{\langle m\rangle}\right)_{60\times 80}\right\}_{m=1}^{26}$ in $\mathbf{A}$ with parameters Ξ_k, whereupon this column-shaken matrix is added to 4800×26 matrix of values of normal variate with zero expectation and some variance in Ξ_k, $k=\overline{1,\ F}$ (Figure 1 and Figure 2). In practice, it is sufficient to put $U=2$ and $F=8$ [4]. For a prompt exemplification, we take $U=F=1$, and the added pixel distortion constitutes 10 % of the shift distortion. Further, the training set

$$\tilde{P}_{\text{train}}(52)=\left\{\tilde{\mathbf{P}}_1,\ \tilde{\mathbf{P}}_2\right\}=\left\{\mathbf{A},\ \mathbf{A}_1\right\} \tag{13}$$

feeds the input of the MATLAB assembled TLPC by the set of targets

$$T=\left\{\mathbf{T}_1,\ \mathbf{T}_2\right\}=\left\{\mathbf{I},\ \mathbf{I}\right\} \tag{14}$$

with identity 26×26 matrix $\mathbf{I}$, for $Q_{\text{pass}}=50$ times. Unfortunately and expectedly, that the training process with the training set (13) by identifiers (14) makes TLPC perform with quite different REP over 26 classes (Figure 3).

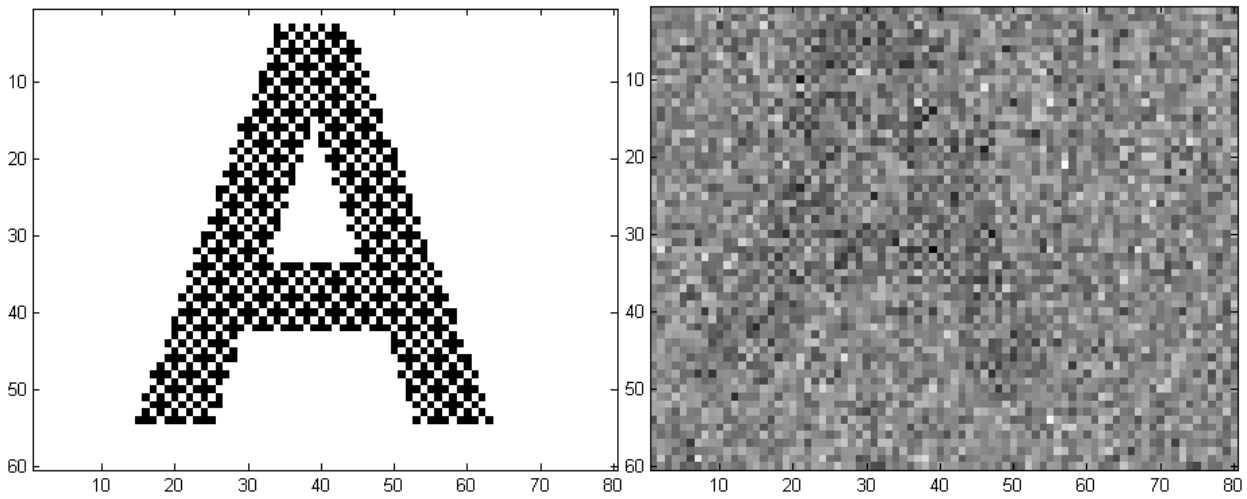


Fig. 1. Monochrome 60-by-80-image of letter "A" and its grayscale image after the "shaking" and pixel-distorting map (5), viewed within MATLAB

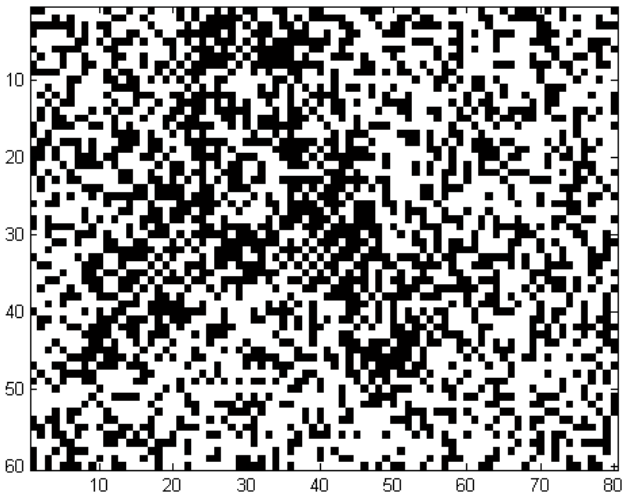


Fig. 2. Monochrome 60-by-80-image of letter "A" from Figure 1 after the "shaking" and pixel-distorting map (5), viewed within MATLAB

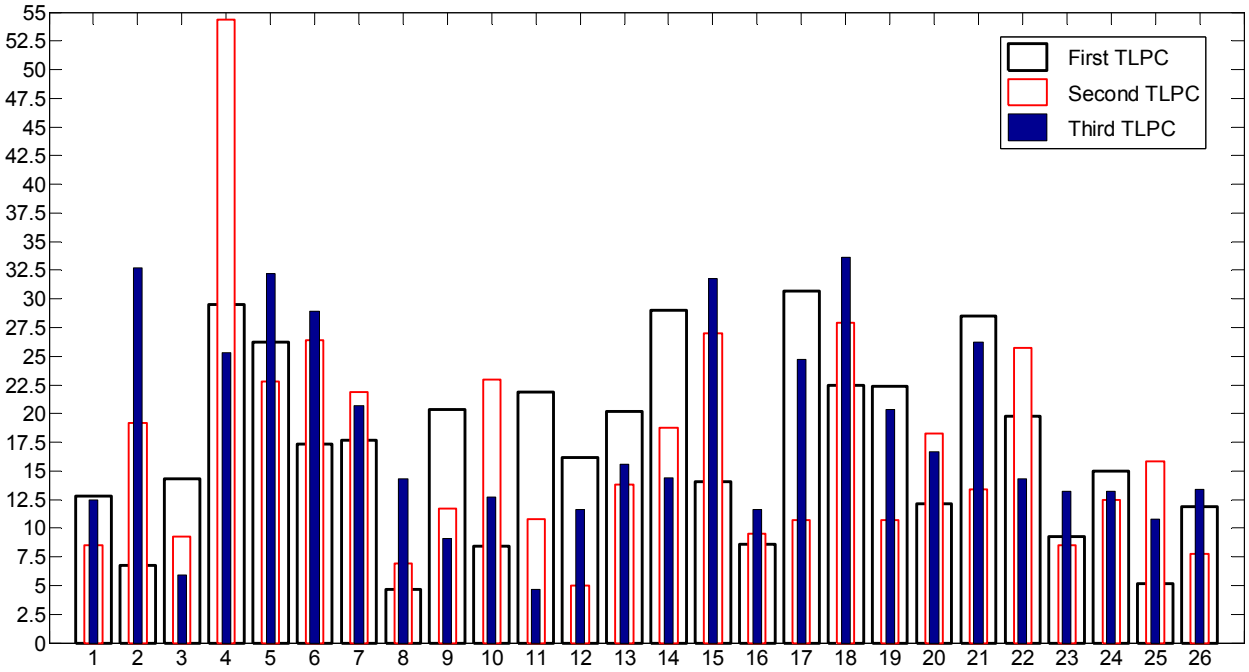


Fig. 3. Distributions of REP over 26 letters, derived from 1000 testings of three TLPC, trained with the training MATLAB function "traingda" at the fixed Ξ_1 for $U=1$, $F=1$, $Q_{\text{pass}}=50$ (the hidden layer size of TLPC is 250 neurons)

Statistically, these three REP estimations

$$\tilde{r}_{\text{ep}} \in \{17.1346, 16.9346, 18.0962\} \text{ by } \tilde{r}_{\text{ep}} = \frac{1}{26}\sum_{n=1}^{26} r_{\text{ep}}(n) \tag{15}$$

appear less than the maximally tolerated REP value $\hat{r}_{\text{ep}} = 20$. Nevertheless, any of those distributions of $\left\{r_{\text{ep}}(m)\right\}_{m=1}^{26}$ over 26 classes has at least five letters recognized poorer (4, 5, 14, 17, 21 — for the first TLPC; 4, 6, 15, 18, 22 — for the second one; 2, 4, 5, 6, 15, 18, 21 — for the third one). In particular, letters "B", "D", "E", "F", "G", "N", "O", "Q", "R", "U", "V" are frequently classified wrong, whereas letter "H" is the most recognizable. The respective variance unbiased estimates [7, p. 212] are

$$v_{\text{ep}} \in \{60.1752, 106.6568, 74.3284\} \text{ by } v_{\text{ep}} = \frac{1}{25}\sum_{m=1}^{26}\left(r_{\text{ep}}(m) - \frac{1}{26}\sum_{n=1}^{26} r_{\text{ep}}(n)\right)^2. \tag{16}$$

By the condition (3),

$$\max\left\{r_{\text{ep}}(m)\cdot\left[r_{\text{ep}}(n)\right]^{-1}, r_{\text{ep}}(n)\cdot\left[r_{\text{ep}}(m)\right]^{-1} : r_{\text{ep}}(n) > 5,\ m \in \overline{\{1, 26\}},\ n \in \overline{\{1, 26\}}\right\} =$$

$$= r_{\max} \in \{5.9038, 7.8841, 5.6949\} \tag{17}$$

for the tested three TLPC. Note that the second TLPC got so bad $r_{\max}$ because of the letter "D" training had failed.

To equalize REP distribution over 26 letters, there is the adjusting set (11)

$$\tilde{P}_{\text{train}}(2d_{26}) = \left\{\tilde{\tilde{\mathbf{P}}}_1, \tilde{\tilde{\mathbf{P}}}_2\right\} = \left\{\tilde{\mathbf{A}}, \tilde{\mathbf{A}}_1\right\} \tag{18}$$

by the denominator

$$d_{26} = \mathfrak{F}\left(\left\{\lambda_{\text{rprs}}(m)\right\}_{m=1}^{26}\right) \tag{19}$$

after having fulfilled the map

$$\Omega\left(\left\{r_{\text{ep}}^{\langle 1\rangle}(m)\right\}_{m=1}^{26}\right) = \left\{\lambda_{\text{rprs}}(m)\right\}_{m=1}^{26} \tag{20}$$

for the operator $\mathfrak{F}$ argument in (19). The question of how to get the map in (20) has to be investigated within a separate paperwork. For now the very first suggestion is that this map is identity. Hence, in the updated training set (18) the m-th class representative is repeated $2d_{26}r_{\text{ep}}^{\langle 1\rangle}(m)$ times. That is the input of TLPC is fed with $4800\times d_{26}$ matrices $\tilde{\mathbf{A}}$ and $\tilde{\mathbf{A}}_1$, each of which contains $d_{26}r_{\text{ep}}^{\langle 1\rangle}(m)$ columns, representing the m-th class $\forall\, m = \overline{1, 26}$. And the set $T = \left\{\tilde{\mathbf{T}}_1, \tilde{\mathbf{T}}_2\right\}$ of targets (12) consists of two replicas of matrix $\tilde{\mathbf{T}} = \left[t_{mq}\right]_{26\times d_{26}}$ with $t_{mq} \in \{0, 1\}$, having $d_{26}r_{\text{ep}}^{\langle 1\rangle}(m)$ numbered within the set $C_{26}(m)$ columns, where $t_{nq} = 1$ by $n = m$ and $t_{nq} = 0$ by $n \in \overline{\{1, 26\}} \setminus \{m\}$ for $q \in C_{26}(m)$.

The denominator (19) for each of those three tested TLPC should've been $d_{26} = 10000$. Obviously, this might have made the training sample extremely long, what would've have retarded the training process badly. Then we'll use a primitive routine for setting up d_{26} and $\left\{r_{\text{ep}}^{\langle 1\rangle}(m)\right\}_{m=1}^{26}$ or $\left\{\lambda_{\text{rprs}}(m)\right\}_{m=1}^{26}$. Say, the letters recognized poorer shall have a times greater ARF then the letters recognized better, $a > 1$. If there are N_1 letters recognized poorer and N_2 letters recognized better, $N_1 + N_2 = N$, then for ARF x of every letter recognized better we have:

$$N_1 a x + N_2 x = 1,\ \ x = \left(N_1 a + N_2\right)^{-1} = \left(N + N_1(a-1)\right)^{-1}. \tag{21}$$

Taken $a = 2$ drives to that non-uniformity exposes even more, although the averaged REP decreases. Then, taking $a = 1.25$ for each of those three tested TLPC gives us the following. The first TLPC has

$$r_{\text{ep}}^{\langle 1\rangle}(m) = 5/109 \text{ by } m \in \{4, 5, 14, 17, 21\} \text{ and } r_{\text{ep}}^{\langle 1\rangle}(m) = 4/109 \text{ by } m \in \overline{\{1, 26\}} \setminus \{4, 5, 14, 17, 21\} \tag{22}$$

at $d_{26} = 109$; the second one has

$$r_{\text{ep}}^{\langle 1\rangle}(m) = 5/109 \text{ by } m \in \{4, 6, 15, 18, 22\} \text{ and } r_{\text{ep}}^{\langle 1\rangle}(m) = 4/109 \text{ by } m \in \overline{\{1, 26\}} \setminus \{4, 6, 15, 18, 22\} \tag{23}$$

at $d_{26} = 109$; the third TLPC has

$$r_{\text{ep}}^{\langle 1\rangle}(m) = 5/111 \text{ by } m \in \{2, 4, 5, 6, 15, 18, 21\} \text{ and } r_{\text{ep}}^{\langle 1\rangle}(m) = 4/111 \text{ by } m \in \overline{\{1, 26\}} \setminus \{2, 4, 5, 6, 15, 18, 21\} \tag{24}$$

at $d_{26} = 111$. Herewith, the training sample set length roughly quadruples. So, let $Q_{\text{pass}} = 10$. Now the training process with the training set (18) by $26\times d_{26}$ identifiers within the set $T = \left\{\tilde{\mathbf{T}}_1, \tilde{\mathbf{T}}_2\right\}$ and the identity map (20) makes TLPC perform with smoothed distribution of REP over 26 letters (Figure 4), where each TLPC is tested twice. Besides, the REP estimation $\tilde{r}_{\text{ep}}$ has appeared being decreased significantly, and $\tilde{r}_{\text{ep}} < \hat{r}_{\text{ep}} = 13$:

$$r_{\text{ep}} \in \{12.2231, 12.2577\},\ \ r_{\text{ep}} \in \{10.7538, 10.2269\},\ \ r_{\text{ep}} \in \{11.4731, 11.1808\}. \tag{25}$$

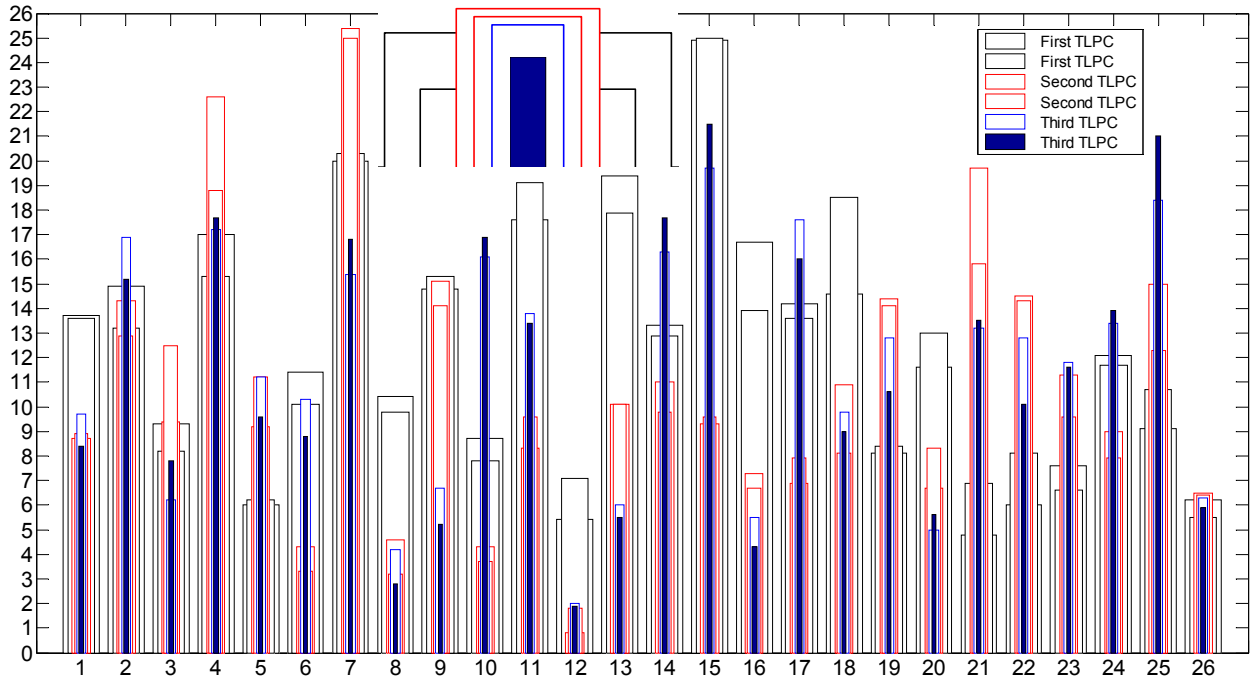


Fig. 4. Distributions of REP over 26 letters, derived from 1000 testings of TLPC after having trained it with the set (18) by the identity map (20) for MATLAB function "traingda" at the fixed Ξ_1 for $U=1$, $F=1$, $Q_{\text{pass}}=10$ (the hidden layer size of TLPC is 250 neurons; each TLPC was initialized by the same randomizers used before to Figure 3)

A real proof that distributions of REP became smoother is that

$$v_{\text{ep}} \in \{26.4018,\ 24.9177\},\quad v_{\text{ep}} \in \{32.5498,\ 25.8884\},\quad v_{\text{ep}} \in \{25.0492,\ 30.9528\}. \tag{26}$$

By the condition (3),

$$r_{\max} \in \{4.6111,\ 4.5455\},\quad r_{\max} \in \{3.9077,\ 3.9062\},\quad r_{\max} \in \{3.5818,\ 4.1346\}. \tag{27}$$

And comparison of (27) to (17) tells that, circumspectively, the non-uniformity has been reduced almost for one fourth. Notwithstanding this, letters "G", "K", "Y" became less recognizable on average.

Noteworthy, that the set (18), being passed through TLPC with identifiers $T=\{\tilde{\mathbf{T}}_1,\ \tilde{\mathbf{T}}_2\}$ for $Q_{\text{pass}}=10$ times, lingers the training process in comparing it to passing the set (13) through TLPC with identifiers (14) for the same parameters. The relative delay of the training process can be considered as ratio of traintime for the set (18) to traintime for the set (13). For the demonstrated example this ratio is about $3:1$, although number of columns in the set (18) is almost four times greater than number of columns in the set (13). Nonetheless the efficiency of REP equalization for classification of monochrome 60-by-80-imaged alphabet letters can be increased by optimizing the hidden layer size of TLPC, what may shorten the elongate traintime.

Conclusion

Equalization of nonuniform distribution of REP over classes requires to extend the training set for TLPC, including into this set the repeated class representatives. Number of the class representative replicas is proportional to product of the map of the normed REP in this class into this class representative ARF and the least as possible denominator for ARF in all classes. Namely, within the extended training set for TLPC the m-th class representative replicas number is $\lambda_{\text{rprs}}(m)d_N$ times greater than for the initial training set.

However, there are a lot of difficulties in accomplishing the equalization. Firstly, determination of the map Ω is a problem, whose solution with assuming this map to be the identity is sometimes poor. Secondly, before determining the map Ω the distribution of REP $\{r_{\text{ep}}(m)\}_{m=1}^{N}$ must be very stable for the ascertained general totality of objects. This is necessary because every next time TLPC is retrained with the training set (6), there are statistically unstable distributions of REP for TLPC, especially if it is tested insufficiently. In REP equalization for classification of monochrome 60-by-80-imaged alphabet letters, it needs hundreds of cycles of roughly 1000 testings for obtaining the stable averaged distribution of $\{r_{\text{ep}}(m)\}_{m=1}^{26}$ over 26 letters. As an exclusion, TLPC for a specific classification problem, trained with the training set (6), may be retrained further with the new training set (11), though such two-staged training process will make TLPC effectiveness reliable only locally. Another faster way to try equalizing distribution of REP for TLPC is to spot some classes with the highest REP and add replicas of their representatives into an updated training set. But the adding shouldn't be much as else the updated distribution of REP becomes yet more unsmooth than previously. In this way, the example with $a=1.25$ and (21) for classifying shifted monochrome 60-by-80-images came out half-successful.

The third point, which has to be mentioned necessarily, is the case when a part of ARF set $\left\{\lambda_{\text{rprs}}\left(m\right)\right\}_{m=1}^{N}$ consists of small numbers, might be rounded to zero. This may occur especially for great N. That causes to use greater d_N what lingers the training process. Henceforward, regarding the spoken three factors, if UTNU condition (3) is not true, but the condition (2) is true for a pretty low-valued $\hat{r}_{\text{ep}}$ then the process of equalization of nonuniform distribution of REP over classes better should not be started. And if there is inequality (4) along with $r_{\text{ep}}\left(m_1\right) > \hat{r}_{\text{ep}}$ or $r_{\text{ep}}\left(n_1\right) > \hat{r}_{\text{ep}}$ then REP over m_1-th or n_1-th class correspondingly must be corrected anyway.

Finally, there is a list of adjustable parameters for TLPC to be trained for REP equalization by the training set (11). They are a, U, F, and a new Q_{pass}. It is unlikely that $a \geqslant 2$ gives smoother REP distribution. So, $a \in \left(1; 2\right)$ or better try $a \in \left(1; 1.5\right)$ instead. Integers U and F mustn't be increased. The new Q_{pass} is recommended to be b times lesser than the old Q_{pass} for the training set (6), where b is taken approximately equal to $\frac{d_N}{N}$. The hidden layer size of TLPC should not be changed.

When non-uniformity of distribution of REP over classes is estimated, see also variance unbiased estimates

$$v_{\text{ep}} = \frac{1}{N-1}\sum_{m=1}^{N}\left(r_{\text{ep}}\left(m\right) - \frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N} r_{\text{ep}}\left(n\right)\right)^2 \tag{28}$$

along with $r_{\max}$ in UTNU condition (3). Both variance estimate and $r_{\max}$ must decrease. There is no obvious priority. A combination of the normalized estimate (28) and $r_{\max}$ is possible. This combination will answer the question of how good the REP equalization is. Once the variance (28) is decreased for a set of TLPC, it is expedient to use these TLPC in ensemble for boosting, which decreases the variance (28) further [5] and assists in REP equalization additionally.

References

1. Romanuke V. V. Model of optimizing the multistage process of neuronet training with wastage constraint function in an image recognition problem, Herald of Vinnytsya polytechnic institute, 2013, N. 1, pp. 104—109.

2. Romanuke V. V. Combining the backpropagation algorithm training functions for a bit map character recognition problem under noise with feed-forward neural network, Scientific bulletin of Chernivtsi National University of Yuriy Fedkovych. Series: Computer systems and components, 2012, Vol. 3, Iss. 1, pp. 75—80.

3. Arulampalam G., Bouzerdoum A. A generalized feedforward neural network architecture for classification and regression, Neural Networks, 2003, Vol. 16, Iss. 5—6, pp. 561—568.

4. Romanuke V. V. An attempt for 2-layer perceptron high performance in classifying shifted monochrome 60-by-80-images via training with pixel-distorted shifted images on the pattern of 26 alphabet letters, Radioelectronics, informatics, control, 2013, N. 2, pp. 112—118.

5. Romanuke V. V. Accuracy improvement in wear state discontinuous tracking model regarding statistical data inaccuracies and shifts with boosting mini-ensemble of two-layer perceptrons, Problems of tribology, 2014, N. 4 , pp. 55—58.

6. Romanuke V. V. Setting the hidden layer neuron number in feedforward neural network for an image recognition problem under Gaussian noise of distortion, Computer and Information Science, 2013, Vol. 6, N. 2, pp. 38—54.

7. Gmurman V. Y. Probability theory and mathematical statistics, 9-th ed., Moscow, Vyssh. sc., 2003, 479 p.

Література

1. Романюк В. В. Модель оптимізації багатоетапного процесу нейромережевого навчання з функцією обмеження втрат у задачі розпізнавання зображень / В. В. Романюк // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2013. — № 1. — С. 104 — 109.

2. Romanuke V. V. Combining the backpropagation algorithm training functions for a bit map character recognition problem under noise with feed-forward neural network / V. V. Romanuke // Науковий вісник Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича. Серія: Комп'ютерні системи та компоненти. — Чернівці : ЧНУ, 2012. — Т. 3, вип. 1. — С. 75 — 80.

3. Arulampalam G. A generalized feedforward neural network architecture for classification and regression / G. Arulampalam, A. Bouzerdoum // Neural Networks. — 2003. — Volume 16, Issues 5 — 6. — P. 561 — 568.

4. Romanuke V. V. An attempt for 2-layer perceptron high performance in classifying shifted monochrome 60-by-80-images via training with pixel-distorted shifted images on the pattern of 26 alphabet letters / V. V. Romanuke // Радіоелектроніка, інформатика, управління. — 2013. — № 2. — С. 112 — 118.

5. Romanuke V. V. Accuracy improvement in wear state discontinuous tracking model regarding statistical data inaccuracies and shifts with boosting mini-ensemble of two-layer perceptrons / V. V. Romanuke // Problems of tribology. — 2014. — N. 4. — P. 55 — 58.

6. Romanuke V. V. Setting the hidden layer neuron number in feedforward neural network for an image recognition problem under Gaussian noise of distortion / V. V. Romanuke // Computer and Information Science. — 2013. — Vol. 6, N. 2. — P. 38 — 54.

7. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика : [учеб. пособие для вузов] / Гмурман В. Е. — [9-е изд., стер.]. — М. : Высш. шк., 2003. — 479 с. : ил.

Рецензія/Peer review : 20.3.2015 р. Надрукована/Printed :15.4.2015 р.
Рецензент: стаття рецензована редакційною колегією

УДК 621.382

О.В. ОСАДЧУК , А.Ю. САВИЦЬКИЙ, О.С. ЗВЯГІН
Вінницький національний технічний університет

ОБРОБКА ВИМІРЮВАЛЬНОГО СИГНАЛУ СЕНСОРА ЗА ДОПОМОГОЮ ПАРАБОЛІЧНОЇ ІНТЕРПОЛЯЦІЇ

Розглянуто можливість чисельної обробки сигналу автогенераторного перетворювача вологості на основі чутливих МДН-структур. Виведено методику розрахунку енергії ВЧ сигналу за визначений період на основі уточненого метода трапецій. Проведено експериментальне порівняння отриманих результатів з відомими методами: прямокутників, трапеції, Сімпсона. Наведено логічну блок-схему реалізації запропонованого метода.

Ключові слова: визначений інтеграл, сенсор вологості, автогенераторний перетворювач, точність вимірювання.

O.V. OSADCHUK, A.YU. SAVYTSKYI, O.S. ZVIAHIN
Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Ukraine

PROCESSING OF MEASURING SIGNAL FROM SENSOR BY USING PARABOLIC INTERPOLATION

Improving the quality of industrial products due to the improvement of information and measurement systems based on the use of modern research in the field of information processing. One of the main sources of measurement errors physical quantities is the primary sensor signal processing. The possibility of numerical processing signal generator humidity sensor, based on humidity sensitive MOS-structures. Displaying methodology for calculating energy high-frequency signal for a certain period based on an improved method of trapezoids. An experimental comparison of the results with known methods, rectangles, trapezoids, Simpson. Shows the logical block diagram of the proposed method.

Keywords: definite integral, moisture sensor, generating converter, measurement accuracy.

Вступ

Одним з головних завдань, що ставиться перед наукою і технікою, є оптимізація, спрощення і здешевлення промислової продукції, підвищення продуктивності праці і якості готової продукції. Дана мета досягається розробкою і вдосконаленням існуючих технологій виготовлення, що базуються на використанні сучасних методів обробки інформації в системах контролю параметрів технологічного процесу, вихідних матеріалів і поточного контролю напівфабрикатів [1].

Обробка сигналів сенсорів інформаційно-вимірювальних систем

В даній роботі розглянуто можливість використання уточнення чисельного метода інтегрування (метода трапецій) з метою підвищення точності генераторних перетворювачів фізичних величин. Запропоноване уточнення полягає у заміні прямої, що з'єднує вузли апроксимації, на відрізок дуги з центром на осі координат. Це дозволяє підвищити точність вимірювання, при цьому зберігаючи степінь апроксимуючого полінома, а отже простоту програмного забезпечення і швидкодію лінійної кускової апроксимації.

Основним джерелом інформації систем контролю та регулювання є сенсори фізичних величин, що впливають на процеси обробки, виробничий мікроклімат та інші об'єкти, що впливають на процес виробництва та якість готової продукції. Іншою важливою складовою таких систем є процес обробки первинної інформації та методика прийняття рішень про регулювання параметрів системи.

Розглянемо структуру звичайного двоканального сенсора (рис. 1), наприклад сенсора вологості, описаного в [2].

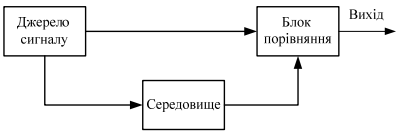


Рис. 1. Структурна схема двоканального сенсора

Проходження вимірювального сигналу вимірювальним середовищем супроводжується, в залежності від типу сенсора, поглинанням частини його енергії чи відбиттям від нього. Порівнюючи сигнал, що пройшов крізь середовище з опорним сигналом того самого джерела, можна визначити кількісну ознаку вимірюваного параметру [3]. Точність порівняння даних сигналів впливає на результат вимірювання. Для вимірювання різницевого сигналу двох каналів застосування компараторів та інших аналогових пристроїв обмежена внаслідок їх низької завадостійкості та необхідності використання АЦП для інтеграції у загальну інформаційно-вимірювальну систему. Тому блоки обробки первинних сигналів сенсорів таких систем часто виконуються на основі мікропроцесорів [2, 4].

Для розробки програмного забезпечення мікропроцесорних вимірювальних систем застосовуються чисельні методи, реалізація яких пов'язана з апроксимацією періодично знятих показників і подальшого обчислення визначеного інтеграла за одним з чисельних методів. Точність даних методів залежить від

частоти повторення вимірювань та степеня апроксимуючого полінома, що описує функцію між двома точками. Однак, серед таких методів нелінійної апроксимації широкого практичного застосування отримав метод Сімпсона.

В даній роботі пропонується метод на основі уточнення метода трапецій, що за рахунок використання криволінійної інтерполяції дозволяє усунути необхідність «склеювання» парабол за методом Сімпсона.

Нехай на відрізку $[ab]$ існує функція диференційована на даному відрізку $F(x)$ (рис. 2). Розділимо даний відрізок на n рівних частин прямими $y = x_0 = a$, $y = x_1$, … , $y = x_n = b$ з кроком $x_n - x_{n-1} = h$.

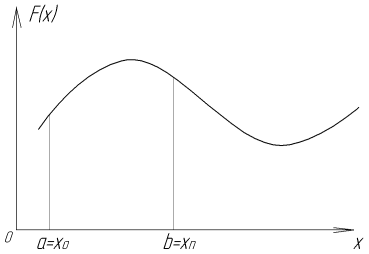


Рис. 2. Графік вхідної функції

Знайдемо площу, обмежену зверху графіком функції $F(x)$, знизу – віссю абсцис та графіками функцій $y = x_o$, $y = x_1$, що математично є визначеним інтегралом функції $F(x)$ на відрізку [x_0x_n] (рис. 3).

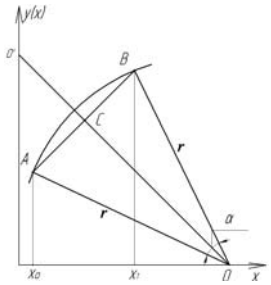


Рис. 3. Геометричне місце точок центрів кіл *O*

Розглянемо випадок, коли функція $F(x)$ випукла вгору.

Для перевірки даного твердження проведемо відрізок $[AB]$ (де A – перетин графіків $F(x)$ та $y(x) = x_0$ та B – перетин графіків функцій $F(x)$ та $y(x) = x_1$). Координати даних точок будуть:

$$A\left(x_0; F\left(x_0\right)\right), \quad B\left(x_1; F\left(x_1\right)\right).$$

Координати точки C, яка є серединою відрізку AB:

$$C\left(\frac{x_1 + x_0}{2}; \frac{F\left(x_1\right) + F\left(x_0\right)}{2}\right).$$

Проводимо через точку C пряму, перпендикулярну відрізку AB. Дана пряма є геометричним місцем точок центрів кіл, що проходять через точки A та B. Позначимо O точку перетину даної прямої та осі абсцис, та O' – точку перетину даної прямої з віссю ординат.

Площа, яку необхідно знайти, є сумою площі трапеції X_0ABX_1 та сегменту кола в центрі в точці O, яка проходить через A та B:

$$S_\Sigma = S_{trap} + S_{segm}. \tag{1}$$

Площа трапеції X_0ABX_1 визначається за виразом:

$$S_{trap} = h\frac{F\left(x_1\right) + F\left(x_0\right)}{2}.$$

Знайдемо площу сегменту S_{segm}. Для цього проведемо та позначимо через r відрізки AO та BO

$$\left|AO\right| = \left|OB\right| = r,$$

де r – радіус кола.

Виведемо рівняння прямої, яка проходить через точки A та B:

$$\frac{y(x) - F\left(x_0\right)}{F\left(x_1\right) - F\left(x_0\right)} = \frac{x - x_0}{x_1 - x_0}.$$

З останнього рівняння отримаємо рівняння прямої, яка проходить через точки O та O':

$$y_1(x) = x\frac{F(x_1)-F(x_0)}{h} - \frac{x_0\left(F(x_1)-F(x_0)\right)}{h} + F(x_0).$$

Пряма, перпендикулярна прямій $y_1(x)$, буде мати кутовий коефіцієнт:

$$K = -\frac{h}{F(x_1)-F(x_0)}.$$

Запишемо рівняння прямої з даним кутовим коефіцієнтом, яка проходить через точку C:

$$y_2(x) = K\cdot x - K\frac{x_1+x_0}{2} + \frac{F(x_1)+F(x_0)}{2}. \quad (2)$$

Підставимо в рівняння (2) значення коефіцієнту K:

$$y_2(x) = -x\frac{h}{F(x_1)-F(x_0)} + \frac{h}{F(x_1)-F(x_0)}\frac{x_1+x_0}{2} + \frac{F(x_1)+F(x_0)}{2};$$

$$y_2(x) = -x\frac{h}{F(x_1)-F(x_0)} + \frac{x_1^2-x_0^2}{2\left(F(x_1)-F(x_0)\right)} + \frac{F(x_1)+F(x_0)}{2}. \quad (3)$$

У випадку, коли функція $F(x)$ випукла вгору, тоді точка O (центр кола, яке проходить через точки A та B) буде мати координати:

$$O\left(\frac{\left(x_1^2-x_0^2\right)+\left(F^2(x_1)-F^2(x_0)\right)}{2h};0\right).$$

Дані координати центра кола знаходяться з рівняння (3) при умові, що точка O лежить на осі абсцис.

У випадку, коли функція $F(x)$ випукла вниз, тоді точка O, виходячи з того, що вона лежить на осі ординат, буде мати наступні координати:

$$O\left(0;\frac{x_1^2-x_0^2}{2\left(F(x_1)-F(x_0)\right)} + \frac{F(x_1)+F(x_0)}{2}\right).$$

Радіус кола, що описує точки A і B і має центр в точці O, описується виразом:

$$r = \sqrt{(Ox_0)^2 + F^2(x_0)}$$

$$|Ox_0| = \frac{\left(x_1^2-x_0^2\right)+\left(F^2(x_1)-F^2(x_0)\right)}{2\cdot h} - x_0 = \frac{\left(x_1^2-x_0^2\right)+\left(F^2(x_1)-F^2(x_0)\right)-2\cdot h\cdot x_0}{2\cdot h}, \quad (4)$$

Тоді вираз для радіусу кола описується рівнянням:

$$r = \sqrt{\left(\frac{\left(x_1^2-x_0^2\right)+\left(F^2(x_1)-F^2(x_0)\right)-2\cdot h\cdot x_0}{2\cdot h}\right)^2 + F^2(x_0)}. \quad (5)$$

Розглянемо трикутник ΔABO та позначимо через α кут $\angle AOB$.

Виходячи з теореми косинусів отримаємо:

$$\cos\alpha = \frac{OB^2+OA^2-AB^2}{2\cdot OB\cdot OA} = \frac{2r^2-AB^2}{2r^2} = 1-\frac{AB^2}{2r^2}, \quad (6)$$

$$AB = \sqrt{(x_1-x_0)^2 + \left(F(x_1)-F(x_0)\right)^2}. \quad (7)$$

Тоді, підставивши отримане значення у вираз (6) косинус кута:

$$\cos\alpha = 1-\frac{(x_1-x_0)^2+\left(F(x_1)-F(x_0)\right)^2}{2r^2},$$

$$\sin\alpha = \sqrt{1-\cos^2\alpha} = \sqrt{1-\left(1-\frac{(x_1-x_0)^2+\left(F(x_1)-F(x_0)\right)^2}{2r^2}\right)^2}, \quad (8)$$

$$\alpha = |\arcsin(\sin\alpha)|. \quad (9)$$

Площа сегменту кола з центром в точці O обмежена хордою AB описується рівнянням:

$$S_{segm} = \frac{r^2}{2}\left(\pi\frac{\alpha}{180} - \sin\alpha\right). \quad (10)$$

В загальному випадку рівняння (5, 8, 9, 10) перепишуться у вигляді:

$$r_n = \sqrt{\left[\frac{x_n^2 + x_{n-1}^2 + F^2(\mathrm{x}_{n-1}) - 2\,\mathrm{h}\cdot \mathrm{x}_{n-1}}{2h}\right]^2 + F^2(\mathrm{x}_{n-1})} \quad (11)$$

$$\sin\alpha_n = \sqrt{1-\left[1-\left(\frac{(\mathrm{x}_n - \mathrm{x}_{n-1})^2 + (\mathrm{F}(\mathrm{x}_n) - \mathrm{F}(\mathrm{x}_{n-1}))^2}{2r_n^2}\right)\right]^2}, \quad (12)$$

$$\alpha_n = |\arcsin(\sin\alpha_n)|; \quad (13)$$

$$S_{\mathrm{segm.n}} = \frac{r_n^2}{2}\left(\pi\frac{\alpha_n}{180^\circ} - \sin\alpha_n\right). \quad (14)$$

Площа, обмежена графіками функцій $x = x_0$, $F(x)$, $x = x_n$ замінюється інтегральною сумою:

$$\int_a^b F(\mathrm{x})\,\mathrm{dx} = \sum_{i=1}^{n} S_{trap.^3} + \sum_{^3=1}^{n} S_{\mathrm{segm.}^3},$$

$$\sum_{i=1}^{n} S_{\mathrm{trap.}^3} = h\left(\frac{F(\mathrm{x}_0) + \mathrm{F}(\mathrm{x}_n)}{2} + \mathrm{F}(\mathrm{x}_1) + \ldots + F(\mathrm{x}_{n-1})\right),$$

$$\sum_{i=1}^{n} S_{\mathrm{segm.}^3} = \sum_{i=1}^{n}\frac{r_i^2}{2}\left(\pi\frac{\alpha_i}{180^\circ} - \sin\alpha_i\right).$$

Оскільки ділянка кривої замінюється дугою з радіусом *r*, то похибка даного методу визначається добутком суми залишкових членів ряду Тейлора 2-го порядку на крок квантування *h*. Причому похибка інтерполяції визначається за відомим виразом:

$$\sum_{i=1}^{n} R_i(\mathrm{x}) \le \frac{M_{i+1}}{(\mathrm{i}+1)!}\,|\,\omega_{i+1}\,|,$$

де $M_{i+1} = \max\limits_{x\in[a,b]} |\,F^{n+1}(x)\,|$.

Проведемо спочатку порівняння результатів обчислення визначеного інтеграла за виведеним удосконаленим методом трапецій і методом Сімпсона. Для прикладу обрахуємо визначений інтеграл функції $y(x) = \dfrac{\ln x}{x^2+5}$ на відрізку [1;2] з кроком 0,1.

Проведемо розрахунок за методом Сімпсона. У загальному випадку рівняння, за методом Сімпсона описується рівнянням:

$$\int_a^b \frac{\ln x}{x^2+5}\,dx = \frac{h}{3}[\mathrm{y}(2) + \mathrm{y}(1) + 2\,\mathrm{y}(\mathrm{x}_{2i}) + 4\,\mathrm{y}(\mathrm{x}_{2i-1})].$$

Наведемо дану функцію у табличній формі.

Таблиця 1

Таблична форма функції y(x)

x	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2
y	0	0,01534	0,0283	0,03922	0,04834	0,05593	0,06217	0,06725	0,07123	0,07455	0,077

Використаємо наведений вище вираз для метода Сімпсона:

$$\int_1^2 \frac{\ln x}{x^2+5}\,dx = \frac{0,1}{3}(0 + 0,077 + 2\cdot(0,0233 + 0,04334 + 0,06217 + 0,07133) + 4(0,01534 + 0,03922 + 0,05593 + 0,06725 + 0,07455)) =$$

$$= \frac{0,1}{3}(0,077 + 0,4203 + 1,00916) = 0,05022.$$

Проведемо розрахунок заданого інтеграла за методом трапецій. Використовуючи попередню таблицю знайдемо визначений інтеграл методом трапецій:

$$\int_1^2 \frac{\ln x}{x^2+5}\,dx = h\left(\frac{y(1) + \mathrm{y}(2)}{2} + \mathrm{y}(1,1) + \ldots + y(1,9) = 0,05009.\right.$$

Для використання уточнення метода трапецій побудуємо таблицю додаткових значень величин, необхідних для розрахунків.

Таблиця 2

Таблиця квадратів абсциси і ординати функції y(x)

x_i	1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2
x_i^2	1	1.21	1.44	1.69	1.96	2.25	2.56	2.89	3.24	3.61	4
$y_i^2(x)$	0	0,00023	0,0008	0,00156	0,00234	0,00313	0,00387	0,00452	0,00507	0,00556	0,00593

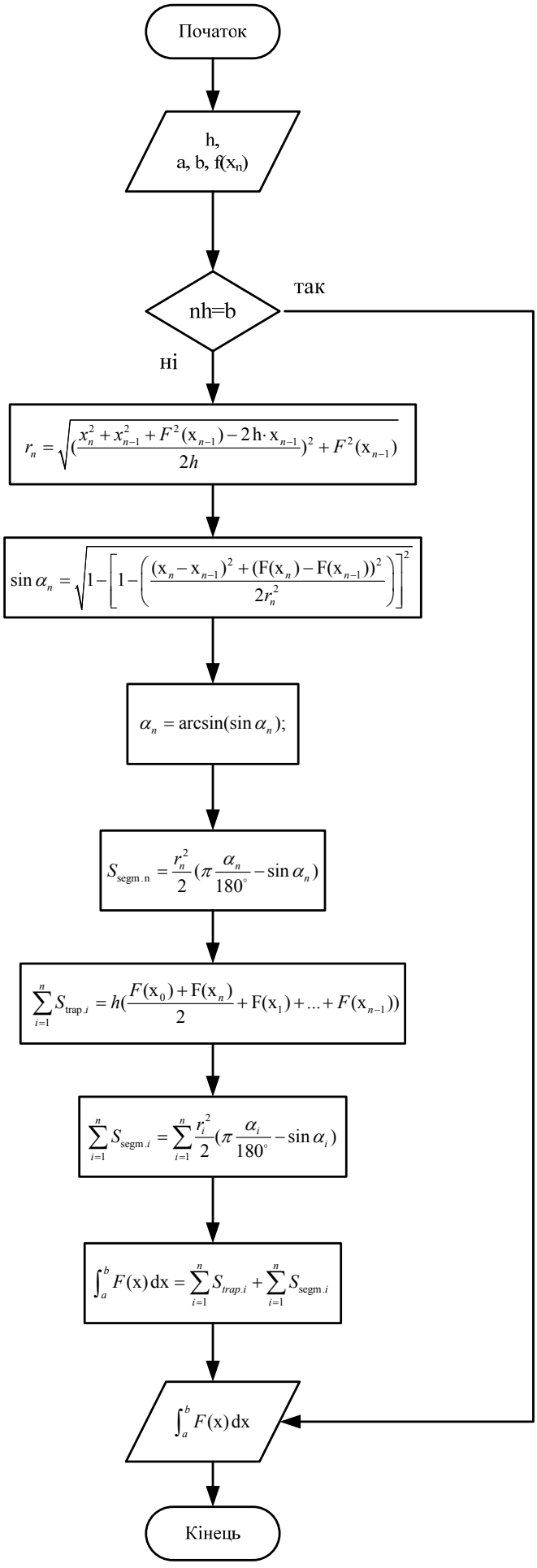


Рис. 4. Логічна блок-схема уточненого метода трапецій

Таблиця 3

Таблиця площ уточнюючих сегментів для метода трапецій

i	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
r_i	1,05115	1,1531	1,25402	1,35457	1,4547	1,55471	1,65442	1,75404	1,85382	1,95327
$\sin\alpha_i$	0,095	0,0866	0,07969	0,07377	0,0687	0,06429	0,06042	0,0569	0,05392	0,051179
α_i^o	5,4513	4,968	4,5707	4,23055	3,9393	3,686	3,4639	3,2619	3,0909	2,9337
$S_{segm.i}$	0,000052	0,000043	0,000034	0,000027	0,00002	0,000012	0,0000079	0,0000031	0,0000016	0,0000004

Додавши ряд значень $S_{\text{ñåãì}}$ останньої таблиці до результату, отриманого методом трапецій, отримаємо наступний результат:

$$\int_1^2 \frac{\ln x}{x^2+5}dx = 0,050299 .$$

З результатів розрахунку видно, що отримане значення до четвертого знаку після коми співпадає з результатом за методом Сімпсона. Логічна блок-схема даного метода зображена на рис. 4:

Отже, в ході дослідження було доведено можливість досягнення точності квадратичної апроксимації лінійними методами, що може бути використана для вимірювання фізичних параметрів анізотропних нерозривних об'єктів дослідження. Порівняння отриманих практичних результатів з відомим чисельним методом Сімпсона показує збіжність результатів з похибкою в межах 5%.

Висновки

Розглянуто можливість чисельної обробки сигналів генераторних перетворювачів фізичних величин. Запропоновано використання уточнення методу трапецій, що дозволяє розробку різноманітних перетворювачів фізичних величин. Запропоновано логічну блок-схему розробленого чисельного методу розрахунку визначеного інтеграла.

Література

1. Уайт В. Проектирование чистых помещений / Уайт В. ; пер. с. англ. – М. : Клинрум, 2004. – 360 с. – ISBN 5-902728-01-0.

2. 2. Осадчук О.В. Прилад для вимірювання вологості повітря чистих кімнат / О.В. Осадчук, А.Ю. Савицький, О.М. Жагловська // Вісник Хмельницького національного університету. – 2014. – № 4. – С. 60–64.

3. Давачі : довідник / З.Ю. Готра, Л.Я. Іляницький, Є.С. Поліщук та ін. ; під ред. З. Ю. Готри та О.І. Чайковського]. – Львів : Каменяр, 1995. – 312 с. – ISBN 5-7745-0233-3.

4. Яценков В.С. Микроконтроллеры Microchip с аппаратной поддержкой USB / Яценков Владимир Семенович. – М. : Горячая линия – Телеком, 2008. – 400 с. – ISBN 978-5-9912-0030-1.

5. Виглеб Г. Датчики / Г. Виглеб ; [пер. с нем. М. А. Хацериова]. – М. : Мир, 1989. – 196 с. – ISBN 5-03-000634-6.

References

1. B. White Cleanroom Design: Per. p. Eng. / B. White / - M .: Klinrum, 2004. - 360 St.- ISBN 5-902728-01-0.

2. A.V. Osadchyk. A device for measuring humidity cleanroom / Osadchyk O., Savitsky A., A. Zhahlovska // Journal of Khmelnitsky National University. - 2014. - №4. - P. 60 - 64.

3. sensors: directory / S. Yu. Gotra, L.Y. Ilyanytskyy, E.S. Polishchuk, etc.; ed. Z. Yu. Gotra and A.I. Tchaikovsky.]. - Lviv: Mason, 1995. - 312 p. - ISBN 5-7745-0233-3.

4. Yatsenko Vladimir Semenovich. Microchip microcontrollers with hardware support for USB / Yatsenko VS - M: Hotline - Telecom, 2008. - 400 p. - ISBN 978-5-9912-0030-1.

5. G. Vigleb Sensors / G. Vigleb; [trans. with it. MA Hatseriova]. - Moscow: Mir, 1989. - 196 p. - ISBN 5-03-000634-6.

Рецензія/Peer review : 10.3.2015 р. Надрукована/Printed :15.4.2015 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Кичак В.М.

УДК 621.317:006.354

В.С. ОСАДЧУК, Ю.С. КРАВЧЕНКО, В.І. КОЛОМІЄЦЬ
Вінницький національний технічний університет

ВПЛИВ РАДІАЦІЇ НА РОБОТУ БІПОЛЯРНИХ ТРАНЗИСТОРІВ. Ч.2. ВПЛИВ РАДІАЦІЙНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ НА РЕКОМБІНАЦІЙНІ ВТРАТИ ПОВНИЙ РОЗРАХУНОК

Аналітичним шляхом досліджено вплив радіаційного випромінювання на роботу напівпровідникових приладів, зокрема, на величину радіаційних втрат в базі біполярного транзистора. Окремо проаналізовано вплив випромінювання на радіаційні втрати в емітері, в шарі об'ємного заряду емітерного переходу та на поверхні транзистора. Показано, що рекомбінаційні втрати в тонкому емітері практично не залежать від радіаційного випромінювання, а рекомбінаційні втрати на поверхні транзистора залежать від величини радіаційної зміни швидкості поверхневої рекомбінації, а отже і від дози поглинутого радіаційного випромінювання.

Ключові слова: радіація, радіаційні втрати, рекомбінація, біполярний транзистор, емітер, шар об'ємного заряду емітерного переходу, поверхня транзистора.

V.S. OSADCHUK, YU.S. KRAVCHENKO, V.I. KOLOMIETS
Vinnytsia National Technical University

EFFECT OF RADIATION ON BIPOLAR TRANSISTOR WORK. PART 2. RADIATIVE RECOMBINATION RADIATION LOSS COMPLETE CALCULATION

Abstract – By analytical way influence of radiation on operation of semiconductor items, in particular, on value of radiation losses in basis of the bipolar transistor is probed. Separately influence of radiation on radiation losses in the active and passive basis of the transistor is analyzed. It is shown that the main source of radiation losses in the active basis is the increase in lifetime of unbalanced charge carriers. At the same time, radiation losses in passive basis of the transistor, are generally also connected to change of lifetime of charge carriers, but this influence isn't so considerable, as in the active.

Keywords: radiation, radiation losses, recombination, bipolar transistor emitter space charge layer emitter junction of transistor surface.

Вступ

Дія радіації на роботу напівпровідникових приладів [1–6], насамперед, пов'язана з появою в структурі напівпровідника зворотних та незворотних радіаційних ефектів, які призводять до змін їх електрофізичних параметрів, ускладнюючи умови ефективного використання різноманітних електронних засобів, що знаходяться в зоні такого впливу [8–16]. В той же час, деякі з цих ефектів, що мають зворотний характер і пов'язані з короткочасним зростанням концентрації вільних носіїв заряду, а, значить, і короткочасною зміною параметрів відповідного електронного пристрою, можуть бути використані для створення сенсорів радіації [7].

Мета даної роботи – дослідити вплив радіаційного випромінювання на роботу напівпровідникових приладів, зокрема, на величину радіаційних втрат в базі біполярного транзистора.

Аналіз проблеми

Вплив радіаційного випромінювання на рекомбінаційні втрати в емітері

Оскільки умови рекомбінації для інжектованих електронів залежать від співвідношення глибини залягання емітерного переходу W_E і дифузійної довжини електронів в емітері L_E [17–18] тому розглянемо два граничні випадки $W_E >> L_E$ і $W_E << L_E$.

Рекомбінаційні втрати в емітері при товстому емітері.

Нехай емітер легований рівномірно з середньою концентрацією домішки $\overline{N}_E$. Розподіл інжектованих носіїв заряду в цьому випадку має вигляд:

$$n_E(x) = n_E(0)\exp\left(-\frac{x}{\overline{L_E}}\right), \tag{1}$$

де $n_E(0) = n_{p0}(x)\exp\left(\frac{qV_{EB}}{kT}\right)$ – концентрація неврівноважених електронів на межі шару просторового заряду емітерного переходу зі сторони емітера, $\overline{L}_E$ – усереднене по координаті x значення дифузійної довжини в емітері, $n_{p0}(x)$ – рівноважна концентрація електронів на межі шару просторового заряду емітерного переходу зі сторони емітера. Представимо інжекційний струм у вигляді дифузійного струму на відповідній межі шару просторового заряду *p-n* переходу:

$$J_I = qS_E\,\overline{D}_E\left.\frac{dn}{dx}\right|x=0 = \frac{qS_E\,\overline{D_E}\,n_E(0)}{\overline{L_E}} = \frac{qS_E\,\overline{D_E}\,n_E(0)}{\overline{L_E}}\exp\left(\frac{qV_{EB}}{kT}\right) =$$

$$= \frac{qS_E\,\overline{D_E}\,n_i^2}{\overline{L_E}\,N_E(0)}\exp = \frac{qS_E\,\overline{D_E}\,n_i^2}{\overline{L_E}\,N_E(0)}\exp\left(\frac{qV_{EБ}}{kT}\right). \quad (2)$$

де $N_E(0)$ – концентрація типозадаючої домішки в емітері поблизу об'ємного заряду емітерного переходу.

Тоді враховуючи (1) і (2) запишемо вираз рекомбінаційних втрат в емітері:

$$R_E = \frac{\overline{D}_E}{D_A}\frac{\overline{N_A}}{N_E(0)}\frac{S_E}{S_{EA}}\frac{W_A}{\overline{L_E}}. \quad (3)$$

Аналогічно як і в пасивній базі $\overline{L_E} = \sqrt{D_E + \overline{\tau}_E}$, тому запишемо:

$$R_E(\Phi) = \frac{\overline{D}_E}{D_A}\frac{\overline{N_A}}{N_E(0)}\frac{S_E}{S_{EA}}\frac{W_A}{\sqrt{\overline{D}_E}}\sqrt{\frac{1}{\overline{\tau}_{E0}} + \overline{k_{\tau E}}\,\Phi}. \quad (4)$$

Рекомбінаційні втрати в емітері при тонкому емітері.

В цьому випадку розподіл інжектованих з бази електронів можна вважати лінійним. Надлишкова концентрація електронів n_E на кінцях цієї лінійної залежності визначаються граничними умовами на омічному контакті з одного боку $(n_E(W_E) = 0)$ і на межі об'ємного заряду – з іншого.

$$n_E(0) = n_{p0}(0)\exp\left(\frac{qV_{EБ}}{kT}\right) - n_{p0}(0) \cong n_{p0}(0)\exp\left(\frac{qV_{EБ}}{kT}\right), \quad (5)$$

В цьому випадку для струму маємо:

$$J_I = qS_E\,\overline{D}_E\left.\frac{dn}{dx}\right|x = 0 = \frac{qS_E\,\overline{D_E}\,n_E(0)}{W_E} = \frac{qS_E\,\overline{D_E}\,n_E(0)}{W_E}\exp\left(\frac{qV_{EБ}}{kT}\right) = \frac{qS_E\,\overline{D_E}\,n_i^2}{W_E N_E(0)}\exp\left(\frac{qV_{EБ}}{kT}\right), \quad (6)$$

Тоді вираз для рекомбінаційних втрат (враховуючи $J_K = J_d\exp\exp\left(\frac{qV_{EБ}}{kT}\right)$) матиме вигляд:

$$R_E = \frac{qS_E\,\overline{D_E}\,n_E(0)W_A N_A}{qS_{EA}\,\overline{D_A}\,n_E(0)W_E N_E(0)n_i^2} = \frac{\overline{D}_E}{D_A}\frac{\overline{N_A}}{N_E(0)}\frac{W_A}{W_E}. \quad (7)$$

В цьому випадку рекомбінаційні втрати в емітері практично не залежать від випромінювання.

Вплив радіаційного випромінювання на рекомбінаційні втрати в шарі об'ємного заряду емітерного переходу

Частина дірок при проходженні об'ємного заряду витрачається на рекомбінацію [17–18], для підтримки цього процесу витрачається частина базового струму $J_{EП}$. Використаємо його розрахунок виконаний Са-Нойсом-Шоклі для випадку одного рівня пастки:

$$J_{EП} = \frac{2qn_iW_{EП}S_E}{\sqrt{\tau_{p0}\tau_{n0}}}\frac{sh\left(\frac{qV_{EБ}}{2kT}\right)}{\frac{q}{kT}(V_0 - V_{EБ})}f(b), \quad (8)$$

де $f(b) = \int_{z_1}^{z_2}\frac{dz}{z^2 + 2bz + 1}$

$$b = \exp\left(\frac{qV_{EБ}}{kT}\right)ch\left[\frac{E_t - E_i}{kT} + \frac{1}{2}\ln\left(\frac{\tau_{p0}}{\tau_{n0}}\right)\right],$$

$$z_{1,2} = \sqrt{\frac{\tau_{p0}}{\tau_{n0}}}\exp\left(\frac{q}{kT}(V_0 - V_{EБ})\right).$$

де E_t – енергія рівня пастки, E_i – енергія середини забороненої зони, τ_{p0} і τ_{n0} – параметри моделі рекомбінації Холла-Шоклі-Ріда, V_0 і $W_{EП}$ – контактна різниця потенціалів і товщина шару об'ємного заряду емітерного переходу.

В реальності при опроміненні створюється велика кількість рекомбінаційних центрів різного типу. Тому для розрахунків використовують емпіричну залежність струму рекомбінації в об'ємному заряді:

$$J_{EП} = J_{EП0}\exp\left(\frac{qV_{EБ}}{n_V kT}\right), \quad (9)$$

де $J_{EП0}$ і n_V – емпіричні константи (значення n_V від 1 до 2 (ближче до 2) і залежить від характеру

рекомбінаційних центрів). Щоб визначити від чого залежить $J_{ЕП0}$ прирівняємо (8) і (9). Отримаємо:

$$J_{ЕП0} = \frac{2qn_i W_{ЕП} S_E}{\sqrt{\tau_{p0}\tau_{n0}}} \frac{sh\left(\frac{qV_{ЕБ}}{2kT}\right)}{\frac{q}{kT}(V_0 - V_{ЕБ})\exp\left(\frac{qV_{ЕБ}}{n_V kT}\right)} f(b). \quad (10)$$

Якщо аргумент $sh >> 1$, що завжди реалізується в активному режимі роботи, то:

$$sh\left(\frac{qV_{ЕБ}}{2kT}\right) = \frac{\exp\left(\frac{qV_{ЕБ}}{2kT}\right)}{2}.$$

З врахуванням цього (10) прийме вигляд:

$$J_{ЕП0} = \frac{qn_i W_{ЕП} S_E}{\sqrt{\tau_{p0}\tau_{n0}}} \frac{\exp\left[\frac{qV_{ЕБ}}{kT}\left(\frac{1}{2} - \frac{1}{n_V}\right)\right]}{\frac{q}{kT}(V_0 - V_{ЕБ})} f(b). \quad (11)$$

Приймаючи до уваги, що товщина шару об'ємного заряду переходу залежить від прикладеної напруги по закону:

$$(V_{ЕП}) = W_0\left(1 - \frac{V_{ЕП}}{V_0}\right)^{1/m}, \quad (12)$$

вираз (11) перепишемо в вигляді:

$$J_{ЕП0} = \frac{qn_i W_0 S_E}{\sqrt{\tau_{p0}\tau_{n0}}\frac{V_0 q}{kT}} \frac{\exp\left[\frac{qV_{ЕБ}}{kT}\left(\frac{1}{2} - \frac{1}{n_V}\right)\right]}{\left(1 - \frac{V}{V_0}\right)^{\frac{1}{m}-1}} f(b). \quad (13)$$

де m – коефіцієнт, що залежить від профілю розподілу домішки в переході і може змінюватись від двох (для різкого переходу) до трьох (для плавного переходу).

Підставимо (13) в (9) і отримаємо:

$$J_{ЕП} = \frac{qn_i W_0 S_E}{\sqrt{\tau_{p0}\tau_{n0}}\frac{V_0 q}{kT}} \frac{\exp\left[\frac{qV_{ЕБ}}{kT}\left(\frac{1}{2} - \frac{1}{n_V}\right)\right]}{\left(1 - \frac{V}{V_0}\right)^{\frac{1}{m}-1}} f(b)\exp\left(\frac{qV_{ЕБ}}{n_V kT}\right), \quad (14)$$

Таким чином, рекомбінаційні втрати в шарі об’ємного заряду емітерного переходу з врахуванням $J_K = J_d \exp\left(\frac{qV_{ЕБ}}{kT}\right)$:

$$R_{ЕП} = \frac{W_F \overline{N}_A W_0 S_E}{\sqrt{\tau_{p0}\tau_{n0}} n_i S_{EA} \overline{D}_A \frac{V_0 q}{kT}} \frac{\exp\left[\frac{qV_{ЕБ}}{kT}\left(\frac{1}{2} - \frac{1}{n_V}\right)\right]}{\left(1 - \frac{V}{V_0}\right)^{\frac{1}{m}-1}} f(b)\exp\left(\frac{qV}{kT}\left[\frac{1}{n_V} - 1\right]\right). \quad (15)$$

Вплив радіаційного випромінювання на рекомбінаційні втрати на поверхні

Оскільки на поверхні напівпровідникового кристалу існує значно більша густина рекомбінаційних центрів ніж в об’ємі, то вся активна поверхня кристалу, яка не зайнята омічними контактами, захищена плівкою діелектрика (діоксину кремнію SiO_2) [17, 19].

Внаслідок цього під дією іонізуючого випромінювання на межі розподілу напівпровідника і діелектрика виникають наступні ефекти:

- Руйнування напружених зв’язків, що призводить до появи додаткових поверхневих станів, тобто зростає поверхнева рекомбінація.
- Відбувається вивільнення з компенсованих зв’язків гідроксильних груп, тобто відновлюються обірвані зв’язки, які також стають центрами поверхневої рекомбінації.

Основним механізмом, що зумовлює руйнування напружених або компенсованих з’єднань є захоплення ними дірок, які генеруються випромінюванням, головним чином в SiO_2. Таким чином найбільш ефективно процес створення радіаційних центрів поверхневої рекомбінації має відбуватись, коли електричне поле в оксиді в процесі опромінення має таку полярність, що дірки дрейфують до межі розподілу діелектрик-напівпровідник.

Процесами рекомбінації дірок в діелектрику можна знехтувати за умови наявності поля в окисі і швидкого видалення електронів до електрода з додатнім потенціалом, і вважати, що концентрація дірок, що

беруть участь в руйнуванні напружених з'єднань, пропорційна потужності дози випромінювання P , тоді можна записати:

$$\frac{dN_{st}}{dt} = k_{здеф.} P\left(N_{здеф.0} - k_{st} N_{st}\right), \tag{16}$$

де N_{st} – густина створених випромінюванням центрів поверхневої рекомбінації, $N_{здеф.0}$ – концентрація дефектних зв'язків до опромінення, $k_{здеф.}$ – коефіцієнт, що характеризує швидкість створення рекомбінаційних центрів, k_{st} – коефіцієнт, який вказує, яка кількість дефектних зв'язків йде на створення одного центра поверхневої рекомбінації.

Рішенням даного рівняння при початковій умові ($t = 0, N_{st} = 0$) є:

$$N_{st} = \frac{N_{здеф.0}}{k_{st}}\left[1 - \exp(-k_{здеф.} k_{st} D\right], \tag{17}$$

де $D = \int P(t)\,dt$ – поглинута доза радіації

Можливістю появи додатного заряду в об'ємі діелектрика в процесі опромінення можна знехтувати внаслідок того, що він з'являється лише при наявності достатньо великих полів в окисі, що не є типовим для підсилювального режиму роботи пристрою, в якому зміщення емітерного переходу не перевищує контактної різниці потенціалів, тому за основу розрахунку рекомбінаційних втрат при опроміненні можна взяти вираз (17).

Вважаючи, що основну частину в R_S складають втрати на поверхні емітерного переходу, можна використовувати для струму поверхневої рекомбінації емпіричний вираз, аналогічний виразу для струму об'ємної рекомбінації:

$$J_S = J_{S0} \exp\left(\frac{qV_{ЕБ}}{n_S kT}\right), \tag{18}$$

де n_S – деякий коефіцієнт в межах від 1 до 2, а

$$J_S(0) = qS_E s A_s, \tag{19}$$

де A_S – коефіцієнт пропорційності

Тоді

$$\Delta J_S = qS_E \Delta s A_s \exp\left(\frac{qV_{ЕБ}}{n_S kT}\right), \tag{20}$$

З врахуванням цього отримаємо вираз для виміру рекомбінаційних втрат на поверхні від дози опромінення:

$$R_S(D) = \frac{J_S}{J_K} = \frac{qS_E \Delta s(D) A_s \exp\left(\frac{qV_{ЕБ}}{n_S kT}\right)}{\frac{qS_{EA}\overline{D}_A n_i^2}{W_A \overline{N}_A}\exp\left(\frac{qV_{ЕБ}}{kT}\right)} = \frac{\overline{N}_A W_A S_E \Delta s(D) A_s}{S_{EA}\overline{D}_A n_i^2}\exp\left(\frac{qV_{ЕБ}}{kT}\left[\frac{1}{n_S} - 1\right]\right). \tag{21}$$

Оскільки $n_S \sim N_{st}$ то використовуючи (17) отримаємо:

$$R_S(D) = \frac{\overline{N}_A W_A S_E \Delta s_{нас.} A_s}{S_{EA}\overline{D}_A n_i^2}\exp\left(\frac{qV_{ЕБ}}{kT}\left[\frac{1}{n_S} - 1\right]\right)\left[1 - \exp(-k_s D)\right], \tag{22}$$

де $k_s = -k_{здеф.} k_{st} D$; $\Delta s_{нас.}$ – максимальна величина радіаційної зміни швидкості поверхневої рекомбінації, що відповідає руйнуванню усіх дефектних зв'язків.

Таким чином було розглянуто всі складові рекомбінаційних втрат, які визначають зміни коефіцієнта передачі струму при опроміненні.

Підставимо $R_{A\Phi} = t_A \dfrac{\int_0^{W_A} \frac{p(x)}{\tau_\Phi(x)}dx}{\int_0^{W_A} p(x)\,dx} = t_A \dfrac{\int_0^{W_A} \frac{p(x)}{\tau_0(x)}dx}{\int_0^{W_A} p(x)\,dx} + t_A \Phi \dfrac{\int_0^{W_A} k_\tau(x)\,p(x)dx}{\int_0^{W_A} p(x)\,dx}$, $R_П(\Phi) = R_{П0}\sqrt{1 + k_{\tau П}\,\overline{\tau}_{П0}\,\Phi}$,

(4), (15), (22) в $\dfrac{1}{h_{21E}} = R_A + R_Б + R_{ЕП} + R_I + R_S$ і отримаємо:

$$\frac{1}{h_{21E}} = \left[t_A \frac{\int_0^{W_A} \frac{p(x)}{\tau_\Phi(x)}dx}{\int_0^{W_A} p(x)\,dx} = t_A \frac{\int_0^{W_A} \frac{p(x)}{\tau_0(x)}dx}{\int_0^{W_A} p(x)\,dx} + t_A \Phi \frac{\int_0^{W_A} k_\tau(x)\,p(x)dx}{\int_0^{W_A} p(x)\,dx}\right] + \left[R_{П0}\sqrt{1 + k_{\tau П}\,\overline{\tau}_{П0}\,\Phi}\right] +$$

$$+\left[\frac{\overline{D}_E}{D_A}\frac{\overline{N}_A}{N_E(0)}\frac{S_E}{S_{EA}}\frac{W_A}{\sqrt{\overline{D}_E}}\sqrt{\frac{1}{\overline{\tau}_{E0}}+\overline{k_{\tau E}}\,\Phi}\right]+\left[\frac{\overline{N}_A W_A S_E \Delta s_{нас.} A_s}{S_{EA}\,\overline{D}_A\, n_i^2}\exp\left(\frac{qV_{EБ}}{kT}\left[\frac{1}{n_S}-1\right]\right)\left[1-\exp(-k_s D)\right]\right]+$$

$$+\left[\frac{W_F\,\overline{N}_A W_0 S_E}{\sqrt{\tau_{p0}\tau_{n0}}n_i S_{EA}\,\overline{D}_A\,\frac{V_0 q}{kT}}\frac{\exp\left[\frac{qV_{EБ}}{kT}\left(\frac{1}{2}-\frac{1}{n_V}\right)\right]}{\left(1-\frac{V}{V_0}\right)^{\frac{1}{m}-1}}f(b)\exp\left(\frac{qV}{kT}\left[\frac{1}{n_V}-1\right]\right)\right]. \quad (23)$$

Нар. 1 наведені кількісні залежності всіх складових рекомбінаційних втрат і їх сума.

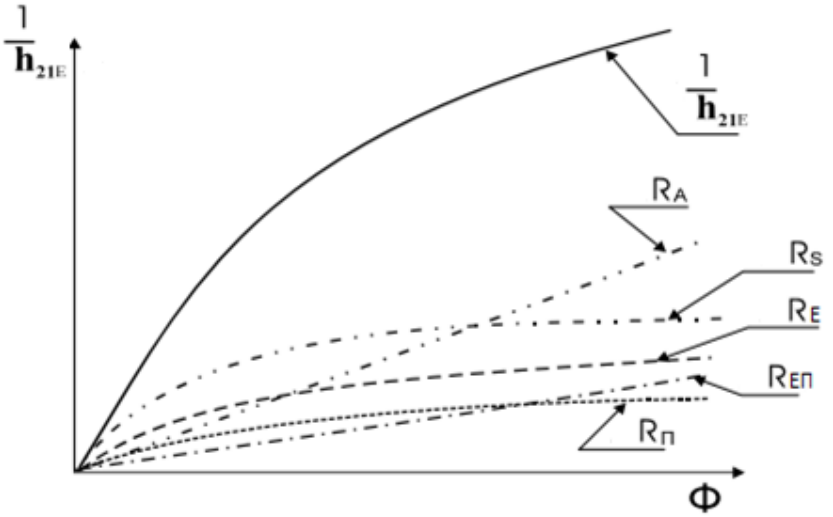


Рис. 1. залежність зміни зворотного коефіцієнта передачі струму транзистора і його складових від радіаційного випромінювання

На основі виразу (23), а також рис. 1 можна зробити висновок, що зі збільшенням радіаційного випромінювання будуть зростати рекомбінаційні втрати в транзисторі і як наслідок цього зменшуватиметься коефіцієнт передачі струму.

Висновок

Аналітичним шляхом досліджено вплив радіаційного випромінювання на роботу напівпровідникових приладів, зокрема, на величину радіаційних втрат в базі біполярного транзистора. Окремо проаналізовано вплив випромінювання на радіаційні втрати в емітері, в шарі об'ємного заряду емітерного переходу та на поверхні транзистора. Показано, що рекомбінаційні втрати в тонкому емітері практично не залежать від радіаційного випромінювання, а рекомбінаційні втрати на поверхні транзистора залежать від величини радіаційної зміни швидкості поверхневої рекомбінації, а отже і від дози поглинутого радіаційного випромінювання.

Література

1. Брудный В. Н. Влияние олучения электронами на электрические свойства арсенида галлия / В. Н. Брудный, С. В. Малянов, М. А. Кривов // Изв. Вузов. Физика. – 1966. – С. 132–134.

2. Брудный В. Н. Электрические и рекомбинацыонные свойства $Cd_xHg_{1-x}Te$, облученого электронами / В. Н. Брудный, А. В. Войцеховский, М. А. Кривов и др. – ФТП, 1977. – С. 1540–1544.

3. Кононов Б. А. Радиационная физика неметаллических кристаллов : т. 3, ч. 2 / Б. А. Кононов, В. К. Струц. – К. : Наукова думка, 1971. – С. 154.

4. Кумахов М. А. Множественные процессы в теории взаимодействия ядерных частиц с кристаллами : дисс. ... канд. физ.-мат. наук / М. А. Кумахов / НИИЯФ, МГУ. – 1969.

5. Винецкий В. Л. Радиационная физика полупроводников / В. Л. Винецкий, Г. А Холодарь. – К. : Наукова думка, 1976. – С. 336.

6. Хіврич В.І. Ефекти компенсації в напівпровідниках та сенсори радіації на цій основі : автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня доктора фізико-математичних наук / В.І. Хіврич – Одеса : ОНУМ, 2006. – 25 с.

7. Будяшкина С. В. Радиационные эквиваленты при действии ядерных излучений на материалы электроники. В кн.: Физическая химия в микроэлектронике / С. В. Будяшкина, В. И. Звягин, В. М. Ленченко. – Красноярск, 1976. – С. 3–21.

8. Губская В.И. Особенности радиационного дефектообразования в кремнии при альфа-облучении / В.И. Губская, П.В. Кучинский, В.М. Ломако, А.П. Петрунин // Вопросы атомной науки и техники. Сер.: Физика радиац. повреждений и радиац. Материаловедение. – М., 1981. – С. 8.

9. Аброян И.А. Распределение дефектов по глубине при облучении кремния легкими ионами. В кн.: Ионная имплантация. Второй Советско-Американский семинар / И.А. Аброян, А.И Титов. – Новосибирск, 1979. –С. 335–350.

10. Ходжаев Т. А. Исследование кинетики накопления радиационных дефектов / Т. А. Ходжаев, О. В. Гафуров, К. Д. Джанобилов // Материалы научной конференции [«Физика конденсированных средств»], посвященной памяти д.т.н. проф. Гафурова О. В. – Душанбе, 1999. – С. 53–55.

11. Ходжаев Т. А. Исследование кинетики введения дефектов Si n- и p- типа / Т. А. Ходжаев, О. В. Гафуров, Ю. М. Прохоцкий // Междунар. науч. техн. конф. «Физико-химическая исследования полупроводниковых диэлектрических и композиционных материалов». – Куляб, 2001. – С. 3.

12. Ходжаев Т. А. Образование радиационных дефектов в облученном Р-кремнии / Т. А. Ходжаев, О. В. Гафуров, Ю. М. Прохоцкий // Междунар. науч. техн. конф. «Физико-химическая исследования полупроводниковых диэлектрических и композиционных материалов». – Куляб, 2001. – Куляб, – 2001. – С. 5.

13. Ходжаев Т. А. Природа образования радиационных дефектов в облученном р-кремнии / Т. А. Ходжаев, О. В. Гафуров, Ю. М. Прохоцкий // Материалы междунар. конф. «Современные проблемы физико-механических свойств конденсированных сред». – Худжанд, 2002. – С. 112–114.

14. Першенков В. С. Поверхностные радиационные эффекты в элементах интегральных схем / В. С. Першенков, В. Д. Попов, А. В. Шальнов. – М. : Энергоатомиздат, 1986. – С. 256.

15. Лубченко А. Ф. Физические основы радиационной технологии твердотельных электронных приборов / А. Ф. Лубченко, В. А. Гирий, В. М. Кулаков. и др. – К. : Наукова Думка, 1976. – С. 200.

16. Брудный В.Н. Радиационные дефекты в арсениде галия (обзор) / В.Н. Брудный, М.А. Кривов // Изв. Вузов. Физика. – 1980. – С. 64–75.

17. Кравченко Ю.С. Методичні вказівки до самостійної роботи з дисципліни «Твердотільна електроніка» щодо розрахунків транзисторів і транзисторних структур для студентів напрямів “Мікро- та наноелектроніка” і “Електронні пристрої та системи” : навчальний посібник / Ю.С. Кравченко, С.Ю. Кравченко. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – С. 60.

18. Вологдін Е.Н. Радиационная стойкость биполярных транзисторов : навчальний посібник / Е.Н. Вологдін, А. П. Лисенко. – М. : НОЦ, 1999. – С. 101.

19. . Холодарь Г. А. Непрямая рекомбинация вакансий и междоузельных атомов в облученном кремнии / Г. А. Холодарь, Ю. В. Данковский, В. В. Конопляных. – ФТП, 1976. – С. 1712–1718.

References

1. Brudnyy V. N. Vplyv oluchenye elektronamy na elektrychni vlastyvosti arsenidu haliyu / V. N Brudnyy, S. V. Malyanov , M. A. Kryvov – Yzv. Vuziv. Fizyka. – 1966 – C. 132–134.

2. Brudnyy V. N., Elektrychni ta rekombinatsyonnye vlastyvosti CdxHgl – XTE , oprominennya elektronamy / V. N Brudnyy, A. V. Voytsekhovskyy , M. A. Kryvov ta in . – FTP . 1977. T. 11. Vyp. 8. – C. 1540–1544.

3. Kononov B. A. Radiatsiyna fizyka nemetalichnykh krystaliv. t.z , ch.2 / B. A. Kononov, V. K. Struts , – Kyyiv, Naukova dumka, – 1971. – C. 154.

4. Kumiv M. A. Mnozhynni protsesy v teoriyi vzayemodiyi yadernykh chastok z krystalamy. / M. A. Kumiv – Dyss. kand. fiz.mat . nauk, NDIYAF , MHU, – 1969

5. Vynetskaya V. L. Radiatsiyna fizyka napivprovidnykiv / V. L. Vynetskaya , H. A Kholodar – Naukova dumka . – 1976, – C. 336.

6. Khivrych V.I. Efekty kompensatsiyi u napivprovidnikakh ta sensoriv radiatsiyi na Tsiy Osnovi : avtoreferat dysertatsiyi na zdobuttya naukovoho stupeniv doktora fizyko–matematychnykh nauk / V.I. Khivrych – Odesa : Onuma , – 2006. – C. 25.

7. Budyashkina S. V. Radiatsiyni ekvivalenty pry diyi yadernykh vyprominyuvan na materialy elektroniky. V kn . : Fizychna khimiya v mikroelektronitsi / S. V. Budyashkina , V. I. Zvyahin , V. M. Lenchenko , – Krasnoyarsk , – 1976, – C. 3–21.

8. Hubska V. I. Osoblyvosti radiatsiynoho defektoutvorennya v kremniyi pry alfa– oprominenni . Pytannya atomnoyi nauky i tekhniky, ser. : Fizyka radyats . poshkodzhen i radyats . Materialoznavstvo / V. I. Hubska , P. V. Kuchynskyy, V. M. Lomako , A.P. Petrunyn . – 1981, – C. 8.

9. Abroyan I.A. Rozpodil defektiv po hlybyni pry oprominenni kremniyu lehkymy ionamy . V kn . : Ionna implantatsiya . Druhyy Radyansko – Amerykanskyy seminar . / I.A. Abroyan , A.I Tytov – Novosybirsk, – 1979, – C.335–350.

10. Khodzhaev T. A. Doslidzhennya kinetyky nakopychennya radiatsiynykh defektiv. Materialy naukovoyi konferentsiyi / T. A. Khodzhaev , O. V. Hafurov , K. D. Dzhanobilov – «Fizyka kondensovanykh zasobiv» svyashchennoyi pam'yati d.t.n. prof. Hafurova V. Dushanbe , – 1999, – C. 53–55.

11. Khodzhaev T. A. Doslidzhennya kinetyky vvedennya defektiv Si n– i r– typu. Mezhd. nauch. tekh. konf. «Fizyko – khimichna doslidzhennya napivprovidnykovykh dielektrychnykh i kompozytsiynykh materialiv». / T. A. Khodzhaev , O. V. Hafurov , YU. M. Prokhotskiy . – Kulyab , – 2001. – C. 3.

12. Khodzhaev T. A. Osvita radiatsiynykh defektiv v oprominenomu R– kremniyi . Mezhd. nauch. tekh. konf. «Fizyko – khimichna doslidzhennya napivprovidnykovykh , dielektrychnykh i kompozytsiynykh materialiv». / T. A. Khodzhaev , O. V. Hafurov , YU. M. Prokhotskiy . – Kulyab , – 2001. – C.5.

13. Khodzhaev T. A. Pryroda osvity radiatsiynykh defektiv v oprominenomu r– kremniyi . Materialy mezhd. konf. «Suchasni problemy fizyko–mekhanichnykh vlastyvostey kondensovanykh seredovyshch » . / T. A. Khodzhaev , O. V. Hafurov , YU. M. Prokhotskiy . – Khudzhand – 2002. – C. 112–114.

14. . Pershenkov V. S. Poverkhnevi radiatsiyni efekty v elementakh intehralnykh skhem. / V. S. Pershenkov , V. D. Popov, A. V. Shalnov M . : Vyshcha shkola, – 1986, – C. 256.

15. Lubchenko A. F. Fizychni osnovy radiatsiynoyi tekhnolohiyi tverdotilnykh elektronnykh pryladiv. / A. F. Lubchenko , V. A. Hiriy , V. M. Kulakov. ta in – Kyyiv : Naukova Dumka , – 1976. – C. 200.

16. Brudnyy V.N. Radiatsiyni defekty v arsenidi Haliya (ohlyad) / V.M. Brudnyy, M.A. Kryvov – Yzv. Vuziv. Fizyka. – 1980. – C. 64–75.

17. Osadchuk V.S., Osadchuk V.O. Tranzystory . – Vinnytsya , VDTU, – 2003.

18. Volohdin E.N. Radiatsiyna stiykist bipolyarnykh tranzystoriv : navchalnyy posibnyk / O.M. Volohdin , A. P. Lysenko – Moskva: NOTS , –1999. – C. 101

19. . Kholodar H. A. Nepryama rekombinatsiya vakansiy i mezhdouzelnykh atomiv v oprominenomu kremniyi . / H. A. Kholodar , YU. V. Dankovskyy , V. V. Konoplyanykh , – Vynetskaya U FTP , – 1976 , – C. 1712 –1718.

Рецензія/Peer review : 21.3.2015 р. Надрукована/Printed :15.4.2015 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Кичак В.М.

УДК 004.942

Т.Б. МАРТИНЮК, А.В. КОЖЕМ'ЯКО
Вінницький національний технічний університет
Л.М. КУПЕРШТЕЙН
Вінницький фінансово-економічний університет

РІЗНИЦЕВО-ЗРІЗОВА ОБРОБКА З ВИКОРИСТАННЯМ ПРИНЦИПІВ МОДУЛЯРНОЇ АРИФМЕТИКИ

У роботі показано особливості різницево-зрізової обробки векторних масивів даних, що дозволяє її подати у термінах модулярної арифметики.

Ключові слова: обробка за різницевими зрізами, модулярна арифметика, теорія лишків , обробка за модулем.

T.B. MARTYNIUK, A.V. KOZHEMIAKO
Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Ukraine
L.M. KUPERSHTEIN
Vinnytsia Financial Economical University, Vinnytsia, Ukraine

THE DIFFERECE CUT PROCESSING USING THE MODULAR ARITHMETIC PRINCIPALS

Abstract – The aim of this work is the providing of the possibility using basic principles of the modular arithmetic in the difference cuts (DC) processing of the vector data sets. The method of DC processing is the gradual removal in the each cycle minimum (nonzero) element among the elements of the vector array (current DC) with the formation of the next DC and the calculating corresponding vectors of binary masks. As a result of the formation of the binary masks matrices allows determining extreme numbers in the array sort and summarize the elements of the initial difference cut. The analysis of the BC processing of one-dimensional data sets showed that it can be represented in terms of modular arithmetic with the introduction of certain assumptions regarding the module processing for each cycle. In addition, there is possibility to record the basic procedure of DC processing in the residues terms, namely the restoration of the initial array elements by the sum of processing modules under certain conditions determining their number.

Key words: processing by difference cuts, modular arithmetic, theory of residues, processing for the module.

Вступ

Відомо, що базові принципи модулярної арифметики активно використовуються не тільки у системах залишкових класів (СЗК) [1, 2], але також у теорії кінцевих полів, що базуються на кільці лишків, для прискорення алгоритмів цифрової обробки [3].

Разом з тим в останні роки зростає інтерес до модулярної арифметики при вдосконаленні методів та засобів кодування та передачі даних. Це стосується, наприклад, теорії нелінійних методів кодування на основі СЗК [4] та кодування і передачі даних в безпровідних сенсорних мережах [5].

У цьому плані науковий інтерес представляє знаходження спільних принципів між модулярною обробкою та відомою різницево-зрізовою обробкою даних [6].

Отже, метою даної роботи є доведення можливості використання базових принципів модулярної арифметики при обробці за різницевими зрізами (РЗ) векторних масивів даних.

Постановка задачі

Алгоритм обробки за РЗ векторних масивів даних має такий вигляд. Початковими даними є n – вимірний векторний масив $\boldsymbol{a}_0$, елементи a_{i0}, якого є ненульовими числами. Масив $\boldsymbol{a}_0$ розглядається як початковий РЗ.

Крок 1. Визначається мінімальний елемент q_j серед всіх n елементів a_{ij-1} масиву $\boldsymbol{a}_{j-1}$, $j=\overline{1,N}$, де N – кількість циклів обробки, тобто

$$q_j = \min_i \boldsymbol{a}_{j-1} = \min_i \left\{a_{ij-1}\right\}_i^n . \tag{1}$$

Крок 2. Перевіряється умова

$$q_j = 0 . \tag{2}$$

Якщо ця умова виконується, то перехід до кроку 5, якщо не виконується, то перехід до кроку 3.

Крок 3. Обчислюється наступний РЗ $\boldsymbol{a}_j$ з елементами вигляду

$$a_{ij} = a_{ij-1} - q_j . \tag{3}$$

Крок 4. Формуються два n – вимірні вектори бінарних масок $\boldsymbol{f}_j$ та $\boldsymbol{g}_j$ з елементами вигляду

$$f_{ij} = \begin{cases} 1, & якщо \quad a_{ij} \geq 0, \\ 0, & якщо \quad a_{ij} < 0, \end{cases} \tag{4}$$

$$g_{ij} = \begin{cases} 1, & якщо \quad a_{ij} = 0, \\ 0, & якщо \quad a_{ij} \neq 0, \end{cases} \tag{5}$$

Перехід до кроку 1.

Крок 5. Завершення обробки.

Цикл обробки складають кроки 1–4.

В процесі обробки поступово обчислюються РЗ $\boldsymbol{a}_j$, $j=\overline{1,N}$, а після завершення обробки сформуються дві матриці бінарних масок $\boldsymbol{F}$ і $\boldsymbol{G}$, в яких вектори бінарних масок $\boldsymbol{f}_j$ та $\boldsymbol{g}_j$ є вектор-стовпцями, а також n – вимірний вектор $\boldsymbol{q}$ з елементами q_j вигляду (1) [6, 8].

В подальшому [8, 9] аналіз елементів матриці бінарних масок $\boldsymbol{G}$ дозволяє визначити екстремальні (максимальне / мінімальне) числа та відсортувати елементи у початковому РЗ $\boldsymbol{a}_0$, а матриця бінарних масок $\boldsymbol{F}$ використовується як матриця оберненого перетворення для відновлення початкового РЗ $\boldsymbol{a}_0$ у вигляді

$$\boldsymbol{a}_0 = \boldsymbol{F}\cdot\boldsymbol{q}. \tag{6}$$

При цьому, в процесі обробки існує можливість поступової згортки (підсумовування) елементів початкового РЗ $\boldsymbol{a}_0$ за формулою:

$$\boldsymbol{S} = (\boldsymbol{n}^T\cdot\boldsymbol{F})\cdot\boldsymbol{q}, \tag{7}$$

де $\boldsymbol{n}$ – одиничний вектор-стовпець;

T – символ транспонування.

Крім того, авторами запропоновано і досліджено використання принципу РЗ не тільки для обробки одновимірних (векторних) масивів даних, але й для обробки двовимірних (матричних) масивів даних, зокрема для обробки елементів дискримінантних функцій (ДФ) при класифікації біомедичних сигналів [10, 11]. При цьому m рядків початкової матриці $\boldsymbol{A}^0$ складають елементи m ДФ, а обробка елементів матриці $\boldsymbol{A}^0$ виконується по n стовпцях [12]. Такий підхід дозволяє відмовитись від «накопичення» значень m ДФ і забезпечує максимальний рівень розпаралелювання процесу $O(n)$, високу локальну зв’язаність обчислень (суміжний зв'язок), а також розширення функціональних можливостей обробки за рахунок ранжування результатів класифікації з виявленням найближчих ДФ за значенням до максимальної ДФ [8, 10–13].

Основи модулярної арифметики у контексті різницево-зрізової обробки

Відомо, що у кільці цілих чисел [3] будь-яке ціле число c можна подати таким чином

$$c = Q\cdot d + S, \tag{8}$$

де Q – частка (ранг);

d – модуль;

S – залишок,

причому

$$0 \le S < d. \tag{9}$$

В результаті залишок S розписується таким чином:

$$S = c \pmod d, \tag{10}$$

тобто S дорівнює залишку від ділення c за модулем d.

Ще одна форма запису залишку S має вигляд

$$S = R_d[c], \tag{11}$$

тобто S дорівнює лишку c за модулем d.

Враховуючи особливості різницево-зрізової обробки (1), (3) для векторних даних, необхідно внести наступні припущення для базових формул (8), (10) модулярної арифметики:

а) через використання операції віднімання замість операції ділення у формулі (8) маємо постійний ранг Q вигляду

$$Q = 1, \tag{12}$$

при цьому співвідношення (9) не є обов’язковим;

б) модуль d є змінним для кожного j-го циклу обробки, тобто

$$d_j = q_j \tag{13}$$

через виконання співвідношення (1) для q_j, але має постійне значення впродовж j-го циклу для всіх n елементів відповідного РЗ $\boldsymbol{a}_{j-1}$.

Отже, вираз (8) для різницево-зрізової обробки можна подати таким чином:

$$a_{ij} = q_j + S_{ij} = d_j + S_{ij}, \tag{14}$$

де S_{ij} - залишок (різниця) від віднімання модуля $d_j(q_j)$ від елемента a_{ij} масиву у j-му циклі, причому

$$S_{ij} \ge q_j, \tag{15}$$

оскільки виконується операція віднімання, а q_j є мінімальним елементом у поточному масиві $\boldsymbol{a}_{j-1}$ за виразом (1) або $S_{ij} = 0$.

Крім того, оскільки базова операція віднімання (3) для різницево-зрізової обробки виконується до моменту виконання умови (2), тобто до повного обнуління всіх елементів початкового масиву $\boldsymbol{a}_0$, а також враховуючи властивість різницево-зрізової обробки до відновлення елементів початкового РЗ $\boldsymbol{a}_0$ (6), можна записати таке співвідношення:

$$a_{i0} = \sum_{j=1}^{k} d_j,\ k = \overline{1, N}, \tag{16}$$

якщо у k-му циклі для елемента a_{i0} виконується умова

$$S_{ik} = 0. \tag{17}$$

Для підтвердження слушності виразів (16) і (17) на рис.1 наведено приклад різницево-зрізової обробки масиву з трьох чисел за правилами модулярної арифметики, тобто за обробкою за модулями.

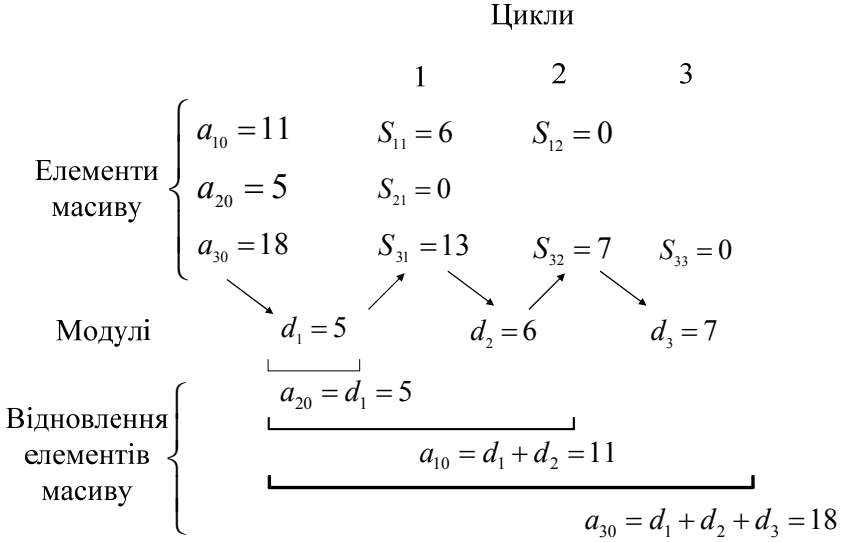


Рис. 1. Приклад різницево-зрізової обробки за правилами модулярної арифметики

Висновки

Аналіз особливостей різницево-зрізової обробки одновимірних масивів даних показав, що її можна подати у термінах модулярної арифметики з введенням певних припущень стосовно модуля обробки для кожного циклу. Крім того, існує можливість запису у термінах лишків базової процедури різницево-зрізової обробки, а саме відновлення елементів початкового масиву через суму модулів обробки за певних умов визначення їх кількості.

Література

1. Акушский И. Я. Машинная арифметика в остаточных классах / И. Я. Акушский, Д. И. Юдицкий – М. : Сов. радио, 1968. – 460 с.

2. Торгашев В. А. Система остаточных классов и надежность ЦВМ / В. А. Торгашев. – М. : Сов. радио, 1970. – 118 с.

3. Блейхут Р. Быстрые алгоритмы цифровой обработки / Р. Блейхут ; пер. с англ. – М. : Мир, 1989. – 448 с.

4. Николайчук Я. М. Теорія джерел інформації / Я. М. Николайчук. – Тернопіль : ТзОВ «Терно-граф», 2010. – 536 с.

5. Су Цзюнь. Методи і засоби кодування та передачі даних в безпровідних сенсорних мережах на основі модулярної арифметики : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд техн. наук : спец. 05.13.05 «Комп'ютерні системи та компоненти» / Су Цзюнь. – Тернопіль, 2012. – 20 с.

6. Мартинюк Т. Б. Рекурсивні алгоритми багатоопера́ндної обробки інформації / Т. Б. Мартинюк. – Вінниця : УНІВЕРСУМ – Вінниця, 2000. – 216 с.

7. Мартинюк Т. Б. Реалізація концепції різницевих зрізів при обробленні зображень та розпізнаванні образів / Т. Б. Мартинюк, А. В. Кожем'яко // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2001. –№ 1. – С. 79–85.

8. Мартинюк Т. Б. Теоретичні основи та організація високоефективних обчислювальних засобів з паралельним різницево-зрізовим обробленням даних : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук : спец. 05.13.05 «Комп'ютерні системи та компоненти» / Т. Б. Мартинюк. – Вінниця, 2013. – 42 с.

9. Мартынюк Т. Б. Особенности математической модели дискретного SM – преобразования / Т. Б. Мартынюк, В. В. Хомюк // Математичні машини і системи. – 2010. – № 4. – С. 145–155.

10. Мартынюк Т. Б. Классификатор биомедицинских сигналов / Т. Б. Мартынюк, А. Г. Буда, В. В. Хомюк, А. В. Кожемяко, Л. М. Куперштейн // Искусственный интеллект. – 2010. – № 3. – С. 88–95.

11. Мартынюк Т. Б. Новый подход к обработке дискриминантных функций в классификаторе биомедицинских сигналов / Т. Б. Мартынюк, Л. М. Куперштейн, А. Г. Буда, А. В. Кожемяко, В. В. Хомюк // Нейроинформатика – 2013 : XV Всерос. науч.-техн. конф., 21–25 января 2013 г. : сб. науч. тр. – М. : НИЯУ МИФИ, 2013. – Т.1. – С. 92–98.

12. Мартинюк Т. Б. Особливості паралельно-позрізового оброблення елементів матриць для класифікації об'єктів / Т. Б. Мартинюк, А. В. Кожем'яко, А. В. Мельник // Оптико-електроні інформаційно-енергетичні технології. – 2013. – № 2(26). – С. 28–33.

13. Мартинюк Т. Б. Моделювання процесу ранжування значень дискримінантних функцій / Т. Б. Мартинюк, А. В. Медвідь, О. М. Гуцол //Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2013. – № 5. – С. 74–80.

References

1. Akushskij I. Ja. Mashinnaja arifmetika v ostatochnyh klassah. Moskow, Sov. radio, 1968, 460 p.

2. Torgashhev V. A. Sistema ostatochnyh klassov i nadezhnost' CVM. Moskva, Sov. radio, 1970, 118 p.

3. Blejhut R.E. Bystrye algoritmy cifrovoj obrabotki. Moscow, Mir, 1989, 448 p.

4. Nykolajchuk Ya. M. Teoriya dzherel informaciyi. Ternopil, TzOV «Terno-graf», 2010, 536 p.

5. Su Czzyun. Metody i zasoby koduvannya ta peredachi danyx v bezprovidnyx sensornyx merezhax na osnovi modulyarnoyi aryfmetyky: avtoref. dys. na zdobuttya nauk. stupenya kand texn. nauk: specz. 05.13.05 «Kompyuterni systemy ta komponenty». Ternopil, 2012, 20 p.

6. Martyniuk T. B. Rekursyvni algorytmy bagatooperandnoyi obrobky informaciyi. Vinnytsia, UNIVERSUM – Vinnytsia, 2000, 216 p.

7. Martyniuk T. B., Kozhemyako A.V. Realizaciya koncepciyi riznycevyh zriziv pry obroblenni zobrazhen ta rozpiznavanni obraziv, Optyko-elektronni informacijno-energetychni tehnologii, 2001, No 1, pp. 79-85.

8. Martyniuk T. B. Teoretychni osnovy ta organizaciya vysokoefektyvnyh obchyslyuval`nyh zasobiv z paralel`nym riznycevo-zrizovym obroblennyam danyh: avtoref. dys. na zdobuttya nauk. stupenya dokt. tehn. nauk: specz. 05.13.05 «Kompyuterni systemy ta komponenty». Vinnytsia, 2013, 42 p.

9. Martyniuk T. B. Osobennosti matematicheskoj modeli diskretnogo SM–preobrazovanija, Matematychni masyiny i systemy, 2010, No 4, pp. 145-155.

10. Martyniuk T. B., Buda A. G., Homjuk V. V., Kozhemjako A. V., Kupershtejn L. M. Klassifikator biomedicinskih signalov, Iskusstvennyj intellekt, 2010, No 3, pp.88-95.

11. Martyniuk T. B., Kupershtejn L. M., Buda A. G., Kozhemjako A. V., Homjuk V. V. Novyj podhod k obrabotke diskriminantnyh funkcij v klassifikatore biomedicinskih signalov. Nejroinformatika: Sbornik nauchuh trudov, Moskva, NIYAU MIFI, Vol. 1, 2013, pp. 92-98.

12. Martyniuk T. B., Kozhemyako A. V., Mel`nyk A. V. Osoblyvosti paralel`no-pozrizovogo obroblennya elementiv matryts` dlya klasyfikacii obiektiv, Optyko-elektroni informaciyno-energetychni tehnologiyi, 2013, Vol. 2(26). pp. 28-33.

13. Martynyuk T. B., Medvid` A. V., Gutsol O. M. Modelyuvannya procesu ranzhuvannya znachen` dyskryminantnyh funkcij. Visnyk Vinnyts`kogo politehnichnogo instytutu, 2013, pp. 74 – 80.

Рецензія/Peer review : 19.3.2015 р. Надрукована/Printed :15.4.2015 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Азаров Д.О.

УДК 660:614.8

С.М. ЗЛЕПКО, К.С. НАВРОЦЬКА
Вінницький національний технічний університет

ПРИНЦИПИ ОРГАНІЗАЦІЇ ІНТЕРФЕЙСУ КОРИСТУВАЧА В ІНФОРМАЦІЙНІЙ СИСТЕМІ ТЕСТУВАННЯ ПЕРСОНАЛУ

Необхідність оцінки рівня психологічної підготовленості персоналу обґрунтована тим, що у людини досить часто виникає необхідність перебувати в умовах високого психоемоційного напруження, коли успішність дій визначається рівнем розвитку спеціальних умінь, які забезпечують надійність дій у емоційно складних та стресових ситуаціях. У стресовому стані людина напружується, змінюється робота її фізіологічних систем, з'являються негативні емоції, наслідком яких можливе підвищення рівня матеріальних, а інколи і людських втрат. Обґрунтовано необхідність створення схеми діалогу під час тестування, показано модель процесу тестування, що дозволило забезпечити отримання більш детальної інформації про стан особистості.

Ключові слова: *матеріально-технічна база, схема діалогу, інтерфейс користувача, автоматизована система.*

S.M. ZLEPKO, K.S. NAVROTSKA
Vinnytsya National Technical University

PRINCIPLES OF THE ORGANISATION OF USER'S INTERFACE IN INFORMATION SYSTEMS PERSONNEL TESTING

The need to assess the level of psychological readiness of staff based on that an individual quite often wants to be in the conditions of high emotional stress, when the success of the action is determined by the level of development of special skills that provide the reliability of the emotionally complex and stressful situations. Under stress an individual strains and his/her physiological systems are changing, appear negative emotions that followed by possible rise of the level of material and human losses. The necessity of creating a scheme of dialogue during the test shows model test process that has made it possible to obtain more detailed information on the status of the individual.

Key words: material technical base, scheme dialog, user interface, automated system.

Використання психологічних тестів в практичній роботі з персоналом стикається з низкою психологічних бар'єрів як з боку психолога, так і з боку людини. Це відбувається тому, що у працівників медичної та психологічної служби різні методологічні підходи, завдання, матеріально-технічна база, підходи до інтерпретації отриманих даних і т. п.

Застосування тестування має низку певних позитивних сторін:

- ряд тестових методик дозволяє виявляти більш глибокий рівень особистості клієнта;
- форма тестів дозволяє комп'ютеризувати їх; звільняти психологів від значної частини рутинної діяльності, даючи тим самим можливість вирішувати більш складні і невідкладні завдання;
- використання статистично репрезентативних тестових норм і кількісних показників дозволяє зіставляти результати різних клієнтів і простежувати зміну їх стану в ході психологічної роботи.

Ефективне використання психодіагностичних засобів вимагає від психолога оволодіння навичками проведення тестових методик, знання змісту діагностичних показників, вміння їх інтерпретувати, і планувати психодіагностичне обстеження відповідно до запитів.

Базою для такої діяльності є методи психологічного вимірювання і шкалювання, статистичної обробки даних, інформатики та комп'ютерної техніки [10].

Зросли вимоги до управлінських кадрів, які приймають рішення в екстремальних ситуаціях, створюючи тим самим, передумови до побудови нових інформаційних технологій та процедур для оцінки ситуацій та вибору стратегій поведінки в умовах невизначеності.

В екстремальній ситуації у людини неминуче виникає особливе емоційне напруження або стрес. Це сукупність захисних фізіологічних реакцій, які виникають в організмі людини у відповідь на дію несприятливих зовнішніх факторів Вплив стресу на поведінку й можливості людини надзвичайно індивідуальний. Є люди, які діють найефективніше саме в стані високого емоційного напруження – на екзаменах, відповідальних змаганнях, в небезпечних для життя ситуаціях. А інших подібні ситуації деморалізують. Настає своєрідний психологічний шок – з'являється сильна загальмованість, поспішність, метушливість, нездатність до розумних дій.

Постановка задачі.

Рівень людського фактору серед причин авіакатастроф та інших техногенних пригод постійно зростає. Відбір кадрів для роботи в екстремальних ситуаціях є актуальним, і таким що, вимагає розроблення нових підходів до оцінки інтелектуального рівня особи та її здатності приймати цілеспрямовані рішення в умовах невизначених ситуацій [1], створення спеціалізованих інформаційних систем і технологій.

Існуючі на сьогодні у світовій практиці способи і засоби діагностики психофізіологічного і психологічного стану людини під час екстремальних станів не завжди відповідають сучасним вимогам надійності. Психометричні характеристики опитувальників часто піддають критиці через відсутність чіткого організованого принципу проведення оцінювання інтелекту і наявності суб'єктивних вподобань, що відображають погляди розробників [2].

Варто підкреслити, що на сьогоднішній день когнітивні чинники, які впливають на поведінку та здоров'я людини стають вирішальними, оскільки стосуються не тільки окремої людини, а і усього її оточення.

Аналіз досліджень і публікацій.

Вивченням інтелектуально-пізнавальних детермінант стрес-стійкості займаються багато вітчизняних дослідників, серед яких Г. В. Ложкін (2003), Р. М. Загайнов (2005) та ін., а також зарубіжних авторів: D. Gould (1993), J. Taylor (1997), C. Cooper (2000), в працях яких підкреслюється значення таких чинників, як критичність мислення, передбачення загрозливих подій, перцептивні здібності, розумові образи як упереджені елементи самопочуття та поведінки, самоконтроль, а також інших когнітивних чинників, розвиток та регуляція яких підвищує толерантність людини до умов психічного стресу [3, 4].

Проблемою ідентифікації та розуміння емоцій займалися не тільки психологи, а й фахівці інших наук – біологи, психіатри, програмісти [5, 6]. У ряді сучасних зарубіжних і вітчизняних теорій емоція розглядається як особливий тип знання. Під емоціями розуміють здатність: виявляти внутрішній стан особистості [7]; розуміти відчуття особистості, що репрезентується; керувати емоційною сферою на основі інтелектуального аналізу і синтезу [8].

Виділення невирішених частин. Результати аналізу сучасного стану галузі психофізіологічного і психологічного стану людини свідчить про необхідність: 1) удосконалення схеми діалогу під час тестування; 2) побудови моделі процесу тестування респондента; 3) внесення змін до структури наявних інформаційних систем.

Формулювання цілей. При цьому буде визначено взаємозв'язок між користувачем та програмою в процесі тестування респондента в екстремальних ситуаціях з метою оцінювання його інформаційно-фізіологічних характеристик і функціонального стану в цілому.

Результати досліджень. Через відсутність надійної схеми діалогу під час тестування практично немає можливості забезпечити якісну, комплексну оцінку стану людини, яка може побоюватися розкриття власних особистих якостей або неправильного використання результатів тестування.

Процес тестування не є одноманітним, а вимагає наявності досить великого об'єму тестових даних, добрих навичок тестування у спеціалістів, які будуть його проводити, а також наявності спеціалізованих середовищ тестування, що дасть змогу більш швидко та якісно його проводити.

Систему тестування необхідно розглядати як цілеспрямовану ієрархічну структуру, яка в режимі діалогу визначає інтелект, психологічні та психофізіологічні характеристики особистості.

Для поліпшення процесу тестування кандидата рекомендується створити таку схему діалогу, в якому будуть реалізовані наступні можливості:

- реєстрація психофізіологічних і психологічних характеристик;
- фіксація проявів емоційної напруги при реакції на значиму інформацію;
- обробка та аналіз отриманих результатів за допомогою програмних засобів і методів математичної статистики;
- збереження отриманої інформації в базі даних для удосконалення існуючих стандартів і розробки нових методик якісного психологічного забезпечення діяльності.

На рис. 1 представлена структурна схема діалогу під час тестування, яка включає управляючий і користувацький блоки.

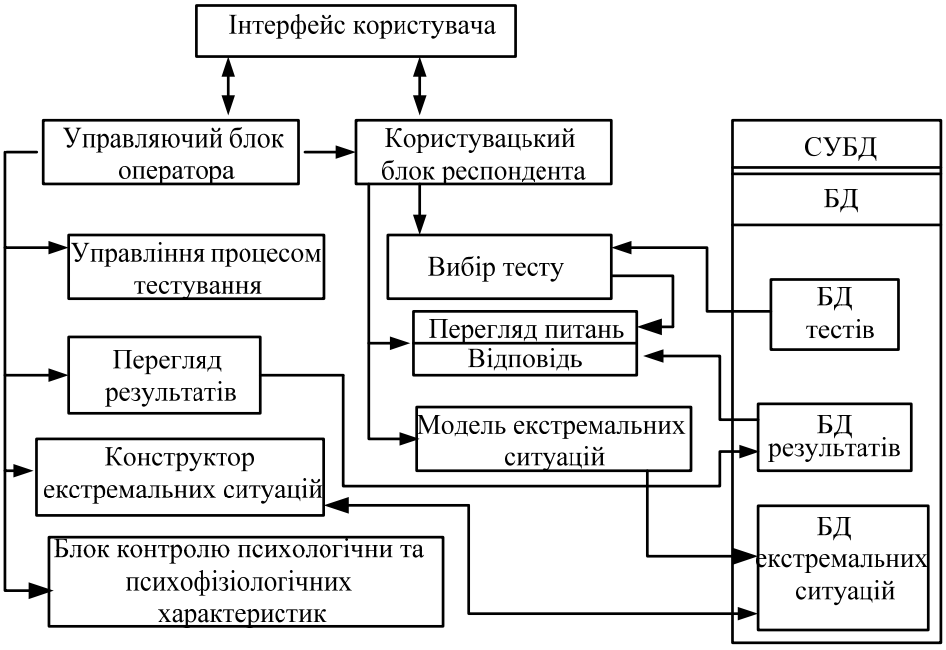


Рис. 1. Схема діалогу під час тестування

На рис. 2 показано модель процесу тестування респондента, яка містить генератор тесту, що включає набір тестових методик згідно якого проходить тестування респондента та реєстрація реакцій на обрані аудіо- та відеосигнали. Отримані результати зберігаються, обробляються. Індикатор стану надає остаточну інформацію про дослідження.

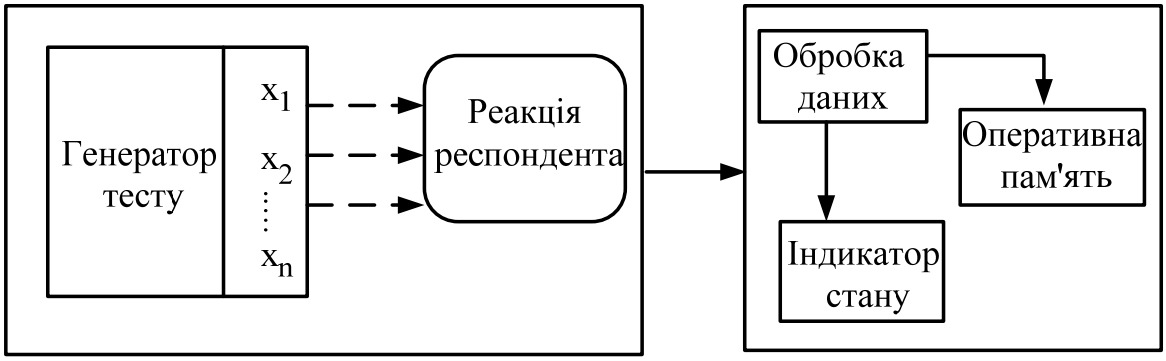


Рис. 2. Модель процесу тестування респондента

Важливим аспектом оцінки діяльності оператора в умовах надзвичайних ситуацій є вид і представлення нової інформації про оперативні і тактичні задачі, тому продуктивність операторської діяльності при дії системних впливів визначатимемо на основі представлень Шибанова [11], на думку якого, діяльність оператора передбачає насамперед моделювання трудового процесу оператора. Іншими словами, продуктивність роботи є кількісно вираженим показником, що інтегрально характеризує результат діяльності за визначений проміжок часу. Ефективність визначається кількістю правильно виконаних завдань, надійність – співвідношенням ефективності і продуктивності.

$$Z(\mathrm{F},\mathrm{t}) = \sum^{N} Co_u \varphi_u(\mathrm{t}) + \sum_{i=1}^{m}\sum_{u=1}^{N} C_{iu}\varphi_u(\mathrm{t})\theta_i,$$

де C_{iu} – коефіцієнт впливу факторів $\varphi_u(\mathrm{t})$ – функції динаміки факторів з параметрами θ_i.

Розроблена схема діалогу тестування дозволяє створити принципово нові підходи до конструювання систем, керованих людиною в дефіциті часу. Структурна схема автоматизованої системи для дослідження та оцінювання когнітивної поведінки людини наведена на рисунку 3.

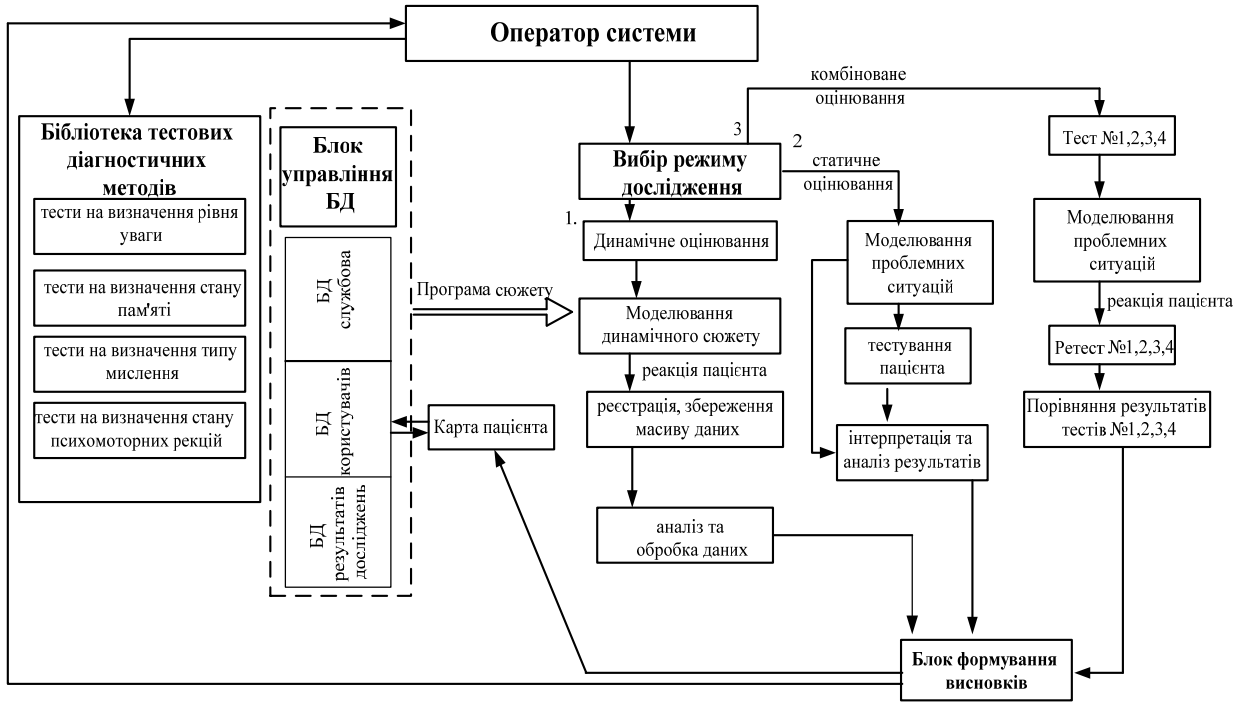


Рис. 3. Структурна схема автоматизованої системи для дослідження та оцінювання когнітивної поведінки людини

Ретельне клініко-психологічне дослідження, є корисним для вирішення діагностичних питань, індивідуалізації та оцінки ефективності проведеного лікування, а в ряді випадків і для вирішення питань професійної придатності, трудової експертизи.

Висновок. Управління ресурсами когнітивної сфери дає можливість істотно збільшити можливості свідомого контролю за власними діями, підвищити рівень особистісної компетентності, впливаючи на більш

раціональну організацію процесу підготовки та виступів на змаганнях, розширити межі усвідомлення механізмів виникнення несприятливих емоційних станів, а також значно збагатити варіативність поведінкових реакцій в складних та стресогенних ситуаціях.

Побудова конструкції інформаційно-фізіологічних характеристик особистості оператора в умовах надзвичайних ситуацій дає можливість оцінити дію впливів як фізичної, так і інформаційної природи, оскільки вони можуть стати причиною психофізіологічного стресу оператора.

Разом з цим можна відзначити, що на сьогоднішній день відсутні структури, які б функціонували в єдиному інформаційному просторі і забезпечували адекватну оцінку відповідності кандидата вимогам спеціалізованих професіограм.

Рекомендуємо використовувати для цього розроблену схему діалогу, яка дозволяє отримати більш детальну та об'єктивну інформацію про стан особистості.

Література

1. Психологічне забезпечення діяльності в екстремальних ситуаціях [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.politik.org.ua/vid/magcontent.php3?m=6&n=72&c=1696

2. Вимоги до тестів як методів психодіагностичного дослідження та їх користувачів [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://pidruchniki.com/15800119/psihologiya/vimogi_testiv_metodiv_psihodiagnostichnogo_doslidzhennya_koristuvachiv

3. Загайнов Р. М. Психологическое мастерство тренера и спортсмена / Р. М. Загайнов – М. : Советский спорт, 2005. – 106 с.

4. Практическая психология конфликта : учеб. пособие / Г. В. Ложкин, Н. И. Повякель / Межрегион. акад. упр. персоналом. – К., 2000. – 256 с.

5. Березюк Г. Емоційний інтелект як детермінанта внутрішньої свободи особистості / Г. Березюк // Психологічні студії Львівського ун-ту. – 2008. – С. 20–23.

6. Зайцев В. С. Системный анализ операторской деятельности / В. С. Зайцев – М. : Радио и свіязь, 1990. – 120 с.

7. Завалишина Д. Н. Психологічний аналіз оперативного мислення / Д. Н. Завалишина – М. : Наука, 1985. – 220 с.

8. Баич М. А. Системные механизмы поведения / М. А. Баич. – М. : Медицина, 1990. – 240 с.

9. Вплив фізичних факторів навколишнього середовища на здоров’я людини [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://studentam.net.ua/content/view/4189/129/

10. Бурлачук Л. Ф. Психодиагностика : учебник для вузов / Бурлачук Л. Ф. − СПб : Питер, 2005. − 351 с.

11. Методи побудови інформаційно-фізіологічних характеристик особи-оператора в умовах надзвичайних ситуацій / Л. С. Сікора, Р. Л. Ткачук, А. Ю. Нога, І. Р. Манишин // Зб. наук. пр. – Київ, ІПМЕ. – 2006. – Вип. 34. – С. 99–108.

References

1. Psihologichne zabezpechennya diyalnosti v ekstremalnih situatsiyah. URL: http://www.politik.org.ua/vid/magcontent.php3?m=6&n=72&c=1696

2. Vimogi do testiv yak metodiv psihodiagnostichnogo doslidzhennya ta yih koristuvachiv. URL: http://pidruchniki.com/15800119/psihologiya/vimogi_testiv_metodiv _psihodiagnostichnogo_doslidzhennya_koristuvachiv

3. Zagaynov R. M. Psihologicheskoe masterstvo trenera i sportsmena / R. M. Zagaynov – M.: Sovetskiy sport. – 2005. – 106 s.

4. Prakticheskaya psihologiya konflikta : Ucheb. posobie / G. V. Lozhkin, N. I. Povyakel; Mezhregion. Akad. upr. personalom. - K., 2000. - 256 c.

5. Berezyuk G. Emotsiyniy Intelekt yak determinanta vnutrishnoyi svobodi osobistosti / G. Berezyuk // Psihologichni studiyi Lvivskogo un-tu. – 2008. – S. 20-23.

6. Zaytsev V. S. Sistemnyiy analiz operatorskoy deyatelnosti / V. S. Zaytsev – M.: Radio i svyaz. –1990. – 120s.

7. Zavalyshyna D. N. Psykholohichnyi analiz operatyvnoho myslennia / D. N. Zavalyshyna – M.: Nauka. – 1985. – 220s.

8. Baich M. A. Sistemnyie mehanizmyi povedeniya / M. A. Baich – M.: Meditsina. – 1990. – 240s.

9. Vpliv fIzichnih faktoriv navkolishnogo seredovischa na zdorov’ya lyudini. URL: http://studentam.net.ua/content/view/4189/129/

10. Burlachuk L. F. Psihodiagnostika: Uchebnik dlya vuzov..− SPb.: Pyter, 2005. − 351 s.

11. Metody pobudovy informatsiyno – fiziolohichnykh kharakterystyk osoby – operatora v umovakh nadzvychaynykh sytuatsiy / L. S. Sikora, R. L. Tkachuk, A. Yu. Noha, I. R. Manyshyn // Zb. nauk. pr., – Vyp. 34. – Kyyiv, IPME. – 2006. – S. 99-108.

Рецензія/Peer review : 17.3.2015 р. Надрукована/Printed :15.4.2015 р.
Рецензент: стаття рецензована редакційною колегією

УДК 004.05

Р.П. СТРУБИЦЬКИЙ
Національний університет «Львівська політехніка»

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ШВИДКОСТІ РОБОТИ ПРОТОКОЛІВ ГАРАНТОВАНОЇ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ, БАЗОВАНИХ НА UDP У МІЖКОНТИНЕНТАЛЬНІЙ МЕРЕЖІ

У роботі проведено результати практичного порівняння роботи протоколів гарантованої передачі даних, базованих на UDP (UTP, µTP) у міжконтинентальній мережі та проаналізовано ефективність їх роботи залежно від зміни вхідного та вихідного буферів. Показано, що для ефективної роботи за заданих умов оптимальнішим є UDT з великим вхідним та вихідним буфером.

Ключові слова: протокол передачі даних, міжконтинентальна мережа, гарантована доставка даних.

R.P. STRUBYTSKY
Lviv Polytechnic National University

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE SPEED OF PROTOCOLS` WORK OF DATA TRANSFER BASED ON UDP IN INTERCONTINENTAL NETWORK

The practical comparison of data transfer protocols based on UDP (UTP, µTP) in intercontinental network and analyses of the effectiveness of their work depending on changes in the input and output buffers. For effectively data transfer under given conditions are UDT-protocol with large input and output buffer. As a result of the conducted research it was found that for efficient transfer of data through the Intercontinental communication channel, we must use the data transfer Protocol UDT with a fairly large clipboards (from 2MB to 8MB for 1Gb of bandwidth). The research results allow to conclude on the feasibility of practical use of the UDT Protocol with a sufficiently large transmission buffers for implementing data transmission between servers cloud storage.

Keywords: data transfer protocol, intercontinental network, guaranteed data delivery.

Постановка проблеми

Найпопулярнішими протоколами передачі даних в мережі Internet є TCP та UDT. Протокол TCP є найбільш поширеним протоколом та забезпечує гарантовану доставку даних. Дані представлені у вигляді потоків байтів зі встановленням з'єднання і застосовується у випадках, коли потрібна гарантована доставка повідомлень[4]. Натомість протокол UDP забезпечує доставку дейтограм, але не вимагає підтвердження їх отримання. Протокол UDP не вимагає з'єднання з віддаленим модулем UDP. До заголовку IP-пакета UDP додає поля порт відправника і порт одержувача, які забезпечують мультиплексування інформації між різними прикладними процесами, а також поля довжини UDP-дейтограми і контрольної сума, що дозволяють підтримувати цілісність даних. Таким чином, якщо на рівні IP для визначення місця доставки пакета використовується адресу, на рівні UDP – номер порта.

Актуальність теми

У зв'язку із швидким розвитком індустрій послуг базованих на мережі Internet, виникає потреба у швидких протоколах передачі даних. Альтернативним напрямком розвитку таких протоколів є надбудови над протоколом UDP для забезпечення гарантованої доставки даних. Використання UDP-базованих протоколів у порівнянні з TCP є більш ефективним на великих відстанях, тобто при великих затримках [2].

Найпопулярнішими представниками таких надбудов над протоколом UDP є UTP [1] та µTP [3]. Проте використання цих протоколів також викликають труднощі при їх налаштуваннях до реального стану мережі. Однією з найбільш актуальних проблем дослідження ефективності протоколів передачі даних є правильно вибрана конфігурація протоколів (вхідних даних) при передачі даних на великі і дуже великі відстані. Метою роботи є розгляд двох найпопулярніших протоколів, дослідження ефективності їх та аналіз найбільш перспективного протоколу та оптимальних його параметрів.

Постановка задачі

При передачі даних на незначних відстанях з малими часами затримки, в основному, використовувався лише протокол TCP, який показав себе, як недостатньо ефективний для великих відстаней передачі даних.

Для використання модифікованих протоколів передачі даних на великих відстанях потрібно дослідити вплив параметрів цих протоколів на сумарну швидкість передачі. На прикладі реального хмаркового сховища даних протестовано протоколи передачі даних при різних буферах цих протоколів та отримано показники швидкості передачі даних на часових зрізах, що дає змогу проаналізувати перепади швидкості передачі даних та загальну швидкість. Ці параметри дозволяють визначити ефективний протокол та вхідні параметри цього протоколу для найбільш ефективної передачі даних.

Для порівняння ефективності протоколів необхідно дослідити спільні конфігураційні параметри цих протоколів.

UDT протокол має наступні конфігураційні параметри:

- MSS – максимальний розмір пакету UDP;
- SNDSYN – режим синхронізації даних при відправці;
- RCVSYN – режим синхронізації даних при отриманні;
- CC – алгоритм користувача управління перевантаженням;
- FC – максимальний розмір вікна;
- UDT_SNDBUF – розмір буфера UDT-каналу при відправці;

- UDT_RCVBUF – розмір буфера UDT-каналу при отриманні;
- UDP_SNDBUF – розмір буфера UDP-каналу при відправці;
- UDP_RCVBUF – розмір буфера UDP-каналу при отриманні;
- LINGER – час затримки при закритті каналу;
- RENDEZVOUS - включення режиму ”рандеву” для обходу брандмауера;
- SNDTIMEO – таймаут відправки повідомлення;
- RCVTIMEO – таймаут отримання повідомлення;
- REUSEADDR – повторне використання адреси;
- MAXBW – максимальна пропускна здатність каналу (швидкість передачі даних).

Натомість протокол µTP має дещо менший список конфігураційних параметрів протоколу:

- SO_SNDBUF – розмір буфера µTP -каналу при відправці;
- SO_RCVBUF – розмір буфера µTP -каналу при отриманні;
- SO_UTPVERSION – версія протоколу (0 або 1), що встановлює визначені розробником розміри буферів при відправці та отриманні в каналі µTP.

Для чистоти дослідження, в роботі змінювалися лише спільні (аналогічні) для двох протоколів параметри – це величина буферу при відправці та отриманні даних. Для нехтування похибками часу передачі даних було прийняте рішення використовувати параметри для буферів кратні 512 байт (розміру буферу читання/запису файлової системи на серверах).

Метою роботи було визначення ефективності протоколів передачі даних при різних розмірах буферів у міжконтинентальній мережі хмаркового сховища даних.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- дослідити швидкість передачі даних при різних величинах буфера;
- проаналізувати зміни швидкості передачі даних під час передачі одного блоку даних;
- встановити залежність швидкості передачі даних від величини буфера;
- зробити висновок про ефективність протоколів, які досліджуються.

Розв’язок задачі

Для дослідження було вибрано сервери хмаркового сховища даних, які територіально розміщені в США та Нідерландах. Канал зв'язку між серверами сховища – 1GB. "Чорною скринькою" в даному дослідженні є зв'язок, а саме його стабільність та всі можливі брандмауери на даному каналі зв'язку. Експерименти проводилися на файлах великих розмірів, адже як раз при їх передачі виникають проблеми швидкості передачі. Для експерименту було вибрано файл розміром 200MB. Усі заміри проводились для кожного тесту не менше трьох разів і брались для аналізу усереднені показники. Оскільки експерименти проводилися на одних і тих же даних трафік для всіх експериментів з певною імовірністю є подібним. Передача даних проводилась як в одну, так і в іншу сторону, що дозволило ввести симетричність в отримані результати.

У результаті проведених тестових випробувань було отримано залежності часу передачі файлу від розміру буферу (табл. 1).

Таблиця 1

Залежність часу передачі файлу від розміру буфера

Розмір буферу	Час передачі UTP (с)	Час передачі UDT (с)
16384	2439.09	2151.4
32768	1114.08	1811.28
65536	527.74	1655.22
131072	269.1	649.27
262144	136.58	337.64
524288	77.58	169.57
1048576	67.15	67.54
2097152	66.77	29.51
4194304	67.12	13.05
8388608	86.92	6.5
16777216	78.6	6.0
33554432	97.22	6.0
67108864	97.24	6.51
134217728	67.43	5.03
268435456	67.21	6.38
536870912	67.44	5.5

Як видно з графіка залежності часу передачі від розміру буфера (рис. 1), швидкість для обох протоколів спадає за експоненціальним законом, що й повинно бути з чисто теоретичних міркувань. Так як міжконтинентальна розподілена мережа є мережею з комутації пакетів, математична модель її представляється Марківським процесом. Робота цього процесу моделюється розподілом Пуассона:

$$P(x) \quad \frac{\lambda^x e^{-\lambda}}{x!}$$

і відповідно функція розподілу для моделювання часу в процесі Пуассона є експоненціальною функцією:

$$P(x) \quad (e^{-\lambda}$$

Відповідно до цієї моделі, лінія тренду для протоколу UDT – $P(x) = 2777e^{-0.47x}$ при $R^2 = 0.89$, а для UTP – $P(x) = 1778e^{-1.32x}$ при $R^2 = 0.86$.

Хоча при розмірах буфера до 1048576 час передачі за протоколом UTP менший за час передачі за протоколом UDT, після подальшого збільшення розміру буфера протокол UDT далі зберігає тенденцію до зменшення часу передачі, а UTP - час практично не змінюється в межах деякого коридору значень (Рис. 1). Це може говорити про те, що для протоколу UTP відбувається насичення швидкості, і він не може практично збільшити швидкість передачі. Для протоколу UDT також є така точка, але на рівні розміру буфера - 8388608. При цьому час передачі тестових файлів при оптимальних параметрах обидвох протоколів у 10 разів менший для протоколу UDT, що вже говорить про доцільність його використання у порівнянні з UTP.

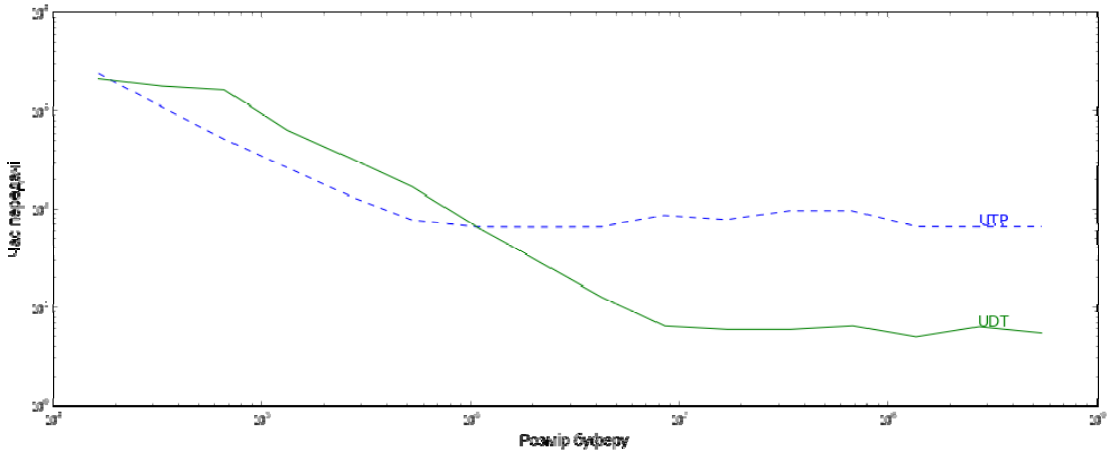


Рис. 1. Залежність часу передачі від розміру буфера

Враховуючи, що поточна швидкість змінюється в процесі передачі варто було б і її зміни проаналізувати. Для цього було отримано значення поточної швидкості в залежності від розміру буфера (Табл. 2). За даними значеннями поточної швидкості було обчислені їх середні значення для різних розмірів буфера та значення середньо-квадратичного відхилення.

Таблиця 2

Поточні швидкості передачі файлу і дисперсія швидкості

Розмір буферу	UTP		UDT	
	ϑ_{UTP}	σ_{UTP}	ϑ_{UDT}	σ_{UDT}
16384	0.08	0.0	0.09	0.22
32768	0.18	0.01	0.11	0.19
65536	0.38	0.03	0.12	0.32
131072	0.74	0.12	0.31	0.44
262144	1.46	0.31	0.59	0.91
524288	2.58	0.97	1.18	1.9
1048576	2.98	1.41	2.96	3.74
2097152	3.0	1.42	6.78	15.78
4194304	2.98	1.4	15.32	52.6
8388608	2.3	1.57	30.75	150.12
16777216	2.54	1.36	33.32	214.96
33554432	2.06	1.63	33.32	253.98
67108864	2.06	1.72	30.74	207.26
134217728	2.97	1.4	39.8	267.24
268435456	2.98	1.41	31.35	249.5
536870912	2.97	1.4	36.35	255.71

Як бачимо з результатів замірів поточних швидкостей передачі при низьких розмірах буфера (до 1048576) середня швидкість UTP і UDT є, практично, співрозмірними, хоча й UTP показує кращі результати. Для протоколу UDT спостерігається збільшення середньоквадратичного відхилення швидкості, що говорить про зміни швидкості в процесі передачі. Після переломного розміру буфера (8388608) відхилення швидкості стає досить суттєвим. Згідно практичних замірів при даних параметрах мережі середня швидкість протоколу передачі UDT в 10-15 разів вища за середню швидкість протоколом UTP.

Великі значення середньо-квадратичного відхилення вказують на значну зміну швидкості у процесі передачі, що негативно впливає на якість обслуговування клієнтів. Рис. 2 демонструє залежність поточної швидкості протоколу µTP на малих буферах стабільну та високу швидкість, як натомість UDT має дещо меншу швидкість і більш не стабільну, з різкими перепадами (про що й говорить більше значення середньо-квадратичного відхилення). Аналогічні процеси спостерігаються при збільшенні буферу до 2097152 байт.

При розмірі буфера 524288 графік швидкості (Рис. 3 явно показує як протокол µTP плавно збільшує

швидкість і стабільно її тримає, натомість UDT швидко розганяється і має більшу амплітуду коливань, що вказує на його неможливість стабільно втримувати швидкість.

Більш цікавим є результати на рис. 4. Рисунок чітко демонструє коливання швидкості протоколу UDT, що символізує швидкі спроби збільшити швидкість, але це приводить до швидкого заповнення буферу. При пустому буфері передача зупиняється для отримання даних у буфер, після чого швидкість знову зростає.

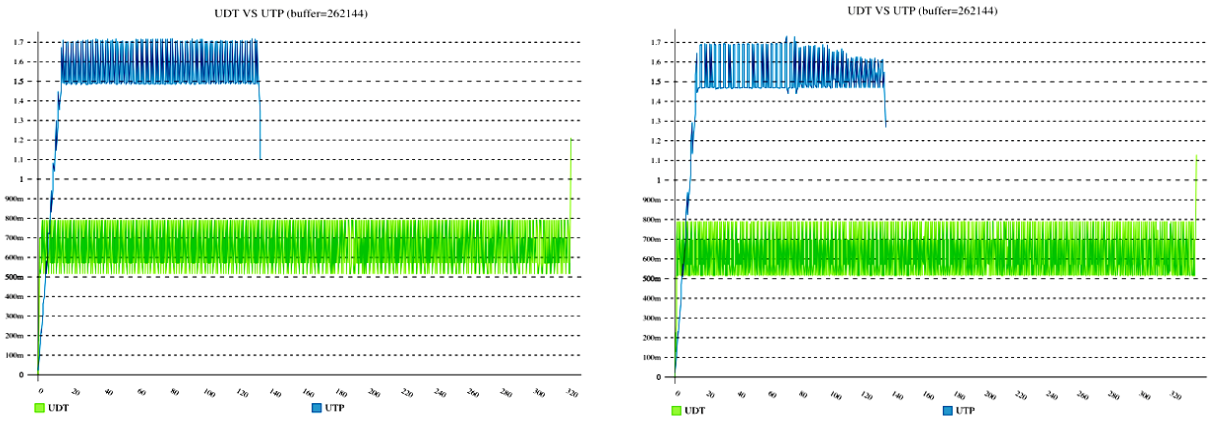
Іншим прикладом є рис. 5 на якому чітко видно коливання протоколу UDT, що символізує швидкі спроби збільшити швидкість при відносно малих втратах та швидке падіння швидкості для зменшення втрат. Даний алгоритм управління перевантаженням є стандартний алгоритм UDT, який може бути замінений на користувацький за необхідності.

Коли розмір буфера зростає більше 2097152 байт протокол UDT зміг збільшити швидкість передачі даних та заповнити до 78% каналу передачі даних. Натомість µTP, не зміг заповнити більше 7% каналу передачі даних. Однією з можливих причин може бути вміння сучасних маршрутизатурів та брандмауерів розрізняти протокол передачі даних торента (µTP) та примусово обмежувати його швидкість.

Дослідження показало, що для протоколів UDT та µT P величина буферу відіграє велику роль у швидкості передачі даних.

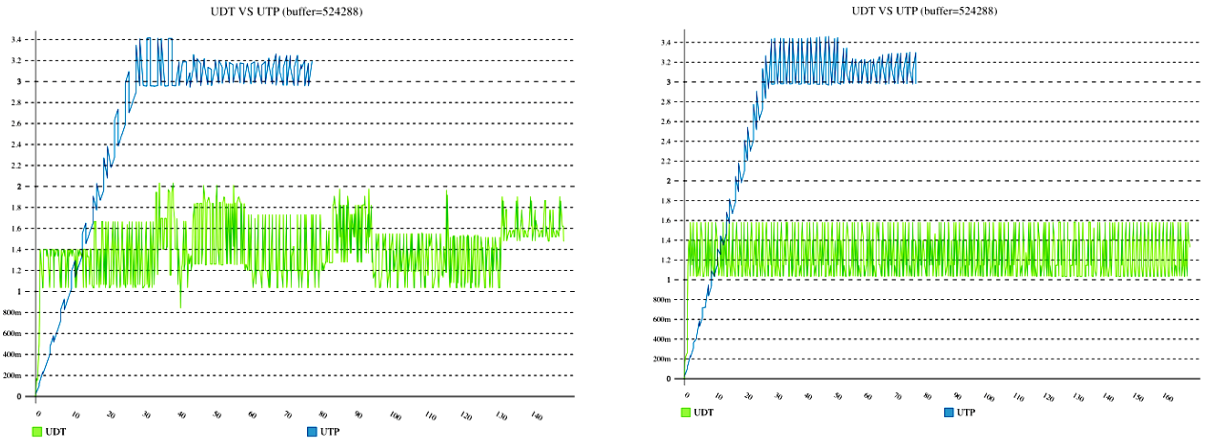
При своїй простоті та стабільності протокол µTP не дає бажаних результатів по швидкості.

В свою чергу протокол UDT при своїй нестабільній (велика амплітуда коливань) швидкості передачі даних дає кращі результати за швидкодією. А той фактор, що даний протокол має більш гнучку систему налаштування дає змогу розробникам більш точно сконфігурувати даний протокол, а заданий канал передачі даних, в порівнянні з µTP.



а) **б)**

Рис. 2. Швидкість передачі даних при буферах 262144 (а) EU – US (б) US – EU



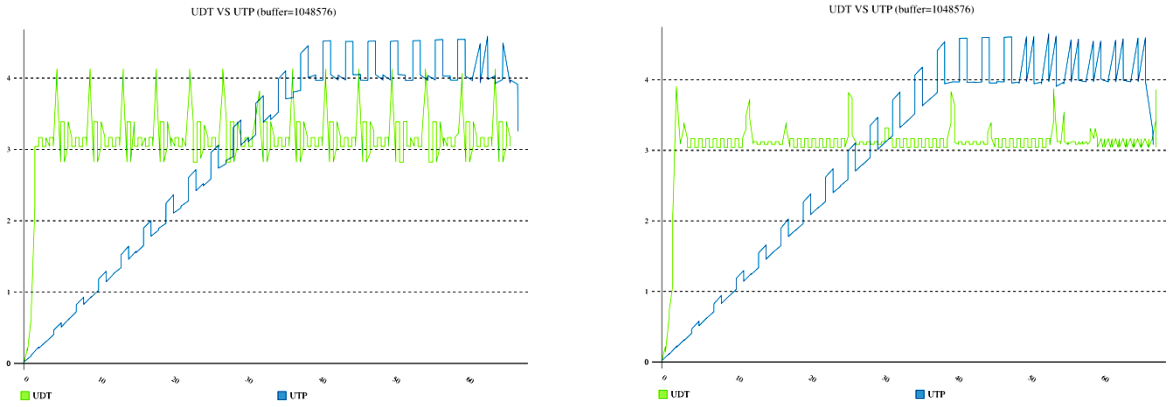
а) **б)**

Рис. 3. Швидкість передачі даних при буферах 524288 (а) EU – US (б) US – EU

Висновки

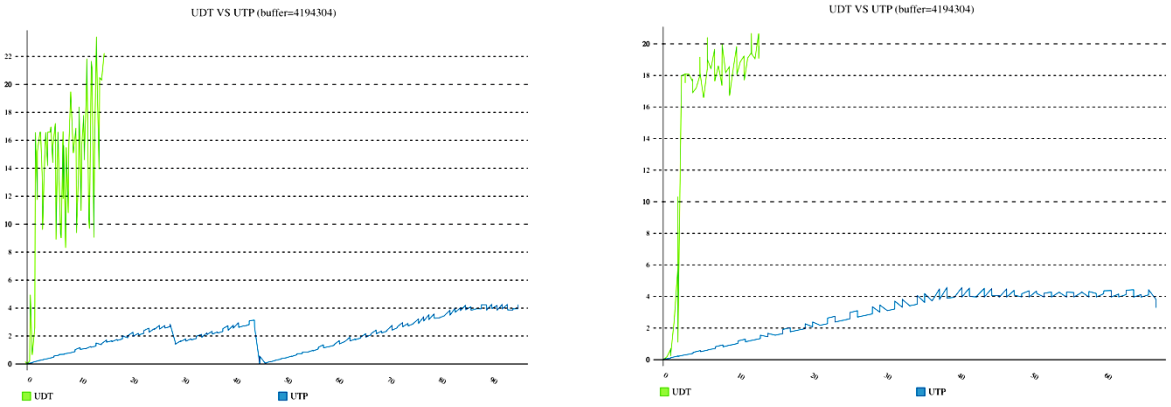
У результаті проведеного дослідження було встановлено, що для ефективної передачі даних через міжконтинентальний канал зв'язку необхідно використовувати протокол передачі даних UDT з достатньо великими буферами обміну (від 2MB до 8MB для 1Gb каналу зв'язку). Буфер обміну для UDT більше 8MB суттєво не впливає на швидкість передачі, але збільшує середньоквадратичне відхилення швидкості передачі. В свою чергу буфер менше 2MB для UDT дає гірші показники за µTP. Протокол µTP є більш стабільнішим щодо швидкості та є солідарними до інших протоколів. При використанні в хмаркових сховищах даних, сервери якого розміщені на різних континентах і пов'язані між собою високошвидкісною мережею, досить актуальним є висока швидкість передачі даних між серверами. Коливання швидкості не

суттєво впливають на роботу системи сховища. Тому отримані в результаті дослідження результати дозволяють зробити висновок про доцільність практичного використання протоколу UDT з достатньо великими буферами передачі для реалізації передачі даних між серверами хмаркового сховища. Практичні експерименти показали, що використання протоколу UDT на високошвидкісних мережах з великим часом затримки достатньо ефективне при збільшенні буферу передачі протоколу.



а) **б)**

Рис. 4. Швидкість передачі даних при буферах 1048576 (а) EU – US (б) US – EU



а) **б)**

Рис. 5. Швидкість передачі даних при буферах 4194304 (а) EU – US (б) US – EU

Література

1. Gu Yunhong, Grossman Robert L. UDT: UDP-based Data Transfer for High-Speed Wide Area Networks. Computer Networks (Elsevier). Vol. 51. May 2007.

2. Shin Sunae, Dhondge Kaustubh, Choi Baek-Young. Understanding the performance of TCP and UDP-based Data Transfer Protocols using EMULAB. First GENI Research and Educational Experiment Work- shop, Jointly with the 13th GENI Engineering Conference (GEC 13), March, Los Angeles, CA. Vol. 13. 2012.

3. A survey of lower-than-best-effort transport protocols. RFC 6297, IETF. Rep. RSM - Dépt. Réseaux, Sécurité et Multimédia (Institut Mines-Télécom-Télécom Bretagne-UEB), Department of informatics (University of Oslo) ; Executor: Michael Welzl, David Ros Sanchez. 2011. june.

4. Карпухін О. Порівняльний аналіз алгоритмів роботи TCP-протоколу при самоподібному трафіку у вузькому місці мережі / О. Карпухін, Л. Кіріченко, Т. Радівілова // Комп'ютерні науки та інформаційні технології. – 2010. – № 672(57). – P. 237–243.

References

1. Gu Yunhong, Grossman Robert L. UDT: UDP-based Data Transfer for High-Speed Wide Area Networks // Computer Networks (Elsevier). — Vol. 51. — May 2007.

2. Shin Sunae, Dhondge Kaustubh, Choi Baek-Young. Understanding the performance of TCP and UDP-based Data Transfer Protocols using EMULAB // First GENI Research and Educational Experiment Work- shop, Jointly with the 13th GENI Engineering Conference (GEC 13), March, Los Angeles, CA. Vol. 13. 2012.

3. A survey of lower-than-best-effort transport protocols. RFC 6297, IETF. Rep. RSM - Dépt. Réseaux, Sécurité et Multimédia (Institut Mines-Télécom-Télécom Bretagne-UEB), Department of informatics (University of Oslo) ; Executor: Michael Welzl, David Ros Sanchez: 2011. june.

4. Karpuchin O., Kirichenko L., Radivilova T. Comparative analysis of algorithms of TCP-protocol with self-similar traffic in a narrow place network // Computer Science and Information Technology. Vol. 672(57). 2010. P. 237–243.

Рецензія/Peer review : 4.3.2015 р. Надрукована/Printed :15.4.2015 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Шаховська Н.Б.

УДК 004.395.68

В.В. КОЗЛОВСЬКИЙ, А.В. МІЩЕНКО, В.В. ВАСЯНОВИЧ
Національний авіаційний університет, Київ, Україна

МЕТОДОЛОГІЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ В АВІАТРАНСПОРТНОМУ КОМПЛЕКСІ

У статті розглянуто один із найбільш перспективних напрямків захисту авіатранспортного комплексу неперервних послідовностей різнорідних операцій обробки потоку однорідних одиниць цього комплексу.

Ключові слова: комплекс різнорідних операцій, порушення безпеки, авіатранспортний комплекс.

V.V. KOZLOVSKII, A.V. MISHCHENKO, V.V. VASIANOVYCH
National Aviation University, Kyiv, Ukraine

METHODOLOGY OF INFORMATION SECURITY IN AIR TRANSPORT INFRASTRUCTURE

The article describes one of the most promising directions of protection of air transport complex of continuous sequences of heterogeneous processing operations of flow of homogeneous units of this complex. The methods of finding of optimal solutions for the protection and resource optimization of processes of the current type of the functioning of the air transport sector have been analysed. Algorithmic realization of the method of resource process optimization of this class is obvious and is not described in detail.

Keywords: complex of heterogeneous operations, security violation, air transport infrastructure.

Вступ

В сучасному світі постає проблема інформаційної безпеки в авіатранспортному комплексі. Такі проблеми відносять до основних задач менеджменту та економіки інформаційної безпеки – наукової організації складних процесів за критерієм максимально ефективного функціонування системи за призначенням та тендерних задач ресурсної оптимізації процесів поточного типу. На кожному етапі цих процесів існує імовірність порушення інформаційної безпеки тому і постає необхідність у пошуку оптимальних рішень для захисту.

До процесів «поточного» типу відносять неперервну послідовність (комплекс) різнорідних операцій «обробки» потоку однорідних одиниць основного ресурсу («засобу») для переведення кожної з початкового у потрібний стан – це так званий «конвеєрний» процес, наприклад:

Основна частина

Головне завдання будь-якої авіатранспортної інфраструктури – прийняти адекватне рішення щодо необхідності і захищеності в конкретних мінливих умовах. Сьогодні це стало дедалі складніше, оскільки все важче стало спрогнозувати, оцінити, яким чином Ваше рішення вплине на розвиток усієї проблемної системи. Тому сьогодні науковці знаходяться в пошуку методології, яка б адекватно оцінювала слабко структуровані системи та ОПР як особистість: зі своїм світобаченням, досвідом та інтуїцією.

Аналізуючи багатосторонню полеміку щодо питання формування інформаційної безпеки АТК, можна стверджувати, що його суть полягає в тому, щоб найскладніші проблеми і тенденції розвитку системи відобразити в спрощеному вигляді в моделі, досліджувати можливі сценарії виникнення кризових ситуацій, знайти шляхи та умови їх вирішення завдяки розв'язку задач економіки інформаційної безпеки. В першу чергу це забезпечує розумне використання ресурсів, які приймають участь в організації комплексної безпеки.

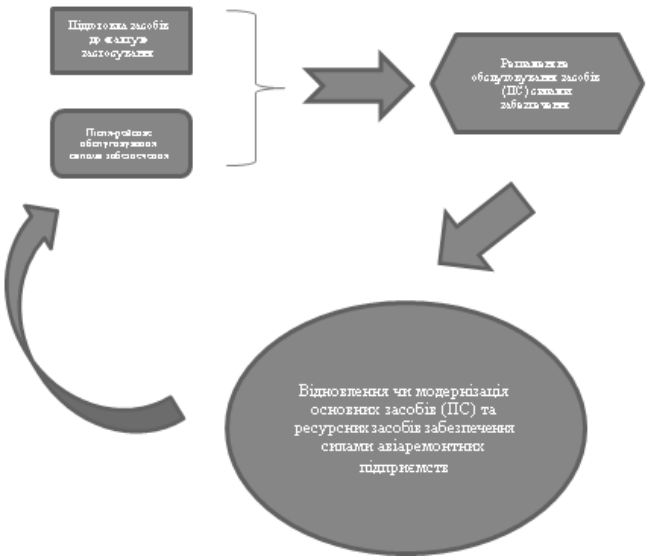


Рис. 1. Комплекс різнорідних операцій «обробки» потоку однорідних одиниць основного ресурсу для яких існує імовірність порушення безпеки

Основною ціллю формування інформаційної безпеки АТК є формування та уточнення гіпотези щодо функціонування досліджуваного об’єкту, що розглядається як слабко структурована система, яка складається з окремих внутрішніх і зовнішніх елементів, підсистем, що взаємодіють одне з одним, на основі структурної схеми причинно-наслідкових зв’язків.

Для формування інформаційної безпеки авіатранспортного комплексу необхідно знайти всі можливі способи нападу та можливості їх усунення. Тому для зручності розрахунків потрібно розділити його на етапи, для яких можливе використання основних задач менеджменту та економіки інформаційної безпеки.

Для початку розглянемо можливі варіанти нападу на АТ комплекс. На початковому етапі підготовки засобів до акту застосування можливі втрати інформації про вантаж, його кількість, важливість

та можливі засоби його захисту. Також інформація про маршрут, можливі зупинки та способи передбачення і анулювання можливих нападів. На етапі регламентного обслуговування силами забезпечення можливі втрати саме завдяки некомпетентності можливого керівництва. Такий тип втрат інформації зменшується завдяки збільшенню фінансування цього етапу для використання більш висококваліфікованих робітників. Третій етап повністю залежить від фінансування АТ комплексу. Модернізація і відновлення основних засобів захисту та поновлення ресурсів – основні завдання третього етапу (рис. 1).

Проілюструємо застосування елементів методології інформаційної безпеки для оцінки рівня інформаційної інфраструктури в системі, в якій повинні прийматися певні управлінські рішення, щодо розподілу коштів на інформаційну безпеку інфраструктури. Задача побудована на принципі групового характеру підготовки і прийняття управлінських рішень, необхідно зрозуміти, чим вони зумовлені і наскільки на ті рішення впливають внутрішні уявлення і знання кожного з команди. Велика частина інформації для прийняття управлінських рішень у цій ситуації є невідомою, а частина потребує прогнозу. Команди знають про ціль гри, але важко уявляють, механізм її досягнення. Внаслідок складності процесу підготовки та прийняття рішень в задачах захисту цієї системи, не можливості його обмеження виключно раціональним вибором, вважаємо доцільним використовувати методологію когнітивного моделювання.

Кожний етап потребує багато фінансових вливань, а наша задача пов'язана з необхідністю мінімізувати витрати на кожному етапі життєвого циклу АТ комплексу. Умовою ефективного захисту ресурсу забезпечення є відсутність його простою між «сусідніми» операціями процесу; це означає, що тривалість кожної операції «поточного» процесу (як їх послідовності) при даному ресурсі забезпечення повинна бути однаковою, тобто

$$\tau_j(y_j) = (\omega_j / y_j) = \tau, j = \overline{1,n}, \tag{1}$$

де n – кількість послідовних операцій процесу для одинці основного ресурсу;

τ_j – тривалість j-ї операції;

ω_j – трудомісткість j-ї операції;

y_j – кількість одиниць спеціалізованого ресурсу забезпечення для захисту j-ї операції;

τ – потрібна тривалість кожної операції поточного процесу.

Для кожного виду ресурсу, наприклад, пасажирських ПС різного класу (різної місткості, дальності та швидкості польоту) визначається потрібність захисту одиниць кожного виду із n –

$$A = \left\langle A_j, j = \overline{1,n} \right\rangle, \ AS = \sum_{j=1}^{n} A_j . \tag{2}$$

З формули бачимо, що для забезпечення кращого захисту ми можемо або зменшити кількість одиниць для захисту, що для нас є небажаним, або проводити модернізацію для укріплення основних пунктів захисту і розширення можливих варіантів спроб нападу, для кращого захисту. Це робить можливим знаходження більш зручних і ефективних способів захисту.

Обстеження ринку m постачальників способів модернізації дає можливість проаналізувати всі можливі варіанти розширення та відтворення інформації:

$$B = \left\langle B_i, i = \overline{1,m} \right\rangle, \ BS = \sum_{i=1}^{m} B_i \tag{3}$$

та ціни на продукцію –

$$C = \left\| c_{ij} \right\|_{m \times n}, \tag{4}$$

де c_{ij} – ціна одиниці ресурсу j-го класу у i-го постачальника.

Планом нападів і захисту є матриця

$$X = \left\| x_{ij} \right\|_{m \times n}, \tag{5}$$

елементом якої x_{ij} є кількість одиниць ресурсу j-го класу, що захищається. Вартість даного плану X –

$$CS(X) = \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} c_{ij} x_{ij} . \tag{6}$$

Виникає наступна («тендерна») задача нападів і захисту даного виду ресурсу – на множині планів $\{X\}$ нападів (стовпчики матриці X) і захисту (стрічки матриці X), кожний котрих (5) задовольняє умову на можливий об'єм поставок –

$$WS(X) = \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} x_{ij} \geq WS, \tag{7}$$

Постає завдання знайти такий (оптимальний) план :

$$X^o = \left\| x_{ij}^o \right\|_{m \times n}, \tag{8}$$

який мінімізує загальну вартість плану (захисту) –

$$CS(X^o) = \min_{\{X\}} CS(X) = \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} c_{ij}x_{ij}^o \cdot \quad (9)$$

Це задача лінійного програмування (ЛП) з матричним аргументом, яка належить до класу «транспортних» задач (ТЗ) ЛП і звичайно вирішується методом «потенціалів» чи симплексним методом.

Недоліком симплексного методу для ТЗ є необхідність «розгортання» матричного аргументу у векторний (по стрічкам матриці) [5], що тягне за собою нетривіальні і громіздкі процедури «пере-нумерації» змінних і констант обмежень і цільової функції, породжує розширену матрицю системи з розмірністю на декілька порядків більшою, а ніж у вихідної матриці плану, та з більшістю «нульових» елементів.

Згідно з (1), при відомій «трудомісткості» (чи «трудовитратах») операцій процесу –

$$\Omega = \left\langle \omega_j = (y_j\tau_j), j = \overline{1,n} \right\rangle \quad (10)$$

потрібний ресурс захисту для кожної операції (компонента плану розподілу *Y*) знаходиться з очевидного рівняння – обмеження

$$\frac{\omega_j}{y_j} = \tau, j = \overline{1,n}. \quad (11)$$

Остаточно –

$$Y^o = \left\langle y_j^o = (\omega_j/\tau), j = \overline{1,n} \right\rangle. \quad (12)$$

Для обмеження «оберненої» задачі –

$$TS(Y) = \sum_{j=1}^{n} \frac{\omega_j}{y_j} \le TS^{npun} = (\tau n), \quad (13)$$

тобто для

$$\tau = (TS^{npun}/n), \quad (14)$$

Недоліком як симплексного методу, так і методу «потенціалів» є необхідність введення «фіктивних» постачальників чи замовників при незбалансованості задач по ресурсах, коли не всі нерівність (7) виконується. Крім того, ітераційна процедура симплексного методу й методу «потенціалів» є повним перебором можливих варіантів покращення поточного плану, тобто не має «градієнтної» евристики.

Тому для вирішення даної задачі ЛП з матричним аргументом найбільш ефективним є ітераційний метод «динамічної ефективності» поточного рішення («динамічної ефективності» ДЕ), який вільний від усіх недоліків відомих методів і алгоритм якого полягає у наступному.

1) Початкові присвоювання:

поточні (в ітераціях процесу) та загальні «потреби» замовників

$$a_j := A_j, j = \overline{1,n};\ \ sa := \text{sum}(a_j, j = \overline{1,n}); \quad (15)$$

поточні (в ітераціях процесу) та загальні «запаси» постачальників –

$$b_i := B_i, i = \overline{1,m};\ \ sb := \text{sum}(b_i, i = \overline{1,m}) \quad (16)$$

та можливий загальний об'єм поставок – $ws = \min\{sa, sb\}$; значення компонент плану –

$$X = \left\| x_{ij} := 0 \right\|_{m\times n}, \quad (17)$$

матриця можливих об'ємів поставок –

$$\left\| \delta_{ij} := \min(a_j, b_i) \right\|_{m\times n}, \quad (18)$$

матриця «динамічної ефективності» поточного плану –

$$\left\| \varepsilon_{ij} := (\delta_{ij}/c_{ij}) \right\|_{m\times n}, \quad (19)$$

точність *eps* розв'язання задачі (в од. ресурсу), наприклад, *eps:*=1;

загальний поточний об'єм поставок *w:=ws*; номер ітерації – *k:*=0.

2) Ітераційна процедура для *k*-ї ітерації:

Крок 1. *k:=k*+1.

Крок 2. Пошук глобально максимальної ПЕ на матриці (14) – $\varepsilon_{rs} := \max_i \max_j \varepsilon_{ij}$ (20)

Крок 3. Присвоювання –

$$\begin{aligned} x_{rs} &:= x_{rs} + eps; \\ a_s &:= a_s - eps; \\ b_r &:= b_r - eps; \\ w &:= w - eps. \end{aligned} \quad (21)$$

Крок 4. Перевірка умови –

$$w=0. \quad (22)$$

Якщо «так», то вихід до пункту 3 алгоритму рішення задачі (кінець ітераційної процедури).

3) Розв'язання задачі (стан для останньої *k*-ї ітерації):
оптимальний план – матриця

$$X^o = \left\| x_{ij}^{(k)} \right\|_{m \times n}; \tag{23}$$

нестача ресурсу у замовників –

$$a_j^{(k)}, j = \overline{1,n}; \tag{24}$$

залишок ресурсу у постачальників –

$$b_i^{(k)}, i = \overline{1,m}; \tag{25}$$

загальний можливий об'єм поставок – *ws*;
обчислення (мінімальної) вартості оптимального плану –

$$CS(X^o) = \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} c_{ij} x_{ij}^o . \tag{24}$$

Зміст «питомої ефективності» визначається виразом (19) – це очікувана (умовна для *k*-ї ітерації) продуктивність витрат (при відповідній ціни) на постачання одиниці ресурсу для матриці можливих об'ємів (18). Зрозуміло, що ітераційна процедура методу дозволяє вирішувати задачі з системою (декількома матрицями, як у задачі оптимального розташування) обмежень; «приріст» значення надається змінній є глобально (по усіх обмеженнях) максимальною ДЕ. Отже, розроблено ітераційну задачу для пошуку і вирішення завдань інформаційної безпеки, яка відрізняється від відомих тим, що зв'язок між факторами АТК розкривається до відповідного рівняння, яке може містити як кількісні (вимірювані) змінні, так і якісні (не вимірюються) змінні, що дає можливість використовувати для аналізу неповну, нечітку і навіть суперечливу інформацію. Набула подальшого розвитку дана ітеративна система аналізу неструктурованих даних, яка на відміну від відомих враховує вплив помилок експерта за допомогою спеціальних програмних модулів і підсистем, що враховують особливості організації людської системи вимірювання, оцінки та переробки суб'єктивної інформації, що дозволило побудувати систему концептуального моделювання і запропонувати технічне рішення, яке може здійснювати безперервний моніторинг стану інформаційної безпеки, породження і перевірки гіпотез механізмів розвитку та механізмів управління інформаційною безпекою.

Висновки

Таким чином, розглянуті способи знаходження оптимальних рішень для захисту та ресурсної оптимізації процесів поточного типу функціонування авіатранспортного комплексу. Оптимальне рішення прямих й обернених задач надається єдиною аналітичною розрахунковою формулою (5) під час обчислення відповідного значення параметра τ для кожної задачі. Алгоритмічна реалізація наданого методу ресурсної оптимізації процесу даного класу є очевидною (розрахунок по формулах) і тому докладно не розглядається. Окремо відмітимо, що засобом «градієнтного спрямування» наданої ітераційної процедури є саме евристика про динамічну ефективність ДЕ; ітерація потребує перерахування стрічки й стовпчику матриці ДЕ, на відзнаку від повного перерахування симплекс-таблиці. Даний метод не потребує жодних спеціальних процедур приведення задачі до «регулярної» за будь-яких варіантів незбалансованості за запасами і замовленнями ресурсу і має абсолютну збіжність. Кількість ітерації дорівнює загальної кількості одиниць ресурсу, яка розподіляється, тобто на кожній ітерації розподіляється *1* ресурсу найкращім чином для загального значення цільової функції.

Література

1. Качинський А.Б. Безпека, загрози, ризик. Наукові концепції та математичні методи / Качинський А.Б. / Інститут проблем національної безпеки. Національна академія служби безпеки України. – Київ, 2004. – 470 с.

2. Самарский А.А. Численные методы / Самарский А.А. Гулин А.В. – М. : Наука, 1989. – 432 с.

3. Справочно-информационній портал [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.dic.academic.ru

References

1. Katshinskiy A.B. Bezpeka, zagrozy, ryzyk. Naukovi kontseptsii ta matematychni metody. The National Academy of Security Service of Ukraine, Kyiv, 2004. 470 p.

2. Samarskii A.A., Gulin A.V. Tshislennie metody. M.: "Nauka" 1989. 432 p.

3. Reference - information portal. URL: http://www.dic.academic.ru.

Рецензія/Peer review : 30.3.2015 р. Надрукована/Printed :15.4.2015 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Троцишин І.В.

УДК 004.715

К.С. РУДАКОВ, В.М. ЛУКАШЕНКО, Т.Ю. УТКІНА
Черкаський державний технологічний університет, Україна

ДВОКВАДРАНТНА ОБРАЗНО-ЗНАКОВА МОДЕЛЬ ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОГО МАРШРУТИЗАТОРА

Проведено системний аналіз сучасних бездротових маршрутизаторів, за результатами якого складено перелік їх фірм, типів та основних технічних характеристик на основі евристичного методу. Розроблена двоквадрантна образно-знакова модель визначення ефективного маршрутизатора за рахунок багатопараметричних критеріїв на основі теорії неповної подібності та розмірностей. Відмінною особливістю є те, що кожний багатопараметричний критерій подібності є безрозмірною величиною, вміщує декілька визначальних величин, значення яких мають об'єктивний характер, й має фізичне тлумачення. Це дозволяє скоротити час на етапі проектування сучасних інформаційно-комунікаційних мереж за рахунок візуалізації визначення ефективного маршрутизатора з множини існуючих рішень та аналогів відомих фірм виробників комунікацій мереж за основними технічними характеристиками.

Ключові слова: образно-знакова модель, бездротовий маршрутизатор, інформаційно-комунікаційні мережі, критерії подібності, теорія неповної подібності та розмірностей.

K.S. RUDAKOV, V.M. LUKASHENKO, T.YU. UTKINA
Cherkasy state technological university, Ukraine

A TWO-QUADRANT SHAPE-SIGN MODEL OF DETERMINATION OF EFFECTIVE ROUTER

Abstract – A system analysis of modern wireless routers, which resulted compiled a list of companies, types and basic technical characteristics based on heuristic method, is conducted. A two-quadrant shape-sign model of determination of effective router is developed through multiparametric criteria based on the theory of incomplete similarity and dimensions. A distinctive feature is that every multiparametric similarity criterion is a dimensionless quantity, contains several defining quantities whose values are objective in nature, and have a physical interpretation. This allows reducing time during the design phase of modern information and communication networks through visualization determining the effective router from a variety of existing solutions and analogy known manufacturers of communications networks on the main technical characteristics.

Keywords: shape-sign model, wireless router, the information and communication networks, similarity criteria, the theory of incomplete similarity and dimensions.

Вступ. Актуальність теми

В наш час повсюдне використання інформаційно-комунікаційних мереж є невід'ємною частиною сучасного суспільства. Такі мережі мають різне призначення (передачі даних, голосу, відео), використання (корпоративні, спеціальні, публічні) і масштаби, починаючи від локальних мереж масштабу підприємства і закінчуючи глобальними.

Останнім часом великого поширення набули бездротові мережі зв'язку. З кожним роком завдання, покладені на мережі передачі даних, значно ускладнюються, внаслідок чого ускладнюється її внутрішня структура і принципи організації, а також зростає потреба в ефективній маршрутизації трафіку. Розвиток бездротових мережевих технологій спрямований на: збільшення швидкості передачі даних, підвищення ступеня мобільності користувачів, розширення кількості надаваних послуг, поліпшення ступеня використання радіочастотного спектру і ступеня інтелектуальності мережевого та абонентського обладнання [1–3].

Необхідність забезпечення якісного обслуговування трафіку в сучасних інформаційно-комунікаційних мережах обумовлює високі вимоги до ефективності передачі пакетів даних від відправника до одержувача. Найважливішою умовою підвищення конкурентоспроможності підприємств в умовах ринку є впровадження нових сучасних інформаційно-комунікаційних технологій, різних методів прискорення маршрутизації, підтримки необхідної якості обслуговування, передачі голосового і відео трафіку, підвищення рівня безпеки мережі тощо [1].

Тому для реалізації інформаційно-комунікаційних мереж сьогодні виробники пропонують широкий набір апаратних і програмних засобів, що підтримують як традиційні, так і нові технології мережі. Мережеві рішення цих фірм виробників можуть відповідати як міжнародним, так і оригінальним фірмовим стандартам. Фахівцям в галузі телекомунікації необхідно володіти глибокими знаннями мережевих технологій та їх особливостей. Проектування та технічна експлуатація мереж неможливі без правильного розуміння фізичних процесів, що відбуваються в них, а також знань архітектури транспортних мереж, протоколів й обладнання [2].

Результати досліджень бездротових інформаційно-комунікаційних мереж й окремо маршрутизаторів представлені в роботах М.В. Діброва, Д. Леінванда, М. Геворкяна, Е. Уітакера, W. Dally, C. Seitz, G. Pankaj, R. Baumann, E.M. Royer, S. Singh, L. Zhang, C.E. Perkins, A.I. Колибельнікова, B.M

Вишневського та ін.

Проте у цих роботах недостатньо наочно відображено багатокритеріальне порівняння сучасних бездротових маршрутизаторів за основними технічними характеристиками.

Відтак, визначення ефективного обладнання для організації бездротової маршрутизації з множини існуючих рішень та аналогів відомих фірм виробників комунікацій мереж за основними технічними характеристиками при проектуванні сучасних інформаційно-комунікаційних мереж є актуальною задачею.

Постановка задачі

Метою роботи є розробка двоквадрантної образно-знакової моделі визначення ефективного маршрутизатора на основі використання властивостей теорії неповної подібності та розмірностей.

Для досягнення поставленої мети необхідно:

- скласти перелік фірм та типів сучасних бездротових маршрутизаторів з їх основними технічними характеристиками;
- розробити багатопараметричні критерії подібності за визначальними величинами на основі властивостей теорії неповної подібності та розмірностей, фізичного моделювання та евристичного методу;
- скласти критеріальні рівняння для сучасних бездротових маршрутизаторів відповідно до визначальних величин;
- розробити образно-знакову модель визначення ефективного маршрутизатора в безрозмірних координатах.

Результати досліджень

Основою швидкого розвитку та повсюдного поширення бездротових мереж передачі даних слугують такі їх характеристики, як:

- *мобільність* – незалежність від дротів, кабелів надає можливість легко та швидко змінювати місце розташування комп'ютерів в зоні покриття точки доступу. При переїзді з одного приміщення до іншого мережу можна легко монтувати та демонтувати;
- *дальність дії мережі* – сучасні стандарти технології Wi-Fi дозволяють перебувати в зоні покриття мережі до 300 м, застосування антени з підсилювачем – до 7 км залежно від кількості та виду різного роду завад;
- *швидкість* – з появленням кожного нового стандарту в мережах Wi-Fi, передача інформації відбувається на більш високій швидкості, що досягається завдяки застосуванню нових технологій та різних методів кодування;
- *безпека інформації* – обладнання мережі Wi-Fi відповідає жорстким нормам безпеки. Застосовуються різноманітні методи шифрування, збільшились вимоги до аутентифікації користувачів, застосовуються досить стійкі до несанкціонованого доступу в мережу програмні комплекси. Також із збільшенням кількості стандартів технології Wi-Fi застосовується все більше методів кодування;
- *зниження вартості експлуатації* – бездротові мережі зменшують вартість встановлення та експлуатації, оскільки вони не потребують кабельних з'єднань [3].

Основним джерелом поширення бездротового сигналу є бездротовий маршрутизатор.

На даний час існує досить великий набір сучасних типів маршрутизаторів різних фірм виробників, які підтримують різноманітні стандарти, мають індивідуальні технічні характеристики. Вибір відповідного ефективного обладнання у таких умовах дуже важкий й потребує тривалого часу при проектуванні сучасних інформаційно-комунікаційних мереж.

Оскільки бездротові технології постійно розвиваються, то доцільно дати характеристики найпопулярнішим сучасним типам бездротових маршрутизаторів, що підтримують стандарт 802.11n.

Для вирішення поставленої задачі проведено системний аналіз, складено перелік основних технічних характеристик (табл. 1) сучасних фірм та типів бездротових маршрутизаторів на основі евристичного методу, розроблені багатопараметричні критерії подібності, в яких основними визначальними величинами є: $Q_{\max}$ – максимальна допустима робоча температура; $Q_{\min}$ – мінімальна допустима робоча температура; f – частота процесора; V_{RAM} – об'єм ОЗП; V_{Flash} – об'єм ПЗП; υ – максимальна швидкість.

Пропонується використовувати властивості теорії неповної подібності та розмірностей, фізичне моделювання і на основі евристичного методу розробити умовні критерії подібності [4–13].

Узагальнений математичний опис, що пов'язує основні технічні характеристики сучасних бездротових маршрутизаторів, наведених в табл. 1, має наступний вигляд:

$$\Phi\left(Q_{\max}, Q_{\min}, f, \upsilon, V_{RAM}, V_{Flash}\right) = 0. \quad (1)$$

Таким чином, з основних технічних характеристик бездротових маршрутизаторів створюється перелік визначальних величин, тобто їх значення адекватні характеристикам в табл. 1.

Таблиця 1

Основні технічні характеристики бездротових маршрутизаторів, що підтримують стандарт 802.11 n

№	Фірма, тип маршрутизатора	Діапазон роб. температур, К		Частота процесора f, МГц	Об'єм ОЗП V_{RAM}, Мбіт	Об'єм ПЗП V_{Flash}, Мбіт	Швидкість максимальна υ, Мбіт/с
		$Q_{\min}$	$Q_{\max}$				
1	Airlink101 AR670W	273	318	266	256	32	150
2	Airlink101 AR690W	273	313	266	256	32	300
3	Asus RT-N10	273	318	300	128	32	150
4	Asus RT-N12	273	313	300	256	32	300
5	Asus RT-N16	273	328	480	1024	256	300
6	Cisco Linksys E2000	273	313	354	256	64	300
7	Cisco Linksys E3000	273	313	480	512	64	300
8	Cisco Linksys WRT 150N	273	313	264	256	32	300
9	Cisco Linksys WRT 160N	273	313	266	256	32	300
10	Cisco Linksys WRT 300N	273	313	264	256	64	300
11	Cisco Linksys WRT 400N	273	313	680	512	64	300
12	D-Link DIR-412	273	313	320	256	32	150
13	D-Link DIR-825	273	313	560	1024	128	300
14	ARGtek ARG-1210	233	353	333	128	32	300
15	ALFA Network AIP-W525H	253	333	390	256	64	300

При застосуванні теорії неповної подібності, визначальних величин за даними табл. 1, формули (1) та при використанні евристичного методу визначення багатопараметричних критеріїв подібності критеріальне рівняння набуває вигляду:

$$\Phi_1\left(\frac{Q_{\max}-Q_{\min}}{Q_{\max}};\frac{\upsilon}{f\cdot V_{RAM}};\frac{V_{Flash}}{V_{RAM}}\right)=0, \qquad (2)$$

де фізичне тлумачення критеріїв подібності можливо розглядати наступним чином:

$\left[\frac{Q_{\max}-Q_{\min}}{Q_{\max}}\right]$ – безрозмірна величина, що характеризує робочий температурний діапазон;

$\left[\frac{\upsilon}{f\cdot V_{RAM}}\right]$ – безрозмірна величина, пропорційна коефіцієнту швидкості;

$\left[\frac{V_{Flash}}{V_{RAM}}\right]$ – безрозмірна величина, що характеризує коефіцієнт функціональних можливостей.

На базі критеріального рівняння (2) і даних основних технічних характеристик бездротових маршрутизаторів (табл. 1) розроблена двоквадрантна образно-знакова модель визначення ефективного маршрутизатора в безрозмірних координатах представлена на рис. 1.

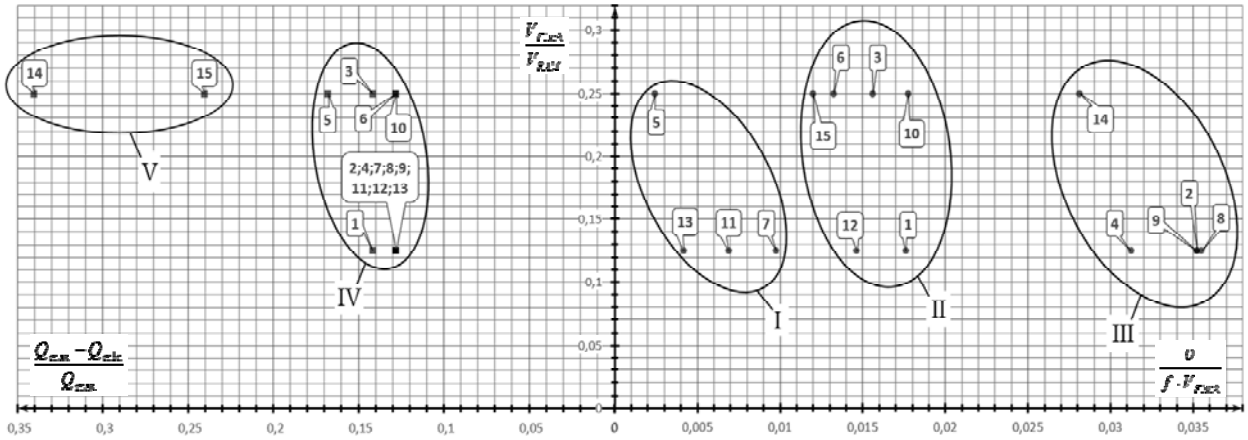


Рис. 1. Двоквадрантна образно-знакова модель визначення ефективного маршрутизатора в безрозмірних координатах
Примітка: цифри – 1, 2, … 13 відповідають порядковому номеру бездротових маршрутизаторів, наведених в табл. 1.

Розроблені багатопараметричні критерії обраних бездротових маршрутизаторів, що досліджуються, утворюють множину з п'яти груп: I, II, III, IV та V.

Візуалізація побудованих залежностей (рис. 1) забезпечує визначення ефективних типів сучасних бездротових маршрутизаторів за основними технічними параметрами. Найвищий показник коефіцієнта швидкості серед груп I–III груп мають типи № 2, 8, 9 групи III, тобто бездротові маршрутизатори Airlink101 AR690W, Cisco Linksys WRT 150N та Cisco Linksys WRT 160N на відміну від маршрутизатора ARGtek ARG-1210 (№ 14), що входить до цієї ж групи, проте має значно менший показник коефіцієнта швидкості й більший коефіцієнт функціональних можливостей. В групі II найвищий коефіцієнт функціональних можливостей мають типи № 3, № 6, № 10, № 15. В групі I найвищий коефіцієнт функціональних можливостей належить маршрутизатору Asus RT-N16 (№ 5), а пристрої № 7, № 11, № 13 мають перевагу за коефіцієнтом швидкості.

За температурним діапазоном найкращою є V група, до якої увійшли два бездротових маршрутизатора (№ 14, № 15): ARGtek ARG-1210 і ALFA Network AIP-W525H.

Таким чином, проведений аналіз найкращих груп (III, V) виявив, що найкращими характеристиками за сукупністю параметрів володіє бездротовий маршрутизатор ARGtek ARG-1210 (№ 14).

Подальше дослідження доцільно проводити з використанням більшої кількості бездротових маршрутизаторів за допомогою теорії неповної подібності та розмірностей.

Висновки

1. За результатами проведеного системного аналізу фірм і типів сучасних бездротових маршрутизаторів складено на основі евристичного методу перелік їх основних технічних характеристик: максимальна допустима робоча температура, мінімальна допустима робоча температура, частота процесора, об'єм ОЗП, об'єм ПЗП, максимальна швидкість, які є визначальними величинами при визначенні ефективного пристрою.
2. Створені багатопараметричні критерії подібності, що ґрунтуються на основі фізичного моделювання та властивостях теорії неповної подібності та розмірностей.
3. Побудована двоквадрантна образно-знакова модель визначення ефективного маршрутизатора на основі теорії неповної подібності та розмірностей, що дозволяє скоротити час на етапі проектування сучасних інформаційно-комунікаційних мереж. Відмінною особливістю є те, що кожний багатопараметричний критерій подібності є безрозмірною величиною, вміщує декілька визначальних величин, значення яких мають об'єктивний характер, й має фізичне тлумачення.
4. Візуалізація ефективності визначеного типу маршрутизатора з множини існуючих рішень та аналогів відомих фірм виробників комунікацій мереж за основними технічними характеристиками дозволила одночасно за найкращими показниками коефіцієнта швидкості, коефіцієнта функціональних можливостей та достатнім робочим температурним діапазоном виділити бездротовий маршрутизатор ARGtek ARG-1210.

Література

1. Михайленко В. С. Использование алгоритма Такаги-Сугено в адаптивних методах маршрутизации компьютерных сетей / В. С. Михайленко, А. М. Асланов, М. С. Солодовник // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2014. – № 1 (65). – С. 82–87.
2. Воробиенко П. П. Принципы организации сетей с коммутацией пакетов : учеб. пособ. / П. П. Воробиенко, О. Л. Нечипорук, М. И. Струкало. – Одесса : УГАС им. А. С. Попова, 2000. – 101 с.
3. Пахомов С. Анатомия беспроводных сетей / С. Пахомов // КомпьютерПресс. – 2002. – № 7. – С. 167–175.
4. Лукашенко А. Г. Лазерная сварка тонколистовой нержавеющей стали модулированным излучением / А. Г. Лукашенко, Т. В. Мельниченко, Д. А. Лукашенко // Автоматическая сварка. – 2012. – № 4. – С. 19–23.
5. Эффективный метод анализа сложных моделей и их компонентов для специализированного лазерного технологического комплекса / А. Г. Лукашенко, В. М. Лукашенко, И. А. Зубко та ін. // Вісник ЧДТУ. – 2011. – № 4. – С. 42–47.
6. Метод візуалізації для вибору сучасних базових компонентів мікропроцесорних систем керування / В. М. Лукашенко, Т. Ю. Уткіна, М. В. Чичужко та ін. // Aktualne problemy nowoczesnych nauk – 2013 : materiały IX Międzynarodowej naukowi-praktycznej konferencji : (07–15 czerwca 2013 roku, Przemyśl, Польща). – Przemyśl : Nauka i studia, 2013. – Т. 30. – С. 14–18.
7. Лукашенко А. Г. Виявлення резерву предмета дослідження на основі теорії неповної подібності та розмірностей / А. Г. Лукашенко, О. А. Кулигін, В. М. Лукашенко // Вісник Хмельницького національного університету. – 2009. – № 3. – С. 184–187.
8. Уткіна Т. Ю. Узагальнена біометрична модель доступу до мікропроцесорної системи керування спеціалізованого лазерного технологічного комплексу / Т. Ю. Уткіна, О. С. Вербицький, А. Г. Лукашенко // Вісник Хмельницького національного університету. – 2012. – № 1. – С. 131–136.
9. Systematization and qualitative assessment of models of access for laser technological complex based on

biometrics / O. S. Verbytskiy, S. A. Mitsenko, T. Yu. Utkina, A. G. Lukashenko, V. M. Lukashenko // Nauka i studia. – Przemysl, 2012. – № 3 (48). – P. 121–126.

10. Utkina T. Yu. Development of the Multiple Criteria Model of Qualitative Assessment of Modern Pulse Reflectometers / T. Yu. Utkina // Вісник ЧДТУ. – 2013. – № 2. – С. 40–43.

11. Знаковая модель качественной оценки современных компонентов маршрутизаторов / В. М. Лукашенко, К. С. Рудаков, А. Г. Лукашенко, С. А. Миценко // Вісник НТУУ "КПІ". Серія приладобудування. – 2013. – № 45. – С. 142–148.

12. Швидкодіючий метод візуалізації вибору сучасних мікроконтролерів / А. Г. Лукашенко, К. С. Рудаков, Р. Є. Юпин, Д. А. Лукашенко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2011. – № 4/9 (52). – С. 63–65.

13. Лукашенко В. М. Метод розширення функціональних можливостей сучасних мікроконтролерів / В. М. Лукашенко, М. В. Чичужко, Д. А. Лукашенко // Вісник Хмельницького національного університету. – 2013. – № 6. – С. 186–189.

References

1. V. S. Mikhailenko, A. M. Aslanov, M. S. Solodovnyk. Using Takagi-Sugeno algorithm in adaptive routing method of computer networks, Radioelectronic and computer systems, 2014, Issue 1 (65), pp. 82–87.

2. Vorobienko P. P., Nechiporuk O. L., Strukalo M. I. Principles of organization of packet-switched networks, Odessa, UGAS named A. S. Popov, 2000, 101 p.

3. S. Pakhomov Anatomy of wireless networks, ComputerPress, 2002, Issue 7, pp. 167–175.

4. G. Lukashenko, T. V. Melnichenko, D. A. Lukashenko. Laser welding of stainless steel sheet modulated radiation, The Paton Welding Journal, 2012, Issue 4, pp. 19–23.

5. G. Lukashenko, V. M. Lukashenko, I. A. Zubko and others. The effective method for analysis of complex models and their components for specialized laser technological complex, Bulletin of Cherkasy State Technological University, 2011, Issue 4, pp. 42–47.

6. V. M. Lukashenko, T. Yu. Utkina, M. V. Chichuzhko and others. Method of visualization to select the basic components of modern microprocessor control systems. Aktualne problemy nowoczesnych nauk – 2013 : materiały IX Międzynarodowej naukowi-praktycznej konferencji, Przemyśl, Poland, Nauka i studia, 2013, Vol. 30, pp. 14–18.

7. G. Lukashenko, O. A. Kulygin, V. M. Lukashenko. Detection reserve the research subject based on the theory of incomplete similarity and dimensions, Herald of Khmelnytsky National University, Technical sciences, Khmelnitsky, 2009, Issue 3, pp. 184–187.

8. T. Yu. Utkina, O. S. Verbitsky, A. G. Lukashenko. The generalized biometric access model for control system microprocessor of specialized laser technological complex, Herald of Khmelnytsky National University, Technical sciences, Khmelnitsky, 2012, Issue 1, pp. 131–136.

9. O. S. Verbytskiy, S. A. Mitsenko, T. Yu. Utkina, A. G. Lukashenko, V. M. Lukashenko. Systematization and qualitative assessment of models of access for laser technological complex based on biometrics, Przemysl, Nauka i studia, 2012, Issue 3 (48), pp. 121–126.

10. T. Yu. Utkina. Development of the multiple criteria model of qualitative assessment of modern pulse reflectometers, Bulletin of Cherkasy State Technological University, 2013, Issue 2, pp. 40–43.

11. V. M. Lukashenko, K. S. Rudakov, A. G. Lukashenko, S.A. Mitsenko. A sign model of quality assessment components of modern routers, "Bulletin of NTUU "KPI". Instrument Engineering", 2013, Issue 45, pp. 142–148.

12. G. Lukashenko, K. S. Rudakov, R. E. Yupin, D.A. Lukashenko. The fast method of visualization of choice of modern microcontrollers, Eastern-European Journal of enterprise technologies, 2011, Issue 4/9 (52), pp. 63–65.

13. V. M. Lukashenko, M.V. Chichuzhko, D. A. Lukashenko The method of expansion of functional possibilities of modern microcontrollers, Herald of Khmelnytsky National University, Technical sciences, Khmelnitsky, 2013, Issue 6, pp. 186–189.

Рецензія/Peer review : 2.3.2015 р. Надрукована/Printed :15.4.2015 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Рудницький В.М.

УДК 681.519:622.276

С.В. ГАВРИЩУК
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

ЗАСТОСУВАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПРИ ЗАВОДНЕННІ НАФТОВИХ РОДОВИЩ

Стаття присвячена методології створення інформаційної інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень під час заводнення нафтових родовищ. В роботі проаналізовано алгоритм процесу ухвалення рішення щодо вибору системи розробки родовища з заводненням та розглянуто основні критерії впливу. Досліджено надання знань та алгоритмів прийняття рішень на основі суб'єктивних оцінок та досвіду експертів нафтової галузі. Визначено структуру формального підходу до побудови інтелектуальної системи на основі нечітких множин та засобів нечіткої логіки.

Ключові слова: система заводнення нафтового родовища, система підтримки прийняття рішень, моделювання знань, нечіткі правила, база знань, нечітка логіка.

S.V. GAVRYSHCHUK
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

APPLICATION OF INTELLIGENT SYSTEM FOR DECISION SUPPORT IN OIL FIELD WATER FLOODING

Abstract- The article is devoted to the methodology of creating intellectual information system for decision support in oil field waterflooding. There are different types of waterflooding, depending on the location of the injection wells in relation to the oil deposit and on the relative positioning of the injection and working (producing) wells. The algorithm of decision making for selection the oil field development system with waterflooding is analyzed in this paper. It is proposed to put the knowledge base of the experts experience in the oil industry to the basis of the intellectual information system. A formal approach based on fuzzy sets and fuzzy logic is used for solving this problem.

Keywords: waterflooding, decision making, knowledge base, intellectual information system, fuzzy sets and fuzzy logic.

Одним з найпоширеніших методів підтримки пластового тиску нафтових родовищ є заводнення. Вибір тієї чи іншої системи його реалізації є важливим питанням в процесі проектування розробки родовищ вуглеводнів. При цьому необхідно враховувати значну кількість та різновидність критеріїв вибору, що значно ускладнює процес прийняття рішення. Одним із способів вирішення цієї проблеми є залучення інформаційних систем підтримки прийняття рішень до керування об'єктами розробки. Використання методів штучного інтелекту для створення таких систем дає змогу забезпечити формування ефективних рішень, оскільки дозволяє інтегрувати теоретичні знання в даній предметній області, представленні в математичній формі, та емпіричні знання експертів, виражені в моделях подання знань.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження з проблематики проектування і розробки систем підтримки прийняття рішень в процесі заводнення нафтових родовищ показують, що для аналізу ефективності конкретного способу заводнення застосовують алгоритми цілочислового програмування, електроаналогові моделі пласта, дво- і тривимірні моделі, спеціальні математичні програми, що дозволяють моделювати процес видобутку вуглеводнів. Такі програмні комплекси, як OFM (Schlumberger), DESKTOP VIP (Landmark Graphics), TEMPESTMORE (Roxar), дають можливість аналізувати, розраховувати і прогнозувати процес заводнення, проте методики прийняття рішень в них обмежуються використанням методу Монте-Карло для оцінки ризиків та обчисленням кількісних показників варіантів розробки [1].

В ряді робіт (Bittencourt A. C, Home R.N, Guyaguler B., Yeten B.) показано переваги використання елементів штучного інтелекту при прогнозуванні показників заводнення: так, генетичні алгоритми взято за основу для оптимізації нетрадиційного розташування свердловин шляхом ранжування найкращих альтернатив, нейромережі адаптовано для отримання наближених характеристик нафтового родовища, робочих характеристик нагнітальних свердловин [2]. Використання цих методів пов'язано з необхідністю їх адаптації у кожному випадку до історії розробки заданого родовища вуглеводнів.

Невирішені частини загальної проблеми. Нафтове родовище відноситься до класу великих і складних систем, крім того, для покладів характерна неоднорідність, нечіткість контуру, розриви або розломи, природні тріщини ускладнюють структуру пласта. Тривимірні геологічні та гідродинамічні моделі, аналітичні розрахунки не дають можливості з абсолютною впевненістю відтворити або прогнозувати процес видобутку вуглеводнів. При цьому, обираючи стратегію розробки нафтового родовища, фахівець, що приймає рішення, має справу з неповною, неточною або суперечливою інформацією. Для розв'язання таких задач доцільно залучати знання, кваліфікацію і інтуїцію експертів нафтової справи та переваги теорії нечітких множин і нечіткої логіки, що дає можливість введення нечітких понять і знань. При цьому, в умовах інтенсивного розвитку інформаційних технологій, найбільші труднощі викликає на сьогоднішній день не процес машинної реалізації інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень при виборі системи заводнення нафтових родовищ, а етап вилучення знань та проектування відповідної нечіткої бази знань. Під терміном "знання" розуміємо сукупність інформації, необхідної для вирішення задачі: про систему понять формальних моделей, на основі яких вирішуються задачі; про систему понять предметної області, в якій вирішуються задачі; про відповідність вказаних систем понять; про поточний етап предметної області; про методи вирішення задачі [3].

Цілі статті. Дослідження даної статті орієнтовано на моделювання подання знань та алгоритмів прийняття рішень в процесі вибору системи розташування водонагнітальних свердловин при заводненні нафтових родовищ на основі неформальної логіки і нечітких міркувань, а також врахування суб'єктивних оцінок, які базуються на досвіді експертів.

Висвітлення основного матеріалу дослідження. Для оцінки кожного можливого способу розробки родовищ вуглеводнів, як правило, неможливо використати який-небудь єдиний критерій оптимізації, тобто виникає ситуація, коли необхідно вибрати оптимальну із альтернатив. Вибір системи заводнення нафтового родовища визначається конкретними геологічними умовами, технічними можливостями обладнання, економічно доцільними термінами видобутку вуглеводнів і величиною необхідних капіталовкладень.

Основні види заводнення, що набули найпоширенішого використання в практиці розробки нафтових родовищ представлено на рис. 1 [4–6].

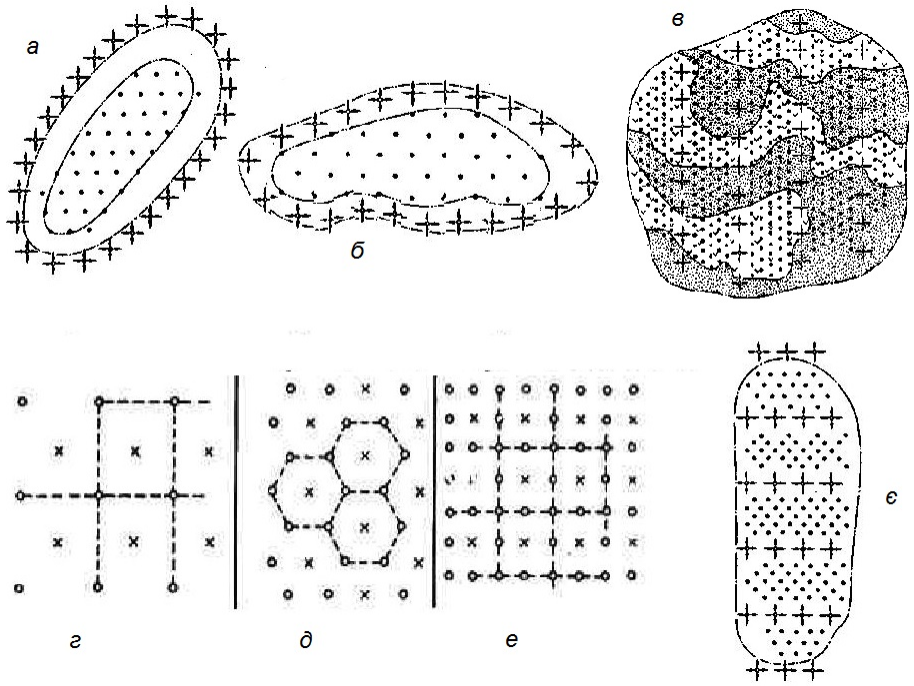


Рис. 1. Системи розробок покладів нафти при заводненнях: а - законтурному; б – приконтурному; в – внутрішньоконтурному; г, д, е – площинному (г – 5 точкова система; д – 7 точкова система; е – 9 точкова система), є – блоковому; «+» – водонагнітальні свердловини, «•» – видобувні свердловини

При законтурному заводненні водонагнітальні свердловини розташовують в законтурній водоносній частині пласта. Приконтурне заводнення застосовують, коли поганий гідродинамічний зв'язок нафтової зони пласта із законтурною областю. В такому випадку ряд нагнітальних свердловин розміщується у водонафтовій зоні або біля внутрішнього контуру нафтоносності. Внутрішньоконтурне заводнення доцільне при розробці покладів з дуже великою площею. Водонагнітальні свердловини розташовують рядами паралельно рядам видобувних свердловин. Блокові системи розробки є різновидом системи внутрішньоконтурного заводнення. Вони знаходять застосування на родовищах витягнутої форми з розстановкою рядів водонагнітальних свердловин частіше в поперечному напрямку. При площинних системах заводнення видобувні і нагнітальні свердловини розміщуються за правильними схемами п'яти-, семи-, дев'ятиточкових систем. Осередково-вибіркова система заводнення призначена для інтенсифікації розробки окремих ділянок. Для закачування води, тобто створення осередків заводнення, вибираються свердловини з раніше пробурених видобувних, відповідно з прийнятою системою їх розташування.

Нехай, $A=\{a_1,a_2,a_3,...,a_m\}$ – множина варіантів розробки нафтового родовища із заводненням в залежності від схеми взаємного розміщення водонагнітальних та видобувних свердловин. Тоді, елементи множини A (системи заводнення): a_1 – законтурна , a_2 – приконтурна, a_3 – 1-рядна, a_4 – 3-рядна, a_5 – 5-рядна, a_6 – 5-точкова площинна, a_7 – 7-точкова площинна, a_8 – 9-точкова площинна, a_9 – осередково-вибіркова.

На кожному з етапів прийняття рішення при проектуванні заводнення нафтового родовища доводиться виконувати оцінку великої кількості властивостей альтернатив, які впливають на вибір рішення. Нехай, деяка сукупність властивостей альтернативи a оцінюється показником k, тоді показник k – критерій оцінки альтернативи a. Сукупність таких критеріїв в задачі вибору системи заводнення визначає множину критеріїв оцінки альтернатив:

$$K=\{G,T,N,E\}, \quad (1)$$

де G – геологічні критерії, T – технологічні критерії, N – економічні критерії, E – екологічні критерії.

На першій стадії процесу прийняття рішення визначаються початкові геологічні дані про нафтопродуктивний пласт і властивості рідин, що його насичують. Множина альтернатив А оцінюється набором критеріїв:

$$G = \{g_1, g_2, g_3, ..., g_i\}, \quad (2)$$

де g_1 – співвідношення в'язкостей нафти і води , g_2 – неоднорідність пласта по проникності, g_3 – середня проникність, g_4 – розчленованість пласта, g_5 – товщина пласта, g_6 – гідропроводність пласта, g_7 – температура пласта, g_8 – відносні розміри водо-нафтових зон, g_9 – площа покладу, g_{10} – кут нахилу пласта, g_{11} – пластовий тиск тощо.

На наступному етапі, при виборі системи заводнення, виконують гідродинамічні розрахунки по встановленню технологічних показників розробки за декількома варіантами, що відрізняються за числом свердловини, методом дії на продуктивні пласти, умовами експлуатації свердловин тощо. На цьому етапі беруться до уваги технологічні критерії:

$$T = \{t_1, t_2, t_3, ..., t_i\}, \quad (3)$$

де t_1 – кінцева нафтовіддача пласта, t_2 – період безводної експлуатації, t_3 – кількість видобутої води, t_4 – середнє обводнення за весь час експлуатації, t_5 – коефіцієнт продуктивності тощо.

Третій етап процесу прийняття рішення дозволяє оцінити економічну доцільність варіантів розробки. Розраховують показники ефективності:

$$N = \{n_1, n_2, n_3, ..., n_i\}, \quad (4)$$

де n_1 – зведені капітальні витрати, n_2 – собівартість видобутої нафти, n_3 – прибуток тощо.

На результуючому етапі, проаналізувавши економічні і технологічні показники розробки, та беручи до уваги екологічні критерії, обирається варіант раціональної системи розробки з відповідною системою заводнення. Таким чином пара множин альтернатив A і критеріїв K визначає, по суті, задачу прийняття рішення по вибору системи заводнення нафтового родовища.

Дослідження показують, що крім багатокритеріальності такого завдання, проблемними питаннями також залишаються невизначеність, нечіткість і неповнота знань про нафтогазовий об'єкт. Тому для створення відповідної інформаційної системи доцільно використати теорію нечітких множин та нечіткої логіки, запропоновану Заде Л.А, в основу математичного апарату якої покладено здатність людського інтелекту приймати правильні рішення за наявності неповної і нечіткої інформації.

На нижньому рівні проектування системи, необхідно визначити множини вхідних та вихідних змінних, в тому числі нечітких. Нечіткою вважається змінна, що подається кортежем виду:

$$\langle \beta, U, B \rangle, \quad (5)$$

де β – ім'я нечіткої змінної; U – її область визначення; B – нечітка множина над універсумом U. Наприклад, нечітка змінна $\langle$"Малов'язка нафта", $\{x, 1 < x \le 5\}, B = \{x, \mu(x)\}\rangle$ характеризує динамічну в'язкість нафти. $\mu(x)$ – функція належності, що ставить у відповідність кожному x на множині U дійсне число з відрізку $[0,1]$. Малов'язкою вважаємо нафту з в'язкістю $1 < \mu_{\text{д.в.}} \le 5$ мПа · с · [7]. Експерт з нафтової справи задає для кожного $x \in U$ значення $\mu(x)$, або визначає тип відповідної функції приналежності. В цьому випадку фахівець оперує інформацією на основі свого досвіду та знань про предметну область.

Для формального лінгвістичного опису змінних інтелектуальної системи використовуємо набір [8]:

$$\langle \alpha, T, U, G, M \rangle, \quad (6)$$

де α – ім'я лінгвістичної змінної; T – терм-множина, кожен елемент якої задається нечіткою множиною на універсальній множині U; G – процедура створення нових термів за допомогою зв'язок «та», «або» і квантифікаторів типу «дуже», «не», «злегка» і тому подібне; M – семантичні правила, що задають функції приналежності нечітких термів.

Нехай, ми маємо суб'єктивні оцінки експертів, щодо динамічної в'язкості нафти. Формалізація таких оцінок, з врахуванням вище сказаного, можлива наступним чином: α –"в'язкість нафти", T = {«нафта незначної в'язкості», «нафта малої в'язкості», «нафта підвищеної в'язкості», «високов'язка нафта»}; $U = [0.01, 70]$; G – «нафта малої в'язкості або нафта підвищеної в'язкості», «дуже високов'язка нафта» тощо. Функції приналежності нечітких термів лінгвістичної змінної α представлені на рис. 2. Універсальна множина U обмежується відповідним граничним значенням, оскільки при в'язкості нафти понад 60–70 мПа·с застосування заводнення недоцільне і розробка покладів повинна здійснюватись із застосуванням інших методів підвищення нафтовіддачі пластів (наприклад, теплових) [4, с. 201].

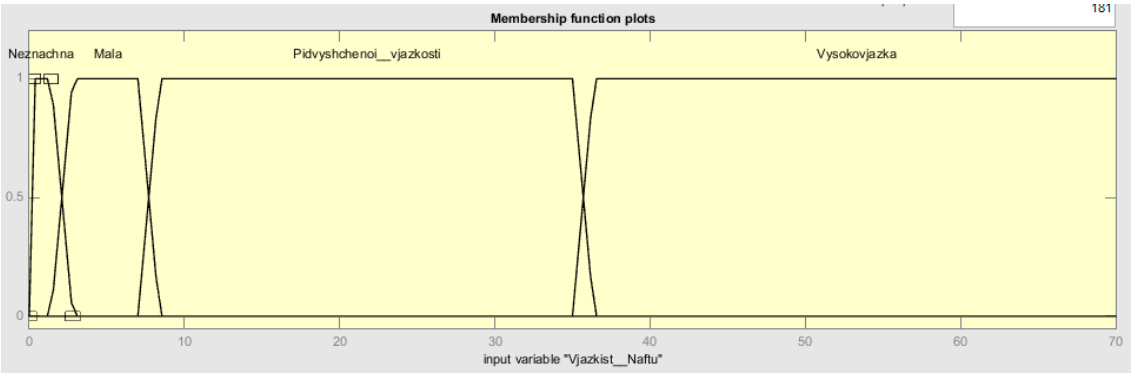


Рис. 2. Функції приналежності терм-множин лінгвістичної змінної α – «в'язкість нафти»

Теоретичні знання експерта нафтової галузі та його практичний досвід з прийняття рішень акумулюються у нечітких правилах, де в якості умов і висновків використовуються нечіткі висловлювання.

Нечітким висловлюванням вважається висловлювання виду:

$$\langle \alpha \text{ IS } \beta \rangle, \tag{7}$$

де α – лінгвістична змінна; β – один з можливих термів цієї змінної. Висловлювання виду: «в'язкість нафти IS незначна» є прикладом нечіткого висловлювання, в якому «в'язкість нафти» – лінгвістична змінна, а «незначна» – її значення.

Сукупність правил $R_1,...,R_m$ нечіткого висновку являє собою нечітку базу знань:

$$\left[\begin{array}{l} R_1 : \text{IF } \alpha_1 \text{ IS } \beta_{11} \ldots \left[\begin{array}{c}\text{AND}\\ \text{OR}\end{array}\right] \ldots \alpha_n \text{ IS } \beta_{1n} \text{ THEN } y \text{ IS } A_1 \\ \ldots \\ R_i : \text{IF } \alpha_1 \text{ IS } \beta_{i1} \ldots \left[\begin{array}{c}\text{AND}\\ \text{OR}\end{array}\right] \ldots \alpha_n \text{ IS } \beta_{in} \text{ THEN } y \text{ IS } A_i \\ R_m : \text{IF } \alpha_1 \text{ IS } \beta_{i1} \ldots \left[\begin{array}{c}\text{AND}\\ \text{OR}\end{array}\right] \ldots \alpha_n \text{ IS } \beta_{mn} \text{ THEN } y \text{ IS } A_m, \end{array}\right. \tag{8}$$

де $\alpha_k (k = 1..n)$ – вхідні змінні; y – вихідна змінна; β_{ik} – задані нечіткі множини з функціями належності.

Розташування водонагнітальних свердловин при заводненні визначається в основному особливостями геологічної будови покладу нафти. Завдання зводиться до того, щоб підібрати таке розташування водонагнітальних свердловин, при якому забезпечується найбільш ефективний зв'язок між зонами запомповування води та зонами відбору з рівномірним витісненням води нафтою. Тому, при проектуванні інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень в якості вхідних змінних нечіткої бази знань використовуємо множину геологічних критеріїв G. Вихідна змінна – це система заводнення з множини A альтернатив –варіантів розробки нафтового родовища при заводненні.

Таким чином, можемо сформувати наступний узагальнений вигляд бази знань по вибору системи заводнення:

R_1 : IF (*проникність колектора* IS *висока*) AND (*в'язкість нафти* IS *мала)* AND (*розмір покладу* IS *невеликий)* … AND … THEN (*система заводнення* IS *законтурна);*

R_2 : IF (*гідропровідність* IS *низька)* AND **(***неоднорідність по проникності* IS *висока)* AND (*ступінь уривчастості* IS *високий)* AND *(піщанність* IS *невелика)* … AND … THEN (*система заводнення* IS *5-точкова площинна);*

…

R_m : IF *(піщанність* IS *середня)* OR *(піщанність* IS *висока)* AND **(***ступінь уривчастості* IS *середній)* OR (*ступінь уривчастості* IS *низький)* AND … (*розчленованість пласта* IS *низька)* AND … THEN (*система заводнення* IS *3-рядна).*

Висновки. Багатофакторність і багатокритеріальність задачі вибору системи розробки нафтового покладу із заводненням значно ускладнюють процес прийняття рішення. З цієї причини в моделях повинно допускатись залучення знань експертів, досвіду фахівців для створення універсальної технології прийняття рішень на основі бази знань. Використання нечіткої логіки дозволяє здійснити перехід від словесного якісного опису нафтового об'єкта, що є характерним для міркування людини, до числових кількісних оцінок його стану і сформулювати на основі цього прості та ефективні алгоритми.

Подальші дослідження на основі запропонованого підходу будуть спрямовані на створення інтелектуальної системи, яка дозволить підтримувати процес ухвалення рішень по вибору системи

розташування водонагнітальних свердловин при заводненні нафтового родовища: формувати альтернативні варіанти рішення з використанням усіх доступних видів даних та знань, оцінити можливі з точки зору доцільності впровадження варіанти і обрати найоптимальніший.

Література

1. Бурма С.В. Аналіз використання інформаційних технологій при заводненні нафтових родовищ / С.В. Бурма, В.М. Гаврищук // Нафтова і газова промисловість. – К., 2007. – № 5. – С. 48–49.

2. Гаврищук С.В. Дослідження особливостей застосування нейронечітких технологій у нафтогазовій справі / С.В. Гаврищук, В.М. Юрчишин // Вісник Хмельницького національного університету (технічні науки). – Хмельницький : ХНУ, 2009. – Т. 1. – № 1.– С. 126–129.

3. Гаврищук С.В. Застосування м'яких обчислень при розробці інформаційних технологій управління знаннями фахівців нафтогазової справи / С.В. Гаврищук, В.М. Юрчишин // Сучасні засоби розроблення інформаційних систем : матеріали міжнародної науково-практичної конференції, м. Харків, 20–21 листопада 2008р. – Харків : ХНЕУ, 2008. – № 15.– С. 144–145.

4. Довідник з нафтогазової справи / [за заг. ред. В.С. Бойка, Р.М. Кондрата, Р.С. Яремійчука]. – Львів : Місіонер, 1996. – 620 с.

5. Ковалев В.С. Прогноз разработки нефтяных месторождений и эффективность систем заводнения / В.С. Ковалев, В.М. Житомирский. – М. : Недра, 1974. – 247 с.

6. Желтов Ю.П. Разработка нефтяных месторождений : учебник для вузов / Ю.П. Желтов. – М. : Недра, 1986. – 332 с.

7. Спутник нефтегазопромыслового геолога : справочник / [ред. И.П. Чоловского]. – М. : Недра, 1989. – 376 с.

8. Заде Л.А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений / Л.Д. Заде ; [пер. з англ. Н.Н. Моисеева, С.А. Орловского]. – М. : Мир, 1976. – 165 с.

References

1. S.V Burma, V.M Yurchyshyn. Analiz vykorystannya informatsiynykh tekhnolohiy pry zavodnenni naftovykh rodovyshch, *Naftova i hazova promyslovist',* 2007, Issue 5, pp. 48–49.

2. S.V. Havryshchuk, V.M. Yurchyshyn. Doslidzhennya osoblyvostey zastosuvannya neyronechitkykh tekhnolohiy u naftohazoviy spravi,*Visnyk Khmel'nyts'koho natsional'noho universytetu (tekhnichni nauky)*, 2009,Vol.1, Issue 1, pp. 126–129.

3. S.V. Havryshchuk, V.M. Yurchyshyn. Zastosuvannya m"yakykh obchyslen' pry rozrobtsi informatsiynykh tekhnolohiy upravlinnya znannyamy fakhivtsiv naftohazovoyi spravy , *Suchasni zasoby rozroblennya informatsiynykh system: materialy mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi,* Kharkiv, KhNEU, 2008, Issue 15, pp. 144–145.

4. *Dovidnyk z naftohazovoyi spravy*. Ed by V.S. Boyko, R.M. Kondrat, R.S.Yaremiychuk. L'viv, Misioner, 1996, 620 p.

5. V.S. Kovalev, V.M.Zhitomirskij . *Prognoz razrabotki neftjanyh mestorozhdenij i jeffektivnost' sistem zavodnenija* , Moscow, Nedra, 1974, 247 p.

6. Ju.P. Zheltov. *Razrabotka neftjanyh mestorozhdenij : uchebnik dlja vuzov,* Moscow, Nedra, 1986, 332 p.

7. *Sputnik neftegazopromyslovogo geologa: Spravochnik*. Ed by I.P. Cholovskij, Moscow, Nedra, 1986, 332 p.

8. L.A. Zade. *Ponjatie lingvisticheskoj peremennoj i ego primenenie k prinjatiju priblizhennyh reshenij,* Ed by N.N. Moiseev, S.A. Orlovskij, Moscow, Mir, 1976, 165 p.

Рецензія/Peer review : 5.3.2015 р. Надрукована/Printed :15.4.2015 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Лютак І.З.

УДК 621.316.728.016.24

В.П. ХОРОЛЬСЬКИЙ, Д.В. ХОРОЛЬСЬКИЙ, К.Г. ТІТОРЕНКО
Криворізький національний університет

БАГАТОРІВНЕВА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА ОПТИМІЗАЦІЇ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ ГІРНИЧО-ЗБАГАЧУВАЛЬНИХ ПІДПРИЄМСТВ

В статті досліджено стан та передумови впровадження інтелектуальних систем управління електроспоживанням підприємств з енергоємними технологіями виробництва залізорудного концентрату і обкотишів. Розроблено способи прогнозування реактивної і активної потужностей підприємства, алгоритм оперативного управління електроспоживанням тих об'єктів, які забезпечують виконання портфеля замовлення металургійних заводів у періоди обмеження потужностей енергосистеми. Доведено, що зменшення енергозатрат підприємств гірничо-металургійного комплексу досягнуто узгодженням інтелектуальних систем керування технологічними процесами видобутку сирої руди, транспортування, подрібнення, здрібнення, класифікації, збагачення, огрудкування і випалення та інтелектуалізацією оперативного електроспоживання цих процесів за допомогою експертних систем та людино-машинних процедур прийняття рішень.

Ключові слова: електроспоживання, прогнозування, нейро-мережа, споживач електрорегулятор, потужність, адаптація, експертна система.

V.P. KHOROLSKYI, D.V. KHOROLSKYI, K.G. TITORENKO
Kryvyi Rih National University

MULTILEVEL INTELLIGENT SYSTEM OPTIMIZATION ELECTRIC CONSUMPTION MINING AND DRESSING ENTERPRISES

Abstract - The paper investigates the status and implementation of intelligent systems preconditions power electric consumption management companies with energy-intensive production technologies of iron ore concentrate and pellets. The methods of forecasting reactive and active power company, electric consumption algorithm for the operational management of the facilities to ensure that the portfolio of metallurgical plants during periods of limitation power grid. It is proved that decrease energy costs of mining and metallurgical complex reached agreement intelligent process control systems of crude ore transportation, milling, grinding, grading, milling, palletizing and burning and intellectualization operational electric consumption of these processes using expert systems and human-machine procedures of decision making.

Keywords: electric consumption, neural network, consumer electro regulator capacity, adaptation, expert system.

Вступ

Розвиток гірничо-металургійного комплексу України до 2020 року пов'язаний з підвищенням якості залізорудної продукції до показників європейських стандартів, зменшення впливу підприємств на навколишнє середовище та оптимізації енергетичних затрат на виробництво одної тонни продукції. Підприємства гірничо-металургійного комплексу України є найбільшими споживачами електрики, газу, дизельного палива, води та інших енергоносіїв в Криворізькому гірничорудному мегаполісу і відносяться до складних технологічних систем [1].

Сучасні Криворізькі підприємства гірничо-металургійного комплексу, об'єднані в Групу «МЕТІНВЕСТ» з відкритим способом видобутку сирої руди і її подальшого подрібнення та збагачення, огрудкування, випалення (агломерації) ПАТ «ПівнГЗК», ПАТ «ЦГЗК», ПАТ «ІНГЗК», ПАТ «ПівдГЗК», є виробниками високоякісного концентрату, агломерату та обкотишів в останні п'ять років накопичили значний досвід, щодо впровадження нових енергозберігаючих технологій та автоматизованого управління складними технологічними процесами за критеріями мінімізації енергоресурсів [2]. Перехід до нових економічних відносин додав до традиційних задач управління електроспоживання (автоматизований облік, нормування, планування) принципово нові, пов'язані з аналізом ефективності обладнання і режимів роботи, оптимізацією і оперативним управлінням технологічними процесом подрібнення та збагачення руди з різними текстурними характеристиками, прогнозом витрат електроенергії, напрямку інвестицій у енергоефективний менеджмент енергетичний аудит тощо[3]. Таким чином в умовах ринкової економіки, постійного підвищення цін на енергоресурси, високої інфляції подальше дослідження закономірностей електроспоживання підприємств гірничо-металургійного комплексу (ГМК) і шляхів удосконалення багатостадійних технологічних режимів електроспоживання та виробництва продукції з метою скорочення питомих енергозатрат є актуальною задачею, яка витікає з Енергетичної Програми України до 2030 року, та впровадження системи енергоменеджменту, яка відповідає міжнародному стандарту ISO 50001/EN16001 [4].

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Дослідженню проблеми теорії і практики управління процесами енергоспоживання гірничо-збагачувальних комбінатів присвячені праці Б. М. Авілова – Карнаухова, В. К. Олейнікова, В. Є. Шестеренко, Є. В. Кочури, детально проаналізованих автором в [5], в яких розроблена методика нормування витрат електроенергії побудовані причинно-наслідкові зв'язки витрат електрики з технологічними параметрами, які характеризують процес подрібнення, збагачення, агломерації тощо. Цікавий напрямок в оцінці електроспоживання і розрахунку електричних навантажень промислових підприємств розвинуто Б. І. Кудріним [6], який базується на теорії техноценозу і визначення показників

електроспоживання «зверху вниз». Тобто аналіз електроспоживання розпочинається з підприємства в цілому, закінчується окремим технологічним процесом або окремої дільниці, виходячи із визначеної стабільності характеристик електроспоживання групи електроприймачів, що об'єднані загальною технологією. На наш погляд, цей метод на практиці можливо використати для оцінки причин варіації витрат електроенергії, можливих оцінок резервів енергозбереження реального промислового об'єкта, а отже цей метод потрібно використовувати на стадії проектування систем електроспоживання промислових підприємств.

Таким чином, незважаючи на велику кількість наукових праць, питання електроспоживання підприємствами гірничо – металургійного комплексу в періоди обмежень потужності енергосистеми, віялових відключень та дослідження закономірностей формування витрат електроенергії і розробка науково – методичних питань прогнозування, оптимізації оперативного управління електроспоживанням підприємств зі збагачувальним виробництвом є актуальними і потребують подальших досліджень.

Метою статті є підвищення ефективності управліннями режимами електроспоживання публічних акціонерних товариств з гірничо-збагачувальними технологіями виробництва продукції за рахунок розробки інтегрованих систем інтелектуального керування.

Викладання матеріалу та результати

Економія електроенергії на підприємствах гірничо-металургійного комплексу (ГМК) України на усіх стадіях виробництва продукції складає важливу проблему енергетики країни. Ефективне використання електроенергії на рівні промислового підприємства з гірничо-збагачувальним і металургійним виробництвом є однією із складових даної проблеми. Це обумовлено зростанням у 2015 році цін на електроенергію, а отже зростанням її частки у собівартості продукції, яка для енергоємних технологій видобутку сирої руди, дроблення, здрібнення, збагачення, огрудкування, випалення складає 60% і більше [5].

Потреба різкого скорочення цієї частки на 20-30 і більше відсотків на стратегічному періоді до 2020 року – необхідна умова виживання підприємств ГМК в конкурентній боротьбі з російськими виробниками подібної продукції. Ринкова ситуація 2015-2020 років вимагає від корпоративних менеджерів постійної уваги до впровадження сучасних автоматизованих систем управління електропостачанням (АСУЕ), побудованих на базі вітчизняних та імпортних технічних засобів, спеціального математичного забезпечення управління, яке включає нові інформаційні технології, математичні моделі, методи і алгоритми побудови таких систем.

Інжиніринг задач проектування АСУ підприємств в свою чергу спонукає до побудови інтелектуальних багатоагентних систем управління електропостачанням, зі синхронізацією потоків даних від датчиків витрат електроенергії і технологічних змінних та бізнес-процесів, пов'язаних з використанням портфеля замовлення металургійних заводів і узгодженого управління портфелем замовлень на постачання електроенергії ПАТ "Дніпрообленерго" підприємствам ГМК.

Виробництво концентрату та обкотишів (агломерату) по технологічному ланцюгу кар'єр – дробарка фабрика (ДФ) – рудозбагачувальна фабрика (РЗФ) – фабрика огрудкування та випалення обкотишів (ФОВ) – склад готової продукції є досить складною виробничою системою, стан якої описується $\bar{X} = \{\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3, \ldots \bar{x}_n\}$ вектором технологічних показників. За критеріями: мінімізація енергозатрат, продуктивності процесу по готовому класу – 0,056мм, вмісту масової частки заліза в концентраті, обкотишах, агломераті.

Головним завданням менеджменту підприємств ГМК в ринкових умовах є одержання прибутку з мінімізацією енерговитрат [2]. При цьому задача управління траєкторією електроспоживання підприємствами ГМК теж багатокритеріальна, для якої неможливо використати класичні методи рішень, що пов'язано з нелінійними характеристиками технологічних процесів переробки сирої руди в продукцію із заданими характеристиками якості, високою енергоємністю технологічних режимів подрібнення, здрібнення, класифікація, збагачення, фільтрація, транспортування, огрудкування, випалення, а отже і змінами характеру електроспоживання в періоди доби, декади, тощо.

Особливістю сучасного управління електроспоживанням підприємствами ГМК є впровадження систем енергоменеджменту і автоматизованих систем контролю і обліку електроенергії (АСКОЕ). Усі криворізькі підприємства ГМК розраховуються з ПАТ «Дніпрообленерго» за спожиту електроенергію за тризонним тарифом [7], тобто: 1,5 тарифу в години максимального навантаження енергосистеми (з 8 до 11 години і з 20 до 22 години); повний тариф у напівпіковий період (з 7 до 8 години, з 11до 20 години, з 22 до 23 години); 0,4 тарифу в години нічного мінімального навантаження енергосистеми (з 23 до7 години). Перехід на цей тариф стимулює енергоменеджмент підприємств гірничо-металургійного комплексу до використання технологій адаптації, щодо управління технологічними лініями видобутку сирої руди, її транспортування на дробарну фабрику, подрібнення в конусних дробарках, управлінням завантаженням бункерів збагачувальної фабрики, оптимізація роботи збагачувальної фабрики шляхом узгодженого інтелектуального управління технологічним секціями (трьох стадійними процесами здрібнення, класифікації, магнітної сепарації і фільтрації, транспортування концентрату на склад товарної продукції зі заданими характеристиками замовлення металургійних заводів, або на виробництво обкотишів (агломерату)). Інтелектуалізація і адаптація процесів виробництва продукції забезпечує виробництво

продукції заданої якості і мінімізацію затрат електроенергії з врахуванням збурень текстурних характеристик руди, її спектральних характеристик якості, які виникають результаті планування постачання руди на дробарку і збагачувальні фабрики. Оперативне управління процесами календарного планування роботи кар'єрів, дробарних фабрик, збагачувальних фабрик, шламового господарства, агломераційних фабрик (ПАТ«ПівдГЗК», ПАТ«АрселорМіттал Кривий Ріг) і технологічного ланцюга: фабрика огрудкування і випалення обкотишів (ПАТ«ПівГЗК», ПАТ«ЦГЗК») та технологічного ланцюга кар'єр – дробарна і збагачувальна фабрики з виробництва магнітного концентрату і його доведення до супер-концентрату на флотозбагачувальній фабриці, шламове господарство (ПАТ «ІнГЗК») спонукає енергоменеджерівцих підприємств до виокремлення деяких цехів (фабрик) в якості енергоспоживачів диференційованих за категоріями і часу їх роботи на протязі доби.

Наприклад дробарці фабрики можуть стати в періоди максимального навантаження споживачами електрорегуляторами (СЕР), шламове господарство стає не лише електрорегулятором, але і компенсатором реактивної потужності, що дозволяє знизити вартість електроенергії на 5–10% від лімітних.

Іншою особливістю підприємств ГМК є те, що в якості електроприводів найбільш енергоємних технологічних процесів використовуються синхронні двигуни (СД) потужністю від 2500 кВт до 5000 кВт, асинхронні двигуни потужністю від 5 кВт до 600 кВт і двигуни постійного струму, тиристорні перетворювачі, конденсаторні батареї тощо. З метою аналізу і оптимізації електроспоживання на підприємствах ГМК структуру електричної мережі представимо у вигляді множини $J = [j],\ j = 1, \dots n$ рівнів ієрархії до яких відносяться: 1) вхідні фідери на підприємстві; 2) трансформаторні підстанції; 3) силові трансформатори; 4) групи електроприймачів розподілені на значній території кар'єру, транспортних цехів, дробарної та збагачувальної фабрик, фабрик огрудкування і випалення (тобто групи електроприймачів, які задіяні від одної секції шин і групи електроприймачів, які задіяні від одного фідера); 5) найбільш енергоємні споживачі (кульові млини, млини самоподрібнення з типовим електроприводом (СД) $P_{цм} - 2500 - 5000$ кВт і більше. Для комплексного опису структури електромережі, сукупності елементів j-го рівня поставимо у відповідності деяку множину чисел натурального ряду, яке будемо називати множиною індексів елементів електромережі підприємства ГМК j-го рівня $M_j = (1,2, \dots, i, \dots, m_j)$.

Тоді структуру електромережі підприємства S можливо уявити з допомогою наступної сукупності П бінарних відношень:

$$R_v : S_j x S_{j+1},\ j = 1,2, \dots, n, \tag{1}$$

де S_j і S_{j+1} множина елементів на J – му і $J+1$м рівнях відповідно.

Отже, система електроспоживання ГМК представляє динамічну стохастичну систему, стан якої в кожний із фіксованих моментів часу $t = r\Delta t,\ r = 0, \dots, R$ (Δt – інтервал введення інформації у ІСУЕ) можливо характеризувати набором параметрів (2)

$$X = (P_v, P_{ij}, P_{ОБМ}, Y_{ij}, K_{ij}, Q_i, Q_{min}, Q_{max}, Q_s^{(i)}, Q_w^{(\vartheta)}, h_{si}, h_{w\vartheta}, R_i, U_i, U_{min}, U_{max})$$

де X– простір можливих станів системи електроспоживання підприємства; P_v, P_{ij}– відповідно активні максимальні навантаження енергосистеми (1,5 тарифу); ϑ-го вводу та J-го рівня енергомережі; $P_{н.н.v}$– активне навантаження у напівпікокий період, $P_{н.н.ij}$ – відповідно ϑ-го вводу та J-го рівня енергомережі; $P_{м.н.v}$ - $P_{м.н.is}$ – відповідно -го вводу та J-го рівня енергомережі; Y_{ij} – оцінка питомого збитку від втрати продукції; K_{ij} – бульова функція, що дорівнює 1, якщо виконується вплив на споживач електрорегулятор (СЕР) електричного навантаження j – рівня і 0 – у протилежному випадку; Q_i – реактивна потужність, яка передається по i - й дільниці електричної мережі підприємства ГМК; $Q_s^{(i)}$ – реактивна потужність, що виробляє друга і третя стадії здрібнення СД кульових млинів збагачувальної фабрики; Q_{min}, Q_{max} – відповідне мінімальна і максимальне обмеження по реактивній потужності підприємства; $Q_W^{(\vartheta)}$ – потужність джерела реактивної потужності (ДРП) на вводах електричної енергії на підприємстві (кар'єр, дробарка фабрика, як об'єктів споживачів електрорегуляторів (СЕР)); h_{si} – бульова змінна, яка приймає значення 1, якщо s – секція ДРП включається і 0 – у протилежному випадку; $h_{w\vartheta}$ – бульова змінна, яка приймає значення 1, якщо w – секція ДРП включається і 0 – у протилежному випадку; R_i– активний опір i-ї дільниці електромережі; U_i – напруга у вузлі підключення ДРП; U_{min}, U_{max} – мінімальне і максимальне обмеження за напругою.

У нашому випадку розроблена адаптована система управління підтримання реактивного навантаження і напруги об'єктів електроспоживання ПАТ.

Функція K_{ij} визначається бульовим виразом виду

$$K_{ij} = a_{ij} \wedge b_{ij} \wedge \gamma_{ij}, \tag{3}$$

де $a_{ij}, b_{ij}, \gamma_{ij}$ – бульові змінні;

$$a_{ij}=\begin{cases}1, \text{якщо } i \text{ – споживач може бути використаний для регулювання активного навантаження;}\\ 0 \text{ – якщо } i \text{ – й споживач не може бути використаний для регулювання (заперечення на відключення і підключення, які надходять від енергоменеджера або енергодиспетчера тощо).}\end{cases}$$

$$b_{ij}=\begin{cases}1, \text{якщо } i \text{ – споживач включений;}\\ 0 \text{ – у протилежному випадку.}\end{cases}$$

$$r_{ij}=\begin{cases}1, \text{якщо } i \text{ – споживач рекомендовано для регулювання навантаження;}\\ 0 \text{ – у протилежному випадку.}\end{cases}$$

Реалізація управління впливів (УВ), виконується на множині цих параметрів і направлена на мінімізацію втрат збитків від перебоїв у електроспоживанні штрафів за порушення встановлених енергосистемою обмежень по активні і реактивному навантаженню, мінімізації втрат в енергомережі підприємства від перетоків реактивної потужності.

Регулювання активного і реактивного навантажень підприємства ГМК з метою задоволення вимог договору з ПАТ «Дніпрообленерго», зменшення втрат активної електроенергії, обумовлених перетоками реактивної потужності необхідно також для забезпечення першочергових зусиль енергоменеджерів, щодо якості електричної енергії – підтримання рівня напруги у вузлах електромережі підприємства.

У процесі регулювання активного навантаження підприємства ГМК і систематичного його знижені в періоди обмежень потужності енергосистеми не можуть приймати участь ті споживачі електрорегулятори, відключення яких небажано, з точки зору безпеки персоналу, аварійних наслідків, або ця ситуація може привести до суттєвого браку продукції концентрату або обкотишів.

Наведений вище підхід, щодо опису електричної мережі дозволяє організувати управління траєкторією електроспоживання підприємства ГМК на єдиній інформаційній платформі SCADA-систем, АСКОЕ, автоматизованих систем управління електроспоживанням (АСУЕ). В свою чергу траєкторія електроспоживання ПАТ, в умовах обмежень потужності енергосистеми, визначає траєкторію оптимального виробництва продукції за допомогою автоматизованих систем управління технологічним процесом (АСУТП).

Звідси слідує, що інтегровану автоматизовану систему управління ПАТ гірничо-металургійного комплексу можливо представити у вигляді трьох взаємозв'язаних рівнянь управління, нижній рівень утворюють:

- АСУТП-кар'єри, транспортування сирої руди, дробильної фабрики, фабрики збагачення, фабрик огрудкування, випалення;
- АСУЕ – автоматизовані системи управління електроспоживанням цих технологічних операцій і цехів пов'язаних між собою за допомогою SCADA-системи автоматизованих систем управління збудниками СД, ДРП та СЕР.

Середній рівень утворюють MES (Manufacturing Execution System) системи [8], які орієнтовані на інформатизацію задач оперативного планування і управління виробництвом концентрату і обкотишів, оптимізацію виробничими процесами і втрат електроенергії, газу, води, мастильних матеріалів, дизельного палива, контролю і диспетчеризації використання планів і портфеля замовлень металургійних заводів і диспетчеризації електропостачання.

Верхній рівень автоматизованого управління підприємством (АСУТП) утворюють ERP – системи, які забезпечують рішення стратегічних задач виконання Портфеля замовлень виробництва продукції, управління ресурсами інвестиціями і забезпечують підтримку бізнес-процесів підприємства в цілому [8].

Отже в умовах високих вимог, щодо надійності електропостачання підприємства ГМК потрібно розробляти інтелектуальні системи управління електропостачанням ПАТ. На рис. 1 представлена структура інтегрованої інтелектуальної системи, яка забезпечує оптимізацію виробництва портфеля замовлень металургійних заводів в періоди обмежень електроенергії за допомогою експертних систем (ЕС) шляхом побудови бази даних (БД), бази знань (БЗ), динамічної бази оперативних технологічних даних, динамічної бази оперативного стану енергосистеми ПАТ і бази правил (БП). Особливістю розробленої системи є інтегрованість ЕС з АСУТП – MES – ERP системи, що забезпечує узгоджену роботу управлінської та інформаційної підсистем АСУ підприємства, щодо діагностики проблемних ситуацій технологічно-енергетичних ситуацій і прийняття рішень P_t, Q_t, команд на пошук оптимальних рішень, визначення СЕП, ДРП.

Нижній рівень (АСУТП, АСУЕ) найбільш інтенсивний по об'єму інформації і самий жорсткий в часі, щодо реакції на збурення, як в енергетичній системі (секунди, а інколи мілісекунди при аварійних ситуаціях енергосистеми) так і в технологічній системі виробництва продукції. В АСУТП, АСУЕ, SCADA-системах накопичується і обробляється велика кількість технологічних енергетичних параметрів і створюється інформативна база вихідних даних для MES-систем.

В свою чергу накопичена в SCADA-системах інформація утворює базу даних (БД) для прогнозування, як технологічних параметрів виробництва продукції, так і прогнозування параметрів P_t, Q_t. Для прогнозування наприклад P_t, Q_t в темпі з процесом норми використані штучні нейромережеві моделі (ШНМ) [9].

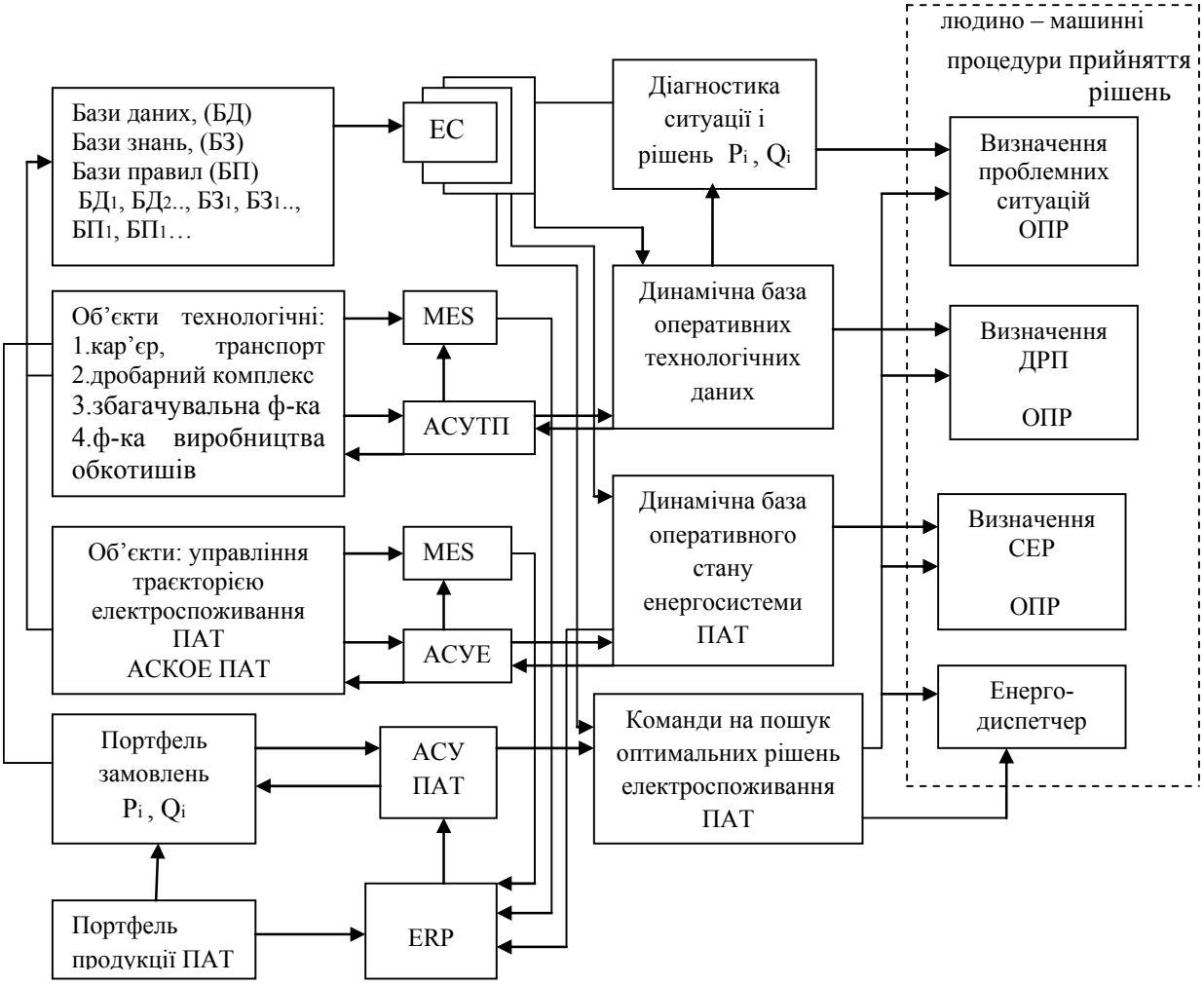


Рис.1. Структура інтегрованої інтелектуальної системи управління електроспоживанням ПАТ

На рис. 2 наведена ШНМ для прогнозування реактивного навантаження ПАТ гірничо-металургійного комплексу, яка складається із трьох шарів мережі на вхід якої надходить $Q_1, \ldots, Q_R$ – сигнали. На виході системи одержуємо $Q = (t + t^*)$ – вихідні сигнали мережі з ваговими коефіцієнтами w^1_{ij}, w^2_{ij}, які зв'язують елементи першого і другого, другого і третього шарів мережі. Конфігурація мережі для прогнозування реактивного навантаження представляє структуру, у вхідному шарі якої знаходиться 4 нейрони, в середньому 3, а вихідному 1 нейрон: ШНМ зі структурою 4-3-1 (рис. 2). Навчання мережі проведено за допомогою комбінованого методу, послідовність навчальної виробки складає 50 одиниць, час навчання 10 с з числом ітерації кронів навчання 300–500.

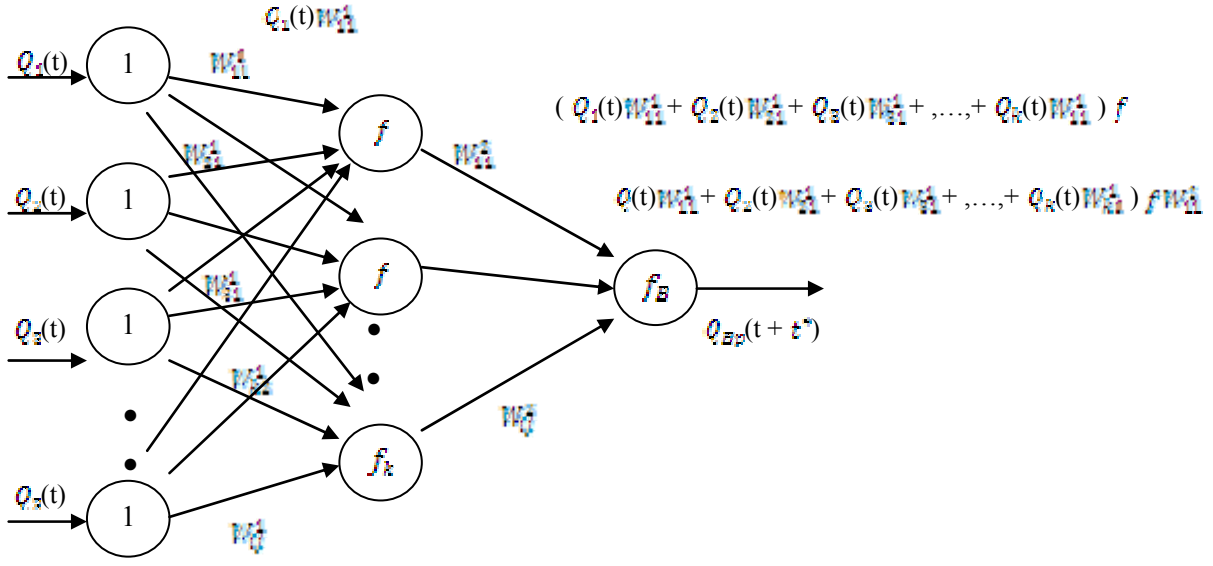


Рис. 2. Структура ШНМ для прогнозування реактивного навантаження

Час навчання ШНМ архітектури 5-3-1 для прогнозування активних навантажень P_t ПАТ при навчанні мережі по алгоритму зворотного розповсюдження помилки складало 6с при 50–250 ітераціях навчання, а по комбінованому алгоритму – 12–16 с при 1000 ітераціях навчання мережі (ПК CELERON1800). Після виконання прогнозу P_t, Q_t управлінська нейромережева модель видає рекомендації енергодиспетчеру щодо вибору числа ДРП на вводах електричної енергії та за допомогою нечітких регуляторів керує збудниками СД другої і третьої стадій подрібнення кульових млинів збагачувальної фабрики, СД насосів шламового господарства, СД – вентиляторів фабрики огрудкування і випалення обкотишів.

Позитивний досвід застосування нейронних мереж [9] і нечіткої логіки [10] в технології управління збагачувальним виробництвом, нами також використаний при побудові АСУЕ і оперативного диспетчерського управління енергоспоживанням ПАТ. При цьому класифікація проблемних ситуацій, технологічно-енергетичних ситуацій виконано за допомогою відомих алгоритмів розпізнавання [9]. В системі АСУЕ БД, БЗ, БП, динамічна база оперативного стану енергосистеми ПАТ в купі з ЕС утворюють систему нечітких продукційних правил типу: нормальний режим електроспоживання; важкий режим електроспоживання; аварійний, післяаварійний. Продукційні правила мають характер нечітких логічних висновків, наприклад: «Якщо електроспоживання ПАТ (окремих фабрик і дільниць) відповідає нормальному режиму, усі відхилення від умови роботи енергосистеми (енергогосподарства) відповідають заданим і відповідно прогнозним P_t, Q_t, то виконується (не виконується) ОПР корекція для створення найкращого режиму роботи електропостачання. Інший випадок: «якщо в системі електроспоживання існують проблемні ситуації, віднесені ЕС АСУЕ до важкого режиму електроспоживання ПАТ». Продукційне правило у цьому випадку таке: «Якщо електроспоживання ПАТ виконано з $P_{A\,пот} \gg P_{A\,пл}$, то необхідно відключити $CEP_1, CEP_2, \ldots, CEP_n$ і виконати портфель замовлень, щодо виробництва концентрату і обкотишів металургійного заводу»… Якщо в системі електропостачання розпізнані аварійні ситуації, тобто існують аварійні режими роботи, а цей режим електроспоживання характеризується короткими замиканнями, асинхронним ходом, аварійним зниженням частоти, або напруги і ліквідується діями автоматизованих пристроїв [3, 6]. Продукційне правило для аварійної ситуації, наприклад фабрики збагачення, таке: «Якщо не забезпечене якісне електроспоживання РЗФ, то для виконання портфеля замовлення фабрики огрудкування і випалення необхідно послідовно в період T_1 відключити СД першої стадії збагачення, в період T_2 відключити СД другої стадії збагачення, в період T_3 відключити СД третьої стадії збагачення, виконуючи технологічні режими збагачення у відповідності з правилами продукцій для АСУТП РЗФ» [9, 10].

Розглянемо післяаварійний режим. В цьому режимі основні операції, щодо ліквідації аварій в електроспоживанні і переходу до нормального режиму роботи ПАТ виконується ОПР у вигляді правил-продукції розроблених експертами енергоменеджменту ПАТ. Завдання ЕС АСУЕ – організувати своєчасне і повне оброблення поточної інформації з метою визначення стану електроспоживання ПАТ і надання необхідної інформації персоналу (ОПР) для прийняття рішення, щодо відновлення роботи РЗФ, потім ДФ, кар'єру і всіх інших об'єктів електроспоживання підприємства. Отже, підвищення ефективності управління режимами електроспоживання ПАТ з гірничо-збагачувальними технологіями виробництва концентрату і обкотишів досягнуто за рахунок узгодженого управління АСУ технологічними процесами видобутку руди, подрібнення, здрібнення, збагачення огрудкування і випалення і АСУЕ процесів електроспоживання, шляхом побудови ЕС та людино-машинних процедур прийняття рішень, які дозволяють забезпечити вимоги енергогенеруючих компаній по активним і реактивним навантаженням, зниження втрат в електромережах і підтримання напруги у вузлах електроприймачів в межах встановлених норм.

Висновки

Задачі управління режимами електропостачання публічних акціонерних товариств багаторівневі, для яких неможливо використати класичні методи рішення в зв'язку з постійною зміною в часі умов переробки залізної руди з різними текстурними характеристиками і продукцію (концентрат і обкотиші), а відповідно і характер їх електроспоживання. Для підвищення ефективності управління режимами електроспоживання підприємств гірничо-металургійного комплексу розроблена інтегрована інтелектуальна система управління, яка забезпечує необхідну точність прогнозування активного і реактивного навантажень у вузлі електроприймачів електромережі підприємства. Визначені структури штучних нейронних мереж і методи їх навчання та їх використання в системі АСУЕ для побудови нечітких продукційних правил управління джерелом реактивної потужності та збудниками синхронних двигунів. Розроблений алгоритм альтернативного управління електроспоживанням ПАТ в періоди обмежень енергосистемою потужностей по активному і реактивному навантаженню дозволяє АСУЕ – АСУТП підприємства з мінімізацією втрат забезпечити виконання портфеля замовлень металургійних заводів.

Література

1. Хорольський В. П. Інвестиційний механізм регіональної політики енергозбереження на підприємствах гірничо-металургійного комплексу України / В. П. Хорольський, Д. В. Хорольський //

Економіка: проблеми теорії та практики : зб. наук. праць. – Дніпропетровськ : ДНУ, 2005. – Вип. 200. Том 4. – С. 911–925.

2. Хорольський В. П. Інноваційний менеджмент корпоративних підприємств гірничо-металургійного комплексу : монографія / В.П. Хорольський, С. А. Харін. – Дніпропетровськ : Наука і Освіта, 2008. – 406 с.

3. Шестеренко В. Є. Системи електроспоживання та електропостачання промислових підприємств : підручник / Шестеренко В. Є. – Вінниця : Нова книга, 2004. – 656 с.

4. Енергетична стратегія України на період до 2030 року [Електронний ресурс] : розпорядження КМ України від 15.03.2006 № 145-р / КМ України. – К., 2006. – Режим доступу : http://zakon1,rada.gov.ua/signal/Kr.0614a.doc

5. Кочура Е. В. Развитие научных основ автоматизации процессов магнитного обогащения руд с целью енергозбережения : дис. … докт. техн. наук / Е. К. Кочура. – Днепропетровск, 1996. – 331 с.

6. Кудрин Б. И. Электроснабжение промышленных предприятий : учебник для студентов высших учебных заведений / Б. И. Кудрин. – М. : Интернет Инжиниринг, 2007. – 672 с.

7. Черемісін М. М. Автоматизація обліку та управління електроспоживанням : посібник для вищих навчальних закладів / М. М. Черемісін, В. М. Зубко. – Х. : Факт, 2005. – 192 с.

8. Реинжиниринг бизнес-процессов : учебник / Н. М. Абдикеев, Т.П. Донько, С. В. Ильдеменов, А. Д.Киселев. – 2-е изд., испр. – М. : Эксмо, 2007. – 592 с.

9. 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.

10. Хорольський В. П. Адаптивна система оцінки режимів роботи першої стадії збагачення руди на основі мережевих моделей Петрі / В. П. Хорольський, В. Б. Хоцкіна // Вісник Криворізького національного університету : зб. наук. праць. – Кривий Ріг, 2012. – № 33. – С. 142–145.

References

1. Khorolsky V. P. Investment Facility regional energy saving policy on mining and metallurgical complex of Ukraine / B. P. Khorolsky, D. V. Khorolsky // Economy: Issues of Theory and Practice: Coll. Science. works. Dnepropetrovsk: DNU - 2005 - Vol. 200. Volume 4 - s.911 – 925

2. Khorolsky V. P. Corporate Innovation Management of mining and metallurgical complex / V. P. Khorolsky, S. A. Kharin // Monograph - Dnepropetrovsk: Science and Education, 2008 - 406s

3. Shesterenko V. E. systems of power consumption and electricity industry. Tutorial. - Ball: A new book, 2004.- 656s

4. Energy Strategy of Ukraine until 2030: the disposal of Ministers of Ukraine dated 15.03.2006 №145-p / km Ukraine. - K .: 2006. URL: http: //zakon1,rada.gov.ua/signal/Kr.0614a.doc

5. Kochur E. V. Development nauchnыh bases automation processes magnetic enrichment of ore with a view enerhozberezhenyya: Thesis. on soysk. uch. Class doctor. Sc. Science. / E. K. Kochura.- Dnepropetrovsk, 1996. - 331s

6. Kudrin B. I. Electric power of industrial enterprises: Textbook for High society studentov uchebnыh wound / B. I. Kudrin - M .: Internet engineering, 2007. - 672s

7. Cheremisin M. M. Automation of accounting and control power consumption: A guide for universities / M. M. Cheremisin, V. M. Zubko. - H .: Fact, 2005. - 192p

8. Abdykeev N. M. Reengineering business processes: Textbook / N. M. Abdykeev, T. P. Daughter, S. V. Yldemenov, A. D.Kyselev. - 2nd ed., Corr. -M .: Eksmo - 2007 - 592p

9. Khorolsky V. P. Integrated intelligent process control in the economic systems of corporate mining and metallurgical complex / V. P. Khorolsky // Edited by V. P. Khorolsky. Monograph. - Dnepropetrovsk: Jan. 2008. - 448p

10. Khorolsky V. P. Adaptive estimation modes of the first stage of ore based on Petri net models / V. P. Khorolsky, V. B. Houkina // Bulletin of the National University of Krivoy Rog: Coll. Science. works. - Copenhagen - 2012. - №33. - S142-145.

Рецензія/Peer review : 24.3.2015 р. Надрукована/Printed :15.4.2015 р.
Рецензент: д.т.н. С. О. Жуков

УДК 621.317.39:66–913:633.1

О.М. КУЦЕВОЛ
Вінниця

ДІЕЛЕКТРОМЕТРИЧНИЙ ВОЛОГОМІР ЗЕРНА

Відомі засоби контролю вологості зерна, які використовують метод високочастотних вимірів відносної діелектричної проникності, не захищені від основних збурювальних факторів (нестабільних діелектричних втрат, пористості та гранулометричного складу), тому мають похибки вимірювання, які значно перевищують задекларовані значення.

В статті описано удосконалений варіант діелектричного вологоміра, який за мінімальної кількості структурних елементів має досить непогані метрологічні характеристики, обумовлені використанням методу визначення ємнісної складової струму чутливого елемента, який знаходиться через інформативні параметри вимірювального перетворювача, що складається із послідовно з'єднаних зразкового та чутливого елементів.

Ключові слова: вологість, контроль, зерно, перетворювач, модель, чутливий елемент, фазовий зсув.

O.M. KUTSEVOL
Vinnytsia, Ukraine

DIELECTRIC MEASURING INSTRUMENT OF HUMIDITY OF GRAIN

Known control devices of humidity of grain which use a method of high-frequency measurements of relative dielectric permeability not protected from the major parasitic factors (unstable dielectric losses, porosity and particle size distribution) therefore have measurement errors which considerably exceed the declared values.

In articles are described an improved version of the dielectric measuring instrument of humidity which at the minimum quantity of structural elements has quite good metrological characteristics caused by use of a method of definition of a capacitor component of current of a sensitive element which is by means of informative parameters of the measuring converter consisting of consistently connected model and sensitive elements

Keywords: humidity, control, grain, converter, model, sensitive element, phase shift.

Постановка задачі

Зерно пшениці і інших злакових культур є складною капілярно-пористою системою зі значним вмістом живої білкової речовини. В таких системах волога знаходиться як в вільному, так і в зв'язаному стані. Ця обставина, а також те, що зерно як об'єкт контролю характеризується нестабільністю пористості та діелектричних втрат, не дають можливості ефективно застосувати існуючі нині напівавтоматизовані та автоматизовані засоби вимірювання вологості, похибки яких значно перевищують задекларовані значення.

У зв'язку із цим пошук нових рішень і розробка конкурентоспроможних засобів багатопараметричної діелектрометрії та, у першу чергу, вимірювальних перетворювачів, здатних до інструментального контролю в польових умовах, і дослідження нових можливостей їхнього застосування в технологічному контролі, є актуальною проблемою, спрямованою на підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва.

Аналіз досліджень та публікацій

Відомі "класичні" засоби багатокомпонентної діелектрометрії, які використовуються для дослідження діелектричних властивостей матеріалів у лабораторних умовах (вимірювальні мости та аналізатори електричних кіл), є дорогими і трудомісткими, тому не використовуються у технологічному контролі. Закордонні аналоги, що з'явилися останнім часом, двопараметричних діелектрометричних вологомірів, які використовують частотний метод виміру (*WET-сенсор* англійської компанії "Delta-T Devices Ltd.", *T5* фірми США "Decagon Devices Inc."), а також дорогі вимірювачі, що використовують метод просторово-часової рефлектометрії – *TDR* (прилади Easy Test Інституту агрофізики Польської академії наук, *TDR-система* англійської компанії "Campbell Scientific Ltd.") стимулюють створення вітчизняних конкурентоспроможних розробок.

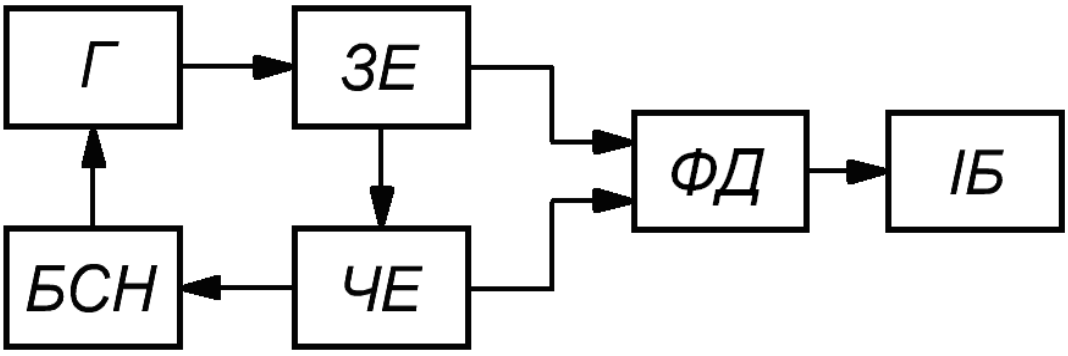


Рис. 1. Структура вологоміра із стабілізацією напруги на чутливому елементі

Відома структура вологоміра [1] (рис. 1), що складається із послідовно з'єднаних зразкового

елемента *ЗЕ* і ємнісного перетворювача (ємнісного чутливого елемента вологості), увімкнених на виході високочастотного генератора (генератора гармонічної напруги *Г*), фазового детектора *ФД* до виходу якого під'єднаний індикаційний блок *ІБ*, а також блок зворотного зв'язку стабілізації напруги *БСН* (блок зворотного зв'язку стабілізації напруги на ємнісному чутливому елементі). Недоліком вказаного вологоміра є нелінійність функції перетворення фазового детектора, а також велика залежність результатів вимірювання від нестабільних діелектричних втрат (які визначаються не тільки особливістю хімічного складу ґрунту, а навіть кліматичними особливостями місцевості, де росте рослина), пористості та гранулометричного складу, що призводить до збільшення похибок вимірювання.

Формулювання цілей

Основною метою проведеного дослідження є розроблення простого та надійного засобу контролю вологості зерна на базі удосконаленого діелектрометричного методу.

Вирішення завдання

В основу даного пристрою покладене завдання створення ємнісного вологоміра, в якому, за рахунок введення нових блоків та зв'язків між ними, підвищується точність вимірів шляхом усунення впливу нелінійності функції перетворення фазового детектора на похибку вимірів.

Ця задача досягається тим, що в ємнісному вологомірі додатково введені вольтметр амплітудного значення напруги *В*, цифровий фазометр *ЦФ*, цифровий пристрій *ЦП* та індикаційний блок *ІБ*, причому вольтметр амплітудного значення напруги своїм входом під'єднаний до зразкового елемента, а цифровий фазометр – до зразкового елемента і ємнісного первинного перетворювача вологості, виходи вольтметра амплітудного значення напруги і цифрового фазометра під'єднані до входу цифрового пристрою, вихід якого з'єднаний з входом блоку індикації.

На рис. 2 наведена структурна схема ємнісного вологоміра, на рис. 3, а – електрична еквівалентна схема, а на рис. 3, б – векторна діаграма напруг і струмів вимірювального перетворювача вологості [2–5].

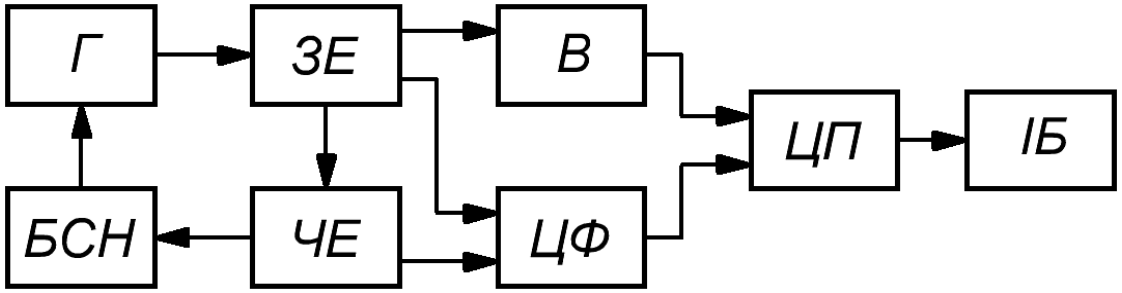
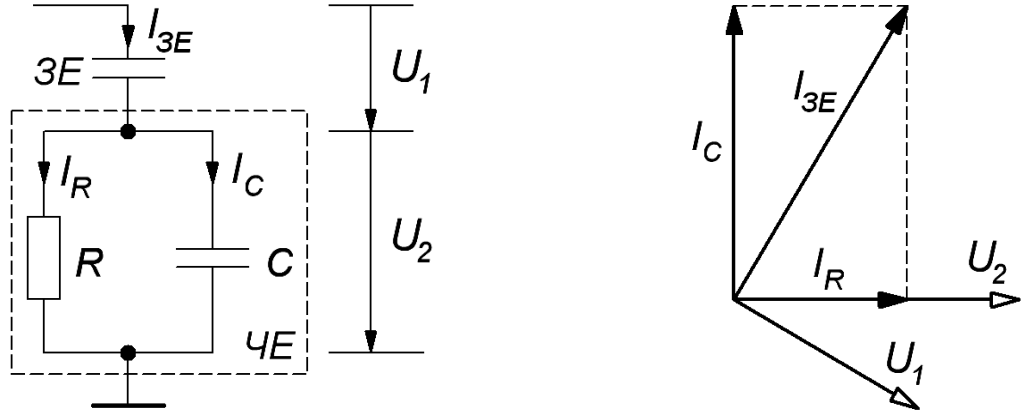


Рис. 2. Структурна схема ємнісного вологоміра



а) **б)**

Рис. 3. Електрична еквівалентна схема вимірювального перетворювача (ВП) ємнісного вологоміра (а) та векторна діаграма напруг і струмів вимірювального перетворювача вологості (б)

При дії напруги від генератора *Г* гармонічної напруги до послідовного кола, утвореного зразковим елементом *ЗЕ* і ємнісним чутливим елементом вологості *ЧЕ* на них виділяються напруги U_1 і U_2, що подаються на входи цифрового фазометра *ЦФ*, який вимірює фазовий зсув між ними. Окрім цього напруга U_1 зразкового елемента подається на вхід вольтметра амплітудного значення напруги *В*. Інформація про амплітуду U_1 та фазовий зсув φ між U_1 і U_2 подається на вхід цифрового пристрою *ЦП*, де перетворюється в сигнал, пропорційний вологості матеріалу, що надходить на вхід індикаційного блоку вологості *ІБ*. Напруга U_2 з ємнісного чутливого елемента вологості надходить на вхід блоку зворотного зв'язку стабілізації напруги *БСН* на ємнісному чутливому елементі вологості та порівнюється з еталонним значенням. Сигнал різниці з *БСН* на ємнісному первинному перетворювачі вологості подається на вхід *Г* і таким чином регулює амплітуду цієї напруги, щоб напруга U_2 була стабільною.

За виконання умови $U_2 = \text{const}$, струм I_C, що протікає через ємнісний елемент C на еквівалентній схемі рис. 3, а, буде залежати тільки від ємності цього елемента, яка визначається вологістю матеріалу і не залежить від опору діелектричних втрат R. При цьому вологість визначається за виразом

$$W = k \cdot I_C = k \cdot I_{3E} \cdot \cos\varphi = k \cdot \frac{U_1}{Z_{3E}} \cdot \cos\varphi ,$$

де k – коефіцієнт пропорційності, який визначається під час градуювання;

I_C – значення ємнісної складової струму ємнісного первинного перетворювача вологості;

I_{3E} – струм зразкового елемента;

U_1 – напруга зразкового елемента;

Z_{3E} – повний опір зразкового елемента;

φ – фазовий зсув між напругами U_1 і U_2.

Вологомір (рис. 4) дає інваріантність до нестабільних діелектричних втрат та не захищає від нестабільних пористості та гранулометричного складу. Тому необхідно застосовувати двочастотний вологомір на базі методу визначення ємнісної складової струму.

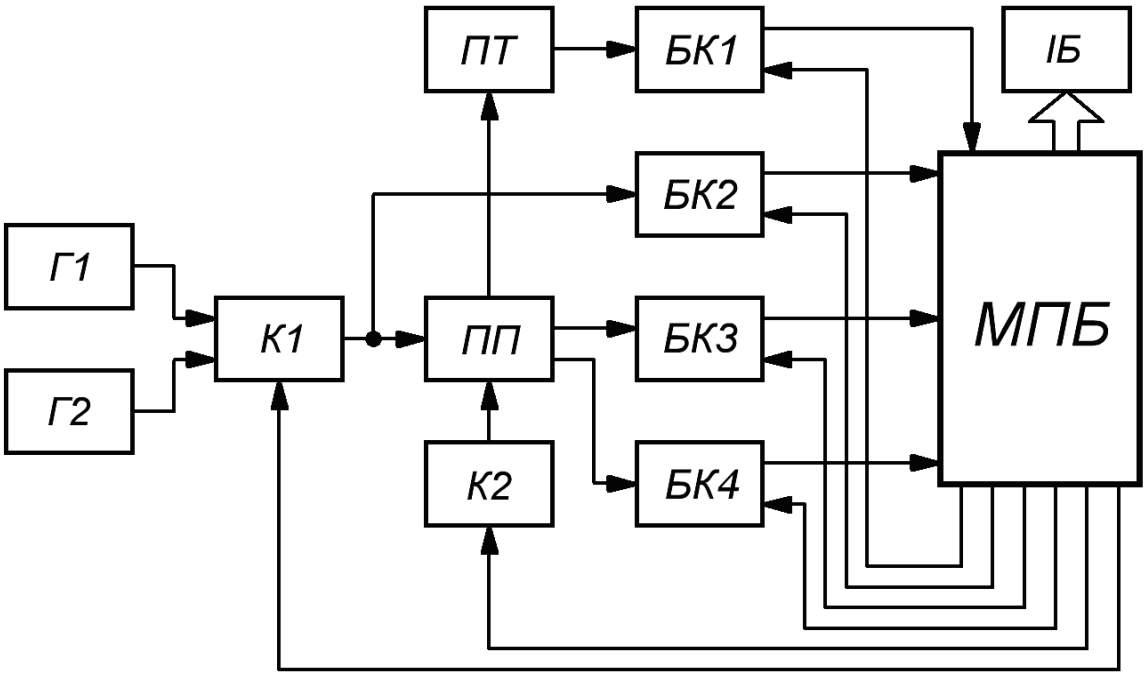


Рис. 4. Структурна схема засобу контролю вологості слабко зволоженого зерна

Структурна схема даного вологоміра передбачає наявність двох генераторів гармонічних коливань з вихідними сигналами f_1 і f_2, оскільки в основу побудови засобу контролю вологості покладений двочастотний метод визначення вологості. Головним елементом засобу контролю вологості є первинний перетворювач, в якому інформація про вологість перетворюється в пропорційний електричний сигнал. Аналогові гармонічні сигнали $U_{\Gamma 1}$ і $U_{\Gamma 2}$ з частотами f_1 і f_2 відповідно за допомогою комутатора *К1* мають по черзі подаватись на первинний перетворювач *ПП*, що утворений послідовно з'єднаними зразковим та чутливим елементом ємнісного типу, в якому знаходиться досліджуваний зразок зерна. Інформативні параметри: напруга генератора U_Γ, напруга зразкового елемента U_1 та напруга чутливого елемента U_2 через буферні каскади *БК* потрапляють на мікроконтролер.

Для усунення похибки засобу контролю за рахунок зміни температури навколишнього середовища до його структурної схеми додається перетворювач температури *ПТ*, інформація з якого у вигляді рівня напруги потрапляє на мікроконтролер.

Для виконання операції встановлення "нуля" в *ПП* передбачене коло імітації порожнього чутливого елемента, яке вмикається комутатором *К2*.

Контрольні випробування діелектрометричного вологоміра зерна проводились на підприємствах аграрної галузі Вінницької області термогравіметричним методом, де була використана така апаратура:

1. Шафа сушильна СЭШ-3МУ.
2. Апарат для прискореного охолодження зразків зерна після попереднього підсушування типу АУО-1.
3. Лабораторні ваги загального призначення з допустимою похибкою зважування ±0,01 грама.
4. Бюкси металеві з кришками.

5. Ексікатор Э-240.
6. Годинник.

Випробування проводилось у відповідності з ГОСТ 13586.5-93.

Результати випробувань приведені у табл. 1.

Таблиця 1

Дані для розрахунку імовірнісно-статистичних характеристик засобу контролю вологості

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
W_i,%	17,2	17,2	17,8	17,2	17,2	17,8	17,1	18,3	17,4	17,1
$W_{ві}$,%	17,27	17,14	17,87	17,21	17,18	17,73	17,17	18,35	17,46	17,05
i	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
W_i,%	17,4	16,8	16,9	16,8	18,0	18,0	17,4	17,3	16,9	17,4
$W_{ві}$,%	17,34	16,86	16,92	16,74	18,05	18,01	17,43	17,35	16,87	17,36
i	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
W_i,%	17,4	17,6	18,2	17,4	18,4	17,9	16,7	18,4	17,5	17,5
$W_{ві}$,%	17,38	17,55	18,22	17,41	18,47	17,94	16,76	18,38	17,55	17,48

Середньоквадратична похибка вимірювання вологості:

$$\sigma_в = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(W_i - W_{ві})^2} ,$$

де $W_в$ – значення вологості зерна, виміряне засобом контролю вологості.

В результаті опрацювання даних табл. 1 отримуємо $\sigma_в = 0{,}049$.

Отже, в результаті контрольних випробувань встановлено, що середньоквадратичне відхилення результатів вимірювання складає 0,049% вологості.

Визначимо довірчий інтервал результатів вимірювань при $p = 0{,}95$, $t_\gamma = 2{,}045$

$$\overline{W} \pm t_\gamma \cdot \sigma_в = (17{,}5 \pm 0{,}182)\% .$$

Таким чином абсолютна похибка вимірювання не перевищує 0,182% вологості.

При цьому приведена похибка

$$\delta_n = \frac{\Delta W}{W_n} = 0{,}0101 = 1{,}01\% .$$

З генеральної сукупності результатів вимірювання вологості зерна пшениці сорту “Колос Миронівщини”, одержаних термогравіметричним методом, візьмемо вибірку з тридцяти значень вологості і висуваємо гіпотезу про нормальний закон їх розподілу.

Перевірку міри узгодженості дослідного розподілу з теоретичним робимо графоаналітичним методом із використанням інтеграла Лапласа. За отриманими значеннями будується графік $y_i(W_i)$ (рис. 5).

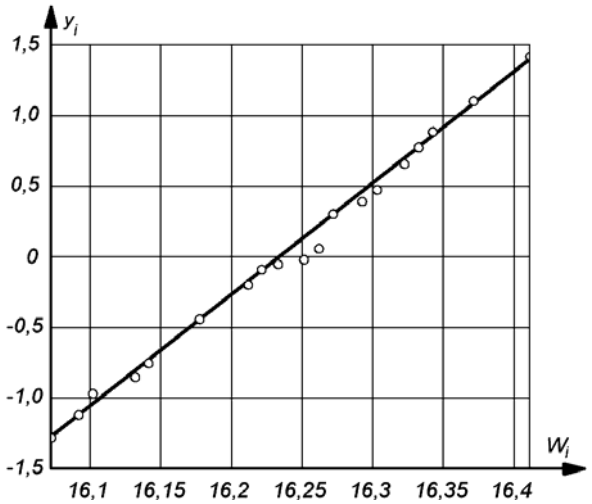


Рис. 5. Ілюстрація використання графоаналітичного методу для вибірки зразків зерна

Оскільки графік $y_i(W_i)$ за формою наближається до прямої, то дана вибірка зразків зерна не суперечить нормальному закону розподілу.

Висновки

Таким чином, запропонований пристрій реалізує метод діелектрометричного контролю вологості, що має високу захищеність від нестабільних діелектричних втрат, пористості і гранулометричного складу зерна.

Проведені дослідження експериментального зразка вологоміра у порівнянні із стандартним методом показали, що його метрологічні характеристики, а саме: середньоквадратична похибка вимірювання вологості дорівнює 0,049%, абсолютна похибка не перевищує 0,182%, приведена – 1,01%, дозволяють проводити контроль вологості із високою достовірністю.

Література

1. Егоров А.Е. Исследование устройств и систем автоматики методом планирования эксперимента / Алексей Егорович Егоров, Генадий Никофорович Азаров, Александр Викторович Коваль ; [под ред. В. Г. Воронова]. – Харьков : Вища школа, 1986. – 240 с.

2. Декл. пат. 14659 Україна, МПК G 01 N 27/22. Ємнісний вологомір / Поджаренко В. О., Куцевол М. О., Куцевол О. М. ; заявник патентовласник Вінницьк. націон. техн. ун-т. – №u200511929 ; заявл. 12.12.05 ; опубл. 15.05.06, Бюл. № 5. 3 с.

3. Куцевол М. О. Двочастотний метод вимірювання вологості капілярно-шпаристих матеріалів зі значними втратами / М. О. Куцевол, О. М. Куцевол // Контроль і управління в складних системах : міжнар. наук.-техн. конф., 3-5 лют. 1999 р. : тези доп. – Вінниця : ВПІ, 1999. – С. 185–188.

4. Куцевол О. М. Метод визначення ємності матеріалу зі значними діелектричними втратами / О. М. Куцевол, М. О. Куцевол // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах : IX наук.-техн. конф., 30 трав.–2 черв. 2002 р. : тези допов. – Хмельницький, 2002. – С. 86–88.

5. Пат. 75699 Україна, МПК G 01 N 27/22. Спосіб вимірювання вологості / Поджаренко В. О., Куцевол М. О., Куцевол О. М. ; заявник патентовласник Вінницьк. націон. техн. ун-т. – №2004031999 ; заявл. 18.03.04 ; опубл. 15.05.06, Бюл. № 5. 3 с.

References

1. Egorov A. E. Issledovanie ustroystv i sistem avtomatiki metodom planirovaniya eksperimenta. Kharkov, Vischa shkola, 1986. – 240 c.

2. 2. Dekl. pat. 14659 Ukraine, MPK G01N27/22. Yemnisnyi volohomir / Podzharenko V. O., Kutsevol M. O., Kutsevol O. M. – № u200511929; Zajavl. 12.12.05; Opubl. 15.05.06, Biul. – №5. – 3 c.

3. Kutsevol M. O., Kutsevol O. M. Dvochastotnyi metod vymiriuvannia volohosti kapiliarno-shparystykh materialiv zi znachnymy vtratamy. Kontrol i upravlinnia v skladnykh systemakh: mizhnar. nauk.-tekhn. konf. Vinnytsia, VPI, 1999. – C. 185–188.

4. Kutsevol O. M., Kutsevol M. O. Metod vyznachennia yemnosti materialu zi znachnymy dielektrychnymy vtratamy. Vymiriuvalna ta obchysliuvalna tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh : IX nauk.-tekhn. konf.. Khmelnytskyi, 2002. – C. 86–88.

5. 5. Pat. 75699 Ukraine, MPK G01N27/22. Sposib vymiriuvannia volohosti / Podzharenko V. O., Kutsevol M. O., Kutsevol O. M. – № 2004031999 ; Zajavl. 18.03.04; Opubl. 15.05.06, Biul. – №5. – 3 c.

Рецензія/Peer review : 26.1.2015 р. Надрукована/Printed :15.4.2015 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Паламарчук І. П.

УДК 330.46

Н.Я. ВОЗНА
Тернопільський національний економічний університет

ОСНОВИ ТЕОРІЇ СТРУКТУРИЗАЦІЇ ПОЛІФУНКЦІОНАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ СКЛАДНИХ СИСТЕМ

Стаття стосується проблеми формалізації елементів та бінарних зв'язків поліфункціональних даних. Визначено поняття вільного та діючого елемента складної системи та їх класи відносно взаємодії з середовищем ресурсів та споживачів інформаційних повідомлень.

Ключові слова: елемент системи, середовище, інформаційні ресурси, споживачі, класифікація.

N. VOZNA
Ternopil National Economic University

BASIC THEORY OF STRUCTURING MULTIFUNCTIONAL ELEMENTS OF COMPLEX SYSTEMS

Abstract - This article deals with the problem of formalizing elements and binary relations multifunctional data. The concept of free and active element of a complex system and their classes relatively interaction with the environment resources and consumer information messages. The aim is to formalize elements and binary relations multifunctional data in complex systems. Proved the concept of free and active element of a complex system. Classified six attributes of binary relations elements such as: information, material, energy, optical, management, general. Present table four classes of active interaction between elements of complex systems of signs: generating absorbing, transit, full-featured. Theoretical principles of assessment of structural complexity of binary and multi-level images. Outlined the fundamentals of the theory to solve the problem of structuring multifunctional data defined and the concept of an element of a complex system and examples of implementation in different fields.

Keywords: element system, environment, information resources, consumers classification.

Постановка проблеми. Важливою проблемою теорії складних систем є декомпозиція їх компонентів, систематизація інформаційних, матеріальних та керуючих інтерактивних зв'язків [1].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Фундаментальні положення теорії складних систем тісно пов'язані з методологією та технологією побудови моделей руху поліфункціональних даних (ПФД). Одним з перспективних напрямків вирішення цієї проблеми є теорія та формалізація матричних моделей руху даних [2–4].

Позитивною характеристикою створення теорії є розроблена інформаційна технологія формалізації побудови сімейства похідних моделей руху даних в однорівневих та багаторівневих розподілених комп'ютерних системах [3, 5]. В той же час така технологія базується на компонентах "кольорових" мереж Петрі типу: ⊙ – джерело інформації, ◯ – пункт обробки інформації, ⊗ – пункт затвердження інформації, а також двовимірної матриці інциденцій (рис. 1). У вузлах матричної моделі розміщені компоненти з бінарними інформаційними зв'язками, які описуються четвіркою параметрів: a – початок виконання операції; b – тривалість виконання операції; c – тип операції; $P-V$ – собівартість виконання операції (P – прибутки, V – витрати).

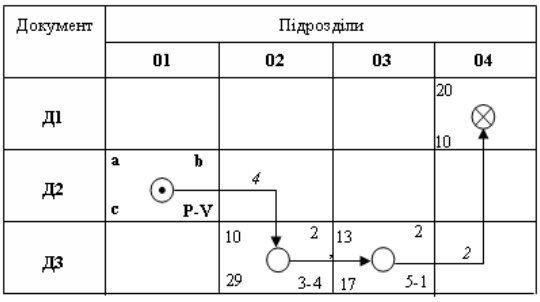


Рис. 1. Двовимірна матриця інциденцій

Виклад основного матеріалу. Функціональним недоліком матричного моделювання інформаційних потоків в складних системах є відсутність декомпозиції кожного атрибута до рівня вільного та діючого елемента системи. Така ситуація ускладнює можливість глибшого формалізованого опису компонентів складних систем та досконалішого оптимізаційного проектування такого класу систем. Тобто елемент складних систем при такій технології розглядається, як кібернетичний атрибут типу "чорна скринька" [5].

Особливістю моделі кібернетичної системи "чорна скринька" (рис. 2) є відсутність необхідності вивчення внутрішньої структури та компонентів системи, яка може бути достатньо складна для оперативного аналізу.

Рис. 2. Модель елемента "чорна скринька"

Перевагою такої моделі ЕС, є можливість доцільного визначення його характеристик шляхом подання на входи функціональних або тестуючих сигналів та аналізу вихідної його реакції на зовнішні збурення. В той же час суттєвими недоліками застосування такої моделі є неможливість вдосконалення архітектури ЕС, доцільного розділення на окремі компоненти, а також оптимізація його функцій.

Теорія структуризації даних (ТСД) повинна базуватися на фундаментальних положеннях теорії складних систем (СС), однією з властивостей поняття "системи" є ділимість [6]. Тобто система структурно поділяється на : елемент системи, підсистему і систему.

Елемент системи (ЕС) – це елементарний компонент підсистеми і системи будь-якої складності, який можна позначити символом **e**.

Елемент складається з двох компонентів: ядра – **e** та оболонки □, у біології "мембрани", через яку ядро елемента взаємодіє із собі подібними або функціонально іншими.

Такий елемент теорії складних систем (СС) називається вільним, якщо у нього відсутні інформаційні, енергетичні, матеріальні чи управлінські зв'язки з іншими елементами СС та "зовнішнім середовищем" взагалі.

Під зовнішнім середовищем розуміють два "простори" або "конгломерати" чи "ансамблі", які відповідають ресурсам (R) та споживачам чи користувачам (С) інформаційних поліфункціональних даних (рис. 3).

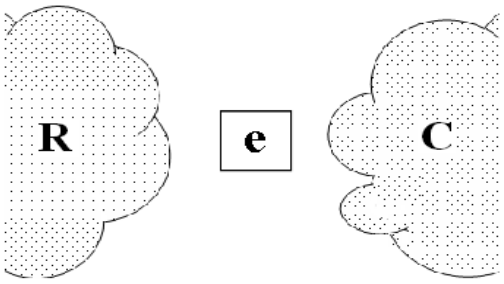
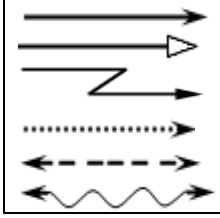


Рис. 3. Взаємодія елемента системи із середовищами R– ресурсів та С – користувачів

Отже, не претендуючи на абсолютну повноту класифікації зовнішніх взаємодій елемента систем (ЕС), виходячи із сформульованого поняття ЕС маємо шість наступних форм взаємодії ЕС з R та С зовнішніми середовищами, згідно атрибутів символіки (табл. 1).

Таблиця 1

Атрибути зв'язків ЕС

Символ атрибуту взаємодії ЕС	Зміст, форма, суть, принцип реалізації взаємодії
	інформаційний матеріальний енергетичний, електромагнітний оптико-енергетичний управлінський будь-який із зв'язків – узагальнений атрибут ЕС

Користуючись атрибутом зв'язку ЕС сформулюємо більш строге поняття діючого ЕС: це ЕС, який має не більше одного інваріантного зв'язку із зовнішніми середовищами (рис. 4).

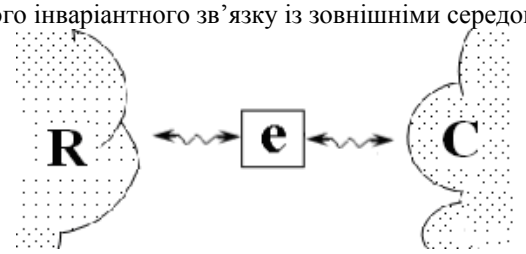


Рис. 4. Діючий ЕС

Таким чином, можна систематизувати сукупність діючих ЕС, тобто елементів, ядро яких взаємодіє не більш, ніж з одним атрибутом зовнішніх RC-середовищ (табл. 2).

З таблиці 2 видно, що у наведеній класифікації ЕС вирізняються класи за функціональними ознаками:

- неповнофункціональні ЕС (NES): генеруючі (NGES) (п. 1, 2) та поглинаючі (PMES) (п. 3, 4);
- транзитні ТРЕС-С (п. 5–10), ТРЕС-R (п. 11–15) у середовищах R та С;
- повнофункціональні інваріантні (ІРЕС) (п. 16–20).

Наведена систематизація ЕС визначає особливу складність процесів структуризації та їх формалізованого опису у різних галузях знань.

Такими галузями знань ТСД безсумнівно є наступні теорії [7]: сигналів, інформації, випадкових процесів, кодування, моделей джерел інформації та руху даних, графів, чисел, математики, а також аудіо- і відео зображень, сенсорів та схемотехніки.

Виходячи з функціонально-визначеного поняття ЕС можна назвати їх реалізацію у певних сферах знань:

квант світла;

● – крапка – символ чорно-білих графічних зображень, які утворюють символи: цифри, букви, знаки, лінії, функції, матриці, схеми, структури, тощо;

○ – піксель-символ кольорового зображення, який складається з трьох компонентів кольорів (синього, зеленого, червоного);

– вентиль, елементарний компонент мікроелектроніки, ПЛМ та комп'ютерів;

– нейрон (рецепторний) біологічних систем;

– компоненти хімічних сполук (атом, молекула);

A, T, G, C – нуклеотиди – компоненти ДНК;

ген компонент ДНК;

ДНК – макромолекула живих організмів;

компоненти електричних схем (I – струм, U – напруга, C – ємність, L – індуктивність, G – джерело струму та напруги);

одиниця часу (мкс, млс, с);

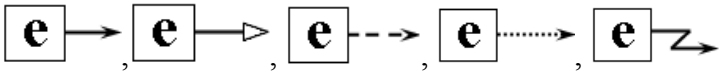
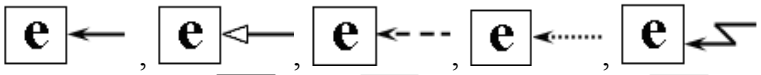
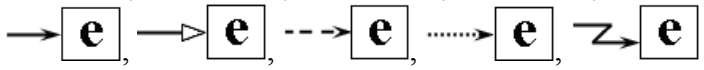
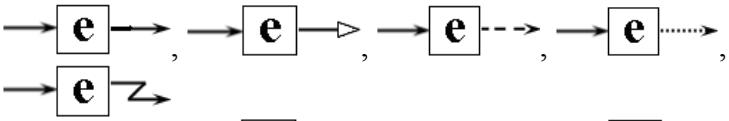
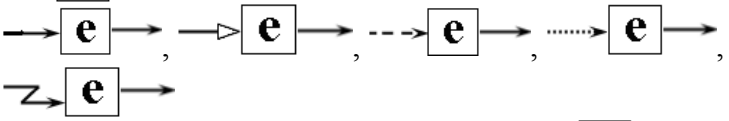
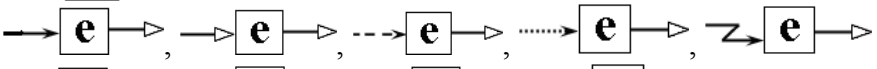
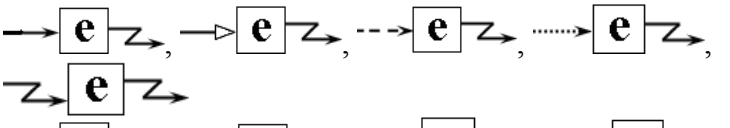
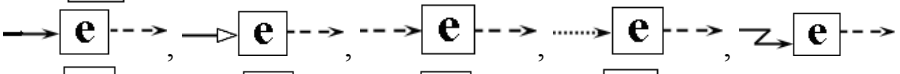
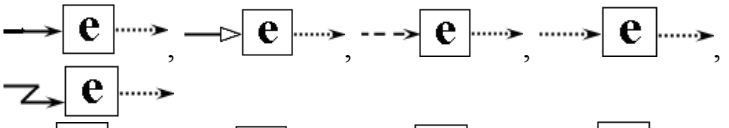
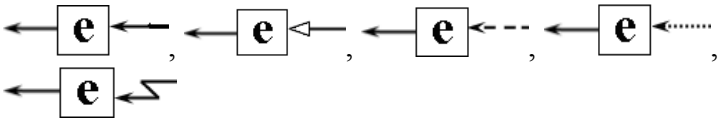
p, t, M – тиск, температура, маса;

математичні символи – число, функція, матриця, інтеграл, диференціал та ін.;

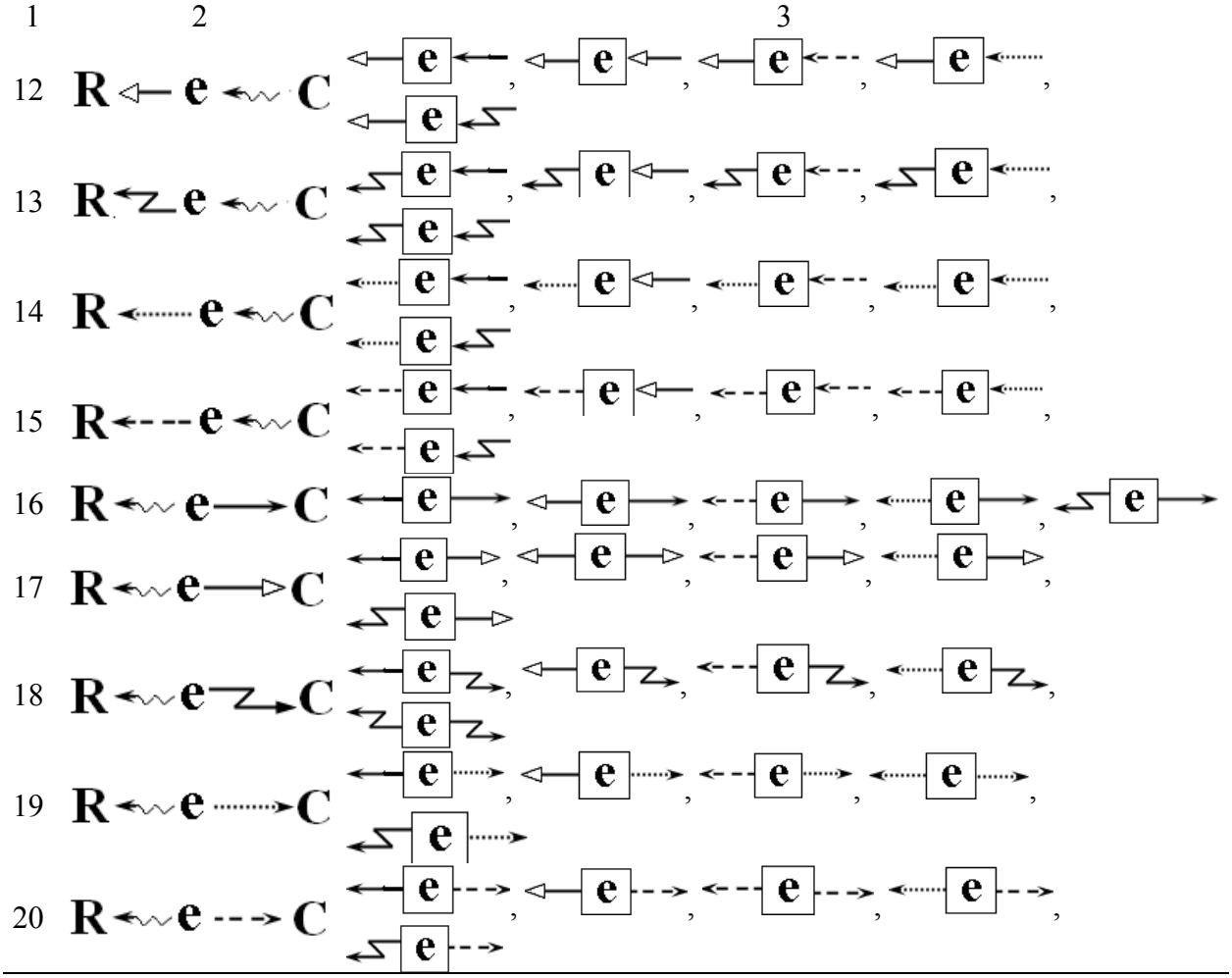
геометричні символи – лінія, коло, трикутник, квадрат, еліпс, куб та ін.

Таблиця 2

Бінарні взаємодії активних ЕС

№	Пари взаємодії	Атрибути бінарних взаємодій ЕС R⟿e⟿C
1	2	3
1	e⟶C	
2	R⟵e	
3	e⟵C	
4	R⟶e	
5	R⟶e⟿C	
6	R⟿e⟶C	
7	R⟿e⟶C	
8	R⟿e⟿C	
9	R⟿e⇢C	
10	R⟿e⋯⟶C	
11	R⟵e⟿C	

Продовження табл. 2



Список претендентів на формальне поняття ЕС у різних галузях знань можна енциклопедично продовжувати, але треба постулювати наступне.

Кожен із названих і неназваних претендентів на формальне поняття ЕС може бути однозначно описаний з точки зору інформатики та системотехніки на основі єдиної інтегральної оцінки його інформаційної ємності, тобто ентропії і його багатофункціонального опису у вигляді структуризованих даних.

Наприклад, оцінка структурної ємності графічних атрибутів, якими майже 98% всіх інформаційних знань подається у вигляді потоків алфавітно-цифрових та графічних, у тому числі кольорових та голографічних зображень може бути кількісно розрахована згідно, розроблених нами і апробованих, теоретичних засад [7–9] коефіцієнта структурної складності.

Коефіцієнт структурної складності $k_c = \sum_{i=1}^{n} \alpha_i P_i$ включає α_i – вагові коефіцієнти експертних оцінок інформативності компонентів атрибутів ПФД, P_i – параметри атрибутів ПФД.

Враховуючи також функціонально-інформативні характеристики ПФД $\sum_{j=1}^{m} f_i$ отримаємо кількісну оцінку структурної складності представлення елементів складної системи:

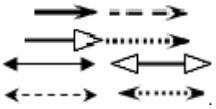
$$k_e = K \cdot \frac{\sum_{j=1}^{m} f_j}{\sum_{i=1}^{n} \alpha_i P_i} \Rightarrow \max,$$

K – ідентифікатор рівня ПФД ($K = n, \ldots$ – відповідно для n-рівневих зображень).

У табл. 3 наведена символіка компонентів ПФД та коефіцієнти їх складності α_i .

Таблиця 3

Символіка компонентів ПФД

№п/п	Назва елемента	Символ	α_i	№п/п	Назва елемента	Символ	α_i
1	Лінія		1	7	Направлений зв'язок		2 3
2	Поворот		2				
3	Пересічення		3	8	Літера	Аа, Бб,…..	8
4	Дотик		2	9	Цифра	0, 1, 2,…., 9	4
5	Розгалуження		2	10	Індекс	$_{а,б,в\ldots,}{}^{1,\,2,\,3}\ldots.$	4
6	Заливка		2	11	Знак	<,>,.,;,-,+….	2

Розроблені основи теорії ТСД можуть бути базовими для розвитку сучасних методів та засобів ідентифікації та оптимізації подання, перетворення та використання поліфункціональних інформаційних повідомлень, доведених до стану структуризованих даних.

Висновки. Викладені фундаментальні основи вирішення проблеми теорії структуризації поліфункціональних даних, визначено та сформульовано поняття елемента складної системи та приклади їх реалізації у різних галузях знань. Наведені приклади розрахунку коефіцієнта структуризації для моделей руху даних та маніпульованих сигналів.

Література

1. Катренко А.В. Системний аналіз : підручник / Катренко А.В. – Львів : "Новий світ - 2000", 2011. – 396 с.

2. Николайчук Я.М. Теорія моделей руху даних розподілених комп'ютерних систем : монографія / Я.М. Николайчук, І.Р. Пітух, Н.Я. Возна. – Тернопіль : ТзОВ "Терно-граф", 2008. – 216 с.

3. Nykolaichuk Ya.M., Vozna N.Y., Pitukh I.R. Structuring the movement of data in computer systems. Ternopil: Terno-graf, 2013. 284 p.

4. Николайчук Я.М. Особливості структурної організації фреймів в комп'ютерних мережах з глибоким розпаралеленням потоків даних / Я. Николайчук, І. Пітух, А. Новгородський // Вісник Хмельницького національного університеті. – Хмельницький, 2005.– № 4. – Ч. 1. – Т. 2. – С. 7–10.

5. Николайчук Я.М. Проектування спеціалізованих комп'ютерних систем : навчальний посібник / Николайчук Я.М., Возна Н.Я., Пітух І.Р. – Тернопіль : ТзОВ "Терно-граф". 2010. – 392 с., іл.

6. Николайчук Я.М. Теорія джерел інформації / Николайчук Я.М. – Тернопіль : ТНЕУ, 2008. – 536 с.

7. Vozna N.Ya., Nycolaychuk Ya.M., Alishov N.I. Conception and Theoretical Bases for Solving the Problem of Data Structuring in Information Computerized Systems. Journal of Qafqaz University. Mathematics and Computer Science. Baku. Azerbaijan, 2013. Volume 1, № 2. P.112–117.

8. Возна Н.Я. Концепція структуризації даних в розподілених інформаційних системах / Н.Я. Возна // Збірник матеріалів міжнародної координаційної наради ISCM-2014. – Тернопіль, 2014. – С. 55–57.

9. Возна Н.Я Теорія та оцінка інформативності структурованих графічних та відеозображень / Н.Я. Возна // Збірник матеріалів проблемно-наукової міжгалузевої конференції "Юриспруденція та проблеми інформаційного суспільства" (ЮПІС-2011) – Івано-Франківськ, 2011. – С. 65–70.

References

1. Katrenko A.V. System analysis: tutorial - Lviv: "New World - 2000", 2011. – 396p.

2. Nykolaichuk Ya.M. Theory models of motion data distributed computer systems: Monograph / Ya.Nykolaichuk, I.Pitukh, N.Vozna - Ternopil: Terno-graph, 2008 - 216 p.

3. Nykolaichuk Ya.M., Vozna N.Ya, Pitukh I.R. Structuring the movement of data in computer systems. Ternopil: Terno-graf, 2013.- 284p.

4. Nykolaichuk Ya.M Features of structural frames in computer networks with deep paralleling data streams / Ya.Nykolaichuk, I. Pitukh, A. Novohorodskyy // Herald of Khmelnytsky National University.- Khmelnitskyy.- 2005.- №4. - P.1. - V.2. - P.7-10.

5. Nykolaichuk Ya. Specialized Computer Systems Design / Tutorial / Ya Nykolaichuk., N. Vozna, I. Pitukh, - Ternopil: Terno-graph, 2010. – 392 p.

6. Nykolaichuk Ya.M.. Theory of information sources. Ternopol: TNEU. 2008.- 536 p.

7. Vozna N.Ya. Conception and Theoretical Bases for Solving the Problem of Data Structuring in Information Computerized Systems / N.Ya. Vozna , Ya.M. Nycolaichuk , N.I. Alishov // Journal of Qafqaz University. Mathematics and Computer Science. - Baku. Azerbaijan, 2013. - Volume 1, № 2. - P.112–117.

8. Vozna N.Ya. The concept of structuring data in distributed information systems, Proceedings of the International Coordination Meeting ISCM-2014. - Ternopil, 2014. - P.55-57.

9. Vozna N.Ya. Theory and measurement of informativeness of structured graphics and video. Sourcebook intersectoral problem-scientific conference "Law and challenges of the information society" - Ivano-Frankivsk, 2011. - P.65-70.

Рецензія/Peer review : 25.3.2015 р. Надрукована/Printed :7.4.2015 р.
Рецензент: д.т.н., професор Я.М. Николайчук

УДК 004.912

О.В. БАРМАК, О.В. МАЗУРЕЦЬ
Хмельницький національний університет

МЕТОДИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ВИЗНАЧЕННЯ СЕМАНТИЧНИХ ТЕРМІНІВ У НАВЧАЛЬНИХ МАТЕРІАЛАХ

В статті наведено аналіз методів для автоматичного визначення семантичних термінів у навчальних матеріалах. Для аналізу взята вибірка з 30 навчальних матеріалів. Для виявлення семантичних термінів застосовані методи частотної оцінки, оцінки TFIDF та дисперсної оцінки. Отриманні результати порівнювались зі списками термінів, що запропонували автори навчальних матеріалів. В результаті проведеного аналізу встановлено, що найбільша ефективність у розв'язанні задачі виявлення у навчальних матеріалах семантичних термінів досягається в ході використання метода дисперсної оцінки. Виявлено фактори, що перешкоджають ефективному аналізу навчальних матеріалів.

Ключові слова: навчальні матеріали, аналіз, ключові терміни, дисперсна оцінка.

O. BARMAK, O. MAZURETS
Khmelnytsky National University

METHODS OF AUTOMATION OF DEFINITION OF SEMANTIC TERMS IN EDUCATIONAL MATERIALS

The article presents the analysis of methods of automatic detection of the semantic terms in educational materials. 30 educational materials are taken for the analysis as the samples. The methods of term frequency, TFIDF and disperse evaluation are used to identify semantic terms. The obtained results were compared with lists of terms offered by the authors of the educational materials. The analysis shows, that the maximum efficiency in the task of identifying of semantic terms in educational materials reached by using the method of disperse evaluation. The factors that hinder effective analysis of educational materials have been found.

Keywords: educational materials, analysis, key terms, disperse evaluation.

Постановка проблеми в загальному вигляді

Поширення інформаційних технологій та розвиток глобальної мережі й телекомунікацій привели до значних змін у вищій освіті [1]. Одним із проявів цих змін стало виникнення нової форми освіти – дистанційної. На сучасному етапі велика кількість навчальних закладів пропонують послуги цієї форми навчання – як в світі, так і в Україні [2].

Характерною рисою дистанційної освіти є повний перехід на інформаційні технології, що визначає необхідність суттєвої формалізації та стандартизації навчального процесу [3]. Зокрема, є загальноприйнятим підхід [4] застосування як інструменту навчання матеріалів у вигляді цифрових документів визначеної структури, і тестів як інструмента контролю рівня отриманих знань [5]. Для розробки та використання курсів навчальних дисциплін за наведеним принципом використовуються спеціалізовані середовища, найбільш розповсюдженим із яких є Moodle [6].

За таких умов, потенційна якість отриманих освітніх послуг безпосередньо визначається відповідністю навчальних матеріалів курсу вимогам стандартів освіти (робочим планам, структурі навчального плану тощо), і тестів – навчальним матеріалам [7]. Необхідність автоматизації процесу створення такого контенту та оцінки його якості поширюється на всі форми освіти (а не тільки дистанційну). Якщо структурна відповідність може бути оцінена шляхом порівняння зі стандартами (базуючись на структурі цифрового документу, то задача оцінки семантичної відповідності залишається актуальною [8].

Аналіз останніх досліджень

Одним із способів вирішення задачі оцінки семантичної відповідності є аналіз термінологічної бази навчальних матеріалів. З навчальної точки зору, ключовою властивістю контенту є його семантика, яку формалізовано відображають у вигляді семантичної мережі [9], вузлами якої є терміни, що несуть семантичне навантаження, а дуги відображають характер зв’язку між вузлами [10].

Зв'язок між термінами навчальних матеріалів залежить від багатьох факторів (галузь знань, тип лекції, літературні здібності автора, тощо) й може змінюватися у широких межах без втрати якості викладання, що знижує актуальність його аналізу. Тому переважно аналіз саме термінів, що використовуються у навчальних матеріалах, дозволяє визначити якість цих навчальних матеріалів та їх відповідність вимогам. Крім цього, визначені семантичні терміни у навчальних матеріалах, спроможні допомогти при створенні тестів, адже тести як засіб перевірки якості засвоєння сенсу навчальних матеріалів відповідним чином ставлять на меті задачу перевірки якості засвоєння термінів як складових семантичних одиниць навчальних матеріалів. Отже, задача автоматизації визначення семантичних термінів у навчальних матеріалах є актуальною задачею сучасної освіти.

Термінами можуть бути як ключові слова, так і ключові словосполучення. Ключові словосполучення можуть містити довільну кількість слів, і бути семантичними мережами малої ємності. В рамках аналізу їх склад доцільно спрощувати до двох слів. При цьому в процесі пошуку як мінімум одне із цих слів можна розглядати як термін в межах навчальних матеріалів. Тож питання автоматизації пошуку ключових слів у контенті навчальних матеріалів є першочерговою задачею в процесі вирішення

розглядуваної проблеми.

Постановка задачі. Дослідження сучасних відомих методів аналізу текстів для оцінки їх ефективності й придатності до використання у задачі автоматизації пошуку ключових семантичних термінів у контенті навчальних матеріалів.

Викладення основних матеріалів дослідження

Застосування різноманітних методів аналізу текстів дозволяє зіставити окремим словам або словосполученням тексту деякі певним чином поставлені у відповідність числові вагові значення, що вказують на міру їх важливості в досліджуваному тексті. Ці методи розрізняються за алгоритмами обрахунку вказаних вагових значень [11]. Найбільш розповсюдженими методами аналізу текстів є частотна оцінка, оцінка TFIDF та дисперсна оцінка.

Частотна оцінка Tf (term frequency) є частотою згадувань певного слова і у тексті, що розглядається, й обчислюється наступним чином [12]:

$$Tf_i = \frac{n(i)}{\sum_k n_{ik}}, \tag{1}$$

де $n(i)$ – кількість згадувань слова i у тексті, $\sum_k n_{ik}$ – загальна кількість слів у тексті.

Оцінка TFIDF є добутком частоти згадувань слова у тексті *Tf* (term frequency) та зворотної документарної частоти слова *Idf* (inverse document frequency) [13]:

$$TfIdf = Tf * Idf, \tag{2}$$

де

$$Tf_i = \frac{n(i)}{\sum_k n_{ik}},$$

$$Idf_i = \log\frac{D}{d_i},$$

де D – кількість фрагментів, на які розбивається текст при аналізі; d_i – кількість фрагментів, у яких дане слово присутнє.

Дисперсна оцінка за змістом близька до оцінки TFIDF, та є оцінкою дискримінантної сили слів. Вона дозволяє відділити із загального переліку широковживаних у тексті слів слова, що розташовані рівномірно. Якщо деяке слово A в тексті, що складається з N слів, позначене як A_k^n, де індекс k – номер появи даного слова в тесті, а n – позиція даного слова в тексті, то інтервал між послідовними появами слова при таких позначеннях буде величина $\Delta A_k^m = A_{k+1}^m - A_k^n = m - n$, де на m-ій і n-ій позиціях в тесті знаходиться слово A, яке зустрілось k+1-й і k-й рази. Тоді дисперсійна оцінка розраховується наступним чином [14]:

$$\sigma = \frac{\sqrt{(\Delta A^2) - (\Delta A)^2}}{(\Delta A)} \tag{3}$$

де (ΔA) – середнє значення послідовності $\Delta A_1, \Delta A_2, \Delta A_k$; (ΔA^2) – послідовності A_1^2, A_2^2, A_k^2; K – кількість появи слова A в тексті.

Запропоновано проаналізувати вибірку навчальних матеріалів шляхом використання запропонованих методів для визначення ключових семантичних термінів за схемою, наведеною на рис. 1.

Для проведення експериментів за наведеною вище схемою було розроблено тестове програмне забезпечення, що реалізує обробку контенту навчальних матеріалів трьома розглянутими методами (частотний аналіз, аналіз TFIDF та дисперсний аналіз) з відповідними ваговими параметрами.

В процесі обробки контенту переліки ключових слів, отримані за відповідними методами, обмежуються за кількісним порогом й формують множини B_1, B_2, B_3. В подальшому ці множини порівнюються із множиною B_A, утвореною переліком ключових термінів, який сформовано автором навчального матеріалу. Перетин цих множин $B_k \cap B_A$ визначає ефективність відповідного методу k.

Максимальна область перетину авторського переліку зі сформованими за стосунком переліками $B_k \cap B_A \to \max$ визначає найбільш ефективний метод автоматизації пошуку ключових семантичних термінів у контенті навчальних матеріалів.

Ефективність наведених методів пропонується визначати за наступною формулою:

$$E_k = \frac{N_{Ak}}{N_A} \cdot 100\%, \tag{4}$$

де N_{Ak} – кількість термінів у авторському (B_A) та сформованому за k-м методом (B_k) переліками термінів, що співпали ($B_k \cap B_A$); N_A – кількість термінів у переліку термінів B_k, сформованому експертом (автором).

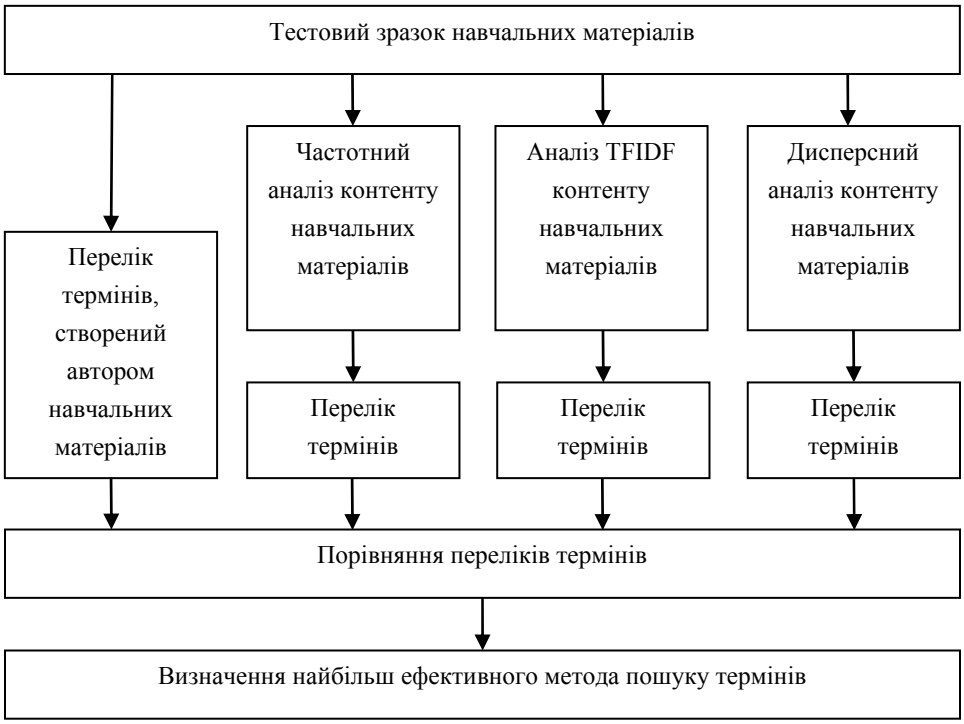


Рис. 1. Схема оцінки ефективності методів обробки текстів

Результати дослідження

В результаті тестування (на прикладі лекційного матеріалу «Введення у реляційну модель даних» навчального курсу «Вступ до реляційних баз даних» [15]) розробленим програмним забезпеченням отримуються три переліки ключових термінів за відповідними методами аналізу та проводиться їх порівняння у сукупності з авторським переліком. Деякі результати порівняння наведено у табл. 1.

На основі наведених даних дослідження, за формулою (4) побудовано діаграму ефективності розглянутих методів формування переліку ключових термінів у порівнянні з авторським переліком (рис. 2). Ефективність методу частотної оцінки склала 33,3%, методу оцінки TFIDF – 30,3%, методу дисперсної оцінки – 84,8%.

Таблиця 1

Фрагмент порівняльної таблиці аналізу термінів

№ п/п	Термін	Визначено автором	Частотний аналіз	Аналіз TFIDF	Аналіз дисперсії
1	реляційна база даних	+	+		+
2	тип даних	+	+	+	+
3	домен	+		+	+
4	реляційна модель даних	+			+
5	обмеження цілісності	+		+	+
6	заголовок відношення	+			+
7	значення відношення	+	+		+
8	перша нормальна форма	+			+
9	модель даних	+	+		+
10	СКБД	+	+		+
11	реляційне числення	+			
12	цілісність сутності	+		+	+
13	булевий тип	+			+
14	зовнішній ключ	+		+	+
15	SQL	+			
16	заголовок відношення				+
17	унікальність значень			+	

Аналогічним чином було досліджено 30 лекцій із різних навчальних курсів й обраховано середню ефективність кожного із методів. Середня ефективність методу частотної оцінки склала 27,1%, методу оцінки TFIDF – 45,5% та методу дисперсної оцінки – 88,3% (рис. 3).

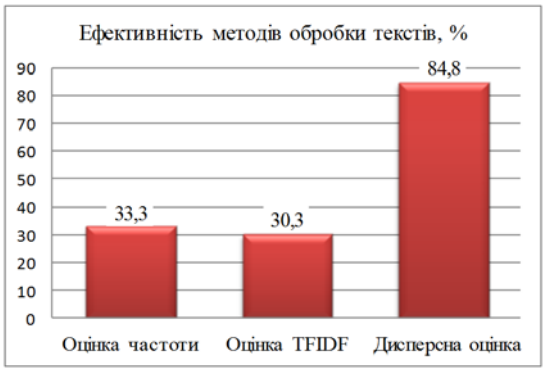


Рис. 2. Діаграма ефективності методів обробки текстів

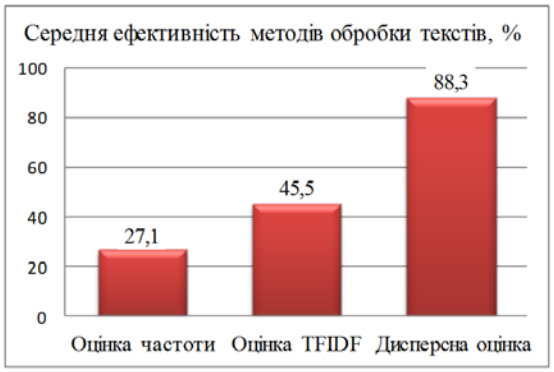


Рис. 3. Діаграма середньої ефективності методів обробки текстів

Таким чином, метод дисперсної оцінки продемонстрував найвищу ефективність серед досліджуваних методів, показавши при цьому мінімальну ефективність 67,7%, максимальну – 100%.

Дискусія

Результат застосування частотного аналізу свідчить, що цей метод надає велику вагу не тільки ключовим словам, а й словам із максимальною частотою – сполучникам, прийменникам і часткам, що відіграють велику роль для зв'язності тексту, проте не несуть навантаження з точки зору семантичної структури.

Метод TFIDF дозволяє дещо відсіяти слова, що використовуються для зв'язування тексту, через їх велике значення розповсюдженості у контенті, але значна вага надається словам, важливість яких є обмеженою в рамках локальних елементів контенту, зокрема, наприклад, важливі слова із практичних прикладів та важливі оператори й змінні у лістингах програмного коду. Тому даний метод використовується переважно для аналізу масивів незв'язних текстів, й продемонстрував низьку ефективність при аналізі контенту навчальних матеріалів.

Отриманий результат аналізу контенту лекції методом дисперсного оцінювання дозволив визначити перелік слів, найбільш близький до переліку, сформованого експертом (автором курсу).

Слід зауважити, що одним з факторів, які зменшують ефективність обробки, є недостатня якість вхідних даних. У процесі аналізу було встановлено групи факторів, що перешкоджають ефективному аналізу навчальних матеріалів:

- некоректна побудова переліку ключових термінів авторами курсів;
- некоректне формування контенту навчальних матеріалів.

До некоректної побудови списків термінів авторами призводять:

- використання одночасно декількох мов (українська та англійська);
- включення в перелік термінів одночасно абревіатур і повних назв при використанні в тексті лише одного з варіантів;
- включення в перелік термінів тегів, що визначають рубрикацію й тематичну приналежність текстів, але не розкриваються в рамках їх контенту;
- включення в перелік термінів таких, що використовуються в тексті одноразово.

Причинами некоректного формування контенту навчальних матеріалів авторами є:

- некоректне використання абревіатур (наприклад, «СКБД», «Система керування БД», «Система керування базами даних);
- використання протягом викладення матеріалу термінів одночасно кількома мовами;
- непослідовність та диспропорції при викладенні матеріалу.

З метою підвищення ефективності застосування методу дисперсної оцінки контенту навчальних матеріалів визначено подальші напрямки досліджень:

- для підвищення ефективності формування переліків ключових термінів навчальних матеріалів із використанням методу дисперсної оцінки є доречним використання додаткових фільтрів для відсіювання категорій слів та попередньої обробки контенту навчальних матеріалів.
- з метою наближення вигляду результатів пошуку ключових термінів до авторських зразків, необхідно визначити ефективні методи об'єднання знайдених слів у словосполучення та колокації.

Висновки

В результаті дослідження методів аналізу текстів було встановлено, що найбільшу ефективність у вирішенні задачі автоматизації пошуку ключових слів у контенті навчальних матеріалів досягнуто методом дисперсної оцінки. Виявлені фактори, що перешкоджають ефективному аналізу навчальних матеріалів.

Подальші дослідження направлені на вдосконалення методики використання дисперсної оцінки при обробці контенту навчальних матеріалів та пошук ефективних методів об'єднання знайдених слів.

Література

1. Нові інформаційні технології в освіті [Електронний ресурс]. – 2015. – Режим доступу : http://it-

tehnolog.com/statti/novi-informatsiyni-tehnologiyi-navchannya/.

2. University of the People [Електронний ресурс]. – 2015. – Режим доступу : http://www.uopeople.org/.

3. Концепція якості освіти [Електронний ресурс]. – 2015. – Режим доступу : http://osvita.ua/.

4. Факультет заочно-дистанційного навчання, післядипломної освіти та довузівської підготовки ХНУ [Електронний ресурс]. – 2015. – Режим доступу : http://dn.tup.km.ua/.

5. Аванесов В.С. Композиция тестовых заданий / Аванесов В.С. – М. : Центр тестирования, 2002.

6. Moodle – Open-source learning platform [Електронний ресурс]. – 2015. – Режим доступу : https://moodle.org/

7. Снитюк В.Е. Интеллектуальное управление оцениванием знаний / В.Е. Снитюк, К.Н. Юрченко. − Черкассы, 2013. − 262 с.

8. Кірей К.О. До проблеми стандартизації термінології освітніх інформаційно-телекомунікаційних технологій / К.О. Кірей, Л.О. Кірей // Вісник Черкаського університету / Черкас. нац. ун-т ім. Богдана Хмельницького. Сер.: Педагогічні науки. – Черкаси, 2009. – Вип. 146. – С. 27–29.

9. IDEF5 – Ontology Description Capture Method [Електронний ресурс]. – 2015. – Режим доступу : http://www.idef.com/IDEF5.htm.

10. Титенко С.В. Побудова дидактичної онтології на основі аналізу елементів понятійно-тезисної моделі С.В. Титенко // Наукові вісті НТУУ "КПІ". – 2010. – № 1. – С. 82–87.

11. Большакова Е.И. Автоматическая обработка текстов на естественном языке и компьютерная лингвистика : учебное пособие / Большакова Е.И., Клышинский Э.С., Ландэ Д.В. и др. – М. : МИЭМ, 2011. – 272 с.

12. Ortuño M., Carpena P., Bernaola P., Muñoz E., Somoza A.M. Keyword detection in natural languages and DNA. Europhys. Lett, 2002. 57(5). P. 759-764.

13. Ventura, J. & Silva, J. (2007). New Techniques for Relevant Word Ranking and Extraction. In Proceedings of 13th Portuguese Conference on Artificial Intelligence, Springer-Verlag, pp. 691-702.

14. Ландэ Д.В. Компактифицированный горизонтальный граф видимости для сети слов / Д.В. Ландэ, А.А. Снарский // Труды Международной научной конференции «Интеллектуальный анализ информации ИАИ-2013. Знания и рассуждения». – Киев : КПИ, 2013. – С. 158–164.

15. Введення у реляційну модель даних – НОУ «ИНТУИТ» [Електронний ресурс]. – 2015. – Режим доступу : http://www.intuit.ru/studies/professional_skill_improvements/1426/courses/74/lecture/2218.

References

1. New Information Technologies in Education. URL: http://it-tehnolog.com/statti/novi-informatsiyni-tehnologiyi-navchannya/.

2. University of the People. URL: http://www.uopeople.org/.

3. Koncepcia Yacosti Osvityu. URL: http://osvita.ua/.

4. Facultet Zaochno-Distanciynogo Navchannya, Pislyadiplomnoi Osvity ta Dovuzivskoi Pidgotovki KhNU. URL: http://dn.tup.km.ua/.

5. Avanesov V.S. Kompozicia Testovih Zadaniy. M., Centr Testirovanya, 2002.

6. Moodle – Open-source learning platform. URL: https://moodle.org/.

7. Snituk V.E., Yurchenko K.N. Intelektualnoe Upravlenie Ocenivaniem Znaiy. Cherkassy, 2013. − 262 s.

8. Do Problemi Standartizacii Terminologii Osvitnih Informaciyno-Telekomunikaciynih Tehnologiy / K. O. Kirey ., L. O. Kirey // Visnik Cherkaskogo Universitetu / Cherkaskiy Nacionalnogo Universitet im. Bogdana Khmeinitskogo. – Cherkasy, 2009. Ser.: Pedagogichni Nauki, Vip. 146. – C. 27-29.

9. IDEF5 – Ontology Description Capture Method. URL: http://www.idef.com/IDEF5.htm.

10. Titenko S.V. Pobudova Didaktichnoi Ontologii na Osnovi Analizu Elementiv Onyatiyno-Tezisnoi Modeli // Naukovi visti KhTUU "KPI". – 2010. – № 1. – S. 82–87.

11. Avtomaticheskaya Obrabotka Tekstov na Yestestvennom Yazike i Kompiuternaya Lingvistika: Uchebnoe Posobie / Bolshakova E.I., Klishinskiy E.S., Lande D.V., Noskov A.A., Peskova O.V., Yagunova E.V. – M.: MIEM, 2011. – 272c.

12. Ortuño M., Carpena P., Bernaola P., Muñoz E., Somoza A.M. Keyword detection in natural languages and DNA // Europhys. Lett, 2002. – 57(5). – P. 759-764.

13. Ventura, J. & Silva, J. (2007). New Techniques for Relevant Word Ranking and Extraction. In Proceedings of 13th Portuguese Conference on Artificial Intelligence, Springer-Verlag, pp. 691-702.

14. Lande D.V., Snarskiy A.A. Kompaktificirovanniy Gorizontalniy Graf Vidimosti dlya Seti Slov // Trudi Mejdunarodnoy Nauchnoy Konferencii «Intellektualniy Analiz Informacii IAI-2013. Znania I Rassujdenia» – KPI, Kiev: 2013. – c. 158-164.

15. Vvedennya u Relyaciynu Model Danih – NOU «INTUIT». URL: http://www.intuit.ru/studies/professional_skill_improvements/1426/courses/74/lecture/2218.

Рецензія/Peer review : 2.3.2015 р. Надрукована/Printed :15.4.2015 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Сорокатий Р.В.

УДК 64-7

М.М. МОШНОРІЗ, В.М. ПЕТРОВСЬКИЙ
Вінницький національний технічний університет

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ДЛЯ ДІАГНОСТУВАННЯ СИСТЕМИ ВОДОПОСТАЧАННЯ

У статті побудовано математичну модель системи діагностування мережі водопостачання. За відомими значеннями тиску води на виході насосної станції, тиску в диктуючій точці мережі та безпосередньо перед споживачем робиться висновок про тип несправності. Система працює автоматично і призначена для полегшення роботи диспетчерського персоналу, прискорення процесу прийняття рішення та підвищення надійності роботи всієї системи водопостачання.

Ключові слова: система водопостачання, насосна станція, тиск води, диктуюча точка, надійність.

M.M. MOSHNORIZ, V.M. PETROVSKY
Vinnytsia National Technical University

MATHEMATICAL MODEL FOR DIAGNOSTIC OF WATER SUPPLY SYSTEM

In this paper the mathematical model of water supply network diagnostics. The known values of water pressure at the outlet of the pumping station, pressure point network and dictating directly to the consumer concludes type of malfunction. The system works automatically and is designed to facilitate the work of supervisory staff, accelerate decision making and improve the reliability of the entire water supply system.

Keywords: water supply system, pumping station, water pressure, dictating point reliability.

Вступ

Для забезпечення надійної та безперебійної роботи систем водопостачання та водовідведення з оптимальними санітарними та техніко-економічними показниками необхідні чітка координація і взаємний зв’язок між окремими складовими елементів цих систем. Для цього застосовується єдина централізована система управління, що забезпечується центральною диспетчерською службою (ЦДС) [1].

На даний час існує система диспетчерського контролю за тиском в трубопровідній мережі споживача. Вона представляє собою обслуговуючий персонал насосної станції, який постійно слідкує за показниками манометрів в різних точках трубопровідної мережі і у разі перевищення допустимого значення чи зменшення або відсутності тиску взагалі, робить висновок про характер і місце несправності.

Наприклад, на комунальному підприємстві Дніпропетровської міської ради ЦДС здійснює загальне оперативне керівництво експлуатацією систем водопостачання і водовідведення, забезпечуючи спільну роботу насосно-фільтрувальних станцій, станцій перекачування, водопровідно-каналізаційних мереж, насосних каналізаційних станцій, очисних споруд станцій аерації [2].

ЦДС забезпечує стабільну роботу як всього комплексу водопостачання і водовідведення, так і окремих його елементів; з безперебійною подачею води місту та відведення каналізаційних стоків; збереження протипожежного запасу в резервуарах чистої води [2].

Фахівці ЦДС очолюють роботи по локалізації та попередження аварій, ліквідують непродуктивні втрати питної води і вихід на поверхню каналізаційних стоків. Також підтримують зв'язок з організаціями інших відомств міста та забезпечують безперебійну подачу водою райони відповідно до заявок пожежних служб [2].

Диспетчерська служба регулює режим подачі води споживачам, як у звичайних, так і в особливих умовах: при дефіциті води; в аварійних режимах; в період проведення ремонтно-відновлювальних робіт та планово-попереджувальних ремонтів [2].

ЦДС проводить цілодобовий прийом, облік і аналіз заявок про несправності в системах водопостачання і водовідведення, а також контролює своєчасне виведення обладнання з дії і введення його в роботу, з метою запобігання порушення у водопостачанні як міста в цілому, так і його окремих районів [2].

Чергові ЦДС сповіщають підприємства, організації, школи, лікарні, дитячі установи, житлово-комунальні служби, пожежні частини, СЕС, органи виконавчої влади, службу цивільної оборони про тимчасове припинення або зміну режимів подачі води, пов'язані з ремонтом мереж або профілактичними роботами.

Центральна диспетчерська служба є найвідповідальнішою ділянкою виробництва, оскільки від її роботи значною мірою залежить загальний успіх [2].

Загальна схема організації диспетчерської служби показана в [1] (рис. 1). В останні роки впроваджені автоматизовані системи управління (АСУ) у водопровідно-каналізаційному господарстві. В АСУ застосовуються сучасні автоматичні засоби обробки даних за допомогою комп'ютерів, що дозволяють реєструвати, накопичувати і відображати інформацію і за допомогою економіко-математичних методів вирішувати основні завдання управління [1].

Різновидом АСУ є автоматична система управління технологічними процесами (АСУТП), яка призначена для підвищення ефективності управління основною діяльністю об'єктів водопостачання і каналізації. Це завдання здійснюється шляхом оперативного контролю технологічних режимів підйому води, її обробки, подачі та розподілу або водовідведення та оптимального управління цими процесами з

використанням засобів обчислювальної техніки [1].

Загальним критерієм системи управління є мінімум експлуатаційних витрат на обробку води при виконанні заданих вимог на якість води, що очищається, безперебійне забезпечення споживачів водою питної якості та водовідведення [1].

АСУТП повинна функціонувати в такому режимі, при якому засоби обчислювальної техніки здійснюють централізований збір, обробку та видачу даних обслуговуючому персоналу в зручній формі, а також формують і видають диспетчеру рекомендації по оптимальному веденню технологічних процесів в залежності від ситуації на виробництві [1].

Однією з інформаційно-обчислювальних функцій такої АСУТП є діагностика порушень технологічних режимів [1].

Тому в даній роботі пропонується математична модель системи, яка виконує частину роботи ЦДС у автоматичному режимі. Оскільки така модель дозволяє виявити несправність і вказати на місце несправності, то її можна використати для діагностування системи водопостачання.

Експериментальна частина

Для того, щоб реалізувати систему діагностування необхідно розв’язати такі завдання:

а) з'ясувати діагностичні змінні;

б) визначити можливі несправності системи водопостачання;

в) побудувати математичну модель системи діагностування;

г) перевірити математичну модель шляхом комп'ютерного моделювання.

На рис. 1 представимо функціональну схему системи водопостачання.

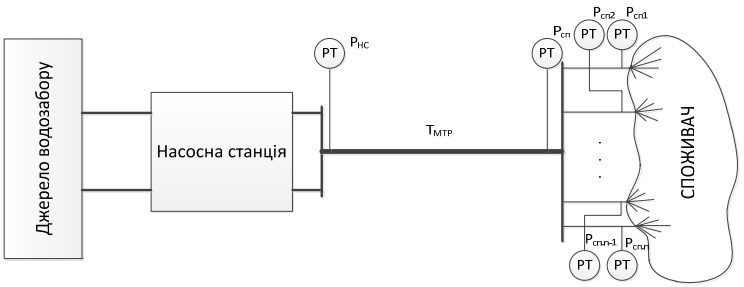


Рис. 1. Функціональна схема системи водопостачання

В якості джерела водозабору може виступати водойма (річка, озеро) або надра землі при заборі води зі свердловин. На функціональній схемі насосна станція (НС) умовно представлена як єдина система, яка, насправді, складається з багатьох підрозділів. Такими підрозділами для станцій населених пунктів виступають окремо станція першого, другого підйомів, водоочисна система, диспетчерська служба тощо.

На виході насосної станції обов’язково встановлюється манометр ($P_{нс}$). Також манометр встановлюється в диктуючій точці водопровідної мережі ($P_{сп}$) та обов’язково у місцях, де обґрунтоване використання стацій третього підйому ($P_{сп1} – P_{сп.n}$) [3, 4].

Для того, щоб побудувати систему діагностування, у якості діагностичних змінних використаємо сигнали тиску, які наявні в системі водопостачання. Таким чином, у якості діагностичних змінних використаємо наступні:

1. Тиск води на виході НС ($P_{нс}$).
2. Тиск води у диктуючій точці мережі споживача ($P_{сп}$).
3. Тиск води безпосередньо перед кожною структурною групою споживачів ($P_{сп1}$, $P_{сп2}$, …, $P_{сп.n-1}$, $P_{сп.n}$).

Розглянемо можливі несправності системи водопостачання, функціональна схема якої представлена на рис. 1. Несправності будемо позначати літерою Y. Таким чином, отримаємо такі можливі несправності:

1. У системі відсутня вода(Y_1).
2. Розрив магістральної труби (Y_2).
3. Розрив і-ї труби споживача (Y_3).
4. Невірний режим роботи НС (Y_4).
5. Закупорка магістральної труби (Y_5).
6. Закупорка і-ї труби споживача (Y_6).
7. Потужність НС недостатня для забезпечення потреб споживача (Y_7).
8. Невірне управління НС (необхідно зменшити продуктивність НС) (Y_8).
9. Невірне управління НС (необхідно збільшити продуктивність НС) (Y_9).

Побудуємо математичну модель роботи системи водопостачання.

У математичній моделі прийнято такі позначення: якщо несправність дорівнює одиниці, то вона має місце, інакше цієї несправності немає; $P_{сп.н}$ – номінальне значення тиску в диктуючій точці водопровідної мережі; $P_{НС.макс}$ – максимальне значення тиску на виході насосної станції (тиск, на який розрахована трубопровідна арматура та сама труба і який може бути фізично досягнутий при роботі всіх насосів); $\frac{dP_{НС}}{dt}$ – похідна по тиску на виході насосної станції (використовується для виявлення процесу збільшення чи зменшення тиску); $P_{сп} \to 0$ – тиск в диктуючій точці близький до нуля; $\frac{dP_{сп}}{dt}$ – похідна по тиску в диктуючій точці (також використовується для виявлення процесу збільшення чи зменшення тиску в даній

точці); $P_{сп.i}$ – тиск в і-й (будь-якій) точці мережі водопостачання ($i = 1 \div n$, де n – кількість груп споживачів, для яких виконується одне вимірювання тиску); $\left.\frac{dP_{сп}}{dt}\right|_{t \geq 4T_{MTH}}$ – похідна по тиску в диктуючій точці в момент часу коли закінчився перехідний процес встановлення тиску в магістральному трубопроводі; T_{MTH} – стала часу магістрального трубопровода (характеризує як швидко на його виході з'являється усталене значення сигналу при подачі сигналу на його вхід).

$$
\begin{cases}
\text{Якщо } \begin{cases} P_{НС} = 0, \\ P_{сп} = 0, \end{cases} \text{ то } Y_1 = 1 \\
\text{Якщо } \begin{cases} P_{НС} > 0, \\ P_{сп} > 0, \end{cases} \text{ то } \begin{cases}
\text{якщо } P_{сп} < P_{сп.н}, \text{ то } \begin{cases}
\text{якщо } \begin{cases} P_{НС} < P_{НС.макс}, \\ \frac{dP_{НС}}{dt} > 0, \\ P_{сп} \to 0, \end{cases} \text{ то } Y_2 = 1; \text{ якщо } \begin{cases} \begin{cases} P_{НС} < P_{НС.макс}, \\ \frac{dP_{НС}}{dt} > 0, \end{cases} \\ P_{НС} = P_{НС.макс}, \\ \frac{dP_{сп}}{dt} < 0, \\ P_{сп.i} = 0, \end{cases} \text{ то } Y_3 = 1; \text{ якщо } \begin{cases} \begin{cases} P_{НС} < P_{НС.макс}, \\ \frac{dP_{НС}}{dt} > 0, \end{cases} \\ \begin{cases} \frac{dP_{сп}}{dt} \leq 0, \\ \left.\frac{dP_{сп}}{dt}\right|_{t \geq 4T_{MTH}} > 0, \end{cases} \\ P_{сп.1}, P_{сп.2}, \ldots, P_{сп.n} \neq 0, \end{cases} \text{ то } Y_9 = 1, \\
\text{якщо } \begin{cases} P_{НС} < P_{НС.макс}, \\ \frac{dP_{НС}}{dt} = 0, \\ \frac{dP_{сп}}{dt} \leq 0 \\ P_{сп.1}, P_{сп.2}, \ldots, P_{сп.n} \neq 0, \end{cases} \text{ то } Y_4 = 1; \text{ якщо } \begin{cases} P_{НС} = P_{НС.макс}, \\ \frac{dP_{сп}}{dt} < 0, \\ P_{сп.1}, P_{сп.2}, \ldots, P_{сп.n} \neq 0, \end{cases} \text{ то } Y_5 = 1; \text{ Якщо } \begin{cases} P_{НС} = P_{НС.макс}, \\ \left.\frac{dP_{сп}}{dt}\right|_{t \geq 4T_{MTH}} > 0, \\ P_{сп.1}, P_{сп.2}, \ldots, P_{сп.n} \neq 0, \end{cases} \text{ то } Y_7 = 1,
\end{cases} \\
\text{якщо } P_{сп} > P_{сп.н}, \text{ то } \begin{cases}
\text{якщо } \begin{cases} \frac{dP_{НС}}{dt} = 0, \\ \frac{dP_{сп}}{dt} \geq 0, \end{cases} \text{ то } Y_4 = 1, \\
\text{якщо } \begin{cases} P_{НС} \leq P_{НС.макс}, \\ \frac{dP_{сп}}{dt} \geq 0, \end{cases} \text{ то } Y_8 = 1
\end{cases} ; \text{ якщо } \begin{cases} \frac{dP_{сп}}{dt} \geq 0, \\ P_{сп.i} = 0, \end{cases} \text{ то } Y_6 = 1.
\end{cases}
\end{cases}
$$

Перше рівняння системи слід тлумачити так: якщо всі сенсори тиску сигналізують про нулевий тиск, а система в цей час знаходиться в запущеному робочому стані, то виводиться повідомлення про несправність Y1, тобто «У системі відсутня вода». Якщо умова першого рівняння не виконується, тобто в трубопроводі встановилося певне значення тиску відмінне від нуля, то розглядається два випадки: якщо тиск в диктуючій точці більший за номінальний і коли цей тиску буде меншим за номінальний. В першому випадку розглядається одночасно шість варіантів, серед яких мають місце несправності Y_2, Y_3, Y_4, Y_5, Y_7 та Y_9. В другому випадку одночасно розглядається три варіанти, серед яких несправності Y_4, Y_6 та Y_8. Якщо не виконується жодна з перелічених умов, то система справна.

Для перевірки працездатності запропонованої математичної моделі скористаємося комп'ютерним моделюванням. Для цього застосуємо програмне середовище Lab View. Дане програмне середовище дозволяє створювати віртуальні лабораторні стенди, проводити комп'ютерне моделювання структурних схем, створювати свої додатки для роботи з різною елементною базою, забезпечувати зв'язок ЕОМ та цієї елементної бази тощо [5].

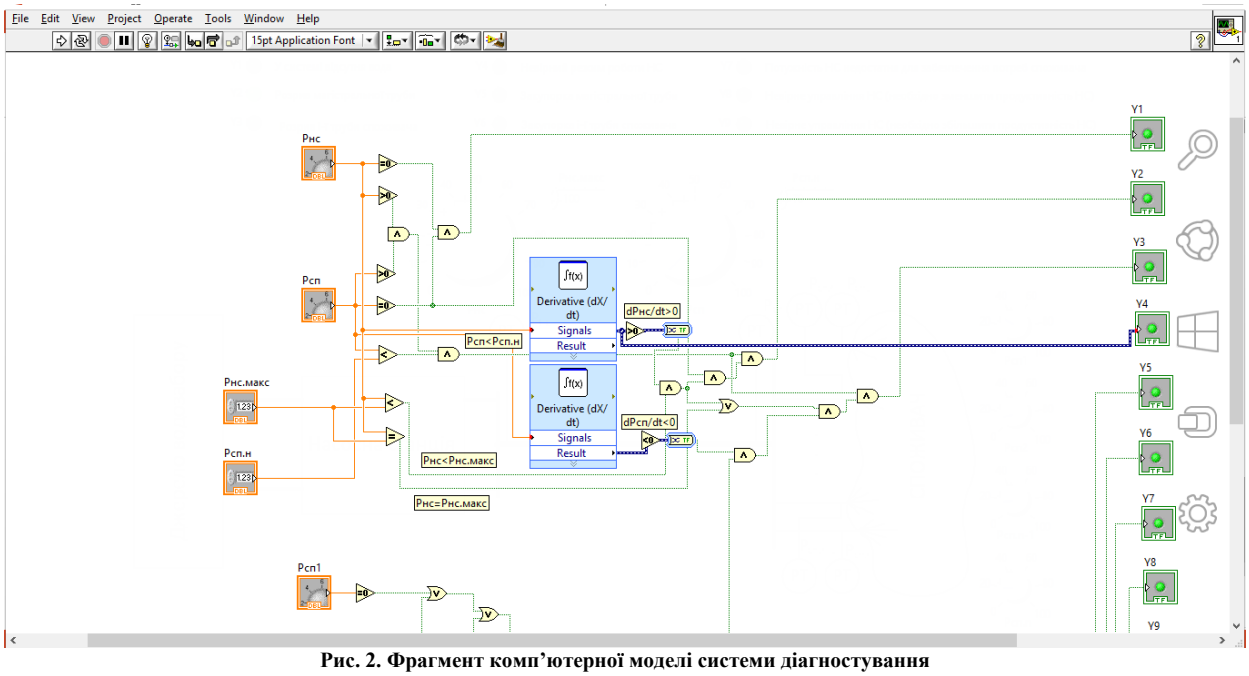


Рис. 2. Фрагмент комп'ютерної моделі системи діагностування

Розробимо в середовищі Lab View структурну схему (комп'ютерну модель) системи діагностування таким чином, щоб можна було змінювати значення всіх тисків, а система виводила тип несправності. Представимо фрагмент отриманої структурної схеми, зібраної в LabView, на рисунку 2.

На рисунку 3 представимо зовнішній вигляд діалогового вікна, на яке і виводиться інформація про тип несправності.

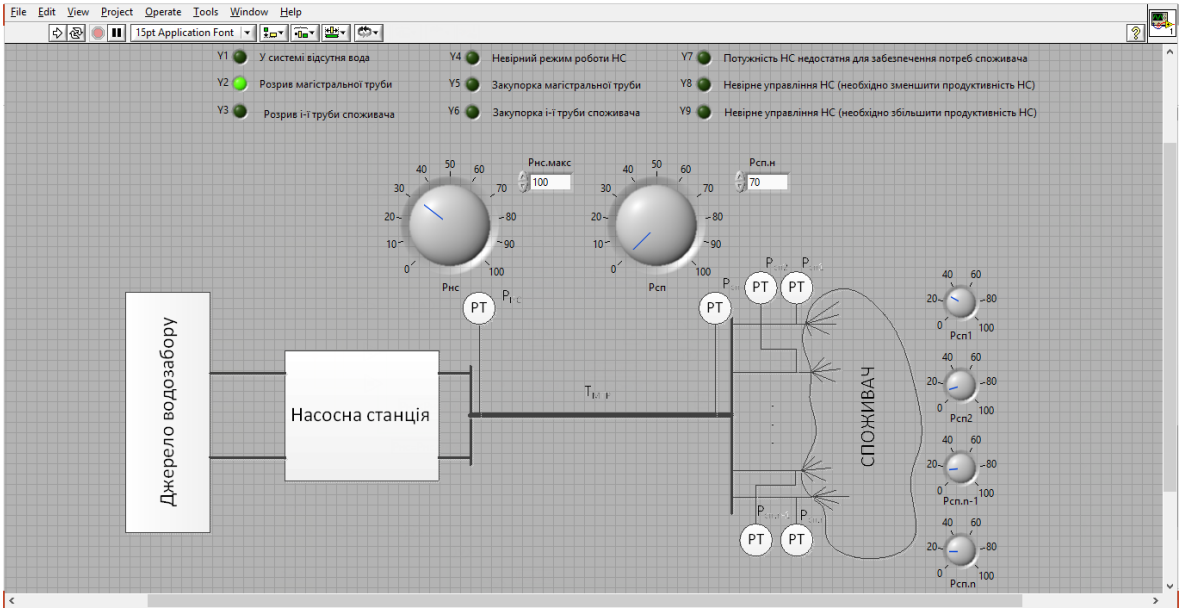


Рис. 3. Зовнішній вигляд діалогового вікна роботи системи діагностування

Змінюючи значення тисків на виході НС, в диктуючій точці та тиску груп споживачів, можна спостерігати про засвічування того чи іншого індикатора несправності, а це означає, що комп'ютерна модель побудована вірно.

Висновки

Таким чином, запропонована математична модель дозволяє проводити діагностування системи водопостачання за відомими сигналами з сенсорів тиску на виході насосної станції, тиску в диктуючій точці трубопровідної мережі та тисків біля окремих груп споживачів. Для роботи запропонованої математичної моделі не потрібно суттєвих капітальних затрат, оскільки вона базується на основі інформації, яка на даний час виводиться диспетчеру. Для реалізації моделі в певному пристрої достатньо буде використати мікропроцесор фірми Atmel сімейства ATmega 8-ї серії.

Література

1. Эксплуатация очистных сооружений водопроводно-канализационных систем : конспект лекций / С.С. Душкин, Г.И. Благодарная, А.Н. Коваленко, М.В. Солодовник ; Харк. нац. акад. город. хоз-ва. – Х. : ХНАГХ, 2010. – 183 с.

2. Сайт комунального підприємства Дніпропетровської міської ради «ДНІПРОВОДОКАНАЛУ». Центральна диспетчерська служба [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://vodokanal.dp.ua/index.php?lang=uk&class=publication&id=15.

3. Лезнов Б. С. Экономия электроэнергии в насосных установках / Лезнов Б. С. – М. : Энергоатомиздат, 1991. – 144 с.

4. Залуцкий Э. В. Насосные станции. Курсовое проектирование / Э. В. Залуцкий, Д. И. Петрухно. – К. : Вища шк. Головное изд-во, 1987. – 167 с.

5. Виноградова Н.А. Разработка прикладного программного обеспечения в среде LabVIEW : учебное пособие // Н.А. Виноградова, Я.И. Листратов, Е. В. Свиридов. – М. : Издательство МЭИ, 2005. – 47 с.

References

1. Dushkin S. S., Blagodarnaya G. I., Kovalenko A. N., Solodovnik M. V. Operation of sewage treatment plants plumbing. (Lectures 5-6 courses for students of day and correspondence forms of training, external students, undergraduates and international students majoring 7.092601, 8.092601 - "Water Supply and Sanitation"), Hark. nat. Acad. city. households Islands, Kharkov, 2010, 183 p.

2. Site utility company of City Council "Dnieprovodokanal." Central control service. URL: http://vodokanal.dp.ua/index.php?lang=uk&class=publication&id=15.

3. Leznov B.S. Energy savings in pumping installations, Moskow, Energoatomizdat, 1991, 144 p.

4. Zalutskii E. V. Pumping stations, Course design, Kyiv, Vyshcha hk. Head Publishing House, 1987, 167 p.

5. Vinogradova N. A., Listratov Y. I., Sviridov E. V., Application software development environment LabVIEW, Moskow, MEI Publishing, 2005, 47c.

Рецензія/Peer review : 2.4.2015 р. Надрукована/Printed :15.4.2015 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Кутін В. М.

УДК 681.518.3: 535.243.2

В.Г. ПЕТРУК, О.Є. КВАТЕРНЮК, Ю.С. ЛЮБЧАК, С.М. КВАТЕРНЮК
Вінницький національний технічний університет

МОДЕЛЮВАННЯ СПЕКТРАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ШАРУ ЕПІДЕРМІСУ БІОТКАНИНИ ШКІРИ ЯК ОБ'ЄКТУ БІОМЕДИЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ

Здійснено аналіз особливостей біотканин як об'єктів медичної діагностики методами та засобами колориметрії. Удосконалено математичну модель переносу випромінювання у приповерхневих шарах епідермісу. Досліджено вплив, який має зміна концентрації меланіну шкіри з різною пігментацією на її спектральні характеристики.

Ключові слова: математична модель, спектральні характеристики, біотканина, шкіра.

V.G. PETRUK, O.E. KVATERNYUK, Y.S. LYUBCHAK, S.M. KVATERNYUK
Vinnytsia National Technical University

MODELLING OF SPECTRAL CHARACTERISTICS OF BIOLOGICAL TISSUES SKIN LAYER OF THE EPIDERMIS AS OBJECTS OF BIOMEDICAL DIAGNOSTICS

Abstract. The aim is mathematical modelling spectral characteristics of the layer of the epidermis, which will determine the impact of changes in the concentration of melanin in the spectral characteristics of biological tissue, and, consequently, the accuracy of diagnosis of the state of biological tissue, methods and means of colorimetry. The model takes into account the presence of biological tissue particles of different shapes and sizes, and the impact on the optical properties of biological pigments in different segments of biological tissues.

The researchers analyzed the characteristics of biological tissues as objects of medical diagnostic methods and means of colorimetry. In this paper, we have improved mathematical model of radiative transfer in the surface layers of the epidermis. We have investigated the effect of changing the concentration of melanin skin with varying degrees of pigmentation on its spectral characteristics.

Keywords: mathematical model, spectral characteristics, biological tissues, skin.

Вступ

З оптичної точки зору біологічні тканини шкіри людини є неоднорідними поглинаючими середовищами з яскраво вираженими розсіювальними властивостями. Взаємодія світла з такими середовищами має складний характер. Процеси розсіювання і поглинання світла визначають, з одного боку, глибину проникнення світла в біотканину, а з іншого боку, впливають на спектр розсіяного «назад» випромінювання, аналіз якого є основою оптичних діагностичних методів. Присутність в досліджуваних біологічних середовищах частинок різної форми та розміру, а також вплив на оптичні характеристики різних біологічних пігментів, які можуть бути локалізовані у певних шарах біотканин, ускладнює визначення концентрації певних речовин у біотканині.

Метою роботи є математичне моделювання спектральних характеристик шару епідермісу, що дозволить визначити вплив концентрації меланіну шкіри з різною пігментацією на її спектральні характеристики, а, відповідно, і на діагностику стану біотканини методами та засобами колориметрії.

Особливості біотканин як об'єктів медичної діагностики оптичними методами

Однією з характеристик взаємодії світла з біологічною тканиною є поглинання світла. Значна частина ефектів, пов'язаних із взаємодією світла з біологічною тканиною, зумовлена процесом поглинання світла середовищем. Коефіцієнт поглинання світла у середовищі визначається інтегралом перекриття спектрів зондуючого випромінювання і поглинання хромофорів, що входять до складу біотканини. Абсолютні значення показників поглинання для біотканин шкіри людини лежать в межах 10^{-2}–10^{-4} $см^{-1}$ [1, 2]. Крім поглинання біологічна тканина шкіри характеризується також певним світлорозсіюванням. При цьому переважна більшість біотканин є сильно розсіювальними середовищами. Під розсіюванням світла в середовищі в широкому сенсі слова розуміють зміну напрямку його поширення, яка відбувається або через флуктуації показника заломлення середовища, або через наявність границі поділу середовищ з різними показниками заломлення у випадку багатошарової біологічної структури. Характер розсіювання світла в біотканині (ефективність розсіювання та анізотропія розсіювання) визначається співвідношенням довжини хвилі світла і розміру розсіювальних частинок. У біотканинах розсіювальними частинками є як елементи клітин (мембрани, ядра, органели тощо), так і елементи фіброзної тканини (еластинові і колагенові волокна). Розсіювачі мають широкий спектр розмірів, тому в біотканинах відбуваються різні види розсіювання – від релеївського розсіювання до розсіювання Мі.

Багатократне розсіювання проникаючого у біотканини світла призводить до його об'ємного поширення всередину середовища і в комбінації з поглинанням визначає глибину його проникнення всередину біотканини. Результатом розсіювання світла є також формування потоку розсіяного «назад» випромінювання, який на поверхні шкіри реєструється як дифузно відбите біотканинами шкіри людини світло. Очевидно, що спектральний склад розсіяного «назад» випромінювання також визначається як поглинаючими властивостями середовища, а саме: специфічними спектрами поглинання компонентів, що входять до складу біотканини, так і розсіювальними властивостями середовища, оскільки і коефіцієнт

розсіювання μ_s, і параметр анізотропії g (середнє значення косинуса кута розсіювання) залежать від довжини хвилі зондуючого випромінювання.

Таким чином, оптичні характеристики біотканин (коефіцієнт поглинання μ_a, коефіцієнт розсіювання μ_s, параметр анізотропії розсіяння g, показник заломлення n) несуть важливу інформацію про кількісний вміст і просторовий розподіл різних біологічних компонентів біотканини, що дає потенційні можливості діагностики стану біотканини [1–3].

По суті, епідерміс являє собою порівняно тонку багатошарову клітинну структуру, що містить специфічні пігменти, які захищають дерму від УФ-випромінювання. Меланін є основним хромофором епідермісу, добре поглинає світло як в УФА, так і у видимій і ближній інфрачервоній областях спектру. Насамперед, спектри поглинання меланіну, утвореного в результаті опромінення шкіри світлом УФА і УФВ діапазонів, суттєво відрізняються один від одного: в першому випадку виявляється зменшення поглинання в діапазоні нижче 400 нм на відміну від другого, коли поглинання із зменшенням довжини хвилі монотонно зростає. Більш того, опромінення шкіри людини світлом видимого діапазону призводить до утворення пігменту, відмінного від наведених вище випадків. Спектр характеризується практично лінійною залежністю поглинання в області довжин хвиль понад 600 нм, збільшенням поглинання в області коротких довжин хвиль з максимумом близько 335 нм і різким спадом в області більш коротких довжин хвиль. Область поглинання меланіну розтягнута аж до 1200 нм; для довжин хвиль понад 1200 нм не виявлено суттєвих відмінностей у оптичних властивостях між шкірою людей з різним ступенем пігментації [4].

Крім поглинання біотканина шкіри характеризується значним світлорозсіюванням. Причиною розсіювання є неоднорідність показника заломлення в об'ємі біотканини, що відображає її фізичну неоднорідність. При цьому характер розсіювання залежить від співвідношення довжини хвилі випромінювання та розміру розсіювальних частинок (дифракційного параметра розсіювання). У біотканині шкіри є розсіювачі, розміри яких значно менше довжини хвилі зондую чого випромінювання, розсіювачі з розмірами близькими до довжини хвилі і розсіювачі, розміри яких значно перевищують довжину хвилі світла. У результаті, в шкірі мають місце різні види розсіювання: від релеївського розсіювання до розсіювання Мі.

Математичне моделювання трансформації випромінювання у біотканинах шкіри

На межі розділу двох середовищ з різними показниками заломлення (n), таких як «повітря-шкіра» чи між різними шарами біотканини шкіри, відбувається відбивання та заломлення світла. В залежності від характеристик поверхні біотканини шкіри має місце дзеркальне чи дифузне відбивання. Дзеркальне відбивання відбувається у випадку, коли нерівності поверхні суттєво менші довжини хвилі зондуючого випромінювання. У цьому випадку нормалі падаючого та відбитого пучків випромінювання, а також нормаль до відбиваючої поверхні лежать у одній площині, а кут падіння дорівнює куту відбивання. Більш поширеним є дифузне відбивання, коли величина нерівностей відбиваючої поверхні порівнянна, або більша ніж довжина хвилі випромінювання. Оскільки у поверхні шкіри завжди існують певні дефекти та нерівності дзеркальна компонента відбитого випромінювання незначна у порівнянні із частиною зондуючого випромінювання, яка відбивається та розсіюється проникнувши у приповерхневий шар. Оскільки дзеркальна компонента малоінформативна для медичної діагностики її прагнуть позбавитись з використанням певної геометрії «освітлювач-спостерігач» чи за допомогою поляризаційних фільтрів.

Для розрахунку використовувалася модель шкіри, що являє собою багатошарову структуру. Основним компонентом епідермісу, що поглинає світло, є меланін. Його спектральний показник поглинання (в $см^{-1}$) можна апроксимувати у вигляді [4]:

$$\mu_{a,mel}(\lambda) = 6,6 \cdot 10^{11} \lambda^{-3,33}. \quad (1)$$

де λ – довжина хвилі в нм.

Об'ємна концентрація f_{mel} меланіну (частка об'єму меланіну в одиничному об'ємі епідермісу) може варіюватися від декількох одиниць до десятків % для людей зі світлою і темною шкірою, відповідно. Графік спектральної характеристики показника поглинання меланіну наведено на рис. 1.

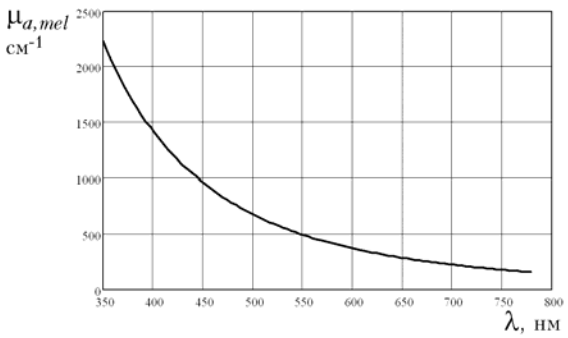


Рис. 1. Спектральна характеристика показника поглинання меланіну

Вважаємо, що решта частини епідермісу – «тканина-основа» або «знекровлена тканина» («bloodless tissue» в англомовній літературі), у якої показник розсіювання $\mu_{s,bt}(\lambda)$ (в см$^{-1}$) [4]

$$\mu_{s,bt}(\lambda) = 2\cdot 10^{5}\lambda^{-1,5} + 2\cdot 10^{12}\lambda^{-4}, \quad (2)$$

показник поглинання $\mu_{a,bt}(\lambda)$ (в см$^{-1}$) [5]

$$\mu_{a,bt}(\lambda) = 0,244 + 85,4\cdot\exp\left(-(\lambda - 154)/66,2\right), \quad (3)$$

середній косинус $g_{bt}(\lambda)$ індикатриси розсіювання $p(\theta,\lambda)$ [5]

$$g_{bt}(\lambda) = 0,62 + 0,0029\lambda, \quad (4)$$

де λ – довжина хвилі в нм.

Графіки спектральних характеристик показників поглинання $\mu_{a\,bt}(\lambda)$, розсіювання $\mu_{s\,bt}(\lambda)$ та фактору анізотропії $g_{bt}(\lambda)$ тканини-основи епідермісу обчислені за формулами (2)–(4) наведено на рис. 2.

Розраховуємо оптичні характеристики шару епідермісу з об'ємною концентрацією меланіну f_{mel}, а також ефективний показник розсіювання епідермісу, виходячи з показника розсіювання $\mu_{s,bt}$ та середнього косинусу індикатриси розсіювання $g_{bt}(\lambda)$ тканини-основи епідермісу:

$$\mu'_{s2} = \mu_{s,bt}\left(1 - g_{bt}(\lambda)\right). \quad (5)$$

Відтак, показник поглинання епідермісу з об'ємною концентрацією меланіну f_{mel} буде

$$\mu_{a2}(\lambda) = \mu_{a,mel}(\lambda) f_{mel} + \mu_{a,bt}(\lambda)(1 - f_{mel}). \quad (6)$$

Звідси, ефективний показник послаблення епідермісу розраховується так:

$$\mu'_{e2} = \mu_{a2} + \mu'_{s2}. \quad (7)$$

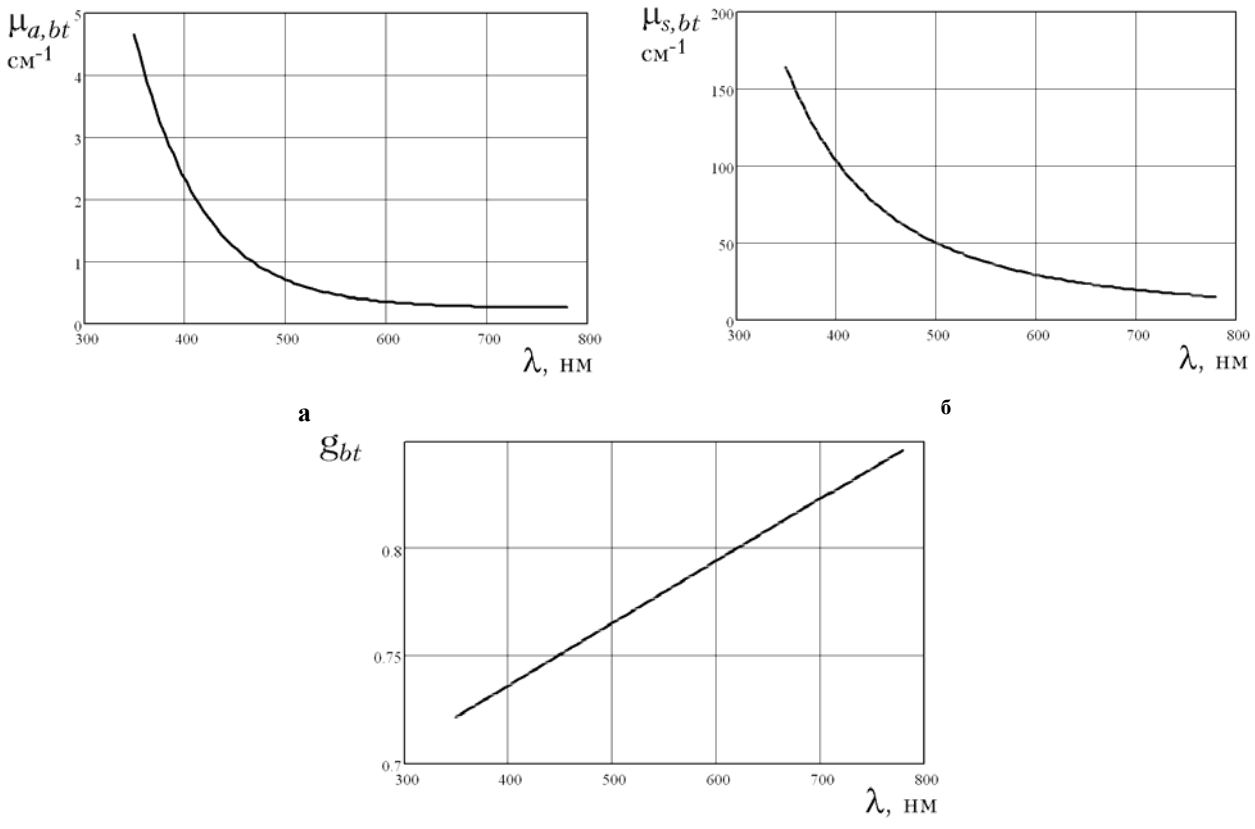


Рис. 2. Спектральні характеристики показників поглинання (а), розсіювання (б) та фактору анізотропії (в) тканини-основи епідермісу

На рис. 3 представлено графіки спектральних характеристик моделі епідермісу розраховані при зміні об'ємної концентрації меланіну від 0,5 до 3 % за формулами (2)–(7) у порівнянні з експериментальними даними вимірювань з роботи [6] для шкіри з різною пігментацією (див. табл. 1).

Таблиця 1

Оптичні параметри біотканини епідермісу шкіри з різною пігментацією

λ , нм	μ_{a2} , см$^{-1}$			μ_{s2} , см$^{-1}$	g_2
	lightly	**medium**	**highly**		
350,00	9,99	30,16	69,80	210,40	0,702
400,00	6,77	20,20	46,67	156,30	0,712
450,00	4,41	13,50	31,52	121,60	0,728
500,00	2,58	9,77	21,82	93,01	0,745
550,00	1,63	6,85	16,13	74,70	0,759
600,00	1,47	5,22	12,35	63,76	0,774
650,00	1,20	3,68	9,15	55,48	0,787
700,00	1,06	3,07	7,11	54,66	0,804

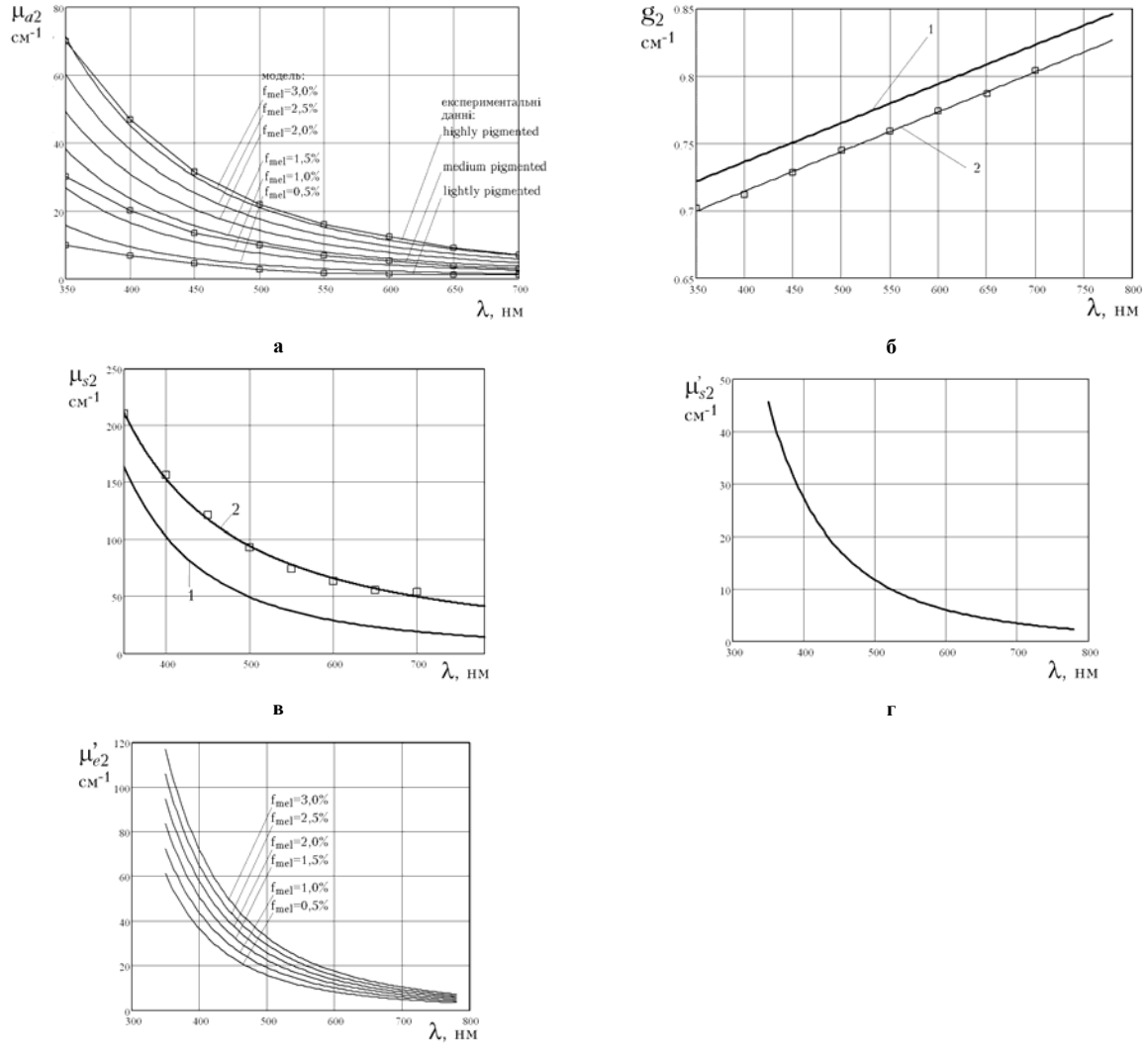


Рис. 3. Спектральні характеристики параметрів епідермісу при різних об'ємних концентраціях меланіну (2) у порівнянні з експериментальними даними (1): а) – показника поглинання, б) – фактор анізотропії епідермісу, в) – показника розсіювання, г) – ефективний показник розсіювання, д) – ефективний показник послаблення

Результати моделювання спектральних характеристик параметрів епідермісу дозволяють врахувати об'ємні концентрації меланіну для шкіри з різною пігментацією, що важливо для забезпечення високої точності оптичних засобів діагностики патологічних уражень шкіри в прикладних задачах онкології, судово-медичної експертизи та патанатомії з використанням методів спектрофотометрії, цифрової колориметрії з вимірюванням координат кольору, а також мультиспектральної діагностики.

Висновки

Проаналізовано особливості біотканин, як об'єктів медичної діагностики методами та засобами колориметрії. Удосконалено математичну модель переносу випромінювання у приповерхневих шарах епідермісу. При цьому встановлено, який вплив має зміна концентрації меланіну шкіри з різною

пігментацією на її спектральні характеристики, а, відповідно, і на діагностику стану біотканини оптичними методами.

Література

1. Тучин В. В. Исследование биотканей методами светорассеяния / В. В. Тучин // Успехи физ. наук. – 1997. – Т. 167. – № 5. – С. 517–539.

2. Тучин В. В. Лазеры и волоконная оптика в биомедицинских исследованиях / В. В. Тучин. – Саратов : Изд-во Сарат. ун-та, 1998. – 384 с.

3. Королевич А. Н. Особенности спектров диффузионного отражения и пропускания нормальных и опухолевых тканей / А. Н. Королевич, Е. В. Олейник, Я. И. Севковский, А. Я. Хайруллина // Журнал прикладной спектроскопии. – 1993. – Т. 58, № 5–6. – С. 555–559.

4. Барун В. В. Моделирование влияния эпидермиса на перенос света и тепла в кожном покрове / В. В. Барун, А. П. Иванов, В. Г. Петрук, С. М. Кватернюк, И. В. Васильковский // Проблемы оптической физики и биофотоники : материалы 12-й Международной молодежной научной школы по оптике, лазерной физике и биофотонике. – Саратов : Изд-во «Новый ветер», 2009. – С. 69–78.

5. Van Gemert M. J. C., Acques S. L. , Sterenborg H. J. C. M., Star W. M. Skin optics. IEEE Trans. Biomed. Eng. 1989. Vol. 36, No. 12. P. 1146–1154.

6. Bashkatov A. N., Genina E. A., Tuchin V. V. Optical properties of skin, subcutaneous, and muscle tissues: a review. Journal of Innovative Optical Health Sciences. 2011. Vol. 4, No. 1. P. 9–38.

References

1. Tuchin V. V. Issledovanie biotkaney metodami svetorasseyaniya / V. V. Tuchin // Uspehi fiz. nauk. – 1997. – V. 167. – №5. – P. 517-539.

2. Tuchin V. V. Lazeryi i volokonnaya optika v biomeditsinskih issledovaniyah / V. V. Tuchin. – Saratov: Izd-vo Sarat. un-ta, 1998. – 384 p.

3. Korolevich A. N. Osobennosti spektrov diffuzionnogo otrazheniya i propuskaniya normalnyih i opuholevyih tkaney / A. N. Korolevich, E. V. Oleynik, Ya. I. Sevkovskiy, A. Ya. Hayrullina // Zhurnal prikladnoy spektroskopii. –1993. – T.58, №5–6. – P. 555-559.

4. Barun V. V. Modelirovanie vliyaniya epidermisa na perenos sveta i tepla v kozhnom pokrove / V. V. Barun, A. P. Ivanov, V. G. Petruk, S. M. Kvaternyuk, I. V. Vasilkovskiy // Problemyi opticheskoy fiziki i biofotoniki. Materialyi 12-oy Mezhdunarodnoy molodezhnoy nauchnoy shkolyi po optike, lazernoy fizike i biofotonike. – Saratov: Izd-vo «Novyiy veter», 2009. – 234 s.: il. – P.69-78.

5. Van Gemert M. J. C. Skin optics / M. J. C. Van Gemert, S. L. Acques, H. J. C. M. Sterenborg, W. M. Star // IEEE Trans. Biomed. Eng. – 1989. – Vol. 36, No. 12. – P.1146-1154.

6. Bashkatov A. N. Optical properties of skin, subcutaneous, and muscle tissues: a review / A. N. Bashkatov, E. A. Genina, V. V. Tuchin // Journal of Innovative Optical Health Sciences. – 2011. – Vol. 4, No. 1. – P.9-38.

Рецензія/Peer review : 17.3.2015 р. Надрукована/Printed :15.4.2015 р.
Рецензент: стаття рецензована редакційною колегією

УДК 004.942:001.57+519.7+612.5

И.И. ЕРМАКОВА, Ю.Н. СОЛОПЧУК
Международный научно-учебный центр информационных технологий и систем НАНУ и МОНУ, Киев, Украина

КОНВЕКТИВНЫЙ ТЕПЛООБМЕН ЧЕЛОВЕКА В ВОДЕ

В статье рассмотрены методы определения коэффициента конвективного теплообмена человека в воде. Проанализированы факторы, приводящие к разбросу значений коэффициента при различных подходах к его определению. Представлены теоретические и эмпирические зависимости для расчета коэффициента теплообмена конвекцией при различных условиях пребывания человека в воде.

Ключевые слова: моделирование, конвективный теплообмена воде, терморегуляция человека.

I.I. YERMAKOVA, Y.M. SOLOPCHUK
International Research and Training Centre for Information Technologies and Systems of the National Academy of Sciences (NAS) of Ukraine and Ministry of Education and Science (MES) of Ukraine, Kyiv, Ukraine

CONVECTIVE HEAT EXCHANGE OF MAN IN WATER

Abstract – The aim of this paper is the analysis of existing methods for the determination of convective heat transfer coefficient during human immersion in cold water to clear up features of this value. The factors leading to the data scattering of the convective heat transfer coefficients were investigated. The theoretical and empirical equations for convective heat transfer coefficients during different human water immersions were presented. It was showed that human cooling in cold water depends on human physical and physiological characteristics as the water environmental parameters: human body constitution, namely fat layer, water salinity, water velocity, water and skin temperatures and others. The analysis of studies showed that crucial factor that affects convective heat transfer coefficient is a physiological status of man in cold water, in particular the thermoregulatory responses: shivering and physical activity level.

Keywords: modelling, convective heat exchange, human thermoregulation, water immersion.

Введение

Разработка и применение математических моделей терморегуляции человека при погружении в холодную воду относится к передовым направлениям в разработке информационных технологий. Ключевым моментом в построении таких математических моделей является определение коэффициента конвективного теплообмена с водой. В отличие от воздуха, где теплообмен происходит радиационным и конвективным путем, испарением влаги с поверхности кожи и верхних дыхательных путей, теплообмен в воде происходит только за счет конвекции. Теплофизические свойства воды определяют процесс конвективного теплообмена, который значительно отличается от воздуха. Изменение температуры воды на один градус или скорости движения воды на 0,1 м/с существенно влияет на охлаждение человека в воде. Определение величины коэффициента конвективного теплообмена является важной и самостоятельной задачей. Целью данной работы является анализ существующих методов определения коэффициента конвективного теплообмена человека в воде и факторов, влияющих на его величину.

Определение величины коэффициента конвективного теплообмена

Существуют несколько подходов в определении коэффициента конвективного теплообмена человека в воде. Условно их можно разделить на две группы. В первом случае тело человека представляется одним цилиндром или набором цилиндров, а коэффициент конвективного теплообмена рассчитывается по законам термодинамики. Во втором, расчет коэффициента конвективного теплообмена осуществляется по данным, полученным при измерении тепловых потерь в воде при участии волонтёров или на манекене.

В таблице 1 представлены коэффициенты конвективного теплообмена человека в воде, полученные различными исследователями. Как видно из таблицы 1 наблюдается значительный разброс значений от 46 Вт/м^{2}·°С до 537 Вт/м^{2}·°С в стоячей воде температурой 20 °С для неподвижного человека. Существует множество объяснений этому факту. Например, формула, используемая для гладкого цилиндра, не может быть использована без коррекции для человека из-за геометрии тела. Использование даже самого совершенного манекена не может учесть физиологические реакции, такие как сужение периферических кровеносных сосудов и терморегуляторной сократительной реакции скелетных мышц тела человека (дрожь). Нельзя исключить ошибки при измерении температуры кожи или тепловых потоков на волонтерах. Технологии экспериментов также могут влиять на величину коэффициента конвективного теплообмена.

Стандартная формула для определения коэффициент теплообмена конвекцией в воде имеет вид:

$$h^{CW} = \frac{K_W \cdot Nu}{L} \quad (1)$$

где K_W – теплопроводность воды, ккал/ч·м·°С;

Nu – число Нуссельта;

L – характерный размер, высота или диаметр цилиндра, аппроксимирующего тело человека, м.

Число Нуссельта, — один из основных критериев подобия тепловых процессов, характеризующий соотношение между интенсивностью теплообмена путем конвекции и интенсивностью теплообмена путем теплопроводности в условиях неподвижной среды. Число Нуссельта всегда больше или равно 1, то есть тепловой поток конвекцией всегда превышает тепловой поток путем теплопроводности. Обычно для ламинарных течений число Нуссельта находится в диапазоне от 1 до 20. Большие числа Нуссельта (Nu>100)

свидетельствуют о сильном конвективном тепловом потоке, что является характеристикой турбулентных течений.

Таблица 1

Коэффициент конвективного теплообмена человека с водой

Авторы	$T_в$, °С	$V_в$, м/с	Активность	H_c, Вт/м^{2}·°С
Boutelier C. и соавт. [1]	33-34	0	неподвижный	42
	18	0	неподвижный	53,5
	33-34	0,05	неподвижный	63
	33-34	0,1	неподвижный	81
	33-34	0,25	неподвижный	147
Colin J. и соавт. [2]		0	неподвижный	44
		0	дрожь	61
Gee G.K. и соавт. [3]	35	0	неподвижный	38
	32	0	неподвижный	96
	28	0	неподвижный	208
	24	0	неподвижный	358
	20	0	неподвижный	537
Goldman R.F. и соавт. [4]	20	0	неподвижный	49
Lefevre J. [5]	20	0	неподвижный	62,8
McMurray R.G. и соавт. [6]	20-35	0	плавание	428±48
Nadel E.R. и соавт. [7]	18-33	0	неподвижный	230
	18-33	0,5-0,75	неподвижный	460
	18-33	0,5-0,75	плавание	580
Parsons K. [8]	20	1	неподвижный	453
	20	0	неподвижный	132
Rapp G.M. [9]	22	0	неподвижный	94
	22	0,1	неподвижный	179
	22	0,3	неподвижный	310
	22	0,5	неподвижный	400
Strong L.H. и соавт. [10]	-	0	неподвижный	235
Tikuisis P. и соавт. [11]	20	0	неподвижный	166
	28	0	неподвижный	205,8
Witherspoon J.M. и соавт. [12]	20	0,005	(манекен)	137
	20	0,15	(манекен)	206
	20	0,5	(манекен)	588
	20	0,8	(манекен)	1434
Xu X. и соавт. [13, 14]	-	Спокойное море		160
	-	Волны		460

В зависимости от состояния воды и поведения человека конвекция в воде может быть свободной либо вынужденной, при этом число Нуссельта рассчитывается по-разному. В водной среде одновременно присутствуют оба вида конвекции. Соотношение Gr/Re^2, где Gr – число Грасгофа, а Re – число Рейнольдса определяет вид конвекции. Если соотношение $Gr/\mathrm{Re}^2 < 1$, то преобладает вынужденная конвекция, в противном случае преобладает свободная конвекция. В случае если соотношение близко к единице, то оба вида конвекции присутствуют.

Характер потока жидкости определяется соотношением силы инерции и силы внутреннего трения – число Рейнольдса (Re), которое пропорционально соотношению инерционных сил к силе внутреннего трения:

$$\mathrm{Re} = \frac{V_W \cdot L}{\mu} \qquad (2)$$

где V_W – скорость воды, м/с;

L – характерный размер – рост человека, м;

μ – кинематическая вязкость, м^2/с.

Если число Рейнольдса одинаково для двух людей или объектов подобной формы, но разных размеров, то характер потока для них будет такой же. Для каждого вида течения существует критическое число Рейнольдса, которое, как принято считать, определяет переход от ламинарного течения к

турбулентному. При $\mathrm{Re} < \mathrm{Re}_{кр}$ течение происходит в ламинарном режиме, при $\mathrm{Re} > \mathrm{Re}_{кр}$ возможно возникновение турбулентности. Критическое значение числа Рейнольдса зависит от конкретного вида течения, различных возмущений потока, такими как изменение направленности и модуля вектора скорости потока, шероховатости стенок и др. Boutelier и соавт. [1] экспериментально определили, что в термонейтральных условиях, несмотря на высокое значение числа Рейнольдса, поток ламинарный. В холодной воде, когда человек дрожит, характер потока находится на грани ламинарного и турбулентного.

Число Прандтля — один из критериев подобия тепловых процессов в жидкостях и газах учитывает влияние физических свойств теплоносителя на теплоотдачу. Число Прандтля — физическая характеристика среды и зависит только от её термодинамического состояния. Число Прандтля изменяется с изменением температуры тем значительнее, чем больше вязкость жидкости, например, для воды при 0 °C Pr =13,5, а при 100 °C - Pr =1,74.

Число Прандтля определяется соотношением кинематической вязкости к коэффициенту температуропроводности:

$$\mathrm{Pr} = \frac{\mu}{D}, \tag{3}$$

где μ – кинематическая вязкость воды, м^2/с;

D – коэффициент температуропроводности воды, м^2/с.

В стоячей воды тепловые потери происходят за счет свободной конвекции, которая определяется разницей температур между поверхностью тела человека и водой, коэффициента теплового расширения и силы гравитации, что описывается числом Грасгофа:

$$Gr = \frac{\beta g L^3 \left(T_{skin} - T_W\right)}{\mu^2} \tag{4}$$

где β – коэффициент объёмного расширения воды, 1/°C;

g – ускорение свободного падения, м/с^2;

L – характерный размер, в данном случае рост человека, м;

T_{skin} – температура кожи, соприкасающейся с водой, °C;

T_W – температура воды, °C;

μ – кинематическая вязкость воды, м^2/с.

Числа Прандтля, Рейнольдса и Грасгофа зависят от температуры и физических свойств воды: солёности, теплоёмкости, теплопроводности, кинематической вязкости и температуропроводности.

В среднем солёность мирового океана составляет около 3,5 % с колебаниями от 3,4 до 3,6 %. Скорость движения воды в океане находится в пределах от 0,05 до 0,1 м/с без учета штормового состояния. Скорость океанических движений варьируется от 0,5 до 2,6 м/с (Гольфстрим). Морская вода, представляющая собой сложный раствор, её физические свойства, в том числе и плотность значительно отличаются от свойств химически чистой воды, что влияет на процесс конвективного теплообмена. Поэтому авторы предлагают различные формулы для числа Нуссельта при вынужденной и свободной конвекции.

Boutelier и соавт. основываясь на результатах своих исследований, предложили следующие формулы для расчёта числа Нуссельта. Для свободной конвекции число Нуссельта: $Nu_{fr} = 0,09 \cdot \left(\mathrm{Pr} \cdot Gr\right)^{0,275}$. При вынужденной в случае ламинарного потока: $Nu_{L_{fo}} = 0,664 \cdot \mathrm{Pr}^{0,33}\,\mathrm{Re}^{0,5}$, а для случая турбулентного – $Nu_{T_{fo}} = 0,023 \cdot \mathrm{Pr}^{0,4}\,\mathrm{Re}^{0,8}$ [1].

Parsons использует для расчёта числа Нуссельта при свободной конвекции формулу Boutelier и соавт. При этом коэффициент конвективного теплообмена при вынужденной конвекции определяется только числом Рейнольдса и аналогичен расчёту коэффициента теплообмена в воздухе: $Nu_{fo} = 0,24\,\mathrm{Re}^{0,6}$ [8]. Tikuisis P. использует в своих расчётах для свободной конвекции следующую формулу: $Nu_{fr} = 0,54 \cdot \left(\mathrm{Pr} \cdot Gr\right)^{0,25}$, а для вынужденной формулу Boutelier и соавт.: $Nu_{L_{fo}} = 0,66 \cdot \mathrm{Pr}^{0,33}\,\mathrm{Re}^{0,5}$ [11].

Тепловой поток, переносимый конвективным путём от человека в водную среду имеет вид:

$$Q^{CW} = h^{CW} A\left(T_{skin} - T_в\right), \tag{5}$$

где h^{CW} – коэффициент теплообмена конвекцией, ккал/(ч·м^2·С);

A – площадь поверхности кожи, м^2;

$T_в$ – температура воды, °C.

Факторы, влияющие на конвективный теплообмен

В задачу многих исследований входило не только определение коэффициента конвективного теплообмена в воде и нахождение эмпирических зависимостей для расчёта конвективных теплопотерь в зависимости от температуры и скорости воды, но и определение факторов, влияющих на конвективный

теплообмен.

Boutelier C. и соавт. [1] в своем исследовании попытались найти объяснение сильному разбросу значений коэффициента теплообмена конвекцией в воде, проведя исследования при разных скоростях воды, различных интенсивностях мышечной дрожи, а также конституции тела человека в диапазоне температур от 18 до 33,7 °C. В экспериментах человек в нижнем белье лежал неподвижно в воде в течение нескольких часов, лицо оставалось на воздухе. Они получили математические выражения для расчёта коэффициента теплообмена в зависимости от скорости воды при температуре воды 33 °C. Было установлено, что более высокое значение коэффициента характерно для более худых людей, но это связано не с диаметром тела, а с интенсивностью дрожи, которая выше у худых. С ростом скорости воды разница между температурой кожи и воды уменьшается. При температуре воды ниже термонейтральной коэффициент конвективного теплообмена увеличивается с уменьшением температуры и увеличением скорости воды. Но в стоячей воде он практически не зависит от температуры. Незначительный рост в этом случае наблюдался только при температуре ниже 25 °C. Boutelier и соавт. пришли к выводу, что в стоячей воде увеличение коэффициента с понижением температуры воды объясняется влиянием непроизвольного сократительного движения скелетных мышц человека на пограничный слой. С ростом тепловых потерь интенсивность дрожи усиливается, влияя на пограничный слой с возможным переходом конвекции от свободной к вынужденной. Изменение имеет резкий характер, так как пограничный слой очень тонкий. Когда устанавливается новый вид конвекции или потока, то коэффициент теплообмена снова становится константой, приобретая значение обычно выше, чем в термонейтральных условиях [1]. Эти значения выше чем расчётные, представленные Rapp, который получил для стоячей воды *Hc* = 94 Вт/м^{2}·°C и 179-400 Вт/м^{2}·°C для воды со скоростью от 0,1 до 0,5 м/с [9]. Экспериментальные данные других исследователей также говорят о сильном влиянии на коэффициент конвективного теплообмена не только формы тела человека, но также и терморегуляционных реакций, таких как сужение сосудов и дрожь [7, 10].

Nadel и соавт. исследовали зависимость коэффициента теплообмена конвекцией от скорости воды и физической активности человека. Они показали, что во время плавания коэффициент конвекции не зависит от скорости воды и температуры в диапазоне температур воды от 18 до 33 °C и равен 580 Вт/м^{2}·°C. Авторы объясняют отсутствие зависимости коэффициента теплообмена от скорости высокой турбулентностью воды возникающей во время плавания, которая не вызывает существенной разницы в эффективных скоростях воды вокруг человека. При высоких скоростях воды 0,5–0,75 коэффициент также не зависит от температуры и равен 460 Вт/м^{2}·°C. По результатам своих исследований, они также сообщают, что в стоячей воде при отсутствии движений человека коэффициент равен 230 Вт/м^{2}·°C и также не зависит от температуры воды [7].

McMurray и соавт. также исследовали влияние физической нагрузки в воде на коэффициент конвективного теплообмена и показали, что в диапазоне от 20 до 35 °C он не зависит от температуры воды и вида выполняемой нагрузки (бег в воде, плавание), при этом коэффициент равен 428±48 Вт/м^{2}·°C [6]. Во время плавания температура ядра снижается быстрее чем при неподвижном пребывании человека в воде, так как потери тепла конвекцией, которые являются единственным видом теплообмена в воде, значительно увеличиваются в результате увеличения турбулентности во время плавания [6, 7].

Выводы

Анализ существующих методов определения конвективного теплообмена в воде привёл к следующему заключению (рис. 1).

Рис. 1. Конвективный теплообмен человека с водой

Процесс охлаждения человека в воде зависит от множества физических характеристик человека и водной среды: соленость, скорость движения воды, температура воды и кожи, конституция человека и многие другие. Однако анализ существующих исследований показал, что наиболее важным фактором в определении величины коэффициента конвективного теплообмена является физиологическое состояние человека в воде, а именно терморегуляторная реакция сократительного термогенеза (дрожи) и мощность физической нагрузки.

References

1. C. Boutelier, L. Bougues, and J. Timbal, “Experimental study of convective heat transfer coefficient for the human body in water”, J. Appl. Physiol., Vol. 42, 1977 pp. 93–100.

2. J. Colin, J. Timbal, J.D. Guieu, C. Boutelier, and Y. Houdas, “Combined effect of radiation and convection”, Physiological and behavioral temperature regulation, edited by J. D. Hardy, A. P. Gagge, and J. A. J. Stolwijk, Springfield: Thomas, 1970, pp. 81-96.

3. G.K. Gee, R.F. Goldman, “Heat loss of man in total water immersion”, Physiologist, Vol. 16, 1973 P. 318.

4. R.F. Goldman, J.R. Breckenridge, E. Reeves, and E.L. Beckman, “Wet versus dry suit approaches to water immersion protective clothing”, Aerospace Med., Vol. 37, 1966 pp. 485-487.

5. J. Lefevre, “Chaleur animale et bio-energetique”, Traits’ de Physiologie, Vol. 8, 1929 pp. 407-545.

6. R.G. McMurray and S.M. Horvath, “Thermoregulation in swimmers and runners”, J. Appl. Physiol., Vol. 46, 1979 pp. 1086-1092.

7. E.R. Nadel, I. Holm?r, U. Bergh, P.O. Astrand, and J. Stolwijk, “Energy exchanges of swimming man”, J. Appl. Physiol., Vol. 36(4), 1974 pp. 465–471.

8. K. Parsons, Human thermal environments: the effects of hot, moderate, and cold environments on human health, comfort, and performance, Boca Raton: CRC Press, 2014.

9. G.M. Rapp, “Convection coefficients of man in a forensic area of thermal physiology: heat transfer in underwater exercise”, J. Physiol. Paris, Vol. 63, 1971 pp. 392-396.

10. L.H. Strong, G.K. Gee, and R.F. Goldman, “Metabolic and vasomotor insulative responses occurring on immersion in cold water”, J. Appl. Physiol., Vol. 58, 1985 pp. 964-977.

11. P. Tikuisis, R.R. Gonzalez, and K. Pandolf, “Thermoregulatory model for immersion of humans in cold water”, J. Appl. Physiol., Vol. 64(2), 1988 pp. 719–727.

12. J.M. Witherspoon, R.F. Goldman, J.R. Breckenridge, “Heat transfer coefficients of humans in cold water” Physiol. Paris, Vol. 63, 1970 pp. 459-462.

13. M.M. Toner and W.D. McArdle, “Human thermoregulatory responses to acute cold stress with special reference to water immersion”, Handbook of physiology: environmental physiology, edited by J.R. Pappenheimer, M.J. Fregly, C.M. Blatties, Oxford: Oxford University Press, 1996, pp. 379 – 397.

14. X. Xu, P. Tikuisis, “Thermoregulatory modeling for cold stress”, Comprehensive Physiology, Vol. 4, 2014vpp. 1057–1081.

Рецензія/Peer review : 13.3.2015 р. Надрукована/Printed :15.4.2015 р.
Рецензент: стаття рецензована редакційною колегією

УДК 004.9

О.М. ЯШИНА
Хмельницький національний університет

ОБҐРУНТУВАННЯ АЛГОРИТМУ КЕРУВАННЯ ДОСТУПОМ ДО ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ТОРГІВЕЛЬНОЇ МЕРЕЖІ З ВИКОРИСТАННЯМ СМАРТ-ТЕХНОЛОГІЙ

В даній статті надано у формалізованому вигляді аспекти реалізації алгоритму керування доступом до інформаційних ресурсів торгівельних мереж.

Ключові слова: алгоритм, смарт-технології, інформаційні технології, інформаційні системи, доступ до інформаційної системи, політика безпеки.

OKSANA YASHYNA
Khmelnytsky National University

JUSTIFICATION OF THE ALGORITHM TO CONTROL ACCESS TO THE INFORMATION SYSTEM OF THE TRADING NETWORK WITH THE USE OF SMART TECHNOLOGIES

This article presents the formalized aspects of the implementation of the algorithm to control access to information resources of trading networks. Approaches to access control have significant drawbacks. To access the information system a supermarket requires certain elements and procedures. The main point in the access algorithm to the management of information system of supermarket retail chain is the rejection of different types of managed resources. The aim of the article was the formalized representation of aspects of the algorithmic implementation of access control to the information system of trading networks with the use of smart technologies.

Keywords: algorithm, smart technology, information technology, information systems, access to information system, security policy.

Постановка задачі

Торговельне підприємство – основна ланка сфери обігу, що володіє господарською і юридичною самостійністю, здійснює просування товарів від виробників до споживачів за допомогою купівлі-продажу і реалізує власні інтереси на основі задоволення потреб людей, представлених на ринку. Функціонування підприємства забезпечує його персонал – сукупність осіб, що працюють та вкладають свою працю, фізичні та розумові здібності, знання та навички у проведенні господарської, фінансової діяльності, реалізують його статутні завдання (закупівлю та реалізацію товару, виробництво продукції, надання послуг та інше). Частина персоналу (в залежності від підприємства це можуть бути бухгалтера, менеджери, керівники, охорона та інші) на підприємстві має доступ до фінансових операцій, документації, конфіденційної інформації, яка може бути вкрадена. На сьогоднішній день відомості про діяльність практично усіх торгових підприємств зосереджені у інформаційних системах.

Зростання складності інформаційних систем, підвищення ступеня інтеграції бізнес-процесів підприємств, подальша глобалізація світової економіки, зростання темпів бізнесового середовища вимагає створення інформаційних систем, які здатні аналізувати поточну ситуацію та швидко адаптуватися до змін [1, 2]. На ймовірність злому інформаційної системи впливає ряд контрольованих та неконтрольованих факторів.

Неконтрольовані фактори: температура навколишнього середовища; нерівномірність напруги в електромережі; зношування обладнання внаслідок експлуатації і т.д.

До контрольованих факторів віднесемо плинність кадрів; використання картки із корисницьких мотивів; довжина магнітного запису (особливості безпеки смарт-карт).

Саме тому при проектуванні та експлуатації інформаційних систем різного призначення проблеми забезпечення інформаційної безпеки грають ключову роль. Керування доступом повинно враховувати, з одного боку, як наявність штатних засобів реалізації механізмів забезпечення безпеки (механізми, вбудовані в операційні середовища), так і наявність різних рівнів керування – персональний, корпоративний, регіональний і т.д. [4].

Процес впровадження нових інформаційних систем, при усій їх незаперечній корисності, несе у собі нові витрати та ризики для компанії. Зловмисником може бути як стороння людина, так і працівник підприємства. Саме тому на підприємствах доцільним є використання захисних систем – систем контролю доступу, які включають в себе необхідні елементи для захисту інформації підприємства. У [1, 2] розглядається можливість та доцільність використання смарт-карти для доступу до інформаційних ресурсів торгівельних мереж супермаркету, які забезпечують необхідний рівень захисту. В зв'язку із цим є актуальним алгоритмічне забезпечення контролю доступу до інформаційних систем торгівельних мереж із застосуванням смарт-технологій.

Метою статті є формалізоване подання аспектів алгоритмічної реалізації керування доступом до інформаційної системи торгівельних мереж із застосуванням смарт-технологій.

Аналіз досліджень та публікацій

Як уже зазначалось у [1] методологічною основою нашого дослідження стали праці Фороузана Б. А., Шнайера Б. та інших. Деякими аспектами застосування смарт-технологій займались такі російські вчені, як Шорін Д. В., Шкурко М.І., Борисенко О. В., Стасенко Л., Куліков А.Л. Загалом же в теперішній час виконується велика кількість різноманітних досліджень, присвячених застосуванню інформаційних технологій в розв'язанні економічних, соціальних та інших задач. Однак, потрібно відмітити, що проблема керування доступом займає незначне місце у вітчизняних та зарубіжних роботах. Керування зазвичай

декларується чи зводиться до планування [4]. Опис систем керування доступом для конкретних операційних середовищ чи прикладних систем залишає відкритим питання про те, наскільки різноманітні помилки в керуванні доступом порушують захищеність та не дозволяють говорити про певний ґрунтовний системний підхід в організації керування. Не зважаючи на те, що дослідження в галузі застосування смарт-технологій постійно проводяться, наукових робіт, присвячених застосуванню смарт-технологій для забезпечення безпеки доступу користувачів до інформаційних систем супермаркету в системі політики безпеки недостатньо, що і обумовило виявлення до цього питання підвищеного наукового та практичного інтересу.

Виклад основного матеріалу

На нашу думку, підходи до керування доступом мають багато досить істотних недоліків, до яких можемо віднести відсутність документованого обґрунтування рішення з присвоєння або позбавлення прав доступу; відсутність шаблонів прав доступу; різнотипність керованих ресурсів і т.д.

В результаті права доступу є часто неадекватними до завдань, які виконує працівник – прав доступу забагато або замало. Недостатність прав доступу призводить до неможливості або істотних затримок у виконанні завдання, що негативно впливає на бізнес-процес загалом.

Надлишок прав доступу, хоч і створює додаткові можливості для працівника щодо вибору різних способів вирішення завдання, загалом зменшує захищеність інформаційної системи і не відповідає принципу найменших прав доступу.

У алгоритмі, запропонованому нами, основним моментом є відмова від різнотипних керованих ресурсів, що зберігають окремі варіанти облікових записів однієї й тієї ж самої людини, оскільки це призводить до того, що користувачу необхідно запам’ятовувати велику кількість паролів

Для доступу до інформаційної системи супермаркету необхідні певні елементи та процедури. На рис. 1 подано схему алгоритму доступу до інформаційної системи супермаркету на основі смарт-технологій.

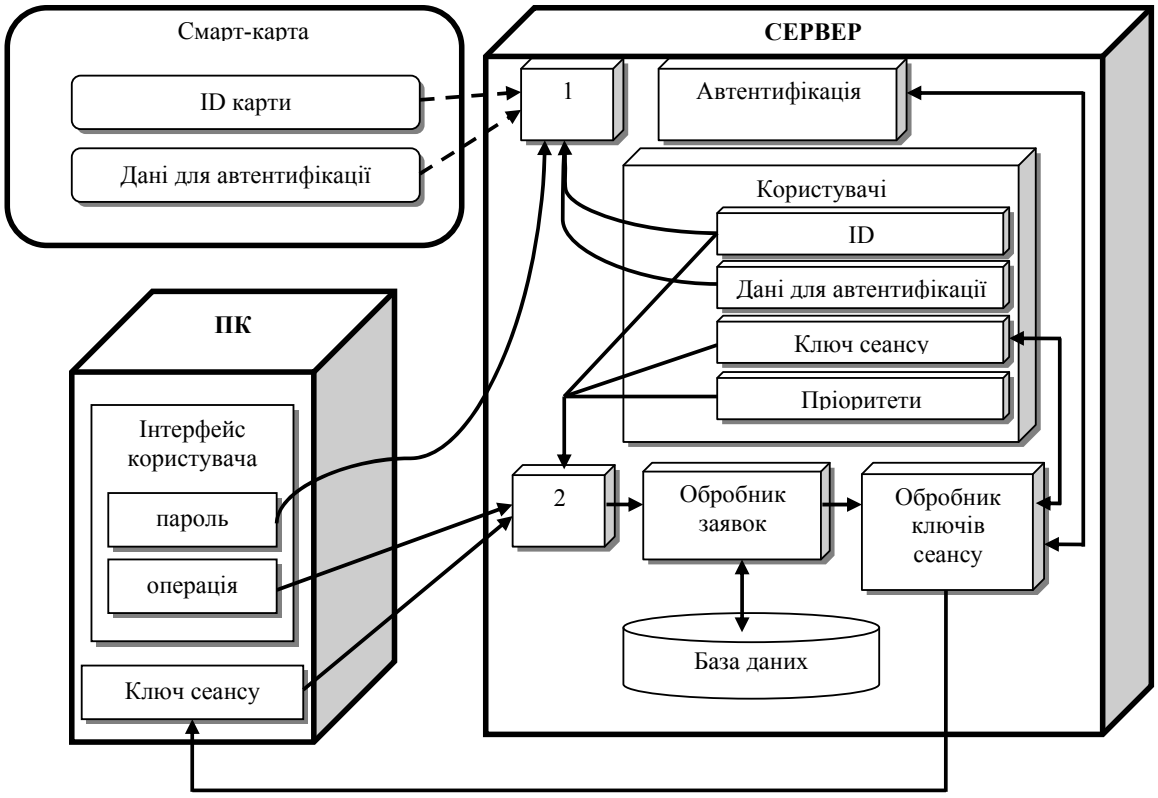


Рис. 1. Схема алгоритму доступу до інформаційної системи торгівельної мережі супермаркету на основі смарт-технологій

Елементами надання доступу до інформаційної системи торгівельної мережі супермаркету є смарт-карта, персональний комп’ютер (ПК), сервер. На смарт-карті зберігається її ідентифікатор (ID), за яким проводиться ідентифікація користувача (працівника супермаркету) в базі користувачів на сервері, а також «дані для автентифікації» – дані, що надані смарт-картою.

Персональний комп’ютер представляє собою блок, який виконує дві функції: служить каналом зв’язку між смарт-картою та сервером, і є засобом спілкування користувача (працівника супермаркету) із сервером. Інтерфейс (Користувач) – блок, який забезпечує взаємодію з користувачем. Під паролем мається на увазі спосіб, яким користувач підтверджує свою особу, тут під паролем розуміється все, що необхідно пред’явити користувачу для підтвердження своєї особи. Операція – дії, які необхідно виконати з базою даних, задається користувачем після авторизації.

Ключ сеансу – деякий код, який надається в користування «ПК» на певний термін. Він видається при виконанні користувачем автетифікації. На сервері зберігаються всі дані для автентифікації і пріоритетного проведення операцій (заявок).

Автентифікація – процес підтвердження особи користувача на основі одного з можливих способів

автентифікації, наприклад: введення паролю користувачем, біометричний пароль, тощо. Можлива багаторівнева автентифікація, коли потрібно підтвердити свою особу не лише одним паролем, наприклад, після ведення паролю потрібно ввести код, який приходить у вигляді смс-повідомлення на зв'язаний з даним користувачем номер або на електронну адресу;

Користувачі – база користувачів, тут для кожного користувача вказано ID його смарт-карти, дані для автентифікації, деякі з пріоритетів доступу а також ключ сеансу. ID – ідентифікатор картки що зв'язана з даним користувачем. Дані для автентифікації – надані сервером. Ключ сеансу – поле, в якому зберігається ключ сеансу за умови, що він виданий обробником ключів сеансу. Після закінчення терміну дії ключа сеансу, він видаляється і для того щоб отримати повторно доступ необхідно пройти процес авторизації. Пріоритети – список пріоритетів користувача.

Обробник заявок – блок в якому відбувається відбір або формування черги заявок за певним критерієм на основі пріоритетів отриманих з бази користувачів і пріоритетів заявки. Обробник ключів сеансу – контролює видачу та термін дії ключів сеансу. Ключ сеансу генерується випадковим чином після успішної автентифікації, далі цей ключ записується в базу користувачів в поле «ключ сеансу».

Доступ до інформаційної системи включає процедуру авторизації та процедуру виконання заявки. Для процедури авторизації необхідна наявність ідентифікатора смарт-карти, даних для автентифікації з боку смарт-карти та сервера, паролю з боку користувача і доступу до бази користувачів. В результаті при успішній автентифікації викликається обробник ключів сеансу і генерується ключ сеансу.

Для створення заявки необхідно представити ключ сеансу з боку користувача (ПК) і операцію яку він хоче виконати, з боку сервера потрібно мати доступ до бази користувачів, для того, щоб співставити ключ сеансу з ідентифікатором користувача і таким чином заповнити пріоритети доступу в заявці. Після створення заявки, вона передається в обробник заявок де поміщається в чергу на виконання, черга формується за певним критерієм на основі пріоритетів.

Оскільки заявка може провести час в черзі який перевищує час дії ключа сеансу тому перед виконанням заявки відбувається перевірка дійсності даного ключа. Якщо ключ виявляється недійсним то необхідно виконати авторизацію заново.

Висновки

Підходи до керування доступом мають суттєві недоліки, до яких можемо віднести відсутність документованого обґрунтування рішення з присвоєння або позбавлення прав доступу; відсутність шаблонів прав доступу; різнотипність керованих ресурсів і т.д.

У алгоритмі доступу до керування інформаційною системою торгівельної мережі супермаркету основним моментом є відмова від різнотипних керованих ресурсів, що зберігають окремі варіанти облікових записів однієї й тієї ж самої людини, оскільки це призводить до того, що користувачу необхідно запам'ятовувати велику кількість паролів.

Для доступу до інформаційної системи супермаркету необхідні певні елементи та процедури. До елементів відносяться смарт-карта, персональний комп'ютер (ПК), сервер. До процедур відносяться процедура авторизації та виконання заявки.

Література

1. Шинкарук О.М. Використання смарт-карт для ідентифікації користувачів інформаційних систем / О.М. Шинкарук, О.М. Яшина // Вісник Хмельницького національного університету. – Хмельницький : ХНУ, 2013. – № 1. – С. 114–116.

2. Яшина О.М. Обґрунтування можливостей застосування смарт-технологій для управління доступом до інформаційних систем / О.М. Яшина // Збірник наукових праць за матеріалами сьомої міжнародної науково-технічної конференції «Актуальні проблеми комп'ютерних технологій 2013». – Хмельницький, 2013. – С. 392–397.

3. Яшина О.М. Керування доступом до інформаційної системи торгівельної мережі з використанням смарт-технологій в контексті політики безпеки / Яшина О.М. // Вісник Хмельницького національного університету. – Хмельницький : ХНУ, 2014. – № 6. – С. 133–135.

4. Шкурко М.И. Программные средства автоматизации обработки информации в системе документооборота на базе распределённой архитектуры с применением smart-технологий : дис. ... канд. техн. наук : 05.13.17 / Шкурко М. И. – М., 2008. – 158 с.

References

1. Shynkaruk O. M., Yashyna O. M. The Use of Smart Cards to Identify Users of Information Systems. Herald of Khmelnytsky National University. Khmelnitsky, 2013. Issue 1. P. 114–116.

2. Yashyna O. M. The Justification of Opportunities of the Use of smart cards to Control Access to information systems. Collection of scientific works on materials of VII international scientific-technical conference "Actual problems of computer technologies 2013". Khmelnytsky, 2013. P. 392–397.

3. Yashyna O. M. Access Control to the Information Systems of the Trade Network with the Use of Smart Technologies in the Context of Security Policy. Herald of Khmelnytsky National University. Khmelnitsky, 2014. Issue. 6. P. 133–135.

4. Shkurko M. I. Software for automation of information processing in the document management system based on distributed architecture with the use of smart technologies: dissertation of candidate of tech. sciences: 05.13.17. M., 2008. 158 p.

Рецензія/Peer review : 5.3.2015 р. Надрукована/Printed :15.4.2015 р.
Рецензент: стаття рецензована редакційною колегією

УДК 621.317

К.Л. ГОРЯЩЕНКО, І.В. ГУЛА, М.Д. ДОРОТЮК
Хмельницький національний університет

МОДЕЛЮВАННЯ ПОВЕДІНКИ КАБЕЛЬНОЇ ЛІНІЇ У СЕРЕДОВИЩІ PSCAD

В середовищі PSCAD проведено моделювання частотозалежної моделі Бергерона та визначено адекватність існуючої моделі.

Ключові слова: електронно-лічильний метод , метод однократного ноніуса , метод багатократної коінциденції пакетів імпульсів.

K.L. HORIASHCHENKO, I.V. HULA, M.D. DOROTIUK
Khmelnitsky national university

MODELING THE BEHAVIOR OF CABLE LINES IN THE PSCAD

Frequency depended cable model of Bergeron tested in the PSCAD. Cable model of three-phase line tested in case of shortcut with the different frequencies and lengths of line. Tested model of cable line was founded as acceptable in range of 50/60 Hz and not enough adequate at highest frequencies.

Keywords: counting method, single vernier method, method ofmultiply coincidence of pulses of packages.

Вступ

Відома концепція моделі кабельної лінії – так звана "Z-модель", заснована на підході Кастелланоса та роботах Марті [1, 2, 3] ділить моделювання кабелю на дві частини: ідеальний розподіл лінії, пов'язаний з зовнішнім магнітним полем $[L^{ext}]$ і електричним полем $[C]$, а також розділ втрат, які включає в себе опір $[R(\omega)]$, внутрішній потік $[L^{\text{int}}(\omega)]$ і діелектричні втрати [G]. Ця концепція була розширена на випадок, щоб відрізнити швидкості поширення для різних режимів у зв'язку з кабельними ізоляційними шарами.

Результати z-кабельної моделі показують дуже хороші співвідношення з FDQ кабельної моделі і більше точні, ніж постійні матриці перетворення FD лінійної моделі. сучасні моделі кабельних ліній були представлені у роботі [4]. Порівняння моделей FD, FDQ, zCable для моделювання впливів на лінію за умов короткого замикання, вільного кінця лінії (без навантаження) та імпульсний вплив показано у роботі [5].

Постановка задачі

Представлені моделі провідникових ліній застосовуються в сучасних програмних рішеннях для розв'язання задачі визначення процесів в провідникових лініях. Таким середовищем моделювання є цілий ряд програм EMTP, наприклад середовище моделювання PSCAD. Проте використання моделей потребує оцінки застосовуваності представленої моделі для задачі моделювання.

Основна частина

Компанія Manitoba HVDC Research Centre відома у всьому світі за розробленою її фахівцями програмного середовища моделювання енергосистем, в якій можна просто і наочно виконувати моделювання пере-хідних і сталих процесів, провідних в енергетичних системах, для вирішення різноманітних прикладних і научно-дослідницьких завдань. Manitoba HVDC Research Centre - підрозділ компанії Manitoba Hyd ro International Ltd, однієї з провідних електроенергетичних компаній Канади.

PSCAD є швидкодіючим, точним і простим інструментом для моделювання роботи енергосистем і силових електронних перетворювачів при їх проектуванні, аналізі, оптимізації та верифікації.

Програма PSCAD з модулем моделювання перехідних процесів EMTDC™ надає широкий вибір

Програмою PSCAD та його ядром моделювання – EMTDC, користуються близько 30 років. PSCAD є один з найбільш потужних і інтуїтивно зрозумілих пакетів САПР доступною. Спектр користувачів PSCAD включає в себе інженерів і вчених з наукових установ, виробників, консультантів, а також використовується для наукових досліджень та академічних інститутів. Він використовується в плануванні, експлуатації, проектування, введення в експлуатацію, підготовки тендерної специфікації, викладання та досліджень.

Користувачі мають можливість створювати в PSCAD власні компоненти. Компоненти можуть бути представлені в вигляді «чорного ящика» з власним алгоритмом роботи, описаним на мові високого рівня (C++, Fortran, MATLAB / Simulink і інші.).

Середовище моделювання PSCAD

Проведемо моделювання перехідних процесів, що мають місце в провідниковій лінії із застосуванням моделі Бергерона.

На рис. 1 показана схема моделі лінії з джерелом живлення та навантаження.

На рис. 2 показана графічна модель трифазної провідникової повітряної лінії, параметри якої відповідають Бергеронівській моделі. Для цієї моделі можна встановлювати таки основні параметри як: відстані між провідниками, відстані провідника від землі, діаметри провідників, а також величину провисання кабелю. А також встановлюються показники провідності та електричного опору.

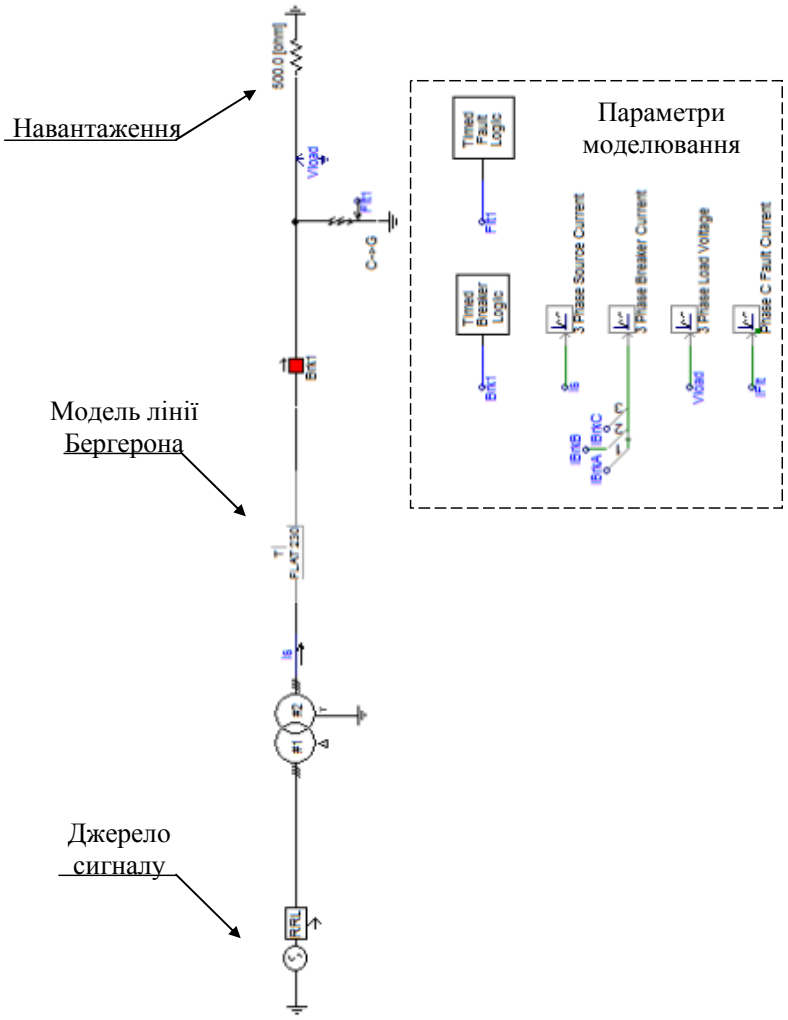


Рис. 1. Структурна схема лінії для моделювання

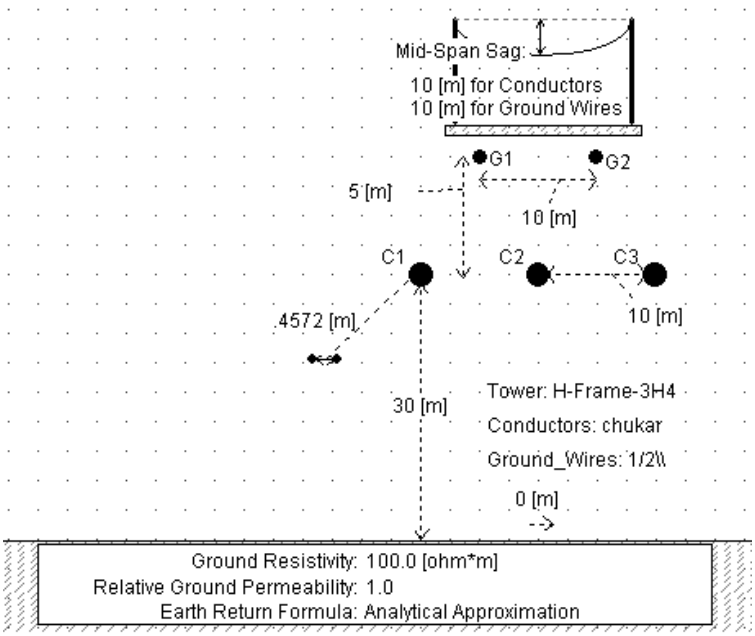


Рис. 2. Бергеронова модель досліджуваної лінії та параметри цієї моделі

Важливим також є можливість в середовищі PSCAD встановлювати параметри джерела струму, навантаження та лінії. На рис. 3 показано вікно встановлення та редагування показників провідникової лінії згідно моделі Бергерона.

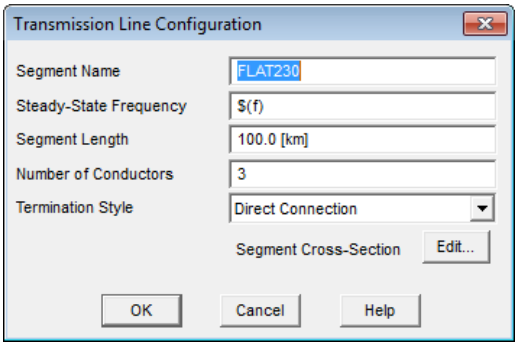


Рис. 3. Параметри Бергеронової моделі лінії довжиною 100 км

Моделювання перехідних процесів в лінії

Основна мета моделювання полягає у виявленні можливості виявлення здатності моделі до адекватного моделювання результатів за умов виникнення короткого замикання по фазі (в даному випадку – С) та відключенні лінії від навантаження після настання короткого замикання.

Виконаємо процес моделювання процесу проходження сигналу в лінії у випадку зміни різних параметрів:

1) зміна довжини кабелю – 10, 30, 100 км

2) зміна частоти сигналу – 50, 60, 100 Гц

1. Виконаємо дослідження за умов довжини кабелю в 100 км, 30 км, 10 км.

На рис. 4 показана динаміка змін для (а) 10 км, (б) 30 км та (в) 100 км. Як видно з рисунку, зростання довжини кабелю зв'язано з еквівалентною довжиною кабелю. На рисунку можна побачити, що опір лінії зростає, а струм спадає. З рис. 5 видно, що амплітуда струму через розривач зростає стрибкоподібно в момент замикання.

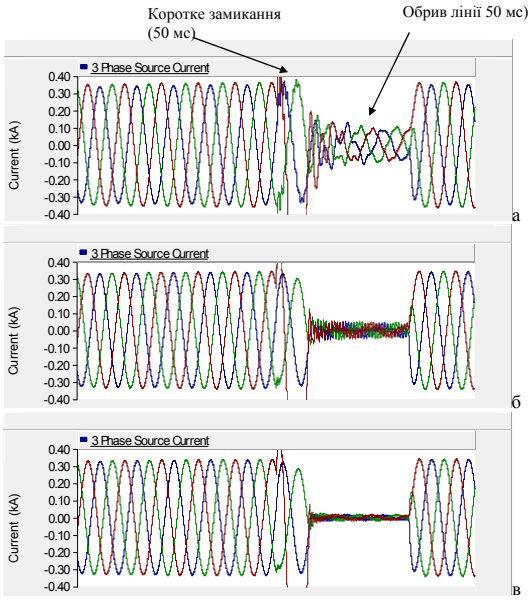


Рис. 4. Зміна струму джерела сигналу при розриві фаз

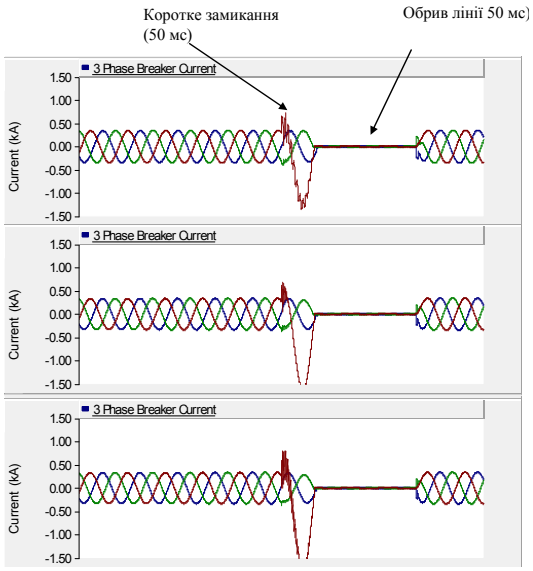


Рис. 5. Зміна струму через розривач на навантаження

2. Проаналізуємо роботу моделі за умов зміни частоти сигналу при довжині кабелю в 100км, частота 50 Гц (а), 60 Гц (б), 500 Гц (в).

З рис. 6 видно динаміку зміни амплітуди струму від частоти. Як видно, за умов 50 та 60 Гц, графіки практично не змінні. Для частоти 500 Гц має місце суттєве зростання амплітуди як до моменту замикання (стаціонарний режим роботи лінії), так і після замикання. Така поведінка показує налаштованість параметрів моделі до промислових частот 50/60 Гц та потребує зміни їх при застосуванні інших частот.

Цікавим є рис. 7 з точки зору адекватності моделювання фазового зсуву сигналу від частоти вхідного сигналу. Амплітудні значення струмів є рівними між собою (див. рис. 7, а, б). Врахуючи рис. 6, можна стверджувати, що модель в даному випадку надає коректний результат. Для рис. 7, в) зменшена амплітуда сили струму на початок виникнення замикання та навпаки, зростання амплітуди сили струму при завершенні дії короткого замикання вказує на недостатню відповідність параметрів частотозалежної моделі Бергерона та її поведінки за умови роботи на частотах вище за промислові.

Таким чином, виконавши моделювання, встановлено:

- досліджена частотозалежна модель є цілком адекватною, дозволяє врахувати час разповсюдження сигналу в лінії, але має і принципові недоліки;

- модель Бергерона є оптимізованою під частоти промислової частоти 50/60 Гц; при використанні вищих частот спостерігається невідповідність амплітуд напруг на вході та виході лінії
- визначено, що частотозалежна модель Бергерона для трифазної повітряної провідникової лінії враховує фазову сигналу, що розповсюджується в лінії.

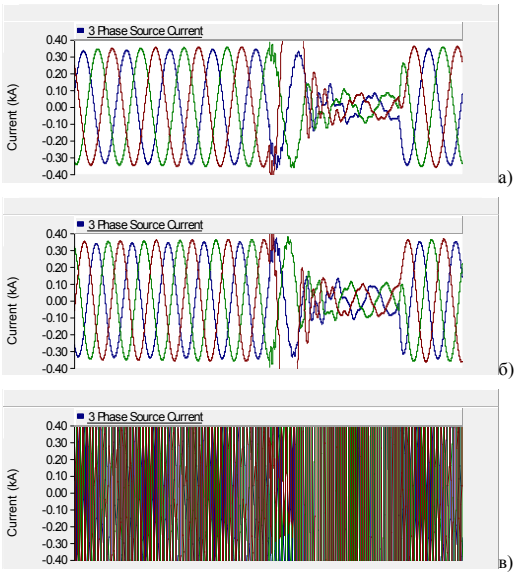


Рис. 6. Зміна струмів в джерелі від частоти: 50 Гц (а), 60 Гц (б), 500 Гц (в)

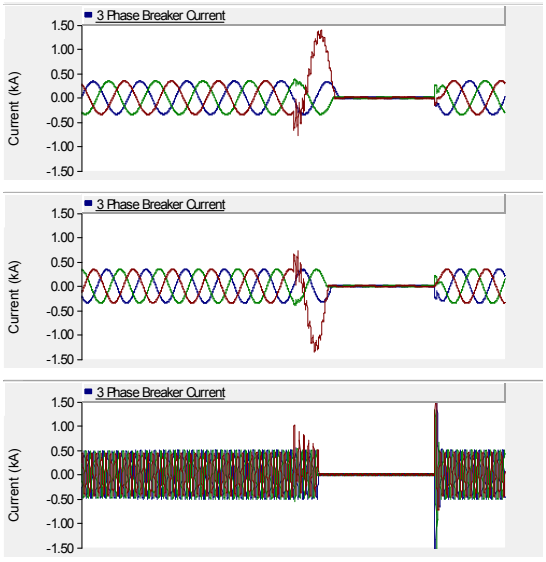


Рис. 7. Зміна струмів через розривач на частотах 50 Гц (а), 60 Гц (б), 500 Гц (в)

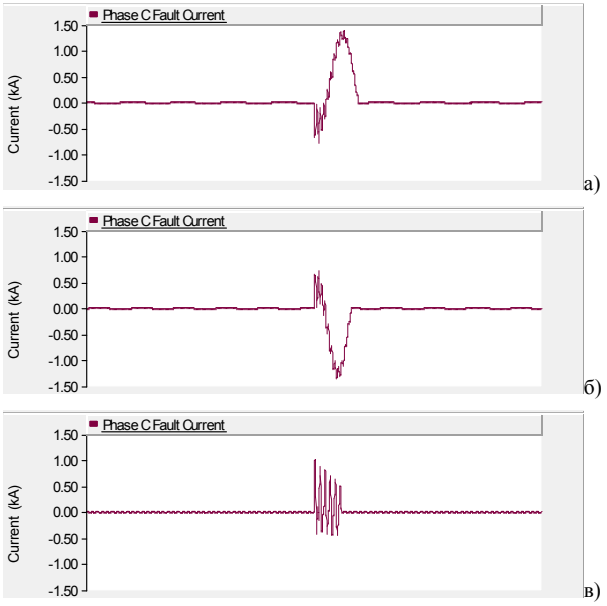


Рис. 8. Зміна струмів через замикач на частотах 50 Гц (а), 60 Гц (б), 500 Гц (в)

Література

1. F. Castellanos, J. Martí, “Full Frequency-Dependent Phase Domain Transmission Line Modal”, IEEE Trans. on Power Systems, vol.12, no.3, pp.1331-1339, Aug. 1997.

2. F. Castellanos, J. Martí, “Phase-Domain Multiphase Transmission Line Models”, IPST’95 , pp.17-22, Lisbon, Portugal, 1995.

3. F. Castellanos, J. Martí, F. Marcano, “Phase-Domain Multiphase transmission Line Models”, EPES, Vol.19, No.4, pp.241-248, 1997.

4. Горященко К.Л. Огляд сучасних моделей провідникових ліній / К.Л. Горященко, В.С. Климчук // Вісник Хмельницького національного університету. – 2014. – №3. – С. 69-74

5. T.C. Yu and J.R. Martí, "zCable model for frequency dependent modelling of cable transmission systems," IPST01 in Rio De Janeiro, Brazil, paper no. IPST01-146, June 2001

Рецензія/Peer review : 10.3.2015 р. Надрукована/Printed :16.4.2015 р.
Рецензент: д.т.н. Троцишин І.В.

УДК 535.08; 681.7.08

В.Т. КОНДРАТОВ
Институт кибернетики им. В.М. Глушкова, г. Киев
А.А. КОРОГОД
Киевский национальный университет технологий и дизайна

ИЗБЫТОЧНАЯ ПИРОМЕТРИЯ: БАЗОВЫЕ СТРУКТУРЫ СРЕДСТВ ИЗБЫТОЧНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИ РАЗНЫХ ВИДАХ ФУНКЦИИ ПРЕОБРАЗОВАНИИ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КАНАЛА

Рассмотрены базовые структуры микропроцессорных средств избыточных измерений температуры бесконтактными методами при разных видах нелинейной функции преобразования измерительного канала. Описаны особенности данных структур, их многообразие, недостатки и достоинства. Показана возможность уменьшения влияния на результат измерений радиационной температуры коэффициента поглощения среды и излучательной способности объекта измерений. Работа представляет интерес для магистров, специалистов и ученых, интересующихся методами избыточных измерений температуры.

Ключевые слова: избыточная пирометрия, температура, функция преобразования, цифровой пирометр.

V.T. KONDRATOV
V.M. Glushkov Institute of Cybernetics of National Academy of Science of Ukraine
A.O. KOROGOD
Kiev National University of Technologies and Design

REDUNDANT PYROMETRY: BASE STRUCTURES OF MEANS OF REDUNDANT MEASUREMENTS OF TEMPERATURE AT DIFFERENT KINDS OF FUNCTION TRANSFORMATION OF THE MEASURING CHANNEL

Abstract — In paper base structures of microprocessor means of redundant measurements of temperature are considered by contactless methods at different kinds of nonlinear function of transformation of the measuring channel.

All microprocessor means of redundant measurements of temperature contactless methods (digital pyrometers) represent information-redundant measuring systems.

Definition of means of redundant measurements of temperature by contactless methods that allows to present their structure identical to measuring information systems is resulted. A variety of information-redundant measuring systems also defines existing variety of structures of digital pyrometers.

It is shown, that the structure of digital pyrometers essentially depends on a kind of function of transformation of the optic-electronic channel, system of the mathematical models describing the realised method of redundant measurements, from degree of an openness, level of intellectualization and other factors. Structures with microconverters, the minimum number of remote terminal units, with linear optic-electronic channels and the block of memory of a database are optimum.

The resulted structures of digital pyrometers differ from existing themes that provide the decision of metrological problems as realize methods of redundant measurements.

Base structures of the digital pyrometers realizing methods of redundant measurements and corresponding systems of mathematical models, describing their work and processes of computing processing of results of intermediate measuring transformations of streams of optical radiation are resulted at linear, square-law, cubic, polynomial and logarithmic functions of transformation of the measuring channel.

Work is of interest for masters, experts and scientists, the interested methods of redundant measurements of temperature.

Keywords: redundant pyrometry, temperature, function of transformation, a digital pyrometer.

Введение

Все микропроцессорные средства избыточных измерений температуры бесконтактными методами (цифровые пирометры) представляют собой информационно-избыточные измерительные системы.

Информационно-избыточная измерительная система (ИИИС) — это совокупность определенным образом соединенных сенсоров, измерительных каналов и/или средств измерений, мер и/или стандартных образцов, средств дискретно-аналоговой и вычислительной техники, линий связи, баз знаний и/или экспертных систем и интеллектуальных интерфейсов, функционально объединенных методическим, системным и прикладным программным обеспечением, реализующая стратегию избыточных и/или сверхизбыточных измерений, и обеспечивающая автоматическое получение измерительной информации, системы знаний (структурированных данных) и карт знаний о независимых и зависимых свойствах, приращениях свойств, зависимостях свойств и/или о характеристиках распределенных в пространстве объектов измерений, о параметрах функций преобразования измерительных каналов, о состоянии и метрологической надежности используемых измерительных каналов, средств измерений и системы в целом, служащая достижению заданной системы целей и выступающая как одно целое по отношению к окружающей среде [1].

Средства избыточных измерений температуры бесконтактными методами — это совокупность определенным образом соединенных оптических элементов и фотоприемников, измерительных каналов или измерительных преобразователей мощности потоков оптического излучения, исполнительных механизмов, нормированных по мощности источников оптического излучения, средств дискретно-аналоговой и вычислительной техники, баз знаний и/или экспертных систем и интеллектуальных интерфейсов и т.д., функционально объединенных методическим, системным и прикладным программным обеспечением и реализующая стратегию избыточных измерений.

В отличие от существующих, приведенные ниже структуры цифровых пирометров обеспечивают решение метрологических задач. Метрологическая задача — задача определения значений физической величины и текущих значений параметров функции преобразования измерительного канала путем измерительного преобразования нескольких рядов физических величин с требуемой точностью и в данных условиях измерений, дополненная операциями вычислительной обработки результатов промежуточных преобразований согласно уравнениям избыточных измерений и предусматривающая определение метрологических характеристик и параметров метрологической надежности [1, 2].

Объект исследований — структуры пирометров и реализуемые оптико-электронные методы бесконтактного измерения температуры и их математические модели.

Предмет исследований — системы математических моделей и структуры микропроцессорных средств избыточных измерений температуры при разных функциях преобразования измерительного канала с приемником оптического излучения (фотоприемником или болометром).

Целью работы является ознакомление ученых и специалистов с базовыми математическими моделями и структурами микропроцессорных средств избыточных измерений температуры бесконтактными методами при разных видах нелинейной функции преобразования измерительного канала с приемником оптического излучения, а также с основными тенденциями их развития.

Результаты исследований

По своей архитектуре цифровые пирометры состоят из конечной совокупности функциональных модулей — оптических каналов, модуляторов оптического излучения, электронных измерительных каналов, исполнительных механизмов и устройств управления, коммутаторов, жидкокристаллических индикаторов, часов реального времени и т.д. и т.п., связанных определенным образом с портами микроконвертора (МК) непосредственно или через общую шину. Общая шина содержит: шину управления, которая принимает и подает управляющие сигналы на функциональные блоки, определяет режим их работы; шину данных, которая служит для приема, передачи основных данных результатов измерений; шину адреса, которая однозначно определяет блоки, обменивающиеся информацией.

МК является законченным функциональным модулем. Он принимает аналоговые сигналы с помощью встроенного (одного или нескольких) АЦП, преобразует их в цифровые коды по программе, записанной в ПЗУ микроконвертора, обрабатывает эти коды, полученные результаты передает на жидкокристаллический индикатор (ЖКИ), а коды управления с помощью ЦАП вновь преобразует в аналоговые сигналы. Такая схема МК отличается большой функциональной гибкостью и точностью. МК выполняет функции управления, обработки и выдачи информации. Каждый функциональный модуль обеспечивает выполнения своих функций в законченном виде. Для организации взаимодействия его с другими функциональными модулями не требуется знания внутренних структур функциональных модулей и особенностей их функционирования.

Среди пирометров можно выделить цифровые пирометры с жесткой структурой и жестким алгоритмом функционирования, реконфигурируемые с программируемым алгоритмом функционирования, цифровые пирометры с гибкой структурой и адаптивным алгоритмом функционирования, а также структуры смешанного типа.

В цифровых пирометрах обычно используются оптические и электронные измерительные каналы разомкнутого типов, хотя не исключено использование измерительных каналов со структурой замкнутого и смешанного типов.

В цифровых пирометрах, реализующих методы избыточных измерений, используется нормированное изменение чувствительности измерительного канала и количества алгоритмов обработки результатов промежуточных измерительных преобразований мощности потоков оптического излучения в электрический сигнал. В этой связи различают цифровые пирометры со структурами, обеспечивающими измерительные преобразования при неизменной или при изменяемой на нормированное значение крутизне преобразования измерительного канала.

По процедуре измерений различают цифровые пирометры с пространственным, временным и с пространственно-временным разделением каналов. Чаще всего используются два и более оптических каналов и один-два электронных измерительных каналов, работающий в режиме спектрального или временного разделения процессов измерительного преобразования потоков оптического изучения в электрический сигнал.

Цифровые пирометры можно отнести к классу измерительных систем открытого, закрытого и смешанного типов. Как известно [3], открытой называется модульная система, которая допускает замену любого модуля на аналогичный модуль другого производителя, имеющийся в свободной продаже по конкурентоспособным ценам, а интеграция системы с другими системами (в том числе с пользователем) выполняется без преодоления чрезмерных проблем. Другими словами, в цифровом пирометре должна быть обеспечена, при необходимости, возможность легкого внесения дополнений и изменений без нарушения его целостности.

Открытость цифровых пирометров рассматривают на разных уровнях иерархии аппаратного и программного обеспечения. Открытыми могут быть, например: диапазоны изменения аналоговых сигналов, средства связи аппаратуры с программным обеспечением, форматы данных, физические интерфейсы, протоколы обмена, методы контроля ошибок, языки программирования микроконверторов, операционные

системы, конструкционные элементы (корпуса, разъемы, расширительные гнезда, крепежные элементы) и т.п. [1, 3]. Это позволяет устанавливать конфигурацию цифрового пирометра в соответствии с требованиями технического задания, легко ее модифицировать и развивать.

Необходимыми условиями открытости являются [3]: модульность; соответствие стандартам и наличие в свободной продаже аналогичных систем других производителей (подсистем, модулей) по конкурентоспособным ценам.

Цифровые пирометры закрытого типа не допускают возможность замены любого его модуля или операционной системы на аналогичный модуль другого производителя, не позволяют его модифицировать, развивать, иметь доступ к операционной системе.

Цифровые пирометры смешанного типа — это измерительные системы, отдельные части которой, например, приемники оптического излучения, оптические каналы, измерительные каналы или только интерфейсы и операционная система могут изменяться и совершенствоваться.

Затронем еще вопрос о методах получения новых знаний с помощью пирометров. В цифровых пирометрах могут быть реализованы три уровня интеллектуализации: без структурирования обработанных данных, с их структурированием и с представлением информации в виде конкретных знаний и карт знаний. Цифровые пирометры без структурирования обработанных данных выдают только результаты избыточных измерений, как основы информации. Они представляют собой системы нижнего уровня интеллектуализации. Им характерен определенный способ представления, хранения и простейшей обработки данных. Обработка осуществляется, как правило, по уравнениям измерений. Цифровые пирометры с структурированием данных — это измерительные системы второго уровня интеллектуализации, поскольку они обеспечивают не только получение и обработку данных, но и их структурирование. В результате получают первичные (элементарные) знания об одном или нескольких объектах измерений. Цифровые пирометры с представлением информации в виде конкретных систем знаний и карт знаний — это системы третьего уровня интеллектуализации. Они осуществляют не только структурирование информации и новых знаний, но и выдают рекомендации по принятию конкретных решений. Знания — это информация в действии целеустремленной личности [4]. Неструктурированные знания перестают работать.

Отметим, что по признаку «объект визуализации», различают шесть подвидов измерительных систем (ИС) [1]: с визуализацией обработанных данных; с визуализацией обработанных данных и наблюдаемых объектов, процессов и явлений; с визуализацией обработанных данных, состояния и метрологической надежности ИС; с визуализацией обработанных данных, функций и математических моделей объектов, процессов, полей; с визуализацией обработанных данных, статических и динамических сцен; ИС с комбинацией подвидов визуализации. В цифровых пирометрах используется, как правило, визуализация обработанных данных и наблюдаемых объектов, процессов или явлений. Не исключено, что в будущем в цифровых пирометрах будут реализованы и другие подвиды визуализации.

Для повышения интеллекта цифровых пирометров в них реализуются процессы интеллектуализации, связанные не непосредственно с измерениями, а с решением других измерительных функций и задач сервиса с использованием подсистем искусственного интеллекта, — интеллектуальных интерфейсов, базы знаний и экспертных систем. При этом процесс интеллектуализации представляет собой последовательность операций, каждая из которых должна быть обеспечена соответствующими программными и аппаратными средствами.

По используемым средствам интеллектуализации различают цифровые пирометры без (под)систем интеллектуализации, с использованием интеллектуального интерфейса, с использованием базы знаний, с использованием экспертной системы и цифровые пирометры смешанного подвида, — интеллектуальные цифровые пирометры.

Цифровые пирометры могут создаваться с использованием разных технологий: проводной, беспроводной, смешанной или технологии Lab View. Все зависит от поставленной задачи и технических требований.

Известно [1], что в основу создания измерительных систем положена та или иная платформа. В этой связи различают измерительные системы на основе программно-аппаратных платформ PXI и VXI, модульной платформы LXI, конфигурируемой платформы, например, конфигурированного ввода-вывода Rtconfigurable Input/Ounput (RIO), универсальной измерительной платформы TXFO FTB-500 и т.д. Что касается пирометров, то на сегодняшний день цифровые пирометры создаются, в основном, на основе программно-аппаратной или модульной измерительной платформы.

Рассмотрим базовые структуры цифровых пирометров, реализующих методы избыточных измерений и соответствующие системы математических моделей, описывающие их работу и процессы вычислительной обработки результатов промежуточных измерительных преобразований потоков оптического излучения при линейной, квадратичной, кубической, полиномиальной и логарифмической функциях преобразования измерительного канала.

Ниже, на рис. 1 , …, рис. 6, приводятся функциональные схемы пирометров, реализующих методы избыточных измерений радиационной температуры. На функциональных схемах используются следующие обозначения: АД — апертурная диафрагма; ГОЧ – генератор опорной частоты; ГПЧ – генератор переменной частоты; ДШ – дешифратор; ЖКИ — жидкокристаллический индикатор; ЗЛ — заслонка, экранирующая поток оптического излучения; ЗПД — зеркальная полевая диафрагма; ИОИ — источник оптического

излучения; ИМИ — источник монохроматического излучения, К — клавиатура; МДв — микродвигатель, МК — микроконвертор; НЭ — нагревательный элемент; ОД — обтюраторный диск; ОЗ — отражательное зеркало; ОШ — общая шина; П — пъезорезонатор; ПЗ — параболическое зеркало; ПКП — преобразователь «код-перемещение»; ППП — полупрозрачная пластина; ПС — поглощающее стекло с визиром; РЧ — регистр числа; СИД — светоизлучающий диод; СД — синхронный детектор; СДв — синхронный двигатель; СИД– светоизлучающий диод; СК — серый клин; СО — стеклянный объектив; СП — сеточный поглотитель из нейтрального стекла; СФ — составной светофильтр с заданными граничными длинами волн спектральной полосы пропускания: $\Delta\lambda_1 = \lambda_2 - \lambda_1$ и $\Delta\lambda_2 = \lambda_4 - \lambda_3$; СЧ — смеситель частот; ТПП – термочувствительный пъезорезонаторный преобразователь; УМ — усилитель мощности; УФС — усилитель-формирователь синхроимпульсов; ФЗ — фотозатвор, прерывающий поток оптического излучения; ФИ — формирователь импульсов; ФЛ — фокусирующая линза; ФНЧ — фильтр нижних частот; ФП — фотоприемник; ФФС — фотоприемник-формирователь синхроимпульсов; ЦОУ — цифровое отсчетное устройство; ЭСТ — электронный стабилизатор температуры фотоприемника.

На рис. 1 приведена функциональная схема цифрового пирометра при линейной функции преобразования измерительного канала.

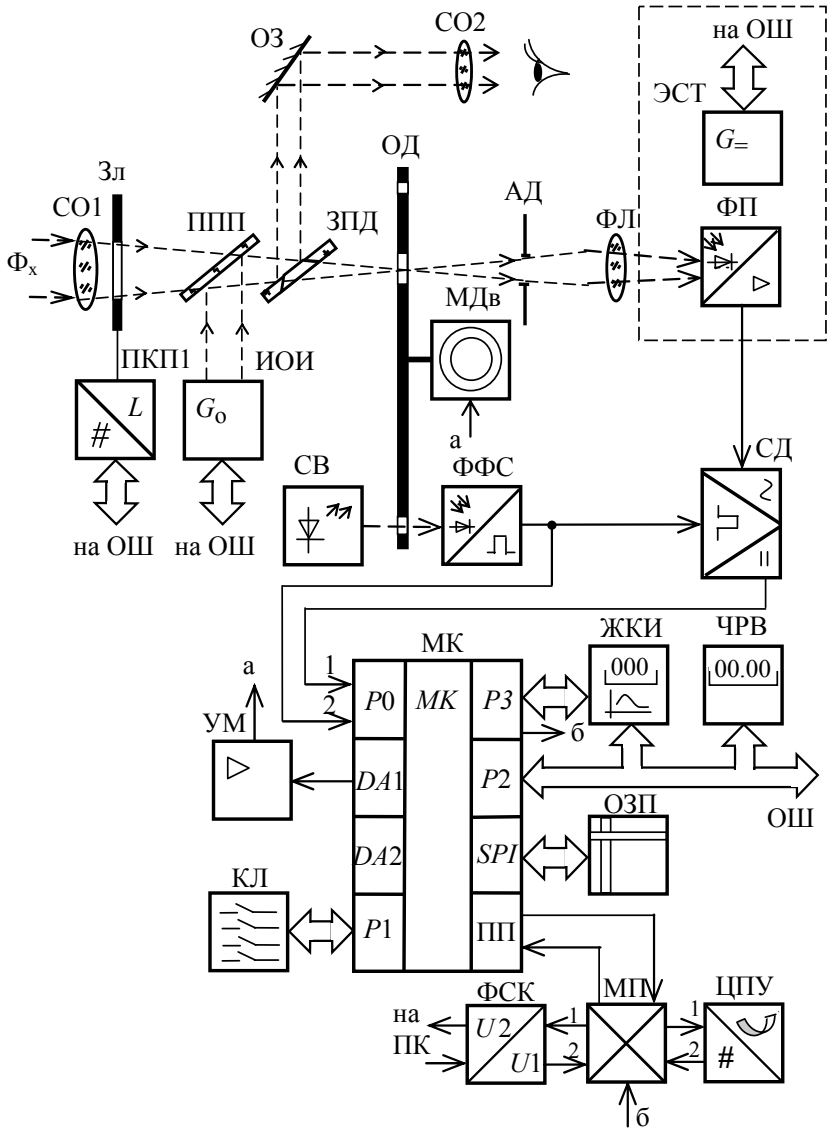


Рис. 1. Функциональная схема цифрового пирометра при линейной функции преобразования измерительного канала

Процесс избыточных измерений описывается системой линейных уравнений величин

$$\left.\begin{aligned} U'_{л1} &= S'_л\Phi_{00} + \Delta U'_{см} = \Delta U'_{см}, \\ U'_{л2} &= S'_л\Phi_0 + \Delta U'_{см}, \\ U'_{л3} &= S'_л\Phi_x + \Delta U'_{см}, \end{aligned}\right\} \quad (1)$$

где Φ_{00} — поток оптического излучения нулевой мощности (при закрытом положении заслонок ЗЛ); Φ_0 — поток оптического излучения, нормированный по значению мощности; Φ_x — поток оптического

излучения, мощность которого содержит информацию о температуре объекта измерений; $U'_{л1}$, $U'_{л2}$, $U'_{л3}$ — выходные напряжения измерительного канала.

Если решить систему линейных уравнений величин (1) относительно неизвестных, то получим соответствующие уравнения избыточных измерений:

$$\Phi_x = \Phi_0 + \Phi_0 \frac{U'_{л3} - U'_{л1}}{U'_{л2} - U'_{л1}}, \tag{2}$$

$$S'_{л} = \frac{(U'_{л2} - U'_{л1})}{\Phi_0}, \tag{3}$$

$$U'_{л1} = \Delta U'_{см}, \tag{4}$$

$$\Delta S'_{л}(t) = S'_{л}(t_i) - S_{ном}(t_0), \tag{5}$$

где $S_{ном}(t_0)$ — номинальная по значению крутизна преобразования, определенная в момент ввода пирометра в эксплуатацию или в иной, принятый за начало отсчета, интервал времени,

$$\Delta_{мп}(t_i) = \Phi_0 \Delta S'_{л}(t_i) = \Phi_0[S'_{л}(t_i) - S_{ном}(t_0)] \tag{6}$$

и

$$\Delta_{ад}(t_i) = U'_{л1}(t_i) - U'_{л1}(t_0) = \Delta U'_{см}(t_i) - \Delta U'_{см}(t_0), \tag{7}$$

— мультипликативная (6) и аддитивная (7) составляющие погрешности, получаемые в дискретные моменты времени t_i, по которым судят о метрологической надежности оптико-электронного измерительного канала.

Температура T_x объекта измерений определяется согласно уравнению числовых значений вида

$$N_{T_x} = \sqrt[4]{\left(\{\Phi_0\} + \frac{\{\Phi_0\}(N_3 - N_1)}{N_2 - N_1} \right) / (A'\sigma)}, \tag{8}$$

где N_1, N_2 и N_3 — результаты аналого-цифрового преобразования напряжений $U'_{л1}$, $U'_{л2}$, $U'_{л3}$, $A' = A\tau_{\lambda c}$, A — коэффициент использования потока оптического излучения от объекта, $\tau_{\lambda c}$ — коэффициент поглощения среды; σ — постоянная Стефана-Больцмана; $\{\Phi_0\}$ — числовое значение мощности потока оптического излучения.

Отличительной особенностью данной функциональной схемы по отношению к известным техническим решениям, является введение встроенного источника оптического излучения ИОИ, нормированного по мощности, а также заслонки ЗЛ, ограничивающей прохождение потока оптического излучения на вход фотоприемника ФП в определенные такты измерений. Заслонка управляется с помощью преобразователя код-перемещение ПКП1 (рис. 1). Работа цифрового пирометра аналогична работе пирометра, описанного в работе [5], но процесс избыточных измерений осуществляется в соответствие с системами уравнений величин (1), …(8).

Функциональная схема пирометра, приведенная на рис. 1, реализует метод избыточных измерений. Благодаря этому осуществляется автоматическое исключение аддитивной и мультипликативной составляющей погрешности результата измерений. Это является важной отличительной особенностью данной функциональной схемы. При этом, не решенной является проблема исключение влияния на результат измерений значение коэффициента использования потока оптического излучения (σ) объекта измерений, коэффициента поглощения среды ($\tau_{\lambda c}$) и постоянной Стефана – Больцмана (σ) даже, если их значения априори известны. Одним из путей исключения их влияния является создание пирометров отношения, реализующих методы избыточных измерений.

На рис. 2 приведена функциональная схема цифрового пирометра при квадратичной функции преобразования измерительного канала, работа которого подробно описана в декларационном патенте Украины № 66084А [6].

При квадратичной функции преобразования измерительного канала с сенсором процесс избыточных измерений описывается системой нелинейных уравнений величин

$$\left.\begin{aligned} f_1 &= S'_{н} P_{01}^2 + S'_{л} P_{01} + \Delta f_{см} = f_{см}, \\ f_2 &= S'_{н} P_{02}^2 + S'_{л} P_{02} + \Delta f_{см}, \\ f_3 &= S'_{н} P_{03}^2 + S'_{л} P_{03} + \Delta f_{см}, \\ f_4 &= S'_{н} (P_x + P_{02})^2 + S'_{л} (P_x + P_{02}) + \Delta f_{см}, \\ f_5 &= S'_{н} (P_x + P_{03})^2 + S'_{л} (P_x + P_{03}) + \Delta f_{см}, \end{aligned}\right\}, \tag{9}$$

где в частоту электрического сигнала преобразуются мощности потоков оптического излучения P_{01}, P_{02}, P_{03}, P_{04} и P_{05} обусловленные нагревом нагревательного элемента НЭ токами, которые получены в

результате воздействия на болометр БП темновым потоком Φ_1 ($\{\Phi_1\}=\{\Phi_T\}$), первым нормированным по мощности потоком оптического излучения Φ_2 ($\{\Phi_2\}=\{\Phi_0\}/k_{л1}$, вторым нормированным по мощности потоком оптического излучения Φ_3 ($\{\Phi_3\}=\{\Phi_0\}/k_{л2}$, первым суммарным потоком оптического излучения Φ_4 ($\{\Phi_4\}=\{\Phi_x\}+\{\Phi_0\}/k_{л1}$) и вторым суммарным потоком оптического излучения Φ_5 ($\{\Phi_5\}=\{\Phi_x\}+\{\Phi_0\}/k_{л2}$). Здесь $k_{л1}$ и $k_{л2}$ — коэффициенты локальной линеаризации (см. рис .2) .

В результате решения системы когерентных нелинейных уравнений величин (9) получим уравнение избыточных измерений (при $N_i=f_i\cdot\Delta t_0$, где i =1, …, 5) для мощности потока оптического излучения от объекта измерений в виде

$$\Phi_x=\Phi_0\frac{(N_5-N_4)-(N_3-N_2)}{(k_{л1}+k_{л2})(N_3-N_2)-(k_{л1}-k_{л2})[(N_2-N_1)+(N_3-N_1)]}=\Phi_0\frac{(N_5-N_4)-(N_3-N_2)}{k_2[k_{л2}(N_3-N_1)-k_{л1}(N_2-N_1)]}, \quad (10)$$

а для крутизны нелинейной составляющей функции преобразования — в виде

$$S'_н=\frac{k_{л1}k_{л2}}{k_{л2}-k_{л1}}\frac{k_{л1}(N_2-N_1)-k_{л2}(N_3-N_1)}{\Phi_0^2}. \quad (11)$$

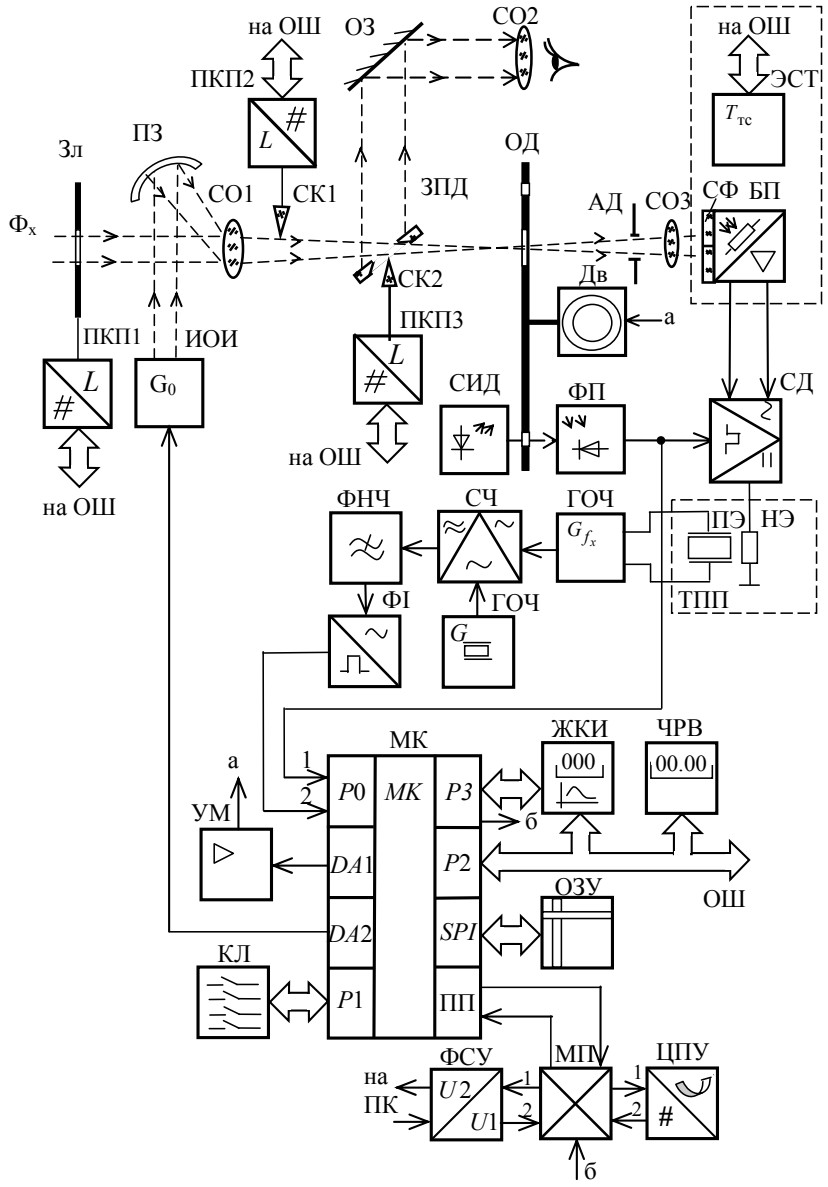


Рис. 2. Функциональная схема цифрового пирометр при квадратичной функции преобразования измерительного канала

Уравнение избыточных измерений для крутизны линейной составляющей функции преобразования имеет вид:

$$S'_{л} = \frac{(N_3 - N_1)k_{л2}^2 - (N_2 - N_1)k_{л1}^2}{\Phi_0(k_{л2} - k_{л1})}. \quad (12)$$

Действительное значение температуры нагретого тела определяется по уравнению избыточных измерений вида

$$N_{T_x} = \sqrt[4]{\Phi_0 \frac{(N_5 - N_4) - (N_3 - N_2)}{\frac{(k_{л1} + k_{л2})(N_3 - N_2) - (k_{л1} - k_{л2})(N_2 + N_3 - k_2 N_1)}{A'\sigma}}}. \quad (13)$$

Особенностью данного технического решения является использование болометра БП с квадратичной функцией преобразования и термочувствительного пьезорезонаторного преобразователя ТПП, включённых, как показано на рис. 2. Пьезоэлемент ПЭ соединен с генератором опорной частоты ГОЧ и обеспечивает преобразование мощности потока оптического излучения в частоту электрического сигнала. Для понижения выходной частоты электрического сигнала используются смеситель частоты СЧ, генератор опорной частоты ГОЧ и фильтр нижних частот ФНЧ. На микроконвертор МК поступают прямоугольные импульсы низкой частоты, формируемые в блоке Ф1.

Как и в предыдущем техническом решении пирометра, благодаря реализации метода избыточных измерений осуществляется автоматическое исключение систематической составляющей погрешности результата измерений.

На рис. 3 приведена функциональная схема цифрового пирометра при кубической функции преобразования измерительного канала. Его работа подробно описана в декларационном патенте Украины № 55947А [7].

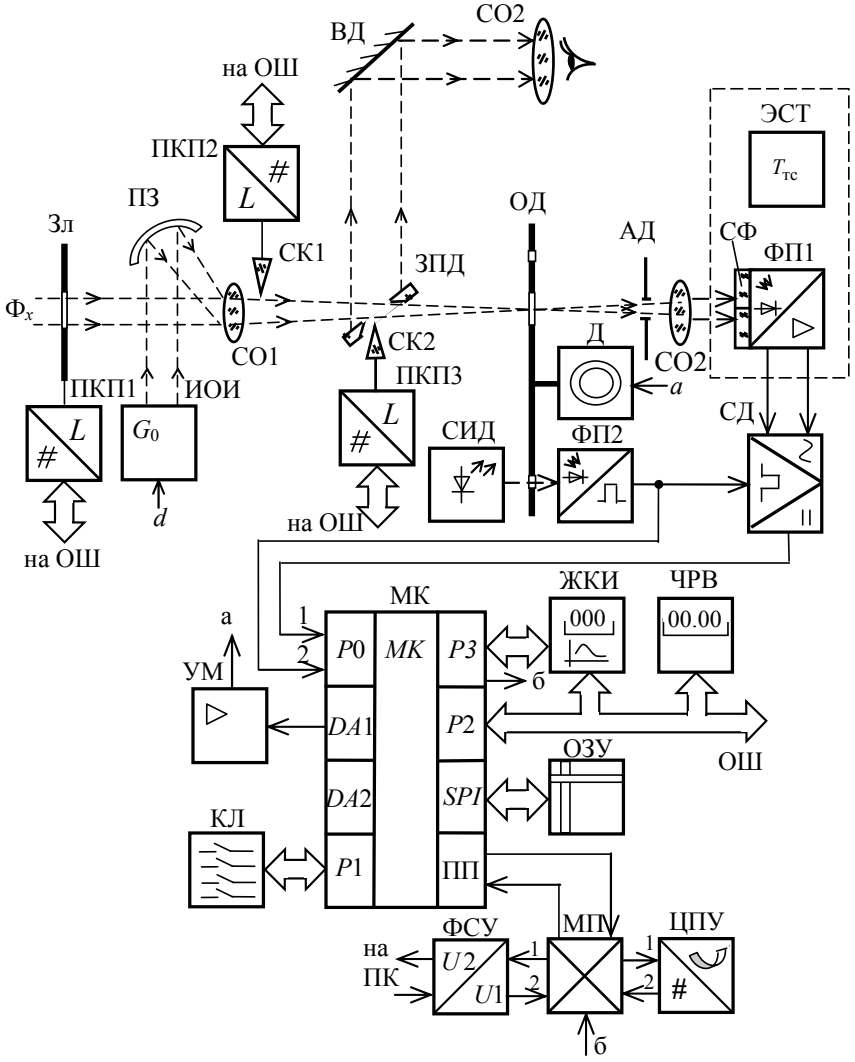


Рис. 3. Функциональная схема цифрового пирометра при кубической функции преобразования измерительного канала

При кубической функции преобразования измерительного канала процесс избыточных измерений описывается системой нелинейных уравнений величин вида

$$\left.\begin{aligned}
&U_1 = \Delta U_{\text{см}},\\
&U_2 = S_{\text{н}1}\Phi_2^3 + S_{\text{л}1}\Phi_2 + \Delta U_{\text{см}} = S_{\text{н}1}(\Phi_0 - \Delta\Phi_0)^3 + S_{\text{л}1}(\Phi_0 - \Delta\Phi_0) + \Delta U_{\text{см}},\\
&U_3 = S_{\text{н}1}\Phi_3^3 + S_{\text{л}1}\Phi_3 + \Delta U_{\text{см}} = S_{\text{н}1}(\Phi_0 + \Delta\Phi_0)^3 + S_{\text{л}1}(\Phi_0 + \Delta\Phi_0) + \Delta U_{\text{см}},\\
&U_4 = S_{\text{н}1}\Phi_4^3 + S_{\text{л}1}\Phi_4 + \Delta U_{\text{см}} = S_{\text{н}1}(\Phi_x + \Phi_2)^3 + S_{\text{л}1}(\Phi_x + \Phi_2) + \Delta U_{\text{см}},\\
&U_5 = S_{\text{н}1}\Phi_5^3 + S_{\text{л}1}\Phi_5 + \Delta U_{\text{см}} = S_{\text{н}1}(\Phi_x + \Phi_3)^3 + S_{\text{л}1}(\Phi_x + \Phi_3) + \Delta U_{\text{см}},
\end{aligned}\right\}, \tag{14}$$

Если решить систему линейных уравнений величин (14) относительно неизвестных, то получим соответствующие уравнения избыточных измерений.

Действительное значение радиационной температуры определяется по уравнению числовых значений

$$N_{T_x} = \sqrt[4]{k_3\{\Phi_0\}\{\Delta\Phi_0\}\frac{N_5 + N_4 - k_2 N_1}{\{\Phi_0\}\big((U_5 - U_4) - (U_3 - U_2)\big) + k_3\{\Delta\Phi_0\}(U_2 + U_3 - k_2 U_1)} - \{\Phi_0\}\Big/ A'\sigma}, \tag{15}$$

де $N_1,...,N_5$ — результаты аналого-цифрового преобразования напряжений $U_1,...,U_5$, соответственно, а параметры функции преобразования — по уравнениям числовых значений

$$S'_{\text{н}} = \frac{\{\Phi_3\}(N_2 - N_1) - \{\Phi_2\}(N_3 - N_1)}{\{\Phi_3\}\{\Phi_2\}(\{\Phi_2\}^2 - \{\Phi_3\}^2)} \tag{16}$$

и

$$S'_{\text{л}} = \frac{(N_1 - N_2)\Phi_3^3 + (N_3 - N_1)\Phi_2^3}{\Phi_3\Phi_2(\Phi_2^2 - \Phi_3^2)}, \tag{17}$$

где $\{\Phi_2\} = \{\Phi_0\} - \{\Delta\Phi_0\}$, $\{\Phi_3\} = \{\Phi_0\} + \{\Delta\Phi_0\}$.

Особенностью технического решения данного цифрового пирометра является использование заслонки ЗЛ и двух серых клиньев (СК1 и СК»), которые управляются исполнительными механизмами ПКП1, …, ПКП3. Заслонка предназначена для прерывания потока оптического излучения от объекта измерений, а серые клинья — для нормированного ослабления потоков оптического излучения как от объекта измерений, так и от источника оптического излучения ИОИ (см. рис. 3). Работа цифрового пирометра подробно описана в декларационном патенте Украины № 55947А [7].

На рис. 4 приведена функциональная схема цифрового пирометра спектрального отношения при кубической функции преобразования измерительного канала.

Процесс избыточных измерений при кубической функции преобразования измерительного канала пирометра спектрального отношения описывается системой нелинейных уравнений величин вида:

$$\left.\begin{aligned}
&U_1 = S_{\text{н}1}\Phi_{00}^3 + S_{\text{л}1}\Phi_{00} + \Delta U_{\text{см}} = \Delta U_{\text{см}},\\
&U_2 = S_{\text{н}1}\Phi_2^3 + S_{\text{л}1}\Phi_2 + \Delta U_{\text{см}} = S_{\text{н}1}(\Phi_0 - \Delta\Phi_0)^3 + S_{\text{л}1}(\Phi_0 - \Delta\Phi_0) + \Delta U_{\text{см}},\\
&U_3 = S_{\text{н}1}\Phi_3^3 + S_{\text{л}1}\Phi_3 + \Delta U_{\text{см}} = S_{\text{н}1}(\Phi_0 + \Delta\Phi_0)^3 + S_{\text{л}1}(\Phi_0 + \Delta\Phi_0) + \Delta U_{\text{см}},\\
&U_4 = S_{\text{н}1}\Phi_4^3 + S_{\text{л}1}\Phi_4 + \Delta U_{\text{см}} = S_{\text{н}1}(\Phi_x + \Phi_2)^3 + S_{\text{л}1}(\Phi_x + \Phi_2) + \Delta U_{\text{см}},\\
&U_5 = S_{\text{н}1}\Phi_5^3 + S_{\text{л}1}\Phi_5 + \Delta U_{\text{см}} = S_{\text{н}1}(\Phi_x + \Phi_3)^3 + S_{\text{л}1}(\Phi_x + \Phi_3) + \Delta U_{\text{см}},\\
&U_6 = S_{\text{н}1}\Phi_6^3 + S_{\text{л}1}\Phi_6 + \Delta U_{\text{см}} = S_{\text{н}1}(\Phi_{x0} + \Phi_2)^3 + S_{\text{л}1}(\Phi_{x0} + \Phi_2) + \Delta U_{\text{см}},\\
&U_7 = S_{\text{н}1}\Phi_7^3 + S_{\text{л}1}\Phi_7 + \Delta U_{\text{см}} = S_{\text{н}1}(\Phi_{x0} + \Phi_3)^3 + S_{\text{л}1}(\Phi_{x0} + \Phi_3) + \Delta U_{\text{см}},
\end{aligned}\right\}, \tag{18}$$

где Φ_2 и Φ_3 — нормированные по мощности потоки оптического излучения ($\{\Phi_2\} = \{\Phi_0\} + \{\Delta\Phi_0\}$ и $\{\Phi_3\} = \{\Phi_0\} - \{\Delta\Phi_0\}$.

Действительное значение температуры определяется согласно уравнению избыточных измерений

$$N_{T_x} = N_{T_o}\sqrt[4]{\{\Phi_x\}/\{\Phi_o\}}, \tag{19}$$

где

$$\{\Phi_x\} = \frac{\{\Phi_0\}}{k_2}\left[\frac{k_3[(N_4 - N_1) + (N_5 - N_1)]}{\{\Phi_0\}[(N_5 - N_4) - (N_3 - N_2)]/\Delta\{\Phi_3\} - k_3[(N_2 - N_1) + (N_3 - N_1)]} - 1\right], \tag{20}$$

$$\{\Phi_0\} = \frac{\{\Phi_0\}}{k_2}\left[\frac{k_3[(N_6 - N_1) + (N_7 - N_1)]}{\{\Phi_0\}[(N_7 - N_6) - (N_3 - N_2)]/\{\Delta\Phi_0\} - k_3[(N_2 - N_1) + (N_3 - N_1)]} - 1\right], \tag{21}$$

$$k_2 = 2,\ k_3 = 3.$$

Подставляя (20) и (21) в (19), получим следующее уравнение числовых значений:

$$N_{T_x} = N_{T_o} \sqrt[4]{\frac{\{\Phi_x\}}{\{\Phi_o\}}} = N_{T_o} \sqrt[4]{\frac{\dfrac{k_3[(N_4 - N_1) + (N_5 - N_1)]}{\{\Phi_0\}[(N_5 - N_4) - (N_3 - N_2)] / \{\Delta\Phi_0\} - k_3[(N_2 - N_1) + (N_3 - N_1)])} - 1}{\dfrac{k_3[(N_6 - N_1) + (N_7 - N_1)]}{\{\Phi_0\}[(N_7 - N_6) - (N_3 - N_2)] / \{\Delta\Phi_0\} - k_3[(N_2 - N_1) + (N_3 - N_1)]} - 1}}. \quad (22)$$

где $\{\Delta\Phi_0\} = 0{,}5(\{\Phi_2\} - \{\Phi_3\})$ и $\{\Phi_0\} = \{\Phi_2\} - \{\Phi_3\}$; $N_1, \ldots, N_7$ — результаты аналого-цифрового преобразования напряжений $U_1, \ldots, U_7$, соответственно.

Особенностью технического решения цифрового пирометра спектрального отношения является использование двух идентичных оптико-электронных каналов, отличающиеся только шириной полосы пропускания оптических светофильтров СФ1 и СФ2. По первому каналу осуществляется измерительное преобразование потоков оптического излучения от объекта измерений в одном спектральном диапазоне, а по второму — от того же источника оптического излучения, но в другом спектральном диапазоне.

Функциональна схема цифрового пирометра спектрального отношения, приведенная на рис. 4, обеспечивает не только автоматическое исключение аддитивной и мультипликативной составляющих погрешности результата измерений, но и погрешности, обусловленной влиянием значений коэффициента использования потока оптического излучения от объекта измерений, коэффициента поглощения среды и постоянной Стефана – Больцмана. Это видно из уравнения числовых значений (22).

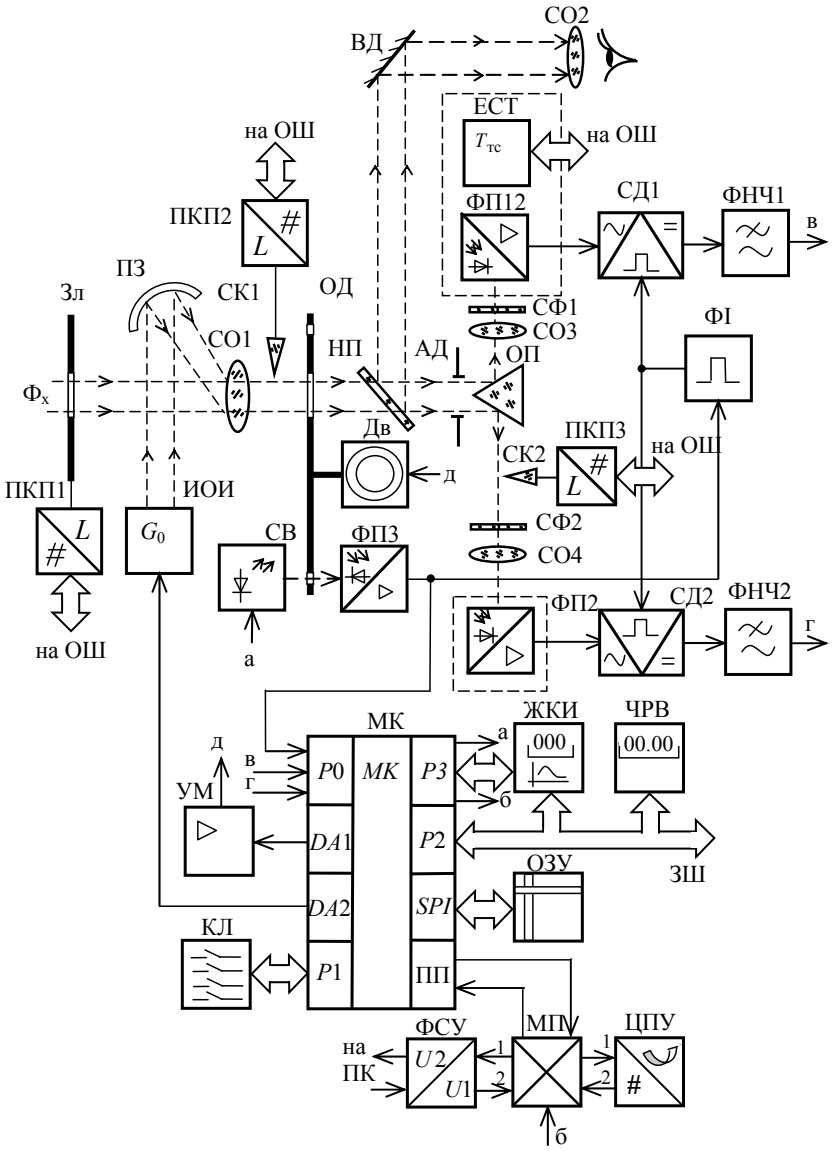


Рис. 4. Функциональная схема цифрового пирометра спектрального отношения при кубической функции преобразования измерительного канала

Работа пирометра спектрального отношения подробно описана в патенте Украины № 73426 [8].

На рис. 5 приведена функциональная схема цифрового пирометра спектрального отношения при функции преобразования измерительного канала, описываемой полиномом третьей степени.

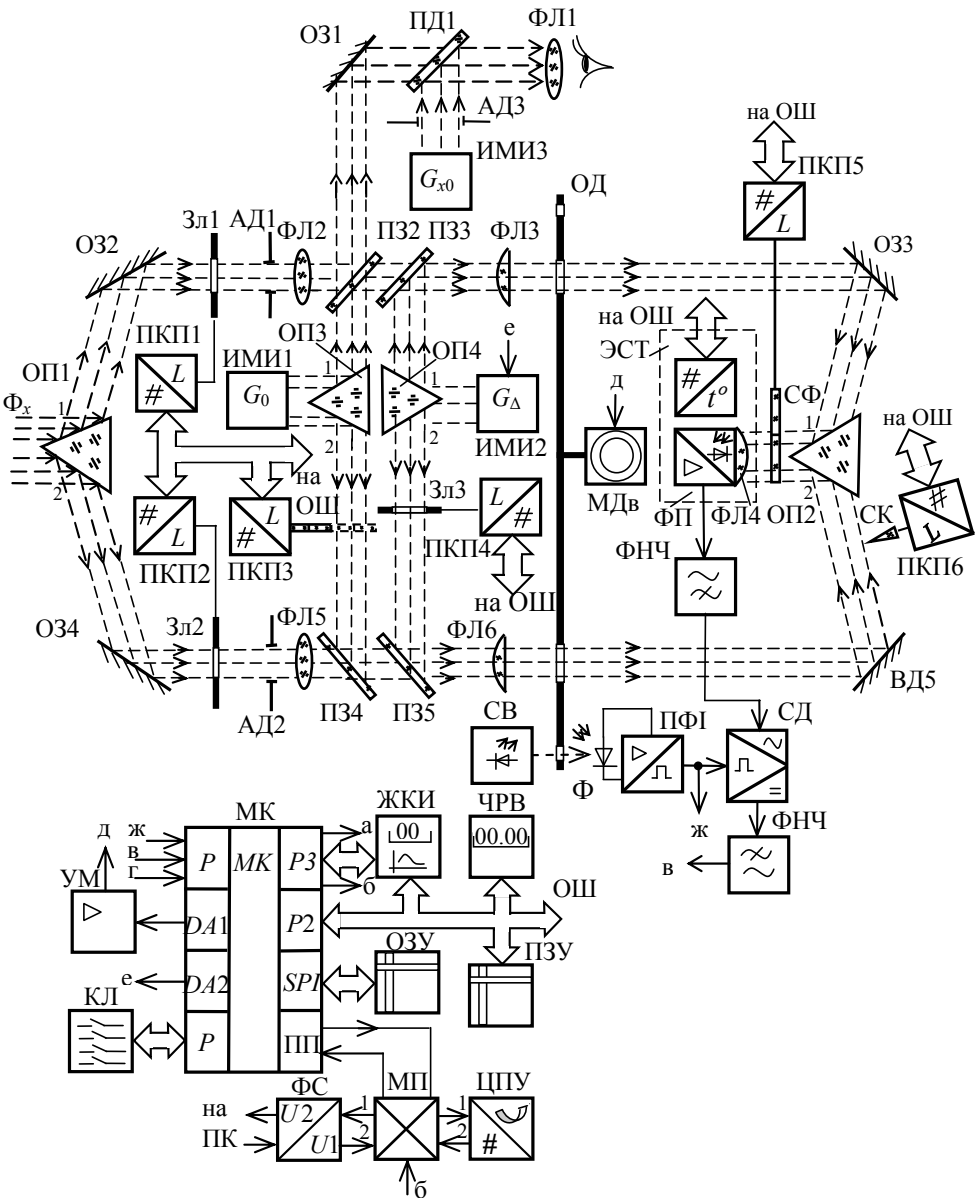


Рис. 5. Функциональная схема цифрового пирометра спектрального отношения при функции преобразования измерительного канала, описываемой полиномом третьей степени

В данном техническом решении цифрового пирометра спектрального отношения процесс избыточных измерений описывается системой нелинейных уравнений величин:

$$\left.\begin{aligned}
U'_{н1} &= S'_{н2}(\Phi_0 - \Delta\Phi_0)^3 + S'_{н1}(\Phi_0 - \Delta\Phi_0)^2 + S'_{л}(\Phi_0 - \Delta\Phi_0) + \Delta U'_{см},\\
U'_{н2} &= S'_{н2}(\Phi_0 + \Delta\Phi_0)^3 + S'_{н1}(\Phi_0 + \Delta\Phi_0)^2 + S'_{л}(\Phi_0 + \Delta\Phi_0) + \Delta U'_{см},\\
U'_{н3} &= S'_{н2}(\Phi_0 - k_2\Delta\Phi_0)^3 + S'_{н1}(\Phi_0 - k_2\Delta\Phi_0)^2 + S'_{л}(\Phi_0 - k_2\Delta\Phi_0) + \Delta U'_{см},\\
U'_{н4} &= S'_{н2}(\Phi_0 + k_2\Delta\Phi_0)^3 + S'_{н1}(\Phi_0 + k_2\Delta\Phi_0)^2 + S'_{л}(\Phi_0 + k_2\Delta\Phi_0) + \Delta U'_{см},\\
U'_{н5} &= S'_{н2}(\Phi_x + \Phi_0 + \Delta\Phi_0)^3 + S'_{н1}(\Phi_x + \Phi_0 + \Delta\Phi_0)^2 + S'_{л}(\Phi_x + \Phi_0 + \Delta\Phi_0) + \Delta U'_{см},\\
U'_{н6} &= S'_{н2}(\Phi_x + \Phi_0 - \Delta\Phi_0)^3 + S'_{н1}(\Phi_x + \Phi_0 - \Delta\Phi_0)^2 + S'_{л}(\Phi_x + \Phi_0 - \Delta\Phi_0) + \Delta U'_{см},\\
U'_{н7} &= S'_{н2}(\Phi_x + \Phi_0 - k_2\Delta\Phi_0)^3 + S'_{н1}(\Phi_x + \Phi_0 - k_2\Delta\Phi_0)^2 + S'_{л}(\Phi_x + \Phi_0 - k_2\Delta\Phi_0) + \Delta U'_{см},\\
U'_{н8} &= S'_{н2}(\Phi_x + \Phi_0 + k_2\Delta\Phi_0)^3 + S'_{н1}(\Phi_x + \Phi_0 + k_2\Delta\Phi_0)^2 + S'_{л}(\Phi_x + \Phi_0 + k_2\Delta\Phi_0) + \Delta U'_{см},\\
U'_{н9} &= S'_{н2}(\Phi_{x0} + \Phi_0 - \Delta\Phi_0)^3 + S'_{н1}(\Phi_{x0} + \Phi_0 - \Delta\Phi_0)^2 + S'_{л}(\Phi_{x0} + \Phi_0 - \Delta\Phi_0) + \Delta U'_{см},\\
U'_{н10} &= S'_{н2}(\Phi_{x0} + \Phi_0 - k_2\Delta\Phi_0)^3 + S'_{н1}(\Phi_{x0} + \Phi_0 - k_2\Delta\Phi_0)^2 + S'_{л}(\Phi_{x0} + \Phi_0 - k_2\Delta\Phi_0) + \Delta U'_{см},\\
U'_{н11} &= S'_{н2}(\Phi_{x0} + \Phi_0 + \Delta\Phi_0)^3 + S'_{н1}(\Phi_{x0} + \Phi_0 + \Delta\Phi_0)^2 + S'_{л}(\Phi_{x0} + \Phi_0 + \Delta\Phi_0) + \Delta U'_{см},\\
U'_{н12} &= S'_{н2}(\Phi_{x0} + \Phi_0 + k_2\Delta\Phi_0)^3 + S'_{н1}(\Phi_{x0} + \Phi_0 + k_2\Delta\Phi_0)^2 + S'_{л}(\Phi_{x0} + \Phi_0 + k_2\Delta\Phi_0) + \Delta U'_{см}.
\end{aligned}\right\} \quad (23)$$

Решение системы (17) относительно неизвестных параметров и величин дает возможность получить следующие уравнения избыточных измерений:

$$S'_{н2} = \frac{(U'_{н8} - U'_{н7}) - k_2(U'_{н5} - U'_{н6})}{k_3 k_2^2 \Delta\Phi_0^3}, \tag{24}$$

$$S'_{н1} = \frac{k_2\Delta\Phi_0\left[(U'_{н4} + U'_{н3}) - (U'_{н2} + U'_{н1})\right] - k_3\Phi_0\left[(U'_{н8} - U'_{н7}) - k_2(U'_{н5} - U'_{н6})\right]}{k_3 k_2^2 \Delta\Phi_0^3}, \tag{25}$$

$$S'_{л} = \frac{k_2 k_3 \Delta\Phi_0^2(U'_{н2} - U'_{н1}) - k_2^2\Delta\Phi_0\Phi_0\left[(U'_{н4} + U'_{н3}) - (U'_{н2} + U'_{н1})\right] - (k_3\Phi_0^2 - \Delta\Phi_0)\left[(U'_{н8} - U'_{н7}) - k_2(U'_{н5} - U'_{н}\right.}{k_3 k_2^2 \Delta\Phi_0^3} \tag{26}$$

,

$$\Delta U'_{см} = U'_{н1} - \frac{(\Phi_0 - \Delta\Phi_0)}{k_3 k_2^2 \Delta\Phi_0^3} \times$$
$$\times\left[k_3 k_2 \Delta\Phi_0^2(U'_{н2} - U'_{н1}) - k_2\Delta\Phi_0(\Phi_0 + \Delta\Phi_0)\left[(U'_{н4} + U'_{н3}) - (U'_{н2} + U'_{н1})\right] + \Phi_0(\Phi_0 + \Delta\Phi_0)\left[(U'_{н8} - U'_{н7}) - k_2(U'_{н5} - U'_{н6})\right]\right], \tag{27}$$

$$\Phi_x = \Delta\Phi_0 \frac{[(U'_{н8} - U'_{н7}) - (U'_{н4} - U'_{н3})] - k_2^2[(U'_{н8} - U'_{н4}) - (U'_{н5} - U'_{н2})]}{k_3[k_2(U'_{н8} - U'_{н4}) - (U'_{н5} - U'_{н6})]}, \tag{28}$$

$$\Phi_{x0} = \Delta\Phi_0 \frac{[(U'_{н12} - U'_{н11}) - (U'_{н4} - U'_{н3})] - k_2 k_2[(U'_{н12} - U'_{н4}) - (U'_{н9} - U'_{н2}]}{k_3[k_2(U'_{н9} - U'_{н10}) - (U'_{н12} - U'_{н11})]}, \tag{29}$$

где k_3 – коэффициент пропорциональности ($k_3 = 3$).

Действительные значения мощности потоков оптического излучения $\Phi_x(\lambda_1)$ и $\Phi_{x0}(\lambda_2)$ на длинах волн λ_1 и λ_2, соответствующие температурам T_x и T_0, определяются согласно уравнений числовых значений:

$$\{\Phi_x\} = \{\Delta\Phi_0\}\frac{(N_3 - N_1) - 4(N_2 - N_5)}{3(2N_4 - N_3)}, \tag{30}$$

где $N_1 = S_0(U'_{н4} - U'_{н3});\ N_2 = S_0(U'_{н8} - U'_{н4});\ N_3 = S_0(U'_{н8} - U'_{н7});\ N_4 = S_0(U'_{н5} - U'_{н6});\ N_5 = S_0(U'_{н5} - U'_{н2})$ — результаты аналого-цифрового преобразования разностей напряжений в коды чисел, и

$$\{\Phi_{x0}\} = \{\Delta\Phi_0\}\frac{(N_6 - N_7) - 4(N_8 - N_9)}{3(2N_{10} - N_6)}, \tag{31}$$

где $N_1 = S_0(U'_{н4} - U'_{н3});\ N_2 = S_0(U'_{н8} - U'_{н4});\ N_3 = S_0(U'_{н8} - U'_{н7});\ N_4 = S_0(U'_{н5} - U'_{н6});\ N_5 = S_0(U'_{н5} - U'_{н2})$.

Уравнение числовых значений, по которому определяется действительное значение радиационной температуры, примет вид:

$$\{T_x\} = \{T_0\}\sqrt[4]{\frac{\{\Phi_x\}}{\{\Phi_0\}}} = N_{T_0}\sqrt[4]{\frac{N_3 - N_1 - 4(N_2 - N_5)}{N_3 - 2N_4}\Big/\frac{N_6 - N_7 - 4(N_8 - N_9)}{N_6 - 2N_{10}}}. \tag{32}$$

Особенностью технического решения цифрового пирометра спектрального отношения при функции преобразования измерительного канала, описываемой полиномом третьей степени, является наличие сложной оптической системы, состоящей из двух оптических каналов, системы оптических линз, призм, источников монохроматического излучения, заслонок и т.п., оптически соединенных между собой как показано на рис. 5. Благодаря наличию программного обеспечения, записанного в память микроконвертора, осуществляется слаженная работа функциональных блоков цифрового пирометра спектрального отношения. Результат измерений (32) не зависит от параметров оптико-электронных каналов и их долговременной нестабильности, от коэффициента использования потока оптического излучения от объекта измерений, от коэффициент поглощения среды и от постоянной Стефана-Больцмана. Работа пирометра подробно описана в патенте Украины № 77840 [9].

На рис. 6 приведена функциональная схема оптического пирометра при логарифмической функций преобразования измерительного канала.

Процесс избыточных измерений при кубической функции преобразования измерительного канала пирометра описывается системой нелинейных уравнений величин вида:

$$\left.\begin{aligned}
U_1 &= S'_{\text{н}}(\ln\Phi_{\text{т}} + \ln(k_2/\Phi_{\text{т}})) + \Delta U'_{\text{см}} = S'_{\text{н}}\ln k_2 + \Delta U'_{\text{см}},\\
U_2 &= S'_{\text{н}}(\ln\Phi_0 + \ln[(\Phi_0+\Phi_{\text{т}})/\Phi_0\Phi_{\text{т}})] + \Delta U'_{\text{см}} = S'_{\text{н}}[\ln(\Phi_0+\Phi_{\text{т}}) - \ln\Phi_{\text{т}}] + \Delta U'_{\text{см}},\\
U_3 &= S'_{\text{н}}(\ln k_{\text{л}1}\Phi_0 + \ln[(k_{\text{л}1}\Phi_0+\Phi_{\text{т}})/k_{\text{л}1}\Phi_0\Phi_{\text{т}})] + \Delta U'_{\text{см}} = S'_{\text{н}}(\ln(k_{\text{л}1}\Phi_0+\Phi_{\text{т}}) - \ln\Phi_{\text{т}}) + \Delta U'_{\text{см}},\\
U_4 &= S'_{\text{н}}[\ln(\Phi_x+\Phi_{\text{т}}) - \ln\Phi_{\text{т}}] + \Delta U'_{\text{см}},\\
U_5 &= S'_{\text{н}}[\ln(k_{\text{л}1}\Phi_x+\Phi_{\text{т}}) - \ln\Phi_{\text{т}}] + \Delta U'_{\text{см}}.
\end{aligned}\right\} \quad (33)$$

где $U_1,\ldots,U_5$ — выходные напряжения измерительного канала; $k_{\text{л}1}$ и $k_{\text{л}2}$ — коэффициенты локальной линеаризации ($0{,}8 \le k_{\text{л}1} \le 0{,}99$ или $1{,}01 \le k_{\text{л}1} \le 1{,}2$; $0{,}8 \le k_{\text{л}2} \le 0{,}99$ или $1{,}01 \le k_{\text{л}2} \le 1{,}2$ при $k_{\text{л}1} \ne k_{\text{л}2}$); Φ_0 — нормированный по значению мощности поток оптического излучения; $\Phi_{\text{т}}$ — темновой поток фотоприемника; Φ_x — поток оптического излучения от объекта измерения.

Решение системы (23) дает возможность получить уравнение избыточных измерений мощности потока оптического излучения в виде:

$$\Phi_x = \Phi_{\text{т}}\left[\left(e^{\frac{U_5-U_4}{U_3-U_2}\ln\frac{k_{\text{л}1}\Phi_0+\Phi_{\text{т}}}{\Phi_0+\Phi_{\text{т}}}} - k_1\right)\Big/\left(k_{\text{л}1} - e^{\frac{U_5-U_4}{U_3-U_2}\ln\frac{k_{\text{л}1}\Phi_0+\Phi_{\text{т}}}{\Phi_0+\Phi_{\text{т}}}}\right)\right], \quad (34)$$

где мощность темнового потока $\Phi_{\text{т}}$ определяется по уравнению избыточных измерений вида (при $k_1 = 1$)

$$\Phi_{\text{т}} = \Phi_0\left(\left[e^{(U_3-U_2)/S'_{\text{н}}} - k_{\text{л}1}\right]\Big/\left[k_1 - e^{(U_3-U_2)/S'_{\text{н}}}\right]\right). \quad (35)$$

а параметр $S'_{\text{н}}$ (при $k_2 = 2$) —

$$S'_{\text{н}} = (U_1 - \Delta U'_{\text{см}})/\ln k_2\ , \quad (36)$$

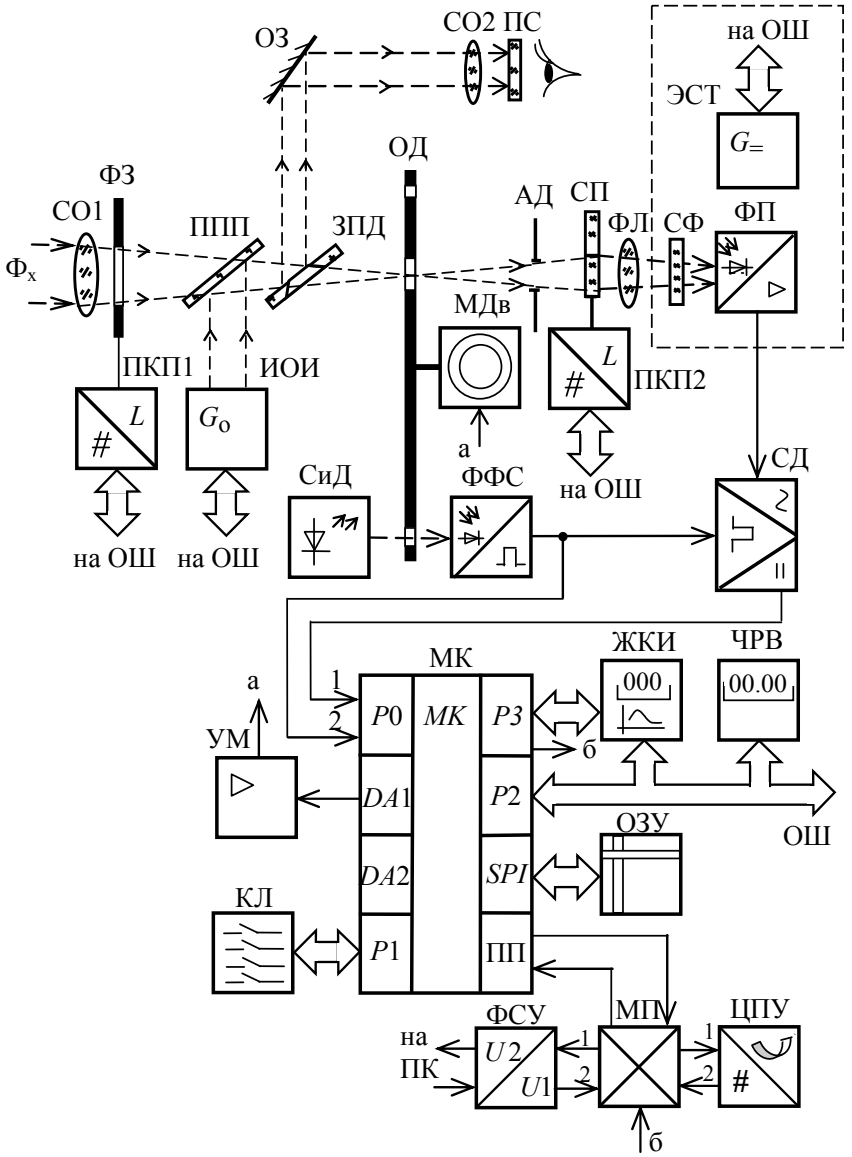


Рис. 6. Функциональная схема оптического пирометра при логарифмической функции преобразования измерительного канала

Окончательно уравнение избыточных измереней для определения действительного значения радиационной температуры получим, если в уравнение Стефана-Больцмана подставим уравнения избыточных измерений мощности потока оптического излучения (34) и мощности темнового потока (35):

$$\{T_x\}=\sqrt[4]{\frac{\{\Phi_x\}}{A'\sigma}}=\sqrt[4]{\frac{\{\Phi_{\text{Т}}\}}{A'\sigma}}\times\sqrt[4]{\frac{e^{\frac{N_5-N_4}{N_3-N_2}\ln\frac{k_{\text{л1}}\{\Phi_0\}+\{\Phi_{\text{Т}}\}}{\{\Phi_0\}+\{\Phi_{\text{Т}}\}}}-k_1}{k_{\text{л1}}-e^{\frac{N_5-N_4}{N_3-N_2}\ln\frac{k_{\text{л1}}\{\Phi_0\}+\{\Phi_{\text{Т}}\}}{\{\Phi_0\}+\{\Phi_{\text{Т}}\}}}}}}=\sqrt[4]{\frac{\{\Phi_0\}}{A'\sigma}}\times\sqrt[4]{\frac{e^{\frac{\ln k_2(N_3-N_2)}{N_1-\Delta N_{\text{см}}}}-k_{\text{л1}}}{k_1-e^{\frac{\ln k_2(N_3-N_2)}{N_1-\Delta N_{\text{см}}}}}}\cdot\frac{e^{\frac{N_5-N_4}{N_3-N_2}\ln\frac{k_{\text{л1}}\{\Phi_0\}+\{\Phi_{\text{Т}}\}}{\{\Phi_0\}+\{\Phi_{\text{Т}}\}}}-k_1}{k_{\text{л1}}-e^{\frac{N_5-N_4}{N_3-N_2}\ln\frac{k_{\text{л1}}\{\Phi_0\}+\{\Phi_{\text{Т}}\}}{\{\Phi_0\}+\{\Phi_{\text{Т}}\}}}}}}. \quad (37)$$

Отличительной особенностью функциональной схемы оптического пирометра с логарифмической функцией преобразования измерительного канала является дополнительное определение мощности темнового потока оптического излучения. Для нормированного уменьшения мощности потока оптического излучения в схему введен сеточный поглотитель СП из нейтрального стекла и фокусирующая линза ФЛ.

Функциональная схема оптического пирометра при логарифмической функции преобразования измерительного канала, приведенная на рис. 1, также реализует метод избыточных измерений. Благодаря чему используется практически весь динамический диапазон входных сигналов фотоприемника и осуществляется автоматическое исключение систематической составляющей погрешности результата измерений. Это является важной отличительной особенностью данной функциональной схемы. И в данном случае нерешенной остается проблема исключение влияния на результат измерений значений коэффициента использования потока оптического излучения (σ) объекта измерений, коэффициента поглощения среды ($\tau_{\lambda c}$) и постоянной Стефана – Больцмана (σ), причем даже в том случае, когда они априори известны. Одним из путей исключения влияния указанных коэффициентов является, как было показано выше, создание функциональных схем и пирометров отношения.

Для исключения случайных составляющих погрешности результата избыточных измерений используется классический прием, — многократное измерительное преобразование входных потоков оптического излучения и их статистическая обработка. В этом случае уравнение числовых значений, например, (37) примет вид:

$$\overline{\{T_x\}}=\sqrt[4]{\frac{\overline{\{\Phi_x\}}}{A'\sigma}}=\sqrt[4]{\frac{\overline{\{\Phi_0\}}}{A'\sigma}}\times\sqrt[4]{\frac{e^{\frac{\ln k_2(N_{3\text{ср}}-N_{2\text{ср}})}{N_{1\text{ср}}-\Delta N_{\text{смср}}}}-k_{\text{л1}}}{k_1-e^{\frac{\ln k_2(N_{3\text{ср}}-N_{2\text{ср}})}{N_{1\text{ср}}-\Delta N_{\text{смср}}}}}}\cdot\frac{e^{\frac{N_{5\text{ср}}-N_{4\text{ср}}}{N_{3\text{ср}}-N_{2\text{ср}}}\ln\frac{k_{\text{л1}}\overline{\{\Phi_0\}}+\overline{\{\Phi_{\text{Т}}\}}}{\overline{\{\Phi_0\}}+\overline{\{\Phi_{\text{Т}}\}}}}-k_1}{k_{\text{л1}}-e^{\frac{N_{5\text{ср}}-N_{4\text{ср}}}{N_{3\text{ср}}-N_{2\text{ср}}}\ln\frac{k_{\text{л1}}\overline{\{\Phi_0\}}+\overline{\{\Phi_{\text{Т}}\}}}{\overline{\{\Phi_0\}}+\overline{\{\Phi_{\text{Т}}\}}}}}}}. \quad (38)$$

где индекс «ср» означает среднее арифметическое значение результатов многократных измерений.

Подробно работа пирометра описана в патенте Украины № 77840 [10].

Выводы

Все микропроцессорные средства избыточных измерений температуры бесконтактными методами (цифровые пирометры) представляют собой информационно-избыточные измерительные системы.

Приведено определение средства избыточных измерений температуры бесконтактными методами, что позволяет представить их структуру тождественную измерительным информационным системам. Разнообразие информационно-избыточных измерительных систем и определяет существующее многообразие структур цифровых пирометров.

Показано, что структура цифровых пирометров существенно зависит от вида функции преобразования оптико-электронного канала, системы математических моделей, описывающих реализуемый метод избыточных измерений, от степени открытости, уровня интеллектуализации и других факторов. Оптимальными являются структуры с микроконверторами, базой данных и линейной функцией измерительного преобразования потоков оптического излучения.

Приведенные структуры цифровых пирометров отличаются от существующих тем, что обеспечивают решение метрологических задач, поскольку реализуют методы избыточных измерений. Вторым отличием является автоматическое исключение систематических погрешностей.

Приведены базовые структуры цифровых пирометров, реализующих методы избыточных измерений и соответствующие системы математических моделей, описывающие их работу и процессы вычислительной обработки результатов промежуточных измерительных преобразований потоков оптического излучения при линейной, квадратичной, кубической, полиномиальной и логарифмической функциях преобразования измерительного канала.

Одним из путей решение проблемы исключения влияния на результат измерений значений коэффициента использования потока оптического излучения объекта измерений, коэффициента поглощения среды и постоянной Стефана – Больцмана является создание функциональных схем и пирометров отношения.

Избыточная пирометрия является самым перспективным направлением развития методов и средств бесконтактного измерения температуры нагретых тел.

Литература

1. Кондратов В.Т. Определения и базовая классификация измерительных систем. / В.Т.Кондратов // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах . — 2014. — № 3. — С. 85 – 100.

2. Метрологическая задача [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://kondratov.com.ua/index.php/novosti/novosti-fundamentalnoj-metrologii/2011-2015-gg.

3. Понятие открытой системы [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.bookasutp.ru/Chapter1_3.aspx.

4. Информационные технологии: фазы обработки информации – источники, поиск, сбор, анализ и представление. Раздел 2. Знание и управление знаниями Учебный курс [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://vladimir.socio.msu.ru/1_KM/theme_07.htm.

5. Кондратов В.Т. Избыточная пирометрия: избыточные измерения радиационной температуры при логарифмической функции преобразования измерительного канала / В.Т. Кондратов, А.А. Корогод // Вісник Хмельницького національного університету. — 2014. — № 1. — С. 193 – 206.

6. Деклараційний патент № 66084 А, Україна. МПК G01J5/20. Радіаційний пірометр / В.Т. Кондратов, Г.О. Зарницина, Н.М. Сердюк. — № 2003076909 ; заявл.22.07.2003 ; опубл.15.04.2004 ; Бюл. № 4. — 6 с.

7. Деклараційний патент № 55947, Україна. МПК G01J5/08, G01K7/00. Оптичний пірометр / В.Т. Кондратов, Г.О. Зарницина. – № 2002076365 ; заявл.30.07.2002 ; опубл.15.05.2003 ; № Бюл. – № 4. — 7 с.

8. Патент № 73426. Україна. МПК G01J5/08. Пірометр спектрального відношення / В.Т. Кондратов, Г.О. Зарницина. – № 20031212097 ; заявл.23.12.2003 ; опубл.15.07.2005 ; Бюл. № 7. — 10 с.

9. Патент № 77840. Україна. МПК G01J5/08, G01K7/00. Цифровий пірометр відношення / В.Т. Кондратов, Г.О. Зарницина. – № а200501402 ; заявл.15.02.2005 ; опубл.15.01.2007 ; Бюл. № 1. — 11 с.

10. Патент № 77840. Україна. МПК G01J5/08, G01K7/00. Цифровий пірометр відношення / В.Т. Кондратов, Г.О. Зарницина. — № а200501402 ; заявл.15.02.2005 ; опубл.15.01.2007 ; Бюл. №1. — 11 с.

References

1. Kondratov V.T. Opredelenija i bazovaja klassifikatsija izmeritelnykh system. / V.T.Kondratov// Vymiryuvalna ta obchislyuvalna tekhnika v tekhnologichnykh protsesakh . — 2014. — № 3. — C. 85 – 100.

2. Metrologicheskaja zadacha. URL: http://kondratov.com.ua/index.php/novosti/novosti-fundamentalnoj-metrologii/2011-2015-gg].

3. Ponyatie otkrytoj sistemy. Rezhim dostupa: http://www.bookasutp.ru/Chapter1_3.aspx.

4. Uchebnyj kurs «Informatsionnye tekhnologii: phasy obrabotki informatsii — istochniki, poisk, sbor, analiz i predstavleniye. Razdel 2. Znaniye i upravlenie znaniyami. URL: http://vladimir.socio. msu.ru/1_KM/theme_07.htm.

5. Kondratov V.T. , Korogod A.A. Izbytochnaya pirometriya: izbytochnye izmereniya radiatsionnoj temperatury pri logarifmicheskoj funktsii preobrazovanija izmeritelnogo kanala / V.T. Kondratov, A.A. Korogod // Herald of Khmelnytsky National University. — 2014. — №1. — S. 193 – 206.

6. Deklaratsiinyj patent № 66084 A, Ukraina. MPK G01J5/20. Radiatsiinyj pirometr / V.T.Kondratov, G.O.Zarnitsyna, N.M.Serdiuk (Ukraina). — №2003076909; zajavl. 22.07.2003; opubl. 15.04.2004, Byul. № 4. — 6 s.

7. Deklaratsijnyj patent 55947 A, Ukraina. MPK G01J5/08, G01K7/00. Optychnyj pirometr / V.T.Kond-ratov, G.O.Zarnitsyna (Ukraina). — №2002076365; zajavl. 30.07.2002; opubl. 15.05.2003, Byul. № 4. — 7 c.

8. Patent № 73426. Ukraina. MPK G01J5/08. Pirometr spektralnogo vidnoshennia / V.T.Kondratov, G.O.Zarnitsyna (Ukraina). — №20031212097; zaiavl. 23.12.2003; opubl. 15.07.2005, Byul. № 7. — 10 s.

9. Patent № 77840. Ukraina. MPK G01J5/08, G01K7/00. Tsyfrovyi pirometr vidnoshennia / V.T.Kondratov, G.O.Zarnitsyna (Ukraina). — №a200501402; zaiavl.15.02.2005; opubl.15.01.2007, Byul. № 1. — 11 s.

10. Patent № 77840. Ukraina. MPK G01J5/08, G01K7/00. Tsyfrovyi pirometr vidnoshennia / V.T.Kondratov, G.O.Zarnitsyna (Ukraina). — №200501402; zaiavl.15.02.2005; opubl.15.01.2007, Byul. № 1. — 11 s.

Рецензія/Peer review : 11.1.2015 р. Надрукована/Printed :15.4.2015 р.
Рецензент: стаття рецензована редакційною колегією

УДК 621.394.74

Р.П. ХОПТИНСЬКИЙ , А.А. ТАРАНЧУК, С.К. ПІДЧЕНКО
Хмельницький національний університет

УНІВЕРСАЛЬНИЙ ДЕМОДУЛЯТОР СИГНАЛІВ СИСТЕМИ ПРИЙОМУ ІНФОРМАЦІЇ КОСМІЧНИХ АПАРАТІВ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ

Запропонована функціональна схема та приведена практична реалізація універсального демодулятора підвищеної точності і завадостійкості цифрових сигналів системи прийому інформації КА ДЗЗ

Ключові слова: *космічний апарат, дистанційне зондування Землі, приймальний тракт, демодулятор, квадратурна модуляція, цифровий синтезатор, цифрова обробка сигналів*

R.P. HOPTINSKIY, A.A.TARANCHUK, S.K. PIDCHENKO
Khmelnytskiy national university

UNIVERSAL DEMODULATOR OF SIGNALS RECEPTION SYSTEM OF INFORMATION SPACECRAFT OF REMOTE SENSING OF EARTH

Offered functional diagram and the brought practical realization over of universal demodulator of high accuracy and noise immunity digital signals of the system of reception information of remote sensing of Earth

Keywords: *spacecraft, remote sensing of Earth, receiving channel, demodulator, quadrature modulation, digital synthesizer, digital signal processing*

Вступ

Міжнародна конфігурація супутників, які використовуються для вивчення стану атмосфери і поверхні Землі [1], на теперішній час, включає велику кількість геостаціонарних супутників різних відомств і країн (Meteosat, MSG, GOES,GMS, GOMS, COMS, INSAT), полярно- орбітальних супутників (Metop, METEOP 3M, FY-1/3, NPOESS і інш.), науково-дослідних супутників (ENVISAT/ERS-2, Meteor-3M No.1, SPOT-5, TERRA, Aqua, TRMM, Quicksat, Jason-1, Ocean series і інш.) (рис.1). Створення космічних засобів дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), як продукту найсучасніших високих технологій, надає можливість оперативного отримання даних глобального масштабу з високою просторовою, спектральною та часовою розрізненістю. Спостерігається швидкий прогрес в області підвищення технічного рівня космічних апаратів і скорочення витрат на їх створення та експлуатацію. Це забезпечується за рахунок використання нових конструкційних матеріалів і методів проектування, мінімізації масогабаритних характеристик, розробки уніфікованих орбітальних платформ, "інтелектуалізації" бортових функцій на основі сучасних комп'ютерних засобів і технологій, перспективних можливостей формування багатосупутникових "кластерних" космічних систем із різнотипних КА ДЗЗ [1].

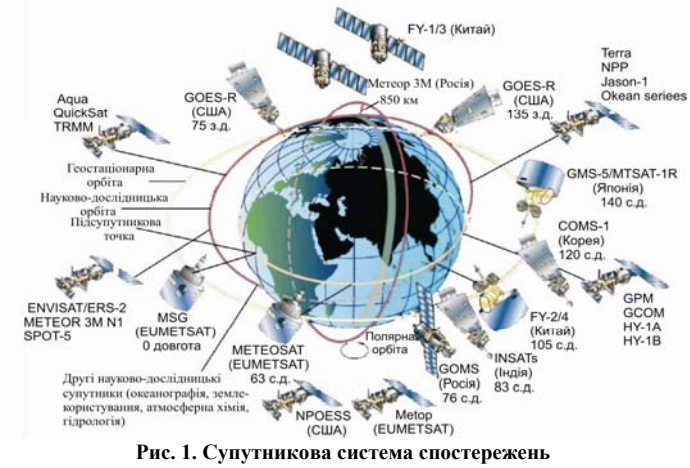


Рис. 1. Супутникова система спостережень

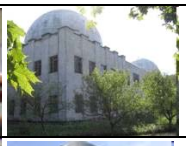
Однією із головних проблем при прийомі інформації ДЗЗ різноманітних космічних апаратів (КА), що передають інформацію з різною швидкістю є забезпечення якісного її прийому наземними приймальними станціями. З появою великої кількості нових космічних апаратів систем спостережень виникає необхідність удосконалення апаратури наземних приймальних станцій ДЗЗ, а саме створення універсальних демодуляторів приймального тракту для прийому і обробки спеціальної інформації сучасних КА.

Метою роботи є підвищення точності і завадостійкості демодулятора цифрових сигналів системи прийому інформації КА ДЗЗ та забезпечення його універсальності.

1. Огляд існуючих пристроїв прийому і обробки спеціальної інформації наземних станцій

Демодулятори для прийому інформації ДЗЗ, які розроблені до теперішнього часу, мають обмежене функціональне призначення, так як створювались для прийому інформації конкретних КА, що пов'язано з використанням елементної бази, що не передбачала можливість зміни параметрів прийому інформації. Порівняльні характеристики різних станцій прийому Центрі прийому і обробки спеціальної інформації та контролю навігаційного поля (ЦПОСІ та КНП) і їх можливості прийому інформації перспективних КА ДЗЗ після модернізації демодулятора приймального тракту наведені в таблиці 1 [2].

Таблиця 1

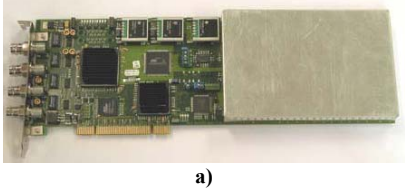
№ з/п	Назва станції прийому інформації	Забезпечення прийому інформації КА	Зовнішній вигляд станції (антени)	Можливості прийому інформації КА після модернізації демодулятора
1	ППІ-1.7	Січ, NOAA, Ресурс-04, MeteoSat-6,7, Orb-View-2 в форматі даних HRPT		METOP, FY-1/3, FY-2/4
2	ЕОСКАН-ПТ	TERRA (X діапазон)		AQUA, SUOMI NPP і інші
3	ПС-8.2	METEOP-3M (прибор МСУ-Э), СІЧ-1М, EgyptSat-1		СІЧ-2
4	УНСПІ-8.2	Серія СІЧ, EgyptSat-1		СІЧ-2 EnviSat (прилади Meris, Asar) і інші

Наприклад, демодулятори приймача Ц300М станції прийому ППІ 1.7 і УНСПІ-8.2 виробництва ALCATEL BELL SPACE (рис. 2,а,б), що використовуються в ЦПОСІ та КНП (м. Дунаївці, Україна) забезпечують прийом інформації зі швидкостями 665 Кбіт/с та 50 Мбіт/с, відповідно, і на теперішній час потребують модернізації, так як неспроможні забезпечити прийом інформації перспективних КА, швидкість передачі інформації яких сягає від 5 до до 320 Мбіт/с. До недоліків цих систем відноситься неможливість їх мобільного переналаштовування, що суперечить сучасним вимогам до наземної апаратури наземних станцій ДЗЗ.

а)

б)

Рис. 2. Демодулятори станцій ДЗЗ ЦПОСІ та КНП:
демодулятор приймача Ц300М станції ППІ 1.7 (а);
демодулятор ALCATEL BELL SPACE станції УНСПІ-8.2 (б)



а)

б)

Рис. 3. Демодулятори закордонних виробників:
Alcatel 9910 OMNISAT (а) фірм Kongsberg spacetec (б)

На сучасні приймальних станціях наземних систем ДЗЗ використовують як аналогову так і цифрову елементну базу для створення квадратурних демодуляторів приймальних трактів.

Відомі квадратурні демодулятори, що запропоновані в роботах [3-5] і використовують аналогові компоненти для побудови деяких своїх вузлів мають певні недоліки до яких відносяться:

- наявність похибок обробки сигналів через низьку стабільності реалізованих на аналогових компонентах кіл формування квадратурних опорних сигналів під впливом зовнішніх дестабілізуючих факторів, зокрема температури;
- низька точність та завадостійкість демодуляції сигналів із квадратурною модуляцією, що обумовлено неможливістю забезпечення високої стабільності та квадратурної точності опорних сигналів демодулятора через використання фазообертача на аналогових компонентах та генератора радіочастотних коливань з низькою температурною стабільністю.

Відомий демодулятор цифрових частотно-модульованих сигналів [3], який містить синфазний та квадратурний канали, кожен з яких складається із змішувача, фільтра нижніх частот та обмежувача, які працюють в робочій смузі частот, а всі елементи схеми за обмежувачами побудовані на цифрових елементах. Недоліком даного пристрою є похибки демодуляції сигналів, обумовлені порушенням ортогональності опорних коливань та їх частотної неузгодженості з вхідним сигналом.

Зроблений в роботі аналіз класичних методів побудови фазомодульованих демодуляторів [3-5] показав, що вони пов'язані із достатньо складними апаратними рішеннями і потребують ретельного налагодження. При цьому поява програмованих логічних інтегральних схем дозволяє реалізувати складні цифрові алгоритми роботи в межах одного компактного корпусу мікросхеми [3].

2. Структура універсального демодулятора QPSK сигналів

Виходячи з технічних характеристик станцій прийому інформації, які розташовані на території України та згідно технічних характеристик КА ДЗЗ демодулятор повинен задовольняти наступним вимогам [2]:

- вхідна частота 720 МГц;
- мінімальний рівень вхідного сигналу при якому можливий прийом інформації з похибками, не більш як $1 \cdot 10^{-6}$ при С/Ш 10 дБ (-24) дБм;
- швидкість прийому інформації до 100 МБіт/с.

Структура розробленого демодулятора QPSK сигналів приймального тракту системи прийому і обробки інформації КА дистанційного зондування Землі наведена на рис. 4.

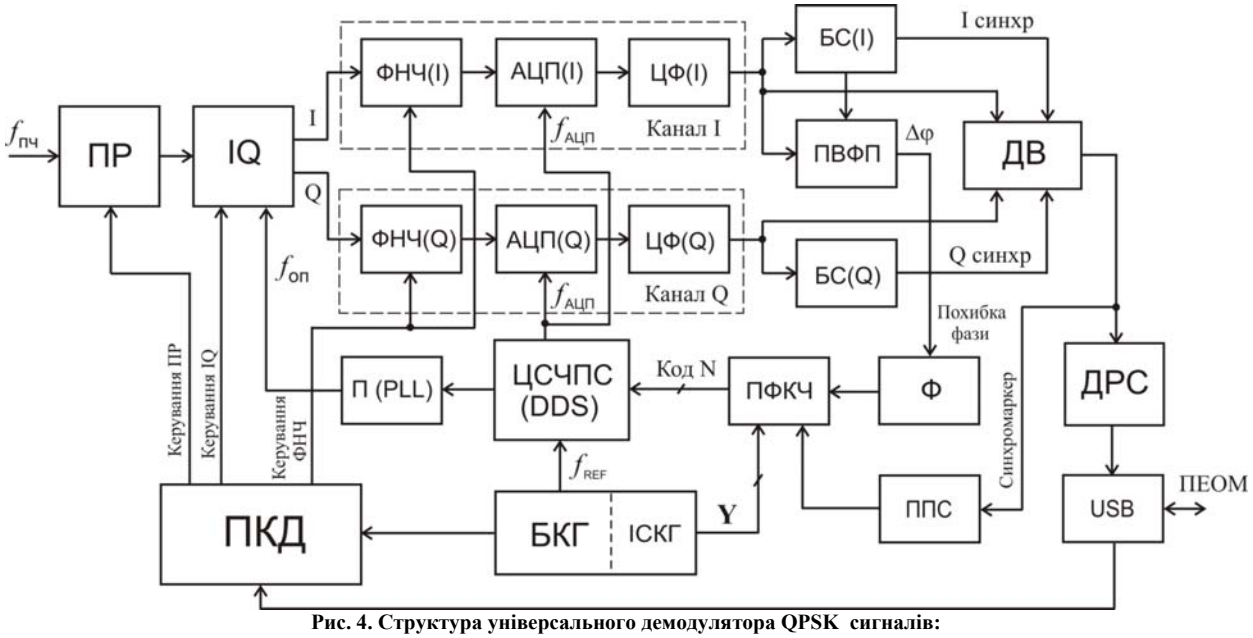


Рис. 4. Структура універсального демодулятора QPSK сигналів:
ПР – підсилювач радіочастоти; IQ – демодулятор квадратурних складових; ФНЧ – фільтр нижніх частот; АЦП – аналого-цифровий перетворювач; ЦФ – цифровий фільтр; БС – бітовий синхронізатор; ДБ – декодер Вітербі; ПВФП – пристрій визначення фазової похибки; ЦСЧПС – цифровий синтезатор частоти прямого синтезу; ПФКЧ – пристрій формування коду частоти; Ф – фільтр; П – помножувач; ДРС – детектор Ріда-Соломона; ППС – пристрій пошуку синхромаркера; ПКД – пристрій керування демодулятором; БКГ – багаточастотний кварцовий генератор; ІСКГ – ідентифікатор стану кварцового генератора

Носійна частота сигналу із супутникового ретранслятора 8,2 ГГц після прийому, підсилення та конвертування (перенесення за спектром) утворює сигнал проміжної частоти $f_{Їх}$ 720 МГц, який надходить на вхідний підсилювач радіочастоти (ПР) з системою автоматичного регулювання підсилення. Після підсилення прийнятого сигналу КА ДЗЗ в IQ-демодуляторі (IQ) здійснюється виділення квадратурних складових інформаційного сигналу: синфазної I (0°) та квадратурної Q (90°). Кожен із каналів обробки квадратурних складових мають ідентичну структуру та забезпечують з високою точністю фільтрацію і підсилення сигналів з мінімальними розбіжностями між каналами (рис. 5).

Типова око-діаграма сигналу КА ДЗЗ на вході квадратурного демодулятора наведена на рис. 5.

Квадратурні складові поступають на активні фільтри (ФНЧ) із змінним коефіцієнтом підсилення, який регулюється програмно. Далі IQ-сигнали поступають на високошвидкісні аналого-цифрові

перетворювачі, де I та Q складові перетворюється в цифровий вихідний сигнал з високою частотою дискретизації. Подальша цифрова обробка прийнятої інформації здійснюється в мікросхемі універсальної ПЛІС Altera CYCLONE III, де відбувається інкапсуляція інформації: внутрішнє декодування (перфорований згортковий код), зворотне зовнішнє перемішування та декодування за жорстким алгоритмом Вітербі (ДВ), який вважається ефективним у каналах з AWGN та зовнішнє декодування за алгоритмом Ріда-Соломона (ДРВ). Декодер Вітербі дозволяє виправляти одиночні помилки в *q*-х символах. В окремих ситуаціях, при виникненні пакетних помилок деякі пакети *q*-х символів можуть бути неправильно декодовані. Для виправлення цих помилок в схемі використовується зовнішній декодер Ріда – Соломона спільно із зворотнім перемішувачем. Таким чином, досягається необхідна надійність прийому інформації КА ДЗЗ [3].

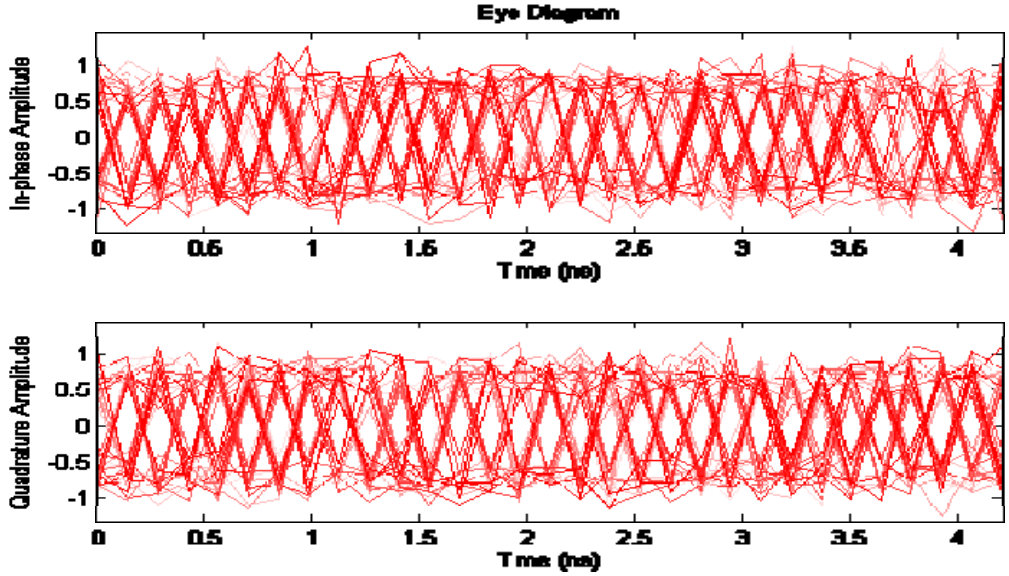


Рис. 5. Типова око-діаграма сигналу КА ДЗЗ на вході квадратурного демодулятора

Основними елементами ФАПЧ є пристрій визначення фазової похибки (ПВФП), фільтр (Ф) та цифровий синтезатор частоти прямого синтезу (ЦСЧПС) з помножувачем частоти (П). Для підвищення ефективності роботи ФАПЧ як в режимі захоплення, так і в режимі слідкування використаний опорний тактовий генератор на базі багаточастотного кварцового генератора (БКГ) з ідентифікатором стану кварцового генератора (ІСКГ). В даному генераторі реалізований багаточастотно-алгоритмічний метод забезпечення технічної інваріантності п'єзорезонансних пристроїв, що дозволяє суттєво підвищити (до одного – двох порядків) стабільність генерування опорної частоти f_{REF} [6-9].

Розглянемо особливості компенсації температурної нестабільності кварцового генератора в режимі двочастотного збудження кварцового резонатора. В даному випадку на виході БКГ формуються коливання опорної моди кварцового резонатора (КР) f_{REF} та термочутливої (допоміжної) моди коливань f_T. Залежності власних резонансних частот КР для малих відхилень $\Delta T = T - T_0$ від номінальної температури T_0 представляється як

$$f_{REF}(T) = f_{REF}^0 + a_{1T}\Delta T\,; \qquad f_T = f_T^0 + a_{2T}\Delta T\,, \tag{1}$$

де f_{REF}^0, f_{T}^0 – номінальні значення частот на виході БКГ за температури $T = T_0$, які входять до вектора параметрів спостереження $\mathbf{Y}$; $a_{1\mathrm{T}}$, $a_{2\mathrm{T}}$ – коефіцієнти термочутливості. Пристроєм формування коду частоти (ПФКЧ) формується коливання різницевої частоти

$$F(T) = F_0 + \Delta F(T) = \left[f_{REF}^0 - \frac{k_1}{k_2} f_T^0\right] + \left[a_{1T} - \frac{k_1}{k_2} a_{2T}\right]\Delta T\,, \tag{2}$$

де $\dfrac{k_1}{k_2}$ – коефіцієнт дробово-раціонального перетворення частоти f_T, який вибирається із умови $f_{REF}^0 \approx \dfrac{k_1}{k_2} f_T^0$. Коливання різницевої частоти F використовується для ідентифікації теплового стану двочастотного КР та компенсації його температурної нестабільності. На основі (2) ПФКЧ визначається значення коректуючого коду $N(T)$, який забезпечує компенсацію уходів частоти f_{OUT} на виході ЦСЧПС із-за температурних уходів частоти опорного коливання $f_{REF}(T)$:

$$N(T) = N_0\left(f_{OUT}, f_{REF}^0\right) + \Delta N\left(\Delta F(T)\right), \quad (3)$$

де $N_0(f_{OUT}, f_{REF}^0) = \dfrac{f_{OUT} \cdot 2^m}{f_{REF}^0}$ – номінальне значення коректуючого коду для температури $T = T_0$;

m – розрядність керуючого слова $N(T)$.

Після фільтрації дані з I та Q бітових синхронізаторів надходять на декодер Вітербі, далі сформований бітовий потік декодується декодером Ріда-Соломона (проходить корекцію бітових помилок). Звіт про помилки, сформований декодером Вітербі (BER), аналізується пристроєм пошуку синхромаркера (ППС), після чого видається поправка для підлаштовування синтезатора частоти ЦСЧПС (здійснюється АПЧ). Після корекції помилок бітовий потік поступає на USB контролер і далі на ПЕОМ, де здійснюється подальша обробка інформації. Послідовний USB інтерфейс також дозволяє здійснювати завантаження програмного забезпечення ПЛІС та моніторинг стану демодулятора.

Результат використання завадостійких каскадних кодових конструкцій при декодуванні сигналу, отриманий шляхом моделювання в середовищі MATLAB/SIMULINK представлений на рис. 6,7. Як видно з рис. 6,7 каскадні кодові конструкції достатньо ефективні під час прийому інформації в системах ДЗЗ. Так як роздільна здатність систем ДЗЗ обмежена, кожний «вибитий» піксель містить важливу інформацію про Земну поверхню та перешкоджає отриманню дійсної інформації про об'єкти які находяться на поверхні Землі. Відповідно до даних представлених у [10], при заданому значені ймовірності похибки BER=10^{-6} (англ. Bit Error Rate – BER), на мільйон переданих символів лише один з них може бути невірним.

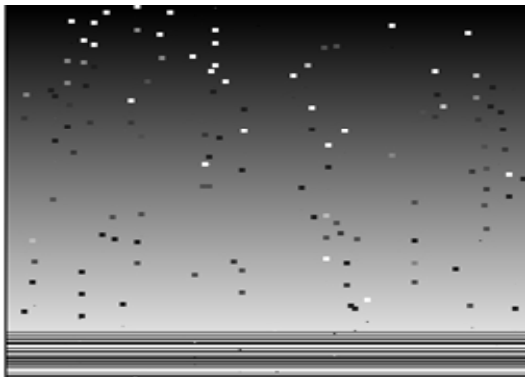
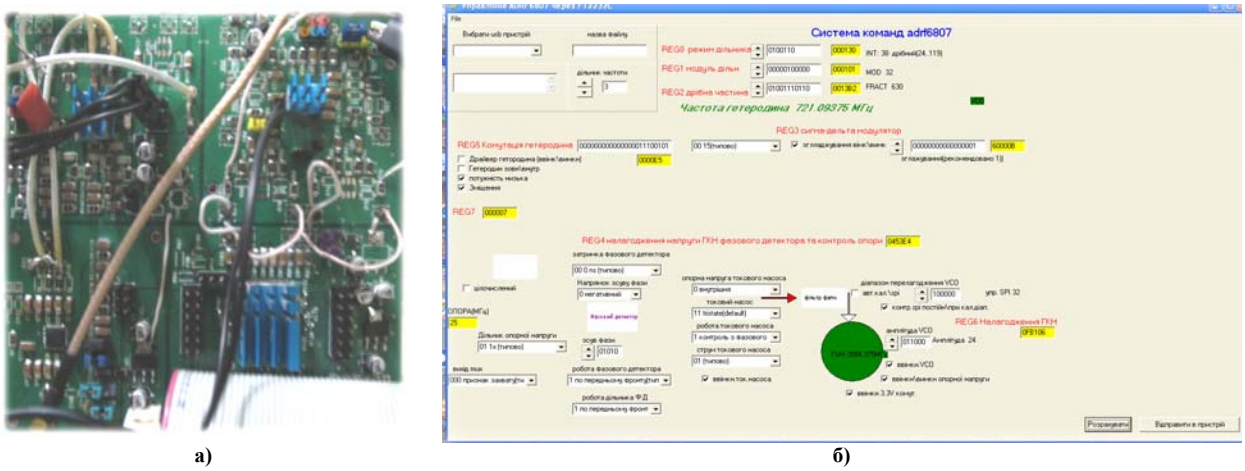


Рис. 6. Результат декодування інформації декодером Вітербі

Рис. 7. Результат декодування інформації каскадними кодовими конструкціями

На рис. 8 наведені конструктивне виконання розробленого квадратурного демодулятора (рис. 8,а) та програмний інтерфейс управління його складовими (рис. 8,б).



а) **б)**

Рис. 8. Конструктивне виконання та інтерфейсу управління демодулятором (б)

Розроблений демодулятор працює у діапазоні 720 МГц, забезпечуючи роботу із сигналами QPSK - модуляції та має широкий динамічний діапазон вхідних високочастотних коливань. Його особливістю є використання в колі ФАПЧ високостабільного цифрового синтезатора частоти прямого синтезу з термо- і вібраційною компенсацією нестабільності вихідної частоти, за рахунок чого забезпечується висока точність демодуляції сигналів КА.

Використання сучасних алгоритмів цифрової обробки квадратурних сигналів та використання для їх реалізації програмованих логічних інтегральних схем (ПЛІС) дозволяє значно підвищити ефективність роботи станцій ДЗЗ та зробити їх універсальними, за рахунок можливості швидкої зміни їх параметрів у

відповідності до різноманітних параметрів радіоліній перспективних космічних апаратів. Завдяки можливості програмного налаштування мікросхеми ПЛІС демодулятора, забезпечується швидкість приймання даних КА ДЗЗ в межах від 10 до 500 Мбіт/с.

Висновки

Запропонований в роботі демодулятор забезпечує високу точність демодуляції сигналів із квадратурною модуляцією, за рахунок використання в колі ФАПЧ високостабільного цифрового синтезатора частоти прямого синтезу з термо- і вібраційною компенсацією нестабільності вихідної частоти. Розроблений універсальний демодулятор зібраний на сучасній елементній базі і забезпечує якісний прийом інформації існуючих КА ДЗЗ. Завдяки можливості програмного налаштування мікросхеми ПЛІС, що входить у структуру розробленого демодулятора, забезпечується швидкість приймання даних КА ДЗЗ в межах від 10 до 500 Мбіт/с. Використання завадостійкого каскадного кодування при демодуляції цифрових сигналів КА ДЗЗ, дозволило скоротити час захвату супутникового сигналу в два рази та зменшити похибки демодуляції на 20%.

Використання запропонованого універсального квадратурного демодулятора підвищеної точності і завадостійкості цифрових сигналів в існуючих наземних станціях супутникової інформації ДЗЗ, які знаходяться на території України, надасть змогу розширити їх функціональні можливості і забезпечити прийом інформації сучасних і перспективних космічних апаратів.

Література

1. Тимофеев Ю. М. Глобальная система мониторинга параметров атмосферы и поверхности : [уч.-метод. пособие] / Ю. М. Тимофеев. – СПб. – 2009. – 129 с.

2. Центр прийому і обробки спеціальної інформації та контролю навігаційного поля. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://dzz.gov.ua/CPOSI/ – назва з екрану.

3. Patent 4651107 Unites States, IPK H03D 3/00. Demodulator for digital FM signals / Yoshihiko Akaiwa. Assignee: NEC Corporation, Japan – № 687575 ; Filed Dec. 28, 1984 ; Date of Patent Mar. 17, 1987. – 14 p.: fig.

4. Патент 2216874 C2 Российская Федерация, МПК[7] H 04 L 27/34. Квадратурный модулятор и демодулятор / Кауфман Р., Апарин В.; заявитель и патентообладатель Квэлкомм Инкорпорейтед (US). – № 2000120619/09 ; заявл. 06.01.1999 ; опубл. 20.11.2003. – 27 с.: ил.

5. Patent 6795485 B2 Unites States, IPK H04B 1/69. Integrated QPSK/FSK demodulator / Michael Perkins. Assignee: Share Wave, Inc. (US) – № 09/729814 ; Filed Dec. 4, 2000 ; Date of Patent Sep. 21, 2004. – 7 p.: fig.

6. Підченко С. К. Теорія і реалізаційні основи інваріантних багаточастотних п’єзорезонансних пристроїв та систем / С. К. Підченко. – Хмельницький, ХНУ, 2014. – 400 с.

7. Патент на корисну модель № 86668. Україна, МПК H03L9/00. Пристрій генерування / Підченко С. К., Таранчук А. А., Стецюк В.І. // № u201307653; Заявник і власник ХНУ. Заявл. 17.06.2013; Опубл. 10.01.2014, бюл. № 1.

8. Підченко С.К. Віброкомпенсація нестабільності частоти кварцових генераторів в режимі багаточастотного збудження п'єзорезонатора / С.К Підченко, А.А Таранчук, В.І. Стецюк, Р.П. Хоптинський // Вісник НТУУ «КПІ». Серія - Радіотехніка. Радіоапаратобудування, 2014. -№ 57. С- 104-112.

9. Таранчук А.А. Квадратурний демодулятор OFDM систем з цифровою компенсацією температурної нестабільності генератора опорних сигналів / А.А Таранчук, С.К Підченко, Р.П Хоптинський // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. ВОТТП, 2014. - № 2 -С. 80-85.

10. CCSDS 130.1-G-1. TM Synchronization and Channel Coding. – Washington, DC, USA, June 2006. – 89 p.

References

1. Timofeev Yu. M. Globalnaya sistema monitoringa parametrov atmosferyi i poverhnosti : [uch.-metod. posobie] / Yu. M. Timofeev. – SPb. – 2009. – 129 s.

2. Tsentr priyomu I obrobki spetsIalnoYi InformatsIYi ta kontrolyu navIgatsIynogo polya. [Elektronniy resurs]. – Rezhim dostupu: http://dzz.gov.ua/CPOSI/ – nazva z ekranu.

3. Patent 4651107 Unites States, IPK H03D 3/00. Demodulator for digital FM signals / Yoshihiko Akaiwa. Assignee: NEC Corporation, Japan – № 687575 ; Filed Dec. 28, 1984 ; Date of Patent Mar. 17, 1987. – 14 p.: fig.

4. Patent 2216874 S2 Rossiyskaya Federatsiya, MPK7 H 04 L 27/34. Kvadraturnyiy modulyator i demodulyator / Kaufman R., Aparin V.; zayavitel i patentoobladatel Kvelkomm Inkorporeyted (US). – № 2000120619/09 ; zayavl. 06.01.1999 ; opubl. 20.11.2003. – 27 s.: il.

5. Patent 6795485 B2 Unites States, IPK H04B 1/69. Integrated QPSK/FSK demodulator / Michael Perkins. Assignee: Share Wave, Inc. (US) – № 09/729814 ; Filed Dec. 4, 2000 ; Date of Patent Sep. 21, 2004. – 7 p.: fig.

6. PIdchenko S. K. TeorIya I realIzatsIynI osnovi InvarIantnih bagatochastotnih p’Ezorezonansnih pristroYiv ta sistem / S. K. PIdchenko. – Hmelnitskiy, HNU, 2014. – 400 s.

7. Patent na korisnu model № 86668. UkraYina, MPK N03L9/00. PristrIy generuvannya / PIdchenko S. K., Taranchuk A. A., Stetsyuk V.I. // № u201307653; Zayavnik I vlasnik HNU. Zayavl. 17.06.2013; Opubl. 10.01.2014, byul. № 1.

8. PIdchenko S.K. VIbrokompensatsIya nestabIlnostI chastoti kvartsovih generatorIv v rezhimI bagatochastotnogo zbudzhennya p'Ezorezonatora / C.K PIdchenko, A.A Taranchuk, V.I. Stetsyuk, R.P. Hoptinskiy // VIsnik NTUU «KPI». SerIya - RadIotehnIka. RadIoaparatobuduvannya, 2014. - № 57. S- 104-112.

9. Taranchuk A.A. Kvadraturniy demodulyator OFDM sistem z tsifrovoyu kompensatsIEyu temperaturnoYi nestabIlnostI generatora opornih signalIv / A.A Taranchuk, S.K PIdchenko, R.P Hoptinskiy // VimIryuvalna ta obchislyuvalna tehnIka v tehnologIchnih protsesah. VOTTP, 2014. - № 2 -S. 80-85.

10. CCSDS 130.1-G-1. TM Synchronization and Channel Coding. – Washington, DC, USA, June 2006. – 89 p.

Рецензія/Peer review : 3.3.2015 р. Надрукована/Printed :10.4.2015 р.
Рецензент: д.т.н. Параска Г.Б.

За зміст повідомлень редакція відповідальності не несе

Повні вимоги до оформлення рукопису
http://vestnik.ho.com.ua/rules/

Рекомендовано до друку рішенням вченої ради Хмельницького національного університету, протокол № 9 від 29.03.2015 р.

Підп. до друку 17.04.2015 р. Ум.друк.арк. 18,26 Обл.-вид.арк. 22,65
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