

ISSN 2307-5732

DOI 10.31891/2307-5732

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

5.2019

ВІСНИК

Хмельницького

національного

університету

Технічні науки

Technical sciences

SCIENTIFIC JOURNAL

HERALD OF KHMELNYTSKYI NATIONAL UNIVERSITY

2019, Issue 5, Volume 277

Хмельницький

**ВІСНИК
ХМЕЛЬНИЦЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
серія: Технічні науки**

Затверджений як фахове видання (перереєстрація)
Наказ МОН 04.07.2014 № 793

Засновано в липні 1997 р.

Виходить 6 разів на рік

Хмельницький, 2019, № 5 (277)

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

Включено до науково-метричних баз:

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
РИНЦ	http://elibrary.ru/title_about.asp?id=37650
Polish Scholarly Bibliography	https://pbn.nauka.gov.pl/journals/46221

Головний редактор	Скиба М. Є. , д.т.н., професор, заслужений працівник народної освіти України, член-кореспондент Національної академії педагогічних наук України, ректор Хмельницького національного університету
Заступник головного редактора	Синюк О. М. , д.т.н., професор кафедри машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем Хмельницького національного університету
Голова редакційної колегії серії "Технічні науки"	Бойко Ю.М. , д.т.н., професор кафедри телекомунікацій та радіотехніки, начальник науково-дослідної частини 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 С.М., д.т.н., **Бойко Ю.М.**, д.т.н., **Говорущенко Т.О.**, д.т.н., **Гордєєв А.І.**, д.т.н., **Грабко В.В.**, д.т.н., **Диха О.В.**, д.т.н., **Захаркевич О.В.**, д.т.н., **Злотенко Б.М.**, д.т.н., **Зубков А.М.**, д.т.н., **Каплун П.В.**, д.т.н., **Карташов В.М.**, д.т.н., **Кичак В.М.**, д.т.н., **Мазур М.П.**, д.т.н., **Мандзюк І.А.**, д.т.н., **Мартинюк В.В.**, д.т.н., **Мельничук П.П.**, д.т.н., **Місяць В.П.**, д.т.н., **Мясіщев О.А.**, д.т.н., **Нелін Є.А.**, д.т.н., **Павлов С.В.**, д.т.н., **Параска О.А.**, к.т.н., **Прохорова І.А.**, д.т.н., **Рогатинський Р.М.**, д.т.н., **Горошко А.В.**, д.т.н., **Сарібекова Д.Г.**, д.т.н., **Семенко А.І.**, д.т.н., **Славінська А.Л.**, д.т.н., **Сорокати Р.В.**, д.т.н., **Харжевський В.О.**, д.т.н., **Шинкарук О.М.**, д.т.н., **Шклярський В.І.**, д.т.н., **Щербань Ю.Ю.**, д.т.н., **Ясній П.В.**, д.т.н., професор, **Бубулєс Альгімантас**, доктор наук (Литва), **Елсаєд Ахмед Ельнашар**, доктор наук (Єгипет), **Кальчинські Томаш**, доктор наук (Польща), **Коробко Євгенія Вікторівна**, д.т.н. (Білорусія), **Лунтовський Андрій Олегович**, д.т.н. (Німеччина), **Матушевський Мацей**, доктор наук (Польща), **Мушлевський Лукаш**, доктор наук (Польща), **Мушял Януш**, доктор наук (Польща), **Натріашвілі Тамаз Мамієвич**, д.т.н., (Грузія), **Попов Валентин**, доктор природничих наук (Німеччина)

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

**Рекомендовано до друку рішенням вченої ради Хмельницького національного університету,
протокол № 12 від 26.06.2019 р.**

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

т	(038-2) 67-51-08	web:	http://journals.khnu.km.ua/vestnik
e-mail:	visnyk.khnu@gmail.com		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, 2019
© Редакція журналу "Вісник Хмельницького національного університету", 2019

ЗМІСТ

МАШИНОЗНАВСТВО ТА ОБРОБКА МАТЕРІАЛІВ В МАШИНОБУДУВАННІ

М. Є. СКИБА, Н. М. СТЕЧИШИНА, Н. К. МЕДВЕДЧУК, М. С. СТЕЧИШИН, В. В. ЛЮХОВЕЦЬ БЕЗВОДНЕВЕ АЗОТУВАННЯ У ТЛЮЧОМУ РОЗРЯДІ ЯК МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ КОНСТРУКЦІЙНИХ СТАЛЕЙ	7
Ю. В. БАТЫГИН, С. А. ШИНДЕРУК, Е. А. ЧАПЛЫГИН, А. А. КОРЯК, А. В. ДОВГИЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКАЯ ИНДУКТОРНАЯ СИСТЕМА С ВНЕШНИМ БИФИЛЯРНЫМ СОЛЕНОИДОМ. РАСЧЁТНЫЕ СООТНОШЕНИЯ	13
Ю. В. САВИЦЬКИЙ ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ГЛИБОКОГО ХОЛОДНОГО ВИДАВЛЮВАННЯ ДЛЯ ОТРИМАННЯ ТОЧНИХ ЗАГОТОВОК ДЕТАЛЕЙ ТИПУ «СТАКАН». ЧАСТИНА 1	19
Р. В. АМБАРЦУМЯНЦ, С. А. РОМАШКЕВИЧ, А. П. ЛИПИН КИНЕТОСТАТИКА ГРУППЫ АССУРА ЧЕТВЕРТОГО КЛАССА ВТОРОГО ПОРЯДКА С ОДНОЙ ПОСТУПАТЕЛЬНОЙ ПАРОЙ	24
О. І. МАЛАКОВ, С. А. БУРЛАКА, Ю. О. МИХАЛЬОВА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОСНОВИ КОНСТРУЮВАННЯ ВІБРАЦІЙНИХ ЗМІШУВАЧІВ	30

ТЕХНОЛОГІЇ ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

А. Л. СЛАВІНСЬКА ПІВСТОЛІТТЯ ОСВІТНЬО-НАУКОВОЇ ДІЯЛЬНОСТІ КАФЕДРИ ТЕХНОЛОГІЇ І КОНСТРУЮВАННЯ ШВЕЙНИХ ВИРОБІВ ХМЕЛЬНИЦЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ	34
С. Г. КУЛЕШОВА ПЕРЦЕПТИВНИЙ ПІДХІД ДО ОЗНАК ВІЗУАЛІЗАЦІЇ В МОДЕЛЮВАННІ ПРОЕКТНОГО РІШЕННЯ ОДЯГУ	40
О. М. ЛУЩЕВСЬКА, Л. В. БУХАНЦОВА, Л. В. КРАСНЮК, О. М. ТРОЯН, О. Й. ЯНЦАЛОВСЬКИЙ УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ПРОЕКТУВАННЯ АДАПТИВНОГО БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНОГО ОДЯГУ	47
А. Л. СЛАВІНСЬКА О. П. СИРОТЕНКО ЗАСТОСУВАННЯ ФРАКТАЛЬНОЇ СТРУКТУРИ В ОРНАМЕНТАХ УКРАЇНСЬКОЇ НАЦІОНАЛЬНОЇ ВИШИВКИ	57
І. О. ЗАСОРНОВА, О. С. ЗАСОРНОВ, В. С. КОСТЮК ВИБІР ВИДІВ АПЛІКАЦІЙ ДЛЯ ОЗДОБЛЕННЯ КОЛЕКЦІЇ «READY TO RAIN», ВИКОНАНОЇ В СТИЛІ SPORTCASUAL	64
Е. А. ЕЛЬНАШАР, О. В. ЗАХАРКЕВИЧ, А. В. СЕЛЕЗНЬОВА, С. Г. КУЛЕШОВА ОСОБЛИВОСТІ РОЗРОБКИ БАЗИ ДАНИХ ОДЯГУ МЕДИЧНОГО ПЕРСОНАЛУ	70
О. М. ДОМБРОВСЬКА, В. В. МИЦА ПЕРЕДПРОЕКТНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ФОРМЕНОГО ОДЯГУ КУХАРІВ ДЛЯ ЗАКЛАДІВ РЕСТОРАННОГО ГОСПОДАРСТВА	77
Л. В. КРАСНЮК, О. М. ТРОЯН, О. О. ЮЗЮК ПРОЕКТУВАННЯ ОДЯГУ З РУКАВОМ ПОКРОЮ РЕГЛАН З ПІДВИЩЕНИМ РІВНЕМ СТАТИЧНОЇ ВІДПОВІДНОСТІ	81

А. Л. СЛАВІНСЬКА, О. П. СИРОТЕНКО, Т. В. ПАШКО ФОРМУВАННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ УНІВЕРСАЛЬНОЇ КОНСТРУКЦІЇ ШТАНІВ НА ОСНОВІ АНТРОПОМЕТРИЧНОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ КОНСТРУКТИВНИХ ЗОН	88
О. А. ДІТКОВСЬКА АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД РИНКУ ДИТЯЧОГО ЗИМОВОГО ОДЯГУ ВІДОМИХ БРЕНДІВ	92
М. О. КУЩЕВСЬКИЙ, Ю. В. КОШЕВКО ВПЛИВ РІДИННО-АКТИВНОГО СЕРЕДОВИЩА НА ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ	99
О. П. КИЗИМЧУК, Л. М. МЕЛЬНИК, М. Ю. ГУСАР, А. А. ЛАТИШОВА ВЛАСТИВОСТІ ТРИКОТАЖНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ КОМПРЕСІЙНИХ ВИРОБІВ	103
О. В. ПАХОЛЮК, Г. О. ПУШКАР, І. С. ГАЛИК, Б. Д. СЕМАК ПРОБЛЕМИ ФОРМУВАННЯ ТА ОЦІНЮВАННЯ БІОСТІЙКОСТІ ТЕКСТИЛЬНИХ ЦЕЛЮЛОЗОВІСНИХ МАТЕРІАЛІВ	109
Т. А. НАДОПТА, І. Т. СОЛТИК, О. А. МИХАЙЛОВСЬКА ПРИНЦИПИ АНАЛІТИЧНОГО ПРОЕКТУВАННЯ БАЗОВОЇ ОСНОВИ ДЕТАЛЕЙ ВЕРХУ ВЗУТТЯ	114
Т. М. ЛИПСЬКИЙ ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ПРОГРЕСИВНИХ 3D ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ПРОЕКТУВАННЯ ВЗУТТЯ ЗА ІНДИВІДУАЛЬНИМ ЗАМОВЛЕННЯМ	120
Н. В. ПЕРВАЯ, О. А. АНДРЕЄВА, І. І. ЛОШКАРЬОВА СУЧАСНІ ТРЕНДИ ВДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСІВ РІДИННОГО ОЗДОБЛЕННЯ ШКІРИ	126
С. О. БУЗИНА, І. О. СІДАК ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ КОСМЕТИЧНИХ МИЙНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ВОЛОССЯ ПІД ЧАС ПРОВЕДЕННЯ СУДОВО-ТОВАРОЗНАВЧИХ ЕКСПЕРТИЗ	134
Т. В. ІВАНІШЕНА, О. О. ІВАНІШЕНА ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ БЕЗПЕЧНОСТІ ПАКУВАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ	142
РАДІОТЕХНІКА, ЕЛЕКТРОНІКА ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ	
О. С. ПИВОВАР, В. Д. БИДЮК, Я. В. ВЕРЖБИЦЬКИЙ МОДЕЛЮВАННЯ МЕТОДУ НЕЛІНІЙНОЇ РЕАКЦІЇ У СЕГМЕНТОВАНИХ КАБЕЛЬНИХ ЛІНІЯХ	147
І. І. ЧЕСАНОВСЬКИЙ, А. В. ТКАЧУК ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КОГЕРЕНТНО-ІМПУЛЬСНИХ СИГНАЛІВ НА ОСНОВІ ЗАСТОСУВАННЯ КОМПЛЕМЕНТАРНИХ КОДІВ	152
Т. М. МАНСУРОВ, Г. И. ГУЛИЕВА, Э. Т. МАНСУРОВ РАЗРАБОТКА ФОТОННОГО ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЯ НАПРАВЛЕНИЯ ПОТОКА КВАНТОВ И МЕТОДА РАСЧЕТА ЕГО ПАРАМЕТРОВ	159
О. В. ОСАДЧУК, В. В. МАРТИНЮК, Т. І. СИДОРУК, М. В. ЄВСЄЄВА СЕНСОР НА ОСНОВІ ГЕТЕРОМЕТАЛІЧНОЇ КОМПЛЕКСНОЇ СПОЛУКИ КУПРУМУ(II) З N,N'-БІС(САЛЦИЛІДЕН)ТІОСЕМИКАРБАЗИДОМ	169
О. О. РУБАНЕНКО, В. П. ЯНОВИЧ, І. О. ГУНЬКО ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИЧИН ПОШКОДЖЕННЯ СИНХРОННИХ ГЕНЕРАТОРІВ	176
Л. В. КАРПОВА1, О. О. БОЙКО, І. І. ЧЕСАНОВСЬКИЙ МОДЕЛЮВАННЯ НВЧ ПРИСТРОЇВ І АНТЕН В ЗАДАЧАХ ЇХ АНАЛІЗУ, СИНТЕЗУ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ	180

О. В. МАЗУРЕЦЬ МЕТОД АВТОМАТИЗОВАНОГО ФОРМУВАННЯ ТЕСТОВИХ ЗАВДАНЬ	189
О. В. ОСАДЧУК, Л. В. КРИЛИК, О. О. СЕЛЕЦЬКА МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ МІКРОЕЛЕКТРОННОГО ВИМІРЮВАЧА ВОЛОГОСТІ З ЧАСТОТНИМ ВИХОДОМ	195
В. І. ЛУЖАНСЬКИЙ, Л. В. КАРПОВА, Т. С. ШЕВЧУК ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ПОТУЖНОСТІ СИГНАЛУ НА ВХОДІ ПРИЙМАЧА МОБІЛЬНОЇ СТАНЦІЇ ВІД ПАРАМЕТРІВ БАЗОВОЇ СТАНЦІЇ ТА ВИЗНАЧЕННЯ МАКСИМАЛЬНО МОЖЛИВОГО РАДІУСА ЗОНИ ВПЕВНЕНОГО ПРИЙОМУ В МЕРЕЖІ LTE	199
О. В. МАЗУРЕЦЬ, О. Ю. ТИМУШ, А. П. ФЕДОРКО ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ТЕМАТИЧНОЇ КЛАСИФІКАЦІЇ ТЕКСТОВИХ ПОВІДОМЛЕНЬ	203
І. С. ПЯТІН, В. В. МІШАН, О. О. КУХАРЕЦЬ СИСТЕМА ЗВ'ЯЗКУ З QPSK МОДУЛЯЦІЄЮ І СИНХРОНІЗАЦІЄЮ НЕСУЧОЇ	211
В. Т. КОНДРАТОВ ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ МЕТРОЛОГИЯ: МАГНИТОПОЛЕВАЯ ТЕОРИЯ ИЗМЕРЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЯВЛЕНИЯ ПЕРЕНОСА ЭНЕРГИИ И ИНФОРМАЦИИ СКВОЗЬ МАТЕРИАЛ ИЛИ ВЕЩЕСТВО. ЧАСТЬ 8. ИЗМЕРЕНИЕ УДЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ПРОВОДЯЩИХ И СЛАБО ПРОВОДЯЩИХ МАТЕРИАЛОВ	218
В. С. ПЕТРУШАК РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАСОБУ ПОШУКУ МАКСИМАЛЬНИХ ЗНАЧЕНЬ ДЛЯ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ	230
В. І. СТЕЦЮК, В. В. МЕДВЕДЬ ПРОЕКТУВАННЯ СУЧАСНИХ ШИРОКОСМУГОВИХ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ	235
В. О. ПАРХОМЕНКО, В. П. РОЙЗМАН, А. В. ГОРОШКО АКУСТИКО-ЕМІСІЙНИЙ МЕТОД НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ І ПРОГНОЗУВАННЯ МІЦНОСТІ КОМПАУНДОВАНИХ КОНДЕНСАТОРІВ	239
Д. Ю. ЗУБЕНКО, О. Н. ПЕТРЕНКО, В. О. ОРЛОВ ТЕПЛОПЕРЕДАЧА ЗОВНІШНЬОГО ВЕНТИЛЯТОРА ОХОЛОДЖЕННЯ В ЕЛЕКТРОДВИГУНІ ВИСОКОЇ НАПРУГИ	243
Л. О. КОВТУН, Р. ФРАНЧУК, В. М. ТКАЧУК ВИБІР АРХІТЕКТУРИ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ НАВЧАЛЬНОЇ СИСТЕМИ	248
А. С. СВЕРСТЮК, О. А. БАГРІЙ-ЗАЯЦЬ, А. Б. ГОРКУНЕНКО, З. В. МАЙХРУК, О. В. МОЙСЕЄНКО РОЗРОБКА КІБЕРФІЗИЧНИХ БІОСЕНСОРНИХ СИСТЕМ ДЛЯ МЕДИКО-БІОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	252
К. Л. ГОРЯЩЕНКО, О. В. ШЕВЧУК ВИКОРИСТАННЯ ПРОГРАМНО-КОНФІГУРОВАНИХ МЕРЕЖ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ МЕРЕЖ В СТАНДАРТІ TMN	258
ОБМІН ПРАКТИЧНИМ ДОСВІДОМ, ТЕХНОЛОГІЯМИ ТА ОБГОВОРЕННЯ	
О. О. РУБАНЕНКО, В. П. ЯНОВИЧ, А. А. ВИДМИШ АНАЛІЗ РОБОТИ ВДЕ В РОЗПОДІЛЬНИХ МЕРЕЖАХ ТА ШЛЯХИ КОМПЕНСАЦІЇ ЇХ НЕСТАБІЛЬНОСТІ	264

О. В. BURYKIN, J. V. MALOHULKO, K. O. POVSTIANKO OPTIMIZATION OF CONNECTION SCHEMES AND OPERATING MODES FOR RENEWABLE ENERGY SOURCES IN LOCAL ELECTRIC SYSTEMS	270
Р. В. ХИНЕВИЧ, Д. Є. ЄРМОЛЕНКО, О. Л. ЯВОРСЬКИЙ ВІЗУАЛЬНІ ПЛАТФОРМИ ЯК СПОСІБ ПРОСУВАННЯ ВЛАСНОЇ ФОТОТВОРЧОСТІ ТА ВЗАЄМОДІЇ З АУДИТОРІЄЮ	275
С. Л. БУКОЄМСЬКИЙ АЛГОРИТМ ФУНКЦІОНУВАННЯ АДАПТИВНОЇ СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОЇ ПІДТРИМКИ ПАРКІВ ТЕХНІКИ ДПСУ	281
Ю. П. ЗАСПА СИЛЬНА, СЛАБКА ТА ЕЛЕКТРОМАГНІТНА СКЛАДОВІ МАСИ ЕЛЕКТРОНА, ПРОТОНА ТА НЕЙТРОНА, РОЗРАХОВАНІ ЗА УМОВИ ВИРІВНЮВАННЯ ВІДПОВІДНИХ ЕЛЕКТРОЗАРЯДОВИХ ТА МАГНІТНОЗАРЯДОВИХ РАДІУСІВ ЦИХ ПСЕВДОЕЛЕМЕНТАРНИХ ЧАСТИНОК	288
О. І. ХИЖАН, В. К. БУХТІЯРОВ, Л. О. КОВШУН МЕТОДОЛОГІЯ ФОРМУВАННЯ ЕЛЕКТРОННОГО НАВЧАЛЬНОГО КУРСУ З ДИСЦИПЛІНИ ФІЗИЧНА І КОЛОЇДНА ХІМІЯ	291
В. І. БУЛЬБА, С. В. МИХАЛКІВ МОДЕЛЮВАННЯ ПОШКОДЖЕНЬ ЕЛЕМЕНТІВ ПІДШИПНИКІВ КОЧЕННЯ ТЯГОВОГО РЕДУКТОРА ЕЛЕКТРОПОЇЗДІВ	296

DOI 10.31891/2307-5732-2019-277-5-7-12

УДК 669.1:537.5

М.Є. СКИБА, Н.М. СТЕЧИШИНА, Н.К. МЕДВЕДЧУК,
М.С. СТЕЧИШИН, В.В. ЛЮХОВЕЦЬ
Хмельницький національний університет

БЕЗВОДНЕВЕ АЗОТУВАННЯ У ТЛЮЧОМУ РОЗРЯДІ ЯК МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ КОНСТРУКЦІЙНИХ СТАЛЕЙ

В роботі розглянуто актуальність застосування поверхневих методів зміцнення деталей машин. Особливу увагу приділено сучасним методам зміцнення, заснованим на дії концентрованих потоків енергії на поверхні металів, зокрема методу без водневого азотування в тліючому розряді (БАТР). Розглянута історія виникнення та розвитку технологій азотування. Показані переваги БАТР, а також основний напрямок досліджень у Подільському науковому фізико-технологічному центрі при ХНУ, що базується на енергетичній теорії процесів БАТР.

Ключові слова: безводневе азотування в тліючому розряді (БАТР), технологічний процес, дифузія, зносостійкість, автономні і взаємопов'язані режими, структура, фазовий склад.

M.YE. SKYBA, N.M. STECHYSHYNA, N.K. MEDVEDCHUK, M.S. STECHYSHYN, V.V. LIUKHOVETS
Khmelnitskyi National University

HYDROGEN-FREE NITRIDING IN GLOW DISCHARGE AS METHOD OF IMPROVEMENT OF WEAR RESISTANCE OF STRUCTURAL STEELS

The paper considers the urgency of the use of surface methods for strengthening the parts of machines. Particular attention is paid to modern methods of strengthening (based on the action of concentrated energy streams on the surface of metals), in particular the method of hydrogen-free nitriding in glow discharge (HNGD). The history of emergence and development of nitrogen technologies are considered. The advantages of HNGD, as well as the main direction of research in the Podilsky Scientific Physics and Technology Center at KhNU are shown (which are based on the energy theory of HNGD processes). By ensuring the independence of the energy parameters of HNGD technology, wide additional possibilities appear for both the intensification of the process and the qualitative management of the consequences of the modification. In this case, regardless of the condition of temperature maintaining, it is possible to suppress or vice versa to intensify certain subprocesses, and through them to create different structures of the modified layer. The idea of the possibility of independent control and regulation of HNGD by mode and energy parameters is the basis of this work. In world practice, the problem of ensuring the independence of temperature from the energy parameters of the NGD mode is solved by the introduction of a heating source, which is alternative to a glow discharge. The most common hardware implementation of this approach is the use of so-called hot-wall cameras.

Key words: hydrogen-free nitriding in the glow discharge (HNGD), technological process, diffusion, wear resistance, autonomous and interrelated modes, structure, phase composition.

ВСТУП

Сучасний рівень розвитку машинобудування характеризується інтенсифікацією експлуатаційних режимів машин та обладнання, що значно підвищує вимоги до їх надійності та довговічності. Особливе місце під час вирішення цієї проблеми належить питанням зносостійкості, адже більшість машин (85...90 %) виходять з ладу не через поломки, а в результаті зношування поверхонь окремих деталей та вузлів [1]. Оскільки затрати на ремонт і технічне обслуговування машин у кілька разів перевищують їх вартість, це призводить до значних економічних збитків. Так, втрати коштів у машинобудуванні промислово розвинених держав, пов'язані з проблемою тертя і зношування, досягають 8 % національного доходу [2]. Втім, необхідність пошуку шляхів мінімізації цієї проблеми пояснюється не лише питанням економічної доцільності, але й прагненням дотримання принципу енергозбереження, адже за даними експертів від чверті до третини усієї виробленої людством протягом року енергії витрачається на подолання сил тертя у рухомих з'єднаннях машин [3].

Мета роботи – дослідження впливу процесів БАТР на структуру, фазовий склад і зносостійкість металів, історія виникнення та розвитку процесу азотування.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Розв'язання задачі зниження витрат потужності на тертя та зношування у машинах і підвищення їхньої надійності та довговічності – основний комплекс заходів, пов'язаний з вибором матеріалів пар тертя, а необхідність дотримання раціонального співвідношення між їхньою вартістю та належним рівнем експлуатаційних характеристик сприятиме зростанню ролі різних методів зміцнення поверхневих шарів, оскільки саме від стану поверхні залежить ресурс деталей машин.

Для отримання необхідних триботехнічних характеристик поверхонь тертя використовуються різноманітні технологічні методи модифікації матеріалів, основними з яких є термічна (ТО) та хіміко-термічна обробка (ХТО), поверхнево-пластична деформація, нанесення покриттів, електронно-променева та ультразвукова обробка, лазерне зміцнення та ін. [4–7].

Традиційно найбільш ефективними методами підвищення зносостійкості та механічних

властивостей сталей залишаються ТО та ХТО, що дозволяє суттєво змінювати структуру (або структуру, фазовий та хімічний склад), а отже й властивості металів і насамперед їх поверхонь у необхідному напрямку. Та в останні часи перевага надається впровадженню методів керованої модифікації поверхонь, заснованих на дії концентрованих потоків енергії на поверхні [8]. Найбільший розвиток отримали вакуумні, іонні та лазерні технології, що будучи перспективними з точки зору формування структури і властивостей, одночасно характеризуються і найменшою енергоємністю [9], тобто є найбільш економічно доцільними. Ці методи модифікації поверхонь пройшли кілька етапів, що призвели до створення великої кількості технічних рішень, обумовлених як специфікою процесів, так і конструктивними особливостями використовуваного обладнання.

Одним з найбільш освоєних та широко використовуваних у світовій практиці є метод безводневого азотування у тліючому розряді (БАТР).

Взагалі азотування – це процес дифузійного насичення поверхневого шару сталей і сплавів азотом при нагріванні у відповідному середовищі, що застосовується з метою підвищення зносостійкості, корозійної та корозійно-механічної зносостійкості, механічних і втомних характеристик, жаростійкості та жароміцності.

Перші систематичні дослідження процесу азотування були проведені на початку ХХ ст. Зокрема, була встановлена можливість взаємодії заліза з аміаком і виявлено підвищення поверхневої твердості та корозійної стійкості сталі при нагріванні в атмосфері аміаку. Основні принципи технології азотування сформульовані російським академіком М.П. Чижевським. Розроблені ним схема лабораторної установки та методика проведення експериментів стали прообразом обладнання для пічного азотування та технології процесу, що широко застосовувалися протягом усього ХХ ст. У роботі М.П. Чижевського [10] уперше були досліджені критичні точки в системі Fe–N, кінетичні закономірності процесу азотування, структура та властивості азотомістких сплавів заліза, описані властивості нітридів заліза, хрому, титану, алюмінію і т. д.

Початок промислового впровадження азотування пов'язаний з розробкою німецьким інженером А. Фрі спеціальних азотованих сталей (нітралоїв), які в результаті насичення мали високу поверхневу твердість [11]. Подальше освоєння процесу супроводжувалось вдосконаленням технологій, пошуками нових насичувальних середовищ, інтенсифікацією процесу, розширенням областей використання азотування тощо. На сьогодні, за даними міжнародного товариства з термічної обробки та покриттів металів [12], азотування є одним з основних методів зміцнення металів, використання якого постійно зростає.

Азотування має багато різновидів. Вибір процесу того чи іншого виду визначається технологічністю, можливістю регулювання фазового складу модифікованого шару, швидкістю насичення, тривалістю підготовчих стадій, рівнем автоматизації, вартістю, наявністю обладнання, дотриманням вимог з охорони довкілля тощо.

З огляду на все зростаючу важливість впливу на вартість обробки енергетичного фактора, надзвичайно перспективним слід визнати БАТР. Суть БАТР полягає в наступному: у розрідженій азотомісткій атмосфері між катодом (деталлю) та анодом (стінками вакуумної камери) збуджується аномальний тліючий розряд, що ініціює утворення активного середовища, що складається з іонів, нейтральних частинок, атомів і молекул робочої суміші, що знаходяться у збудженому стані і цей падаючий потік, бомбардуючи поверхню катода, нагріває її до температури насичення, що забезпечує формування на поверхні матеріалу азотованого шару. При цьому головним процесом, що модифікує поверхню, є дифузія [12]. Технологічний процес БАТР включає наступні операції [13]: знежирювання оброблюваних деталей; встановлення деталей на пристосування, які у разі потреби одночасно мають слугувати і для локального захисту від азотування; очищення поверхні деталі катодним розпорощенням; вихід на задану температуру азотування і витримка для отримання необхідної товщини шару.

Порівняно з такими розповсюдженими способами ХТО, як цементація, нітроцементація, ціанування і газове азотування у печах, метод БАТР має наступні переваги: істотне скорочення тривалості обробки; можливість отримання шарів заданої структури і фазового складу; мінімальна серед усіх відомих процесів даного класу енергоємність; відсутність формозміни оброблюваних об'єктів; можливість обробки глухих і наскрізних отворів; повторюваність результатів; екологічність, покращення санітарно-гігієнічних умов виробництва; зниження собівартості обробки.

БАТР відноситься до технологій універсального застосування, оскільки є ефективним методом модифікації не лише деталей з конструкційних сталей, але й штампової та ливарної оснастки, а також різального інструменту. Під час обробки конструкційних сталей БАТР дозволяє істотно знизити короблення та деформацію деталей, які неминуче виникають при інших видах ХТО, наприклад, при цементації та нітроцементації. Останнє дозволяє уникнути фінішної обробки, і відповідно, зменшення товщини модифікованого шару. Для деяких виробів, наприклад, довгомірних валів, шестерень великого діаметра, БАТР є єдиним способом отримання готового виробу з мінімальною кількістю браку.

Промислове застосування методу азотування в тліючому розряді (АТР) почалося у 50–60-х роках ХХ ст., після того, як Б. Берхгаузом було отримано перший патент на винайдений ним спосіб стабілізації тліючого розряду “сильного” струму [11].

Слід зазначити, що спочатку технологія отримала назву азотування в тліючому розряді, проте поступово цей термін трансформувался в поняття “іонне азотування” та “іонно-плазмове азотування”, що в принциповому плані не зовсім коректно. По-перше, оскільки іони є суттєвим фактором не лише цієї

технології [14], а по-друге, головні субпроцеси, що є характерними та визначальними для результатів обробки, відбуваються в області катодного падіння, яка за визначенням не може бути плазмою, оскільки плазма відповідає квазінейтральному стану іонізованого середовища. Крім того, встановлено, що істотну роль в модифікації металевої поверхні відіграють не тільки заряджені частинки, якими є іони, що бомбардують поверхню, але й швидкі нейтральні частки, що виникають у газовому середовищі в результаті резонансної перезарядки [15]. З огляду на вище зазначені положення більш коректним є саме початковий термін – азотування в тліючому розряді.

Теоретичні основи фізики газового розряду, у тому числі й тліючого, розглянуті у роботах [16, 17].

На теренах колишнього СРСР метод АТР почали вивчати у 1962 р. Розробки наукових основ процесу, промислових технологій та обладнання були виконані школами Ю.М. Лахтіна, Б.М. Арзамасова та Каплуна В.Г. [11, 13, 18]. Зокрема були детально вивчені умови створення оптимального тліючого розряду в установках для ХТО і його вплив на активацію хімічних процесів, встановлені залежності параметрів дифузійного шару залежно від режиму АТР, розроблена і впроваджена у виробництво ціла гамма обладнання різних конструктивних схем та призначення. У 70-і роки Ю.М. Лахтін та Я.Д. Коган виконали систематичні дослідження з уточнення структури моделі азотованого шару [19], у результаті чого була запропонована модель, що передбачає поділ азотованого шару на зону сполук (нітридний шар у поверхневій зоні, що може бути представлений ϵ -фазою – $Me_{2-3}N$ або γ' -фазою – Me_4N) та дифузійну зону, що розташована під зоною сполук – зона внутрішнього азотування (азотистий α -твердий розчин $\alpha-Me_{[N]}$).

Виклад основного матеріалу. Отже, БАТР, дозволяє отримати модифікований шар заданої структури та фазового складу: на основі азотистого α -твердого розчину як із зовнішньою нітридною зоною, так і без неї, або ж нітридну зону на основі лише ϵ - або лише γ' -фази. Товщина та фазовий склад модифікованого шару визначають властивості азотованої сталі. Нітридна зона, що містить лише γ' -фазу, характеризується достатньо високою пластичністю, зона ж, що містить ϵ -фазу, має меншу пластичність, але вищу корозійну стійкість. Однофазна нітридна зона покращує механічні властивості азотованої поверхні на відміну від двофазної ($\epsilon + \gamma'$) зони, що характеризується підвищеною крихкістю. Втім, при високій швидкості тертя (вище 3 м/с) зона ($\epsilon + \gamma'$) відіграє позитивну роль, запобігаючи адгезійній взаємодії деталей пари тертя [18]. Найвища пластичність відповідає шару без нітридної зони. В цілому, чим тоншою є нітридна зона, тим більш пластичним є азотований шар, але тим нижчий опір абразивному зношуванню, особливо в умовах сухого тертя.

Наведені положення свідчать про те, що товщина і фазовий склад модифікованого шару мають регулюватися з урахуванням конкретних умов експлуатації деталі. Так, для деталей, що працюють у корозійному середовищі та в умовах зношування при малих контактних навантаженнях необхідний азотований шар із розвинутою нітридною зоною, що забезпечує високий опір корозії і припрацювання поверхонь тертя.

Азотований шар без нітридної зони рекомендується для деталей, що працюють при високих динамічних навантаженнях в умовах зношування при високому тиску; корозійна стійкість та опір абразивному зношуванню в умовах сухого тертя при цьому будуть знижені [12].

Регулювання процесу зміцнення поверхні при БАТР здійснюється шляхом варіювання технологічними зміною параметрів азотування, які поділяються на дві групи – режимні (температура поверхні, тиск у розрядній камері, склад газової суміші, тривалість насичення) та енергетичні (густина струму і напруга на електродах розрядної камери). Крім того, на результати азотування впливають міжелектродна відстань, конфігурація деталей, їх розміри та спосіб розташування у садці [18]. Вплив режимних параметрів азотування на товщину, фазовий склад та властивості модифікованого шару проаналізовано у роботах [11, 13, 18, 20 та ін.], а саме:

– Вплив температури. Азотування конструкційних сталей у тліючому розряді, як правило, проводять при температурах від 500 °С до 600 °С, що не викликає небажаних фазових перетворень, які призводять до значних деформацій деталей [18].

Сталі, з яких виготовляють деталі, що працюють на зношування при невеликих контактних навантаженнях (сталі 20, 45, 20X, 40X та ін.), азотують при температурах від 520 °С до 570 °С (залежно від способу попередньої термообробки). При цьому значного підвищення твердості не відбувається, але покращуються антифрикційні властивості, опір знакозмінним навантаженням та корозії.

Леговані сталі, що застосовуються для виготовлення деталей, експлуатаційна надійність яких визначається поверхневою твердістю (наприклад, сталь 38X2MЮА), зазвичай азотуються при температурах від 500 °С до 520 °С [13]. При температурах насичення вище 550 °С твердість поверхні знижується. Взагалі збільшення вмісту легуючих елементів сприяє підвищенню поверхневої твердості модифікованого шару, але його товщина при цьому зменшується. Товщина азотованого шару конструкційних сталей, причому як нітридної, так і дифузійної зони, з підвищенням температури збільшується, однак при температурах вище 600 °С вона може зменшуватись внаслідок виникнення на катоді явища термоелектронної емісії.

– Вплив складу газової суміші. Більшість технологічних операцій БАТР проводилися в атмосфері аміаку, що не тільки призводило до екологічних проблем, але й сприяло насиченню поверхні воднем, викликаючи тим самим окрихчення поверхні металу. Тим не менш аміак і по сьогодні знаходить широке застосування у якості робочої суміші при проведенні БАТР (в установках виробництва Росії та Болгарії). Для сучасних західноєвропейських та американських установок більш характерним є використання газової

суміші азоту і водню, до якої за необхідності можуть додаватися аргон, метан чи пропан.

При азотуванні в аміаку утворюється модифікований шар з поверхневою нітридною зоною, що переважно складається з γ' -фази. Отримання дифузійного шару безнітридної зони досягається за рахунок розведення аміачної або азотно-водневої атмосфери аргонном. Введення аргону до газової суміші у кількості менше 40 % не впливає на товщину структурних складових азотованого шару, при подальшому збільшенні його вмісту відбувається зменшення товщини нітридної зони і збільшення зони внутрішнього азотування. При 80 % аргону нітридна зона не утворюється взагалі, подальше розбавлення суміші аргонном призводить до зменшення товщини азотованого шару [12].

У [11] наведені залежності глибини азотованого шару від складу насичуючого середовища при безводневому азотуванні в тліючому розряді (БАТР). Зберігаючи всі основні переваги азотування у водневомістких середовищах, БАТР підвищує пластичні властивості поверхні за рахунок виключення явища водневого окрихчення, додатково знижує витрату енергії та матеріалів, поліпшує умови праці та є екологічно чистим.

- Вплив тиску. Залежність товщини модифікованого шару від тиску в газорозрядній камері має екстремальний характер. Підвищення тиску робочої атмосфери зменшує інтенсивність процесу катодного розпорощення поверхневих шарів металу, що приводить до утворення і росту нітридної зони, яка справляє бар'єрний ефект на дифузійний рух азоту вглибину металу. З іншого боку, значне зниження тиску, інтенсифікуючи процес катодного розпорощення, може призвести до повного припинення процесу дифузійного насичення. Таким чином, для будь-якого процесу АТР існує оптимальний тиск p_{opt} робочого газу, що забезпечує його найбільшу насичуючу здатність, а отже й отримання азотованого шару найбільшої товщини.

Досліджуючи вплив тиску на глибину модифікованого шару при БАТР, Каплун В.Г. зазначає, що для певних умов азотування існує оптимальне значення тиску, що забезпечує максимальну глибину азотування. Зі зміною температури процесу та складу насичуючого середовища значення оптимальних тисків змінюються [11].

- Вплив тривалості процесу. У результаті численних експериментальних досліджень було встановлено, що залежність товщини шару h від тривалості насичення τ підкоряється параболічному закону [18]. Таким чином, з часом швидкість зростання товщини шару зменшується аж до повного припинення.

- Вплив енергетичних параметрів. Якщо вплив режимних параметрів на результати БАТР досліджувався багатьма вченими, то енергетичні параметри, за поодинокими виключеннями [20, 21], у спеціальній як вітчизняній, так і зарубіжній літературі, взагалі не фігурують. Як це не дивно, але питання впливу напруги та густини струму на структуру та фазовий склад азотованого шару, його глибину, товщину нітридної зони, твердість модифікованої поверхні, її трибологічні характеристики залишилося поза увагою дослідників. Ігнорування основних кількісних характеристик тліючого розряду, що виступає у якості інтенсифікатора елементарних підпроцесів, які відповідають за утворення модифікованого шару, по суті означає нехтування специфікою БАТР, наслідком чого є втрата тих унікальних можливостей керування процесом модифікації, які становлять чи не основну перевагу цієї технології порівняно з іншими видами азотування.

Разом з тим, вирішальна роль енергетичних параметрів у процесі АТР ніколи не ставилася під сумнів. Так, у роботі [18] вони названі "найважливішими факторами керування дифузійним насиченням в умовах існування тліючого розряду", де у якості додаткового технологічного фактора керування процесом БАТР було названо питому потужність тліючого розряду.

Наведені у роботі [20] результати досліджень свідчать про існування екстремальної залежності між питомою потужністю розряду та його загальним тиском. Автори зазначають, що тиск газового середовища, який відповідає максимальній питомій потужності розряду, забезпечує отримання модифікованого шару найбільшої в заданих умовах товщини. Втім, слід зауважити, що наведені висновки базуються на результатах дослідів з азотування мідних трубок довжиною 30 мм внутрішнього діаметра 1,6; 3,6 та 5,7 мм, але специфіка азотування отворів малого діаметра, пов'язана з ефектом полого катоду [21], навряд чи дозволяє поширювати його результати на деталі будь-якої конфігурації. Так, наші дослідження [20] не підтверджують наявності екстремальної залежності між тиском газової суміші та густиною потужності розряду (рис. 1).

У будь-якому випадку можна констатувати, що питання впливу на характеристики азотованого в тліючому розряді шару енергетичних характеристик – напруги на електродах камери та густини струму – у спеціальній літературі залишається невисвітленим, а тому потребує проведення подальших досліджень.

Аналізуючи вплив параметрів технологічного режиму процесу АТР на його результати, варто зауважити, що усі вони є взаємозалежними та взаємопов'язаними. Так, склад газової суміші впливає на напругу запалювання тліючого розряду, а зміна напруги і густини струму впливає на температуру процесу насичення та тиск газового середовища [18].

Очевидно, що при забезпеченні незалежності параметрів технології відкриваються широкі додаткові можливості як для інтенсифікації процесу, так і для якісного керування наслідками модифікації. У цьому випадку, наприклад, незалежно від умови підтримання температури можливе пригнічення або, навпаки, інтенсифікація тих чи інших субпроцесів, а через них – створення різних структур модифікованого шару [12].

У світовій практиці проблема забезпечення незалежності температури від енергетичних параметрів режиму АТР вирішується введенням джерела підігріву, альтернативного тліючому розряду. Найбільш розповсюдженим варіантом апаратної реалізації цього підходу є використання так званих камер “з гарячими стінками”. Ключова особливість конструкції цих камер, що відрізняє їх від камер “з холодними стінками”, в яких температура садки забезпечується виключно розрядом, відображена вже у самій їхній назві – стінки таких камер підігріваються спеціальними електричними пристроями, що дозволяє реалізувати процес АТР в області більш низьких напруг і таким чином уникнути ризику виникнення дугового розряду, який може пошкодити модифіковану поверхню.

Суттєве спрощення керування процесом є ключовим моментом, на якому зосереджують увагу автори, описуючи переваги вказаного типу обладнання, але при цьому жоден з них не підіймає питання, яким чином зниження енергетичних параметрів позначається на характеристиках модифікованого шару.

ВИСНОВКИ

На сьогоднішній день активні теоретичні та експериментальні дослідження процесів БАТР проводяться в Подільському науковому фізико-технологічному центрі при Хмельницькому національному університеті. Наукові та практичні дослідження опираються на енергетичну теорію проходження процесів БАТР, що дозволило значно розширити технологічні рамки азотування за рахунок автономності енергетичних характеристик азотування (густини струму та напруження в газорозрядній камері) [20, 21].

Література

1. Елагина О. Ю. Технологические методы повышения износостойкости деталей машин : учеб. пособие / О. Ю. Елагина. – М. : Университетская книга ; Логос, 2009. – 488 с.
2. Закалов О. В. Основы тертя і зношування у машинах : навчальний посібник / О. В. Закалов, І. О. Закалов. – Тернопіль : Вид-во ТНТУ ім. І. Пулюя, 2011. – 322 с.
3. Сафонов Б. П. Инженерная трибология: оценка износостойкости и ресурса трибоспращений : учеб. пособие / Б. П. Сафонов, А. В. Бегова. – Новомосковск : РХТУ, 2004. – 65 с.
4. Современная трибология: итоги и перспективы / отв. ред. К. В. Фролов. – М. : изд-во ЛКИ, 2008. – 480 с.
5. Трение и модифицирование материалов трибосистем / Ю. К. Машков, К. Н. Полещенко, С. Н. Поворознюк, П. В. Орлов. – М. : Наука, 2000. – 280 с.
6. Беркович И. И. Трибология. Физические основы, механика и технические приложения / И. И. Беркович, Д. Г. Громаковский. – Самара : СГТУ, 2000. – 268 с.
7. Шевеля В. В. Трибохимия и реология износостойкости : монография / В. В. Шевеля, В. П. Олександренко. – Хмельницький : ХНУ, 2006. – 278 с.
8. Прусаков Б. А. Проблемы материалов в XXI веке / Б. А. Прусаков // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2001. – № 1. – С. 3–5.
9. Чижевский В. П. Железо и азот / В. П. Чижевский // Известия Томского технологического института. – 1913. – Т. 31. – № 3. – С. 1–91.
10. Гурвич Л. М. Современные энергосберегающие технологии термообработки / Л. М. Гурвич, И. Г. Терещенко // Оборудование и технологии термической обработки металлов и сплавов в машиностроении : труды научно-практического симпозиума. – Харьков, 2000. – С. 219–221.
11. Каплун В. Г. Ионное азотирование в безводородных средах : монография / В. Г. Каплун, П. В. Каплун. – Хмельницький : ХНУ, 2015. – 315 с.
12. Лахтин Ю. М. Теория и технология азотирования / Ю. М. Лахтин, Я. Д. Коган, Г. И. Шпис, З. Бёмер. – М. : Металлургия, 1991. – 320 с.
13. Лахтин Ю. М. Химико-термическая обработка металлов : учебное пособие для вузов / Ю. М. Лахтин, Б. Н. Арзамасов. – М. : Металлургия, 1985. – 256 с.
14. Андреев А. А. Азотирование сталей в газовом дуговом разряде низкого давления / А. А. Андреев, В. М. Шулаев, Л. П. Саблев // Физическая инженерия поверхности. – 2006. – № 3–4. – С. 191–197.
15. Пастух И. М. Азотирование в тлеющем разряде: состояние и перспективы / И. М. Пастух, Г. Н. Соколова, Н. В. Лукьянюк // Проблемы трибологии. – 2013. – № 3. – С. 18–22.
16. Райзер Ю. П. Физика газового разряда : учеб. руководство / Ю. П. Райзер. – М. : Наука, 1987. – 592 с.
17. Кудрявцев А. А. Физика тлеющего разряда : учебное пособие / А. А. Кудрявцев, А. С. Смирнов, Л. Д. Цендин. – СПб : Лань, 2010. – 512 с.
18. 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.

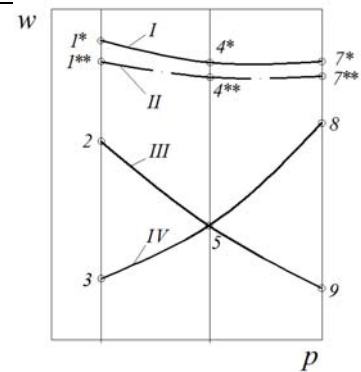


Рис. 1. Залежність питомої потужності розряду w від тиску газової суміші: I, II – без додаткового нагріву; III, IV – з автономними режимами (з додатковим нагрівом зразків)

19. Развитие азотирования в России. Третий период (1960–1980 гг.): Низкотемпературная химико-термическая обработка / О. А. Банных, В. М. Зинченко, Б. А. Прусаков, В. Я. Сыропятов // *Металловедение и термическая обработка металлов*. – 2000. – № 5. – С. 18–26.

20. Скиба М. Є. Дослідження процесів безводневого азотування в тліючому розряді / М. Є. Скиба, М. С. Стечишин, В. П. Олександренко, В. С. Курської, А. В. Мартинюк // *Проблеми трибології*. – Хмельницький. – 2018. – № 2. – С. 6–16.

21. Пастух И. М. Теория и практика безводородного азотирования в тлеющем разряде / Пастух И. М. – Х. : ННЦ ХФТИ, 2006. – 364 с.

References

1. Elagina O. Yu. Tehnologicheskie metody povysheniya iznosostojkosti detalej mashin : ucheb. posobie / O. Yu. Elagina. – M. : Universitetskaya kniga ; Logos, 2009. – 488 s.
2. Zakalov O. V. Osnovy tertiya i znoshuvannya u mashynakh : navchalnyi posibnyk / O. V. Zakalov, I. O. Zakalov. – Ternopil : Vyd-vo TNTU im. I. Puliuiia, 2011. – 322 s.
3. Safonov B. P. Inzhenernaya tribologiya: ocenka iznosostojkosti i resursa tribospyazhenij : ucheb. posobie / B. P. Safonov, A. V. Begova. – Novomoskovsk : RHTU, 2004. – 65 s.
4. Sovremennaya tribologiya: itogi i perspektivy / otv. red. K. V. Frolov. – M. : izd-vo LKI, 2008. – 480 s.
5. Trenie i modifizirovanie materialov tribosistem / Yu. K. Mashkov, K. N. Poleshenko, S. N. Povoroznyuk, P. V. Orlov. – M. : Nauka, 2000. – 280 s.
6. Berkovich I. I. Tribologiya. Fizicheskie osnovy, mehanika i tehniczeskie prilozheniya / I. I. Berkovich, D. G. Gromakovskij. – Samara : SGTU, 2000. – 268 s.
7. Shevelya V. V. Tribohimiya i reologiya iznosostojkosti : monografiya / V. V. Shevelya, V. P. Oleksandrenko. – Hmelnickij : HNU, 2006. – 278 s.
8. Prusakov B. A. Problemy materialov v HHI veke / B. A. Prusakov // *Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallov*. – 2001. – № 1. – S. 3–5.
9. Chizhevskij V. P. Zhelezo i azot / V. P. Chizhevskij // *Izvestiya Tomskogo tehnologicheskogo instituta*. – 1913. – T. 31. – № 3. – S. 1–91.
10. Gurvich L. M. Sovremennye energosberegayushie tehnologii termoobrabotki / L. M. Gurvich, I. G. Tereshenko // *Oborudovanie i tehnologii termicheskoy obrabotki metallov i splavov v mashinostroenii : trudy nauchno-prakticheskogo simpoziuma*. – Harkov, 2000. – S. 219–221.
11. Kaplun V. G. Ionnoe azotirovanie v bezvodnorodnyh sredah : monografiya / V. G. Kaplun, P. V. Kaplun. – Hmelnickij : HNU, 2015. – 315 s.
12. Lahtin Yu. M. Teoriya i tehnologiya azotirovaniya / Yu. M. Lahtin, Ya. D. Kogan, G. I. Shpis, Z. Byomer. – M. : Metallurgiya, 1991. – 320 s.
13. Lahtin Yu. M. Himiko-termicheskaya obrabotka metallov : uchebnoe posobie dlya vuzov / Yu. M. Lahtin, B. N. Arzamasov. – M. : Metallurgiya, 1985. – 256 s.
14. Andreev A. A. Azotirovanie stalej v gazovom dugovom razryade nizkogo davleniya / A. A. Andreev, V. M. Shulaev, L. P. Sablev // *Fizicheskaya inzheneriya poverhnosti*. – 2006. – № 3–4. – S. 191–197.
15. Pastuh I. M. Azotirovanie v tleyushem razryade: sostoyanie i perspektivy / I. M. Pastuh, G. N. Sokolova, N. V. Lukyanuk // *Problemy tribologii*. – 2013. – № 3. – S. 18–22.
16. Rajzer Yu. P. Fizika gazovogo razryada : ucheb. rukovodstvo / Yu. P. Rajzer. – M. : Nauka, 1987. – 592 s.
17. Kudryavcev A. A. Fizika tleyushego razryada : uchebnoe posobie / A. A. Kudryavcev, A. S. Smirnov, L. D. Cendin. – SPb : Lan, 2010. – 512 s.
18. Ionnyaya himiko-termicheskaya obrabotka splavov / B. N. Arzamasov, A. G. Bratuhin, Yu. S. Eliseev, T. A. Panajoti. – M. : Izd-vo MGTU im. N. E. Bauman, 1999. – 400 s.
19. Razvitie azotirovaniya v Rossii. Tretij period (1960–1980 gg.): Nizkotemperaturnaya himiko-termicheskaya obrabotka / O. A. Bannyh, V. M. Zinchenko, B. A. Prusakov, V. Ya. Syropyatov // *Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallov*. – 2000. – № 5. – S. 18–26.
20. Skyba M. Ye. Doslidzhennia protsesiv bezvodnevoho azotuvannya v tliiuchomu rozriadi / M. Ye. Skyba, M. S. Stechyshyn, V. P. Oleksandrenko, V. S. Kurskoi, A. V. Martyniuk // *Problemy trybolohii*. – Khmelnytskyi. – 2018. – № 2. – S. 6–16.
21. Pastuh I. M. Teoriya i praktika bezvodnorodnogo azotirovaniya v tleyushem razryade / Pastuh I. M. – H. : NNC HFTI, 2006. – 364 s.

Рецензія/Peer review : 17.05.2019 р.

Надрукована/Printed : 23.07.2019 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

Ю.В. БАТЫГИН, С.А. ШИНДЕРУК, Е.А. ЧАПЛЫГИН, А.А. КОРЯК, А.В. ДОВГИЙ
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

ЦИЛИНДРИЧЕСКАЯ ИНДУКТОРНАЯ СИСТЕМА С ВНЕШНИМ БИФИЛЯРНЫМ СОЛЕНОИДОМ. РАСЧЁТНЫЕ СООТНОШЕНИЯ

Рассмотрена идея исполнения индукторной системы с индуктором, размещённым внутри коаксиального соленоида, обмотка которого выполнена в виде бифиляра с противоположно направленными токами. Получены расчётные соотношения для теоретического анализа и численных оценок характеристик электромагнитных процессов в такой системе. Результаты исследований могут быть использованы при выборе конструктивных решений новых схем оборудования магнитно-импульсной обработки металлов.

Ключевые слова: индукторная система, бифилярная катушка, соленоид, магнитно-импульсная обработка, электромагнитные процессы.

YU.V. BATYGIN, S.A. SHINDERUK, E.A. CHAPLYGIN, A.A. KORYAK, A.V. DOVGY
Kharkiv National Automobile and Highway University

CYLINDRICAL INDUCTOR SYSTEM WITH EXTERNAL BIFILAR SOLENOID. CALCULATED RATIOS

The aim of the research is to obtain the calculated dependencies for the numerical characteristics of the inductor system, the solenoid winding of which is made in the form of a bifilar with oppositely directed currents. Information on the practical application and calculations of bifilar designs in modern electrical devices for various purposes was analysed. The expediency of using inductor systems with external bifilar coils in the circuit elements of modern metal processing equipment is substantiated. Of particular practical interest is the bifilar as an element of equipment for magnetic pulse metal processing. Calculated ratios are obtained for theoretical analysis and numerical estimates of the characteristics of electromagnetic processes in a cylindrical inductor system, where the inductor is located inside a coaxial solenoid, the winding of which is made in the form of a bifilar with oppositely directed currents. In this case, the excited magnetic fluxes are subtracted outside the windings, which ultimately leads to a decrease in the resulting field, which will be less than the magnetic field of each of the currents separately, which ultimately means a decrease in the coil inductance as an element of the electrical circuit. It is shown that the obtained formulas for fields and currents when changing the sign of the corresponding algebraic term remain valid for the case of unidirectional currents. The found dependences for the voltages and current induced in the bifilar winding are represented by expressions in L – space that can be converted to explicit time dependences by numerical or analytical methods depending on the calculation conditions for a particular design of the inductor system. The novelty of the present work consists in proposing the idea of constructive execution of the inductor system itself, its physical and mathematical model and obtaining design relationships for the analysis of ongoing electromagnetic processes with numerical estimates of the characteristics of the excited fields. Thus, the proposed design of the inductor system and the resulting calculated dependencies can be used in the design of new equipment for magnetic-pulse metal processing.

Keywords: inductor system, bifilar coil, solenoid, magnetic-pulsed forming, electromagnetic processes.

Введение

Бифилярной является катушка, намотанная двумя параллельными проводниками, расположенными рядом друг с другом на одном общем каркасе, и изолированными друг от друга на всем протяжении намотки. И как бы ни была намотана бифилярная катушка, при включении в электрическую цепь будет реализован один из двух вариантов взаимодействия токов в двух её проводниках. Первый вариант, когда протекающие токи – однонаправлены. В этом случае вне намоток возбуждаемые магнитные потоки складываются, что приводит к увеличению результирующего поля, которое будет больше магнитного поля каждого из токов бифиляра в отдельности. Второй вариант, когда протекающие токи – разнонаправлены. В этом случае вне намоток возбуждаемые магнитные потоки вычитаются, что в итоге ведёт к уменьшению результирующего поля, которое будет меньше магнитного поля каждого из токов в отдельности, что в конечном итоге означает снижение величины индуктивности катушки, как элемента электрического контура [1].

Анализ публикаций и постановка задачи

Впервые термин «бифилярная катушка» упоминается Николой Тесла в патенте США [2], где данная конструкция намотки была предложена для придания цепям большей собственной емкости и позволяла отказаться от применения дорогостоящих конденсаторов. В своих лекциях ученый упоминал бифилярные катушки именно как инструмент повышения собственной емкости зарядных и рабочих цепей различного высокочастотного оборудования, которое он разрабатывал как для питания эффективных источников света, так и для передачи энергии на расстояние без проводов [3].

В современной электронной технике такие приспособления часто используют как один из способов создания проволочных резисторов с достаточно малой индуктивностью [4]. Бифилярные катушки могут использоваться, например, для генерации магнитных импульсов любой формы и длительности, увеличения широкополосности и устранения нежелательных резонансов в радиотехнических устройствах и др. [5]. Бифилярная неиндуктивная катушка является существенным элементом резистивного сверхпроводящего ограничителя тока, включая токи короткого замыкания (FCL, SFCL) [6, 7]. Так называемые «открытые бифилярные соленоиды» (Open Bifilar Coils) применяются в промежуточных схемах систем беспроводной передачи энергии [8]. Разработкам физико-математических моделей электромагнитных процессов в соленоидах разной геометрии, рассматриваемых в качестве источников сильных полей для технологических

целей и полей излучения в передающих устройствах, посвящены работы [9, 10].

Для схем оборудования магнитно-импульсной обработки металлов представляют практический интерес исследования систем, в которых бифилярные катушки размещаются либо внутри, либо поверх многовитковых цилиндрических индукторов [11, 12].

Цель настоящей работы – вывод расчётных соотношений для теоретического анализа и численных оценок характеристик электромагнитных процессов в цилиндрической системе, где индуктор размещён внутри коаксиального соленоида, обмотка которого выполнена в виде бифиляра с противоположно направленными токами.

Научная новизна состоит в предложении идеи конструктивного исполнения собственно индукторной системы, её физико-математической модели и получении расчётных соотношений для анализа протекающих электромагнитных процессов с численными оценками характеристик возбуждаемых полей, что позволит обосновать практическую дееспособность предложенной индукторной системы.

Расчётные соотношения

При решении поставленной задачи примем следующие допущения.

- Расчётная модель исследуемой системы представлена на рис. 1.

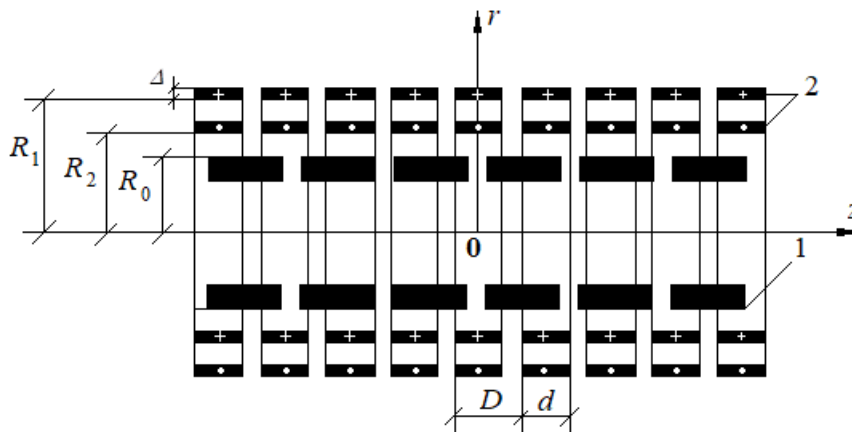


Рис. 1. Расчётная модель индукторной системы с внешней бифилярной обмоткой

- В принимаемой цилиндрической системе координат индукторная система является достаточно протяжённой (краевыми эффектами пренебрегаем) и аксиально-симметричной, так что $\frac{\partial}{\partial \varphi} = 0$,

φ – азимутальный угол.

- Внутренний индуктор отключён, его витки выполнены из металла с высокой электропроводностью, достаточно плотно прилегают друг к другу, так что их внешнюю поверхность (R_0 – радиус) можно считать сплошной поверхностью из идеального проводника.

- В продольном направлении бифилярная обмотка представляет собой периодическую структуру, где D – шаг намотки, d – ширина витков.

- Витки бифилярной обмотки из металлической ленты (R_1, R_2 – радиусы внутренней и внешней её частей) не влияют на протекающие электромагнитные процессы, так как они «прозрачны» для возбуждаемых полей, их радиальная толщина $\Delta \rightarrow 0$, что позволяет представить поперечную структуру обмотки дельта-функциями Дирака – $\delta(r - R_{1,2})$ [13].

- Бифиляр возбуждается гармоническим током с плотностью $j_\varphi(t, r, z) = j_m \cdot \sin(\omega t) \cdot f(r) \cdot g(z)$, где j_m – амплитуда линейной плотности возбуждающего тока, ω – циклическая частота, t – время, $f(r), g(z)$ – функции радиального и продольного распределений.

- Временные параметры возбуждающего тока удовлетворяют квазистационарному приближению по Ландау – $\frac{\omega}{c} \cdot \ell \ll 1$ [14], где c – скорость света в вакууме, ℓ – максимальный размер в системе.

Уравнения Максвелла ($E_\varphi \neq 0, H_{r,z} \neq 0$) для возбуждаемых составляющих вектора электромагнитного поля, преобразованных по Лапласу с учётом нулевых начальных условий, имеют вид [11,12,14]:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial H_r(p, r, z)}{\partial z} - \frac{\partial H_z(p, r, z)}{\partial r} = j_\varphi(p, r, z) + p\varepsilon_0 E_\varphi(p, r, z); \\ \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} (r \cdot E_\varphi(p, r, z)) = -\mu_0 \cdot p \cdot H_z(p, r, z); \\ \frac{\partial E_\varphi(p, r, z)}{\partial z} = \mu_0 \cdot p \cdot H_r(p, r, z); \end{array} \right. \quad (1)$$

где p – параметр преобразования Лапласа;

$$E_\varphi(p, r, z) = L\{E_\varphi(t, r, z)\}; \quad H_{r, z}(p, r, z) = L\{H_{r, z}(t, r, z)\};$$

$$j_\varphi(p, r, z) = L\{j_\varphi(t, r, z)\}; \quad j_\varphi(p, r, z) – \text{плотность тока в бифиляре.}$$

Согласно принятым допущениям плотность тока в бифиляре и его L -образ в правой части уравнения (1) можно представить косинус разложением Фурье по продольной координате – z [13]:

$$\left\{ \begin{array}{l} g(z) = \sum_{n=0}^{\infty} a_n^* \cdot \cos(\Omega_n \cdot z), \\ j_\varphi(p, r, z) = j_m \cdot \left(\frac{\omega}{p^2 + \omega^2} \right) \cdot f(r) \cdot \sum_{n=0}^{\infty} a_n^* \cdot \cos(\Omega_n \cdot z), \\ f(r) = [\delta(r - R_1) - \delta(r - R_2)], \end{array} \right. \quad (4)$$

где $\Omega_n = \frac{2\pi}{D} \cdot n$;

$$a_n^* = \begin{cases} \frac{d}{D}, & n = 0, \\ \frac{2}{\pi n} \cdot \sin\left(\pi n \cdot \frac{d}{D}\right), & n = 1, 2, 3, \dots \end{cases}$$

В случае однонаправленных токов в обмотках бифиляра функция радиального распределения записывается в виде $f(r) = [\delta(r - R_1) + \delta(r - R_2)]$.

Из дифференциальных уравнений (1)–(3) с учётом выражения (4) в рамках принятых допущений получим уравнения для азимутальной компоненты напряжённости электрического поля $E_\varphi(p, r, z)$ [13].

$$\frac{\partial^2 E_\varphi(p, r, z)}{\partial z^2} + \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r E_\varphi(p, r, z)) \right) - k^2(p) E_\varphi(p, r, z) = \mu_0 p \cdot j_\varphi(p, r, z), \quad (5)$$

где $k(p) = \frac{p}{c}$ – волновое число, c – скорость света в вакууме.

Согласно продольной зависимости возбуждающего тока в виде косинус-разложения Фурье (4), $E_\varphi(p, r, z)$ в уравнении (5) можно представить аналогичным разложением [13, 14].

$$E_\varphi(p, r, z) = \left(\frac{\omega}{p^2 + \omega^2} \right) \cdot \sum_{n=0}^{\infty} E_n(r) \cdot \cos(\Omega_n \cdot z), \quad (6)$$

где $E_n(r)$ – функция радиального распределения азимутальной компоненты напряжённости электрического поля $E_\varphi(p, r, z)$ в соответствующем представлении рядом Фурье.

Подставляя (6) в (5), получаем неоднородное уравнение Бесселя [13]:

$$\frac{d^2 E_n(r)}{dr^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{dE_n(r)}{dr} - \left(\frac{1}{r^2} + k_n^2(p) \right) \cdot E_n(r) = K_n \cdot f(r), \quad (7)$$

где $K_n = \mu_0 p \cdot j_m \cdot a_n^*$, $k_n(p) = \sqrt{\Omega_n^2 + k^2(p)}$ – радиальное волновое число.

Уравнение (7) – линейное неоднородное уравнение второго порядка можно проинтегрировать с помощью метода вариации произвольных постоянных. Согласно алгоритму метода общий интеграл уравнения (7) следует искать в виде линейной комбинации фундаментальных решений с коэффициентами – функциями радиальной переменной [13].

$$E_n(r) = A_n(r) \cdot I_1(k_n(p) \cdot r) + B_n(r) \cdot K_1(k_n(p) \cdot r), \tag{8}$$

где $A_n(r), B_n(r)$ – коэффициенты разложения,

$I_1(k_n(p) \cdot r), K_1(k_n(p) \cdot r)$ – модифицированные функции Бесселя первого порядка.

Опуская известные математические преобразования, запишем систему дифференциальных уравнений для определения неизвестных $A_n(r), B_n(r)$ в выражении (8) [13].

$$\begin{cases} \frac{dA_n(r)}{dr} \cdot I_1(k_n(p) \cdot r) + \frac{dB_n(r)}{dr} \cdot K_1(k_n(p) \cdot r) = 0, \\ \frac{dA_n(r)}{dr} \cdot \frac{dI_1(k_n(p) \cdot r)}{dr} + \frac{dB_n(r)}{dr} \cdot \frac{dK_1(k_n(p) \cdot r)}{dr} = K_n \cdot f(r). \end{cases} \tag{9}$$

Из системы (9) находим, что

$$A_n(r) = A_n + K_n \cdot \int_{R_0}^r r \cdot f(r) \cdot K_1(k_n(p) \cdot r) dr = A_n + K_n \cdot F_n(r, R_{1,2}), \tag{10}$$

где A_n – произвольная постоянная интегрирования,

$$F_n(r, R_{1,2}) = \eta(r - R_1) R_1 \cdot K_1(k_n(p) \cdot R_1) - \eta(r - R_2) R_2 \cdot K_1(k_n(p) \cdot R_2),$$

$\eta(r - R_{1,2})$ – ступенчатые функции Хэвисайда.

$$B_n(r) = B_n - K_n \cdot \int_{R_0}^r r \cdot f(r) \cdot I_1(k_n(p) \cdot r) dr = B_n - K_n \cdot G_n(r, R_{1,2}), \tag{11}$$

где B_n – произвольная постоянная интегрирования,

$$G_n(r, R_{1,2}) = \eta(r - R_1) \cdot R_1 \cdot I_1(k_n(p) \cdot R_1) - \eta(r - R_2) \cdot R_2 \cdot I_1(k_n(p) \cdot R_2).$$

Подставляя выражения (10) и (11) в зависимость (8), получим, что

$$E_n(r) = A_n \cdot I_1(k_n(p) \cdot r) + B_n \cdot K_1(k_n(p) \cdot r) + K_n \cdot N_n(r, R_{1,2}), \tag{12}$$

где $N_n(r, R_{1,2}) = F_n(r, R_{1,2}) \cdot I_1(k_n(p) \cdot r) - G_n(r, R_{1,2}) \cdot K_1(k_n(p) \cdot r)$.

Соответственно принятой постановке задачи $E_n(R_0) = 0$. Отсюда, поскольку

$$F_n(r, R_{1,2}) \Big|_{R_0 < R_{1,2}} = G_n(r, R_{1,2}) \Big|_{R_0 < R_{1,2}} = 0, \text{ легко определить произвольную постоянную } B_n.$$

$$B_n = -A_n \cdot \frac{I_1(k_n(p) \cdot R_0)}{K_1(k_n(p) \cdot R_0)}. \tag{13}$$

Неизвестную A_n можно найти из условия ограниченности функции $E_n(r)$ при $r \rightarrow \infty$.

$$A_n = -K_n \cdot M_n(R_{1,2}), \tag{14}$$

где $M_n(R_{1,2}) = R_1 \cdot K_1(k_n(p) \cdot R_1) - R_2 \cdot K_1(k_n(p) \cdot R_2)$.

С учётом (13), (14) выражение (12) принимает вид:

$$E_n(r) = K_n \cdot [N_n(r, R_{1,2}) - M_n(R_{1,2}) \cdot Q_n(r, R_0)], \tag{15}$$

где $Q_n(r, R_0) = I_1(k_n(p) \cdot r) - \frac{I_1(k_n(p) \cdot R_0)}{K_1(k_n(p) \cdot R_0)} \cdot K_1(k_n(p) \cdot r)$.

Подставляя (15) в (6), после необходимых тождественных преобразований получаем L -изображение напряжённости электрического поля, возбуждаемого соленоидом с бифилярной обмоткой в рассматриваемой индукторной системе.

$$E_\varphi(p, r, z) = \mu_0 p \cdot j_m \left(\frac{\omega}{p^2 + \omega^2} \right) \sum_{n=0}^{\infty} a_n^* \cos(\Omega_n \cdot z) \cdot [N_n(r, R_{1,2}) - M_n(R_{1,2}) \cdot Q_n(r, R_0)]. \tag{16}$$

С помощью уравнения Максвелла (2) и выражения (16) находим изображение по Лапласу для z -компоненты напряжённости магнитного поля, возбуждаемого в рассматриваемой индукторной системе.

$$H_z(p, r, z) = j_m \cdot \left(\frac{\omega}{p^2 + \omega^2} \right) \cdot \sum_{n=0}^{\infty} a_n^* \cdot \cos(\Omega_n \cdot z) \cdot k_n(p) \cdot [W_n(r, R_{1,2}) - M_n(R_{1,2}) \cdot V_n(r, R_0)], \tag{17}$$

где $W_n(r, R_{1,2}) = F_n(R_{1,2}) \cdot I_0(k_n(p)r) + G_n(R_{1,2}) \cdot K_0(k_n(p)r)$,

$$V_n(r, R_0) = I_0(k_n(p)r) + \frac{I_1(k_n(p)R_0)}{K_1(k_n(p)R_0)} \cdot K_0(k_n(p)r)$$

Из (17) находим L – изображение плотности тока, индуцированного в металле внутреннего индуктора-соленоида [13, 14].

$$j_i(p, z) = H_z(p, r = R_0, z) = -j_m \cdot \frac{1}{R_0} \cdot \left(\frac{\omega}{p^2 + \omega^2} \right) \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos(\Omega_n \cdot z) \cdot M_n(R_{1,2}) \cdot V_n(R_0), \quad (18)$$

где $V_n(R_0) = \frac{1}{K_1(k_n(p) \cdot R_0)}$.

Выражения (16)–(18) являются расчётными соотношениями для анализа и оценок характеристик электромагнитных процессов в цилиндрической системе, где индуктор размещён внутри коаксиального соленоида, обмотка которого выполнена в виде бифиляра с противоположно направленными токами.

В заключение отметим, что переход обратное преобразование Лапласа в (16)–(18) можно осуществить в зависимости от конкретных условий расчёта либо с помощью известных численных методов, либо аналитически с помощью допустимых упрощающих положений [13].

Выводы

Получены расчётные соотношения для теоретического анализа и численных оценок характеристик электромагнитных процессов в цилиндрической системе, где индуктор размещён внутри коаксиального соленоида, обмотка которого выполнена в виде бифиляра с противоположно направленными токами.

Найденные зависимости для напряжённостей и тока, индуцированного в обмотке бифиляра, представлены выражениями в L -пространстве, которые можно преобразовать к виду явных временных зависимостей численными или аналитическими методами в зависимости от условий расчёта для конкретной конструкции индукторной системы.

Литература

1. Волгов В. А. Детали и узлы радиоэлектронной аппаратуры / Волгов Виктор Андреевич. – М. : Энергия, 1977. – 88 с.
2. Pat. 512.340 US. Coil for electro-magnets / N. Tesla. – Serial No. 479.804 ; application filed July 7, 1893 ; patented Jan. 9, 1894.
3. Тесла Н. Лекции и статьи / Никола Тесла. – М. : Изд. «Tesla Print», 2003. – 386 с.
4. Герасимов В. Г. Электротехника и электроника. Электрические и магнитные цепи / В.Г. Герасимов, Э. В. Кузнецов, О. В. Николаева. – М. : Энергоатомиздат, 1996. – 288 с.
5. Пат. 2355060, Российская Федерация, МПК H01F 5/00. Катушка / В. П. Янчук. – № 2007111425/09 ; заявл. 28.03.2007 ; опубл. 10.05.2009, Бюл. № 13.
6. Ahn M. C., Baek D. K., Yang S. E., Park D. K., Ko T. K., Lee C., Seok B.-Y., Chang H.-M. Manufacture and test of small-scale superconducting fault current limiter by using the bifilar winding of coated conductor // IEEE Trans. Applied Superconductivity. 2006. Vol. 16, Issue 2, pp. 646–649.
7. Ahn M. C., Jang J. Y., Ko T. K., Lee H. Novel Design of the Structure of a Non-Inductive Superconducting Coil // IEEE Transactions on Applied Superconductivity. 2011. Vol. 21, Issue 3, pp. 1250–1253.
8. Miranda C. M., Pichorim S. F. A Self-resonant Two-Coil Wireless Power Transfer System Using Open Bifilar Coils // IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs. 2017. Vol. 64, Issue 6, pp. 615–619.
9. Батыгин Ю. В. Импульсные магнитные поля для прогрессивных технологий / Батыгин Ю. В., Лавинский В. И., Хименко Л. Т. – [Изд. 2-е, перераб., и доп.]. – Харьков : МОСТ-Торнадо, 2003. – 284 с.
10. Batygin Yu. V. Electromagnetic Metal Forming for Advanced Processing Technologies / Batygin Yu. V., Barbashova M. V., Sabokar O. S. – Springer International Publishing AG (Switzerland), part of Springer Nature. 2018. – 94 p.
11. Подольцев А. Д. Элементы теории и численного расчёта электромагнитных процессов в ферромагнитных средах / А. Д. Подольцев, И. Н. Кучерявая. – К. : Изд. Института электродинамики НАНУ. 1999. – 362 с.
12. Никишенко А. Н. Разработка модели излучения плоской катушки / А. Н. Никишенко, Н. В. Богач // Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций. РТ-2010. – Севастополь, 2010. – С. 362–366.
13. Корн Г. Справочник по математике / Г. Корн, Т. Корн. – М. : Наука, 1973. – 831 с.
14. Landau L. D. Electrodynamics of Continuous Media / L. D. Landau, E. M. Lifshitz, L. P. Pitaevsky ; translated from Russian by J. B. Sykes, J. S. Bell, M. J. Kearsley. [2-nd Edition added and enlarged]. Reprinted 2004 (twice). Elsevier Butterworth-Heinemann Linacre House. – 620 p.

References

1. Volgov V. A. Detali i uzly radioelektronnoj apparatury / Volgov Viktor Andreevich. – M. : Energiya, 1977. – 88 s.
2. Pat. 512.340 US. Coil for electro-magnets / N. Tesla. – Serial No. 479.804 ; application filed July 7, 1893 ; patented Jan. 9, 1894.
3. Tesla N. Lekcii i stati / Nikola Tesla. – M. : Izd. «Tesla Print», 2003. – 386 s.
4. Gerasimov V. G. Elektrotehnika i elektronika. Elektricheskie i magnitnye cepi / V. G. Gerasimov, E. V. Kuznecov, O. V. Nikolaeva. – M. : Energoatomizdat, 1996. – 288 s.
5. Pat. 2355060, Rossijskaya Federaciya, MPK H01F 5/00. Katushka / V. P. Yanchuk. – № 2007111425/09 ; zayavl. 28.03.2007 ; opubl. 10.05.2009, Byul. № 13.
6. Ahn M. C., Bae D. K., Yang S. E., Park D. K., Ko T. K., Lee C., Seok B.-Y., Chang H.-M. Manufacture and test of small-scale superconducting fault current limiter by using the bifilar winding of coated conductor // IEEE Trans. Applied Superconductivity. 2006. Vol. 16, Issue 2, pp. 646–649.
7. Ahn M. C., Jang J. Y., Ko T. K., Lee H. Novel Design of the Structure of a Non-Inductive Superconducting Coil // IEEE Transactions on Applied Superconductivity. 2011. Vol. 21, Issue 3, pp. 1250–1253.
8. Miranda C. M., Pichorim S. F. A Self-resonant Two-Coil Wireless Power Transfer System Using Open Bifilar Coils // IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs. 2017. Vol. 64, Issue 6, pp. 615–619.
9. Batygin Yu. V. Impulsnye magnitnye polya dlya progressivnyh tehnologij / Batygin Yu. V., Lavinskij V. I., Himenko L. T. – [Izd. 2-e, pererab., i dop.]. – Harkov : MOST-Tornado, 2003. – 284 s.
10. Batygin Yu. V. Electromagnetic Metal Forming for Advanced Processing Technologies / Batygin Yu. V., Barbashova M. V., Sabokar O. S. – Springer International Publishing AG (Switzerland), part of Springer Nature. 2018. – 94 p.
11. Podolcev A. D. Elementy teorii i chislennogo raschyota elektromagnitnyh processov v ferromagnitnyh sredah / A. D. Podolcev, I. N. Kucheryavaya. – K. : Izd. Instituta elektrodinamiki NANU. 1999. – 362 s.
12. Nikishenko A. N. Razrabotka modeli izlucheniya ploskoj katushki / A. N. Nikishenko, N. V. Bogach // Sovremennye problemy radiotekhniki i telekommunikacij. RT-2010. – Sevastopol, 2010. – S. 362–366.
13. Korn G. Spravochnik po matematike / G. Korn, T. Korn. – M. : Nauka, 1973. – 831 s.
14. Landau L. D. Electrodynamics of Continuous Media / L. D. Landau, E. M. Lifshitz, L. P. Pitaevsky ; translated from Russian by J. B. Sykes, J. S. Bell, M. J. Kearsley. [2-nd Edition added and enlarged]. Reprinted 2004 (twice). Elsevier Butterworth-Heinemann Linacre House. – 620 p.

Рецензія/Peer review : 27.05.2019 р.

Надрукована/Printed : 23.07.2019 р.

Рецензент: д.т.н., проф. М.А. Подригало

ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ГЛИБОКОГО ХОЛОДНОГО ВИДАВЛЮВАННЯ ДЛЯ ОТРИМАННЯ ТОЧНИХ ЗАГОТОВОК ДЕТАЛЕЙ ТИПУ «СТАКАН». ЧАСТИНА 1

В роботі розглянуті теоретичні основи процесу глибокого холодного видавлювання металу. Процес холодного видавлювання деталей типу «стакан» проаналізований на предмет виникнення браку готової продукції. В результаті аналізу виявлені основні фактори, які впливають на формування геометричної форми штампівки, проаналізовані причини виникнення браку готової продукції. Сформувані завдання подальших досліджень.

Ключові слова: штампування, деформації, видавлювання, матриця, пуансон.

Y. V. SAVITSKY

Khmelnytsky National University

USE OF TECHNOLOGY DEEP COLD EXTRUSION TO OBTAIN ACCURATE STORAGE DETAILS OF "GLASS" TYPE. PART 1

The theoretical foundations of the process of deep cold extrusion of metal are considered in the work. The process of cold extrusion of "glass" parts is analysed for the lack of finished products. The analysis revealed the main factors that influence the formation of the geometric shape of the stamping, analysing the causes of the elimination of the lack of finished products. Formed the tasks of further research. In order to obtain high-quality workpieces and stable operation of the pressing equipment with the largest possible work resource, it is necessary to study the process of cold extrusion for a specific type of parts and pressing scheme. Experimental studies involve high material costs. But today there are specialized software products, such as DEFORM-3D, that allow you to create a computer model of the pressing process, to analyse the factors that maximize the durability of the pressing equipment and to predict the quality parameters of the workpieces. This is the object of further research. Pressing by extrusion is a widespread and highly efficient technology type of metalworking with pressure. Using extrusion operations, a wide range of parts can be manufactured. Pressing by extrusion is widely used in the car and aircraft, instrument and defence industries. The intensive use of extrusion in many metalworking processes is due to such advantages as high productivity, low cost of the product, high coefficient of metal use, high accuracy of sizes and quality of the surface of products, improvement of their mechanical characteristics, as well as the possibility of automation and mechanization of the process.

Keywords: punching, deformation, extrusion, matrix, punch.

Постановка проблеми

Підвищення ефективності виробництва за рахунок розвитку, удосконалення існуючих та розробки й впровадження нових ресурсозберігаючих технологій є важливими задачами сучасного машинобудування. Сучасний розвиток промисловості в світі, в тому числі і в Україні, направлений на удосконалення існуючих та розробку нових технологій, що забезпечують виробництво конкурентоздатної продукції та збереження матеріальних, трудових, енергетичних, екологічних ресурсів [1, 2]. Одним зі шляхів вирішення таких задач в металообробці є широке використання високопродуктивних процесів холодного об'ємного штампування (ХОШ), а саме «видавлювання», яке дозволяє суттєво зменшити витрати металів при забезпеченні точності, високих механічних властивостей та експлуатаційних характеристик виробів.

Штампування видавлюванням є широко поширеним і високоефективним різновидом технології обробки металів тиском. Використовуючи операції видавлювання, можна виготовляти велику номенклатуру найрізноманітніших деталей, таких як великолітражні балони, спеціальні посудини і ємності, поршневі пальці для двигунів автомобілів, кільця підшипників, траки для гусениць тракторів і танків та інших відповідальних виробів [3].

Штампування видавлюванням широко використовується в автомобіле- та літакобудуванні, в приладобудуванні та оборонній промисловості. Інтенсивне застосування видавлювання в багатьох технологічних процесах металообробки обумовлено такими перевагами, як висока продуктивність, низька собівартість виробу, великий коефіцієнт використання металу, висока точність розмірів і якість поверхні виробів, поліпшення їх механічних характеристик, а також можливість автоматизації та механізації процесу. Ці переваги зумовлюють те, що в цілому ряді випадків, особливо в ході велико-серійного і масового виробництва, видавлювання є найбільш раціональним способом отримання виробів заданої форми [4].

Виклад основного матеріалу

Під час виробництва заготовок типу «стакан» (рис. 1) отримується великий відсоток бракованої продукції. Це обумовлено, з одної сторони, недосконалою конструкцією штампа, внаслідок чого заготовка не доштамповується, тобто не отримує розрахункової (теоретичної) конфігурації вже як готова заготовка. З іншої сторони, внаслідок великих напружень при видавлюванні швидко виходить з ладу штампова оснастка (матриця або пуансон), що також призводить до браку готової заготовки [2, 5].

Перехід заготовки у готовий виріб

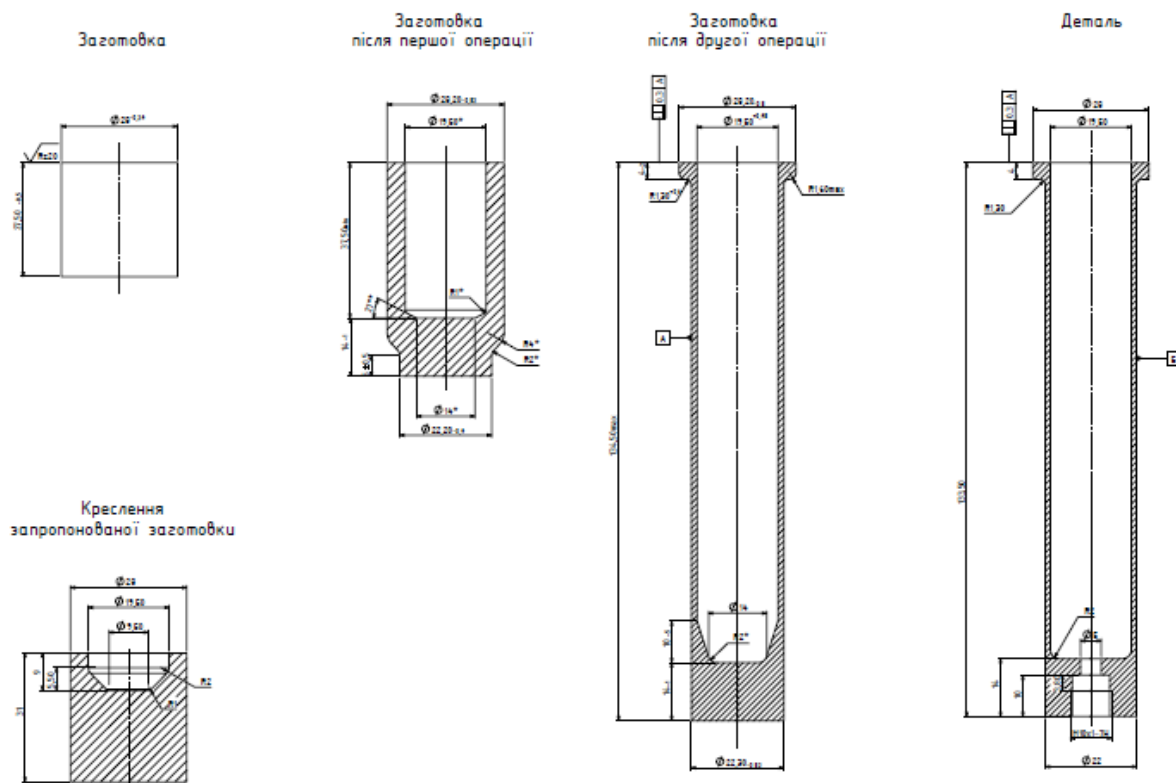


Рис. 1. Креслення заготовок та готового виробу

Загальні проблеми при видавлюванні заготовок типу «стакан»

Анізотропія видавлюваного матеріалу. Анізотропним матеріалом називається матеріал [6], що володіє в різних напрямках різними властивостями. Анізотропія механічних властивостей металевих матеріалів обумовлена, по-перше, особливостями їх кристалічної будови, а, по-друге, особливостями структури, що виходить в результаті обробки методами пластичного деформування. Кристалічна анізотропія називається також гомогенною анізотропією і є наслідком анізотропії самого кристала, що становить основу металу. Однак, оскільки метали складаються з великого числа хаотично орієнтованих один щодо одного мікроскопічних кристалів, пов'язаних в зерна, взаємна орієнтація яких також досить різноманітна, то це призводить до того, що гомогенна анізотропія у полікристалічних металів практично відсутня.

Під час обробки металів тиском з'являється текстура, тобто певна орієнтація складових структуру зерен і міжзернових включень, обумовлена їх витягуванням вздовж напрямку пластичної течії при обробці тиском. Анізотропія, обумовлена орієнтацією структури матеріалу, називається гетерогенною анізотропією. У металевих матеріалів після прокатки або пресування, як правило, виникають волокниста, стрічкова, а також пластинчаста структури. Волокниста і стрічкова структури характерні для сталей, а у алюмінієвих сплавів зерна мають форму не волокон, а пластин, що сприяє утворенню шаруватої структури матеріалу і ще більшому прояву анізотропії. До гетерогенної анізотропії відносять також конструктивну анізотропію, яка виявляється, наприклад, у шаруватих або волокнистих композиційних матеріалів, у яких відмінності поздовжньої і поперечної напруги текучості ще більше зростають.

Отже, на силу деформування і одержувані властивості при видавлюванні заготовок з гарячекатаних або пресованих прутків впливає волокниста структура, яка обумовить вихідну анізотропію властивостей видавлюється матеріалу, при якій властивості міцності вздовж волокон значно вище, ніж впоперек. Ці співвідношення необхідно брати до уваги при холодному деформуванні; зокрема, при холодному видавлюванні заготовку раціонально розташовувати таким чином (рис. 2), щоб напрямок її волокон був перпендикулярним напрямку сили деформування.

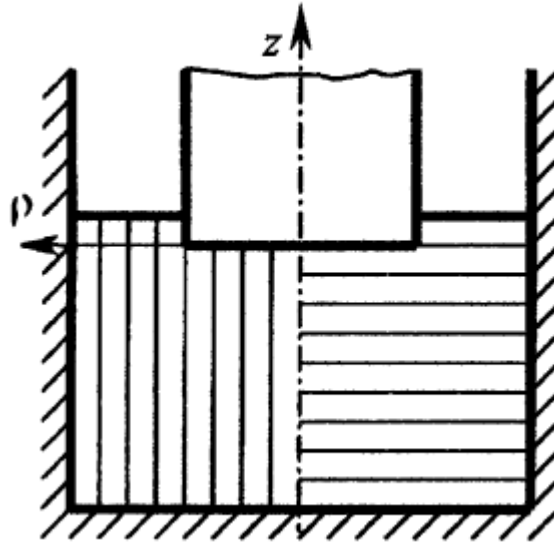


Рис. 2. Можливі розташування волокон структури видавлюваної заготовки

Розрахунки показують, що при збільшенні деформуючої сили вздовж волокон (рис. 2, ліворуч) уточнення за рахунок урахування анізотропії традиційно застосовуваних для видавлювання матеріалів буде незначним (близько 1,5-2%), у зв'язку з чим для розрахунку питомої сили в даному випадку доцільно використовувати звичайні формули. Якщо ж матеріал володіє значною анізотропією, то для розрахунку питомої сили, особливо у випадку видавлювання поперек волокон (рис. 2, праворуч) потрібно застосовувати уточнювальні коефіцієнти та враховувати інші важко передбачувані обставини. В результаті розрахунки стають надто неточними і важливу роль відіграє доопрацювання штампової оснастки вже після її виготовлення, що призводить до здорожчання кінцевої продукції.

Застійна зона під торцем пуансона. Застійною [5] називається зона, розташована між вогнищем пластичної деформації і формотворчим інструментом область заготовки, в якій відсутній ріст пластичної деформації. Основною причиною утворення застійної зони є контактне тертя, стримуюче деформацію в приконттактних шарах заготовки. При відсутності мастила застійна зона з'являється під торцем пуансона вже в початковий момент видавлювання. Якщо ж видавлювання здійснюється з мастилом, то в початковий момент деформування, коли мастильний шар досить ефективний і, відповідно, коефіцієнт тертя малий, застійна зона відсутня (рис. 3, ліворуч).

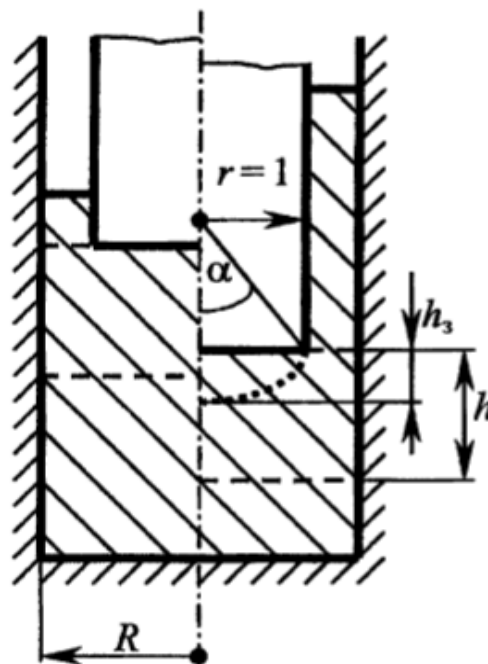


Рис. 3. Утворення застійної зони під торцем пуансона

У міру збільшення робочого ходу мастильний шар починає виснажуватися, в результаті чого

спочатку утворюється зона утрудненою деформації, тобто зона, в якій накопичена деформація зростає значно менш інтенсивно, ніж у сусідніх зонах вогнища пластичної деформації. При подальшому збільшенні робочого ходу тертя ще більше зростає, і зона утрудненої деформації перетворюється на застійну зону (рис. 3, праворуч), в якій практично повністю припиняється ріст накопиченої деформації. В результаті в застійній зоні будуть значно менші опрацювання металу і підвищення його міцності в порівнянні з іншими частинами виробу. У мало пластичних матеріалів можливий скол, що починається на кордоні застійної зони з кромкою торця пуансона і призводить іноді до повного відділення розташованого в цій зоні металу від іншої частини виробу.

Стягнення на зовнішній кромці дна виробу. Стягнення [4, 6] – це дефект форми штампованого виробу, пов'язаний з порушенням контакту деформуючого матеріалу з інструментом. При видавлюванні стаканів стягнення проявляється у вигляді підняття дна виробу в зоні його переходу в зовнішню поверхню стінки стакану (рис. 4). Як правило, це є суттєвим недоліком, оскільки форма і розміри штампованого виробу повинні визначатися геометрією штапного інструменту, а не випадковими факторами, що приводять до нестабільної мимовільної геометрії.

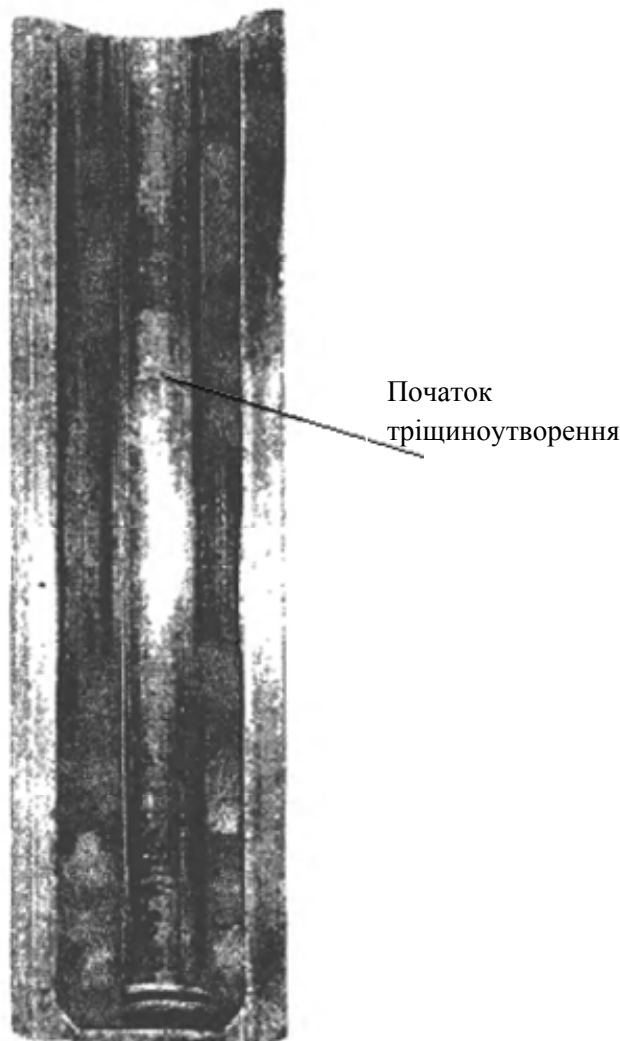


Рис. 4. Стягнення та тріщиноутворення на стакані (матеріал – сталь 20 кп)

Руйнування. Встановлено, що в окремих зонах вогнища пластичної деформації величини накопиченої деформації безперервно зростають зі збільшенням робочого ходу пуансона [2]. При певній величині робочого ходу вичерпується ресурс пластичності матеріалу, що призводить до появи тріщин у одержуваному виробі. Тому для одержання високоякісних виробів необхідно визначити параметри, потрібні для розрахунку граничного формозмінення заготовки при видавлюванні за існуючими теоріями руйнування.

Такими параметрами, згідно з роботою [5], є величини накопиченої деформації e_i , гідростатичного тиску σ та, у разі яскраво вираженої залежності властивостей матеріалу від швидкості деформації, інтенсивність швидкостей деформації ξ в небезпечній точці вогнища пластичної деформації.

В даному випадку найбільшою проблемою є поломка робочого інструменту, а саме пуансона. Поломка робочого інструменту виникає в різний час робочого ходу та незалежно від кількості оброблених

деталей.

Висновки

Для отримання якісних заготовок та стабільної роботи штампової оснастки з максимально великим ресурсом роботи потрібно дослідити сам процес холодного видавлювання для конкретного виду деталей та схеми штампування. Експериментальні дослідження пов'язані з великими матеріальними затратами. Але сьогодні існують спеціалізовані програмні продукти, наприклад DEFORM-3D, які дозволяють створити комп'ютерну модель процесу штампування, проаналізувати фактори, які дозволяють максимально підвищити довговічність штампової оснастки та спрогнозувати якісні параметри отримуваних заготовок. Це і є об'єктом подальших досліджень.

Література

1. Воронцов А.Л. Теория штамповки выдавливанием / А. Л. Воронцов. – М. : Машиностроение -1, 2004. – 721 с.
2. Холодная объемная штамповка / под ред. Г.А. Навроцкого. – М. : Машиностроение, 1987. – 384 с.
3. Теория пластических деформаций металлов / под ред. Е.П. Ункова, А.Г. Овчинникова. – М. : Машиностроение, 1983. – 598 с.
4. Ковка и штамповка : справочник : в 4 т. Т. 3. Холодная объемная штамповка / под ред. Г.А. Навроцкого. – М. : Машиностроение, 1989. – 368 с.
5. Кротенко Г. А. Аналіз процесів видавлювання в умовах тривимірної течії металу / Кротенко Г. А. – Харків : НТУ «ХПІ», 2011. – 20 с.
6. Бэкофен В. Процессы деформации / Бэкофен В. ; пер. с англ. – М. : Metallurgiya, 1987. – 208 с.

References

1. Vorontsov A.L. (2004). Theory of extrusion stamping. M.: Mechanical Engineering 1, 721 p.
2. Cold forging (1987), ed. G.A. Navrotskogo. M.: Engineering, 384 p.
3. The theory of plastic deformation of metals (1983), ed. E.P. Unksova, A.G. Ovchinnikov. M.: Engineering, 598 p.
4. Forging and Stamping: A Handbook. Vol. 3. The cold forging (1989), ed. G.A. Nawrocki. M.: Engineering, 368 p.
5. Krotenko G.A. Analysis of extrusion processes in terms of three-dimensional metal flow (2011). Kharkiv: NTU "KhPI", 20 p.
6. Bakofen V. (1987). Deformation processes. M.: Metallurgy, 208 p.

Рецензія/Peer review : 9.06.2019 р.

Надрукована/Printed : 23.07.2019 р.
Рецензент: д.т.н., проф. А.І. Гордєєв

Р.В. АМБАРЦУМЯНЦ, С.А. РОМАШКЕВИЧ, А.П. ЛИПИН
Одесская национальная академия пищевых технологий

КИНЕТОСТАТИКА ГРУППЫ АССУРА ЧЕТВЕРТОГО КЛАССА ВТОРОГО ПОРЯДКА С ОДНОЙ ПОСТУПАТЕЛЬНОЙ ПАРОЙ

Работа посвящена кинестатическому исследованию шарнирной группы Ассура четвертого класса, второго порядка с одной поступательной парой. Обоснована актуальность такой задачи в свете более широких функциональных возможностей такой группы и отсутствием простых инженерных методов исследования в учебной, технической и научной литературе. Метод базируется на графоаналитическом способе, что более удобно для инженерной практики проектирования. Составлена строгая последовательность проведения отдельных этапов силового исследования с использованием особых точек Ассура. Силовое исследование завершается проверочным построением, позволяющим заключить о правильности расчетных операций и графических построений.

Ключевые слова: поступательная кинематическая пара, кинестатика, сила, момент силы, составляющие реакции, статическое равновесие, план сил.

ROBERT VACHAGANOVICH AMBARTSUMYANTS,
SERGEY ALEKSANDROVICH ROMASHKEVICH, ANDREY PAVLOVICH LIPIN
Odessa National Academy of Food Technologies

DYNAMIC FORCE RESEARCH OF ASSUR GROUP OF THE FOURTH CLASS OF THE SECOND ORDER WITH ONE KINEMATIC PAIR

Dynamic force analysis of mechanisms is one of the determining stages of their projecting and it allows to carry out calculation for strength and rigidity of elements of the kinematic pairs, units them – selves and prepare the basis for constructing. The work is devoted to dynamic force research of Assur group of the fourth class of the second order with one slider and five turning kinematic pairs. The urgency of this task in terms of wider functional possibilities of such group and absence of simple engineering methods in educational, technical and scientific literature has been substantiated. The method is based on the analytical – tabular methods, and that is more comfortable for engineering practice of projecting. The strict sequence of carrying out separate stages of power research with application Assur special dots has been composed. The force research is completed with verifying construction, which allows to make a conclusion about correctness of calculating operation and graphic plotting's. The numerical example was carried out on a personal computer with application of graphic plotting "Compass". It has been established that application of the second sign of accuracy, when determining arms of corresponding forces in the equations of forces moment balance, allows to get the solution practically without errors.

Keywords: slider kinematic pair, dynamic force research, force moment, reaction components, static equilibrium, force plan.

В работе [1] предложен метод кинестатического исследования шарнирной группы Ассура 4-го класса второго порядка. Принимая во внимание, что одноподвижные кинематические пары конструктивно могут быть выполнены не только вращательными (шарнирными), но и поступательными, то возникает задача силового исследования модификаций рассматриваемой группы. Например, если выходное звено механизма четвертого класса, по классификации Ассура-Артоболевского, образует с основанием поступательную кинематическую пару (рис. 1), то передача движения от ведущего звена к ведомому осуществляется двумя потоками – $OABCG$ и $OADEG$. Следовательно, общий поток мощности перераспределяется на два подпотока мощности по указанным контурам позволяющим, во первых, уменьшить массо-инерционные показатели шатунов BC и DE , во вторых улучшить условия передачи усилий от шатунов BC и DE к ползуну, что приводит к существенному повышению также коэффициента полезного действия механизма.

Число возможных модификаций рассматриваемой группы $M = C_6^1 = 6$. Однако, с точки зрения их кинестатического исследования многие из них являются изоморфными. Действительно, если в представленной на рис. 1 схеме механизма поменять местами кинематические пары A и G , то кинестатическое их исследование можно осуществить по одной и той же методике. Аналогично, все модификации данной группы, образованные путем замены шарнирных соединений B , C , D , E по одному поступательными, являются изоморфными и для их кинестатического исследования достаточно разрабатывать единый метод.

Целью настоящей работы является кинестатическое исследование модификации группы Ассура четвертого класса второго порядка с одной поступательной парой. При решении поставленных задач принимаем известными массо-инерционные показатели всех звеньев, их кинематические показатели, а именно, положения, скорости и ускорения как линейных, так и угловых. На первом этапе силового исследования силы трения не учитываем, а при их необходимости воспользуемся методом последовательных приближений [2].

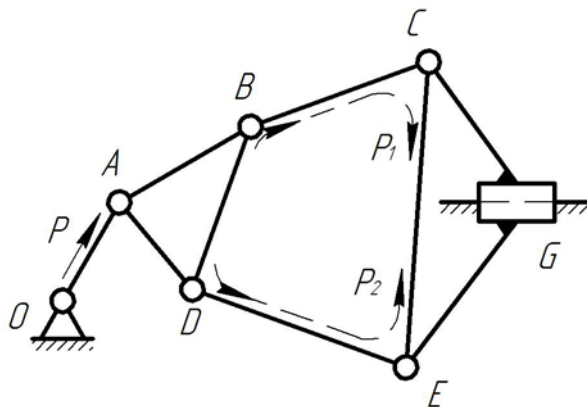


Рис. 1. Структурная схема рычажного механизма четвертого класса второго порядка с одной поступательной кинематической парой

Задача 1. Модификация группы Ассура четвертого класса с одной концевой поступательной кинематической парой (рис. 2, а).

Звенья группы нагружены равнодействующими силами $\bar{F}_i (i = 2, \dots, 5)$ от внешних сил, сил тяжести, сил инерции, производственных сил, а также равнодействующими моментами $\bar{M}_i (i = 2, \dots, 5)$ от внешних моментов, моментов от сил инерции и др. Предполагаем, что продольные оси шатунов BC и DE группы ни в одном положении группы не параллельны и они пересекаются в особой точке S Ассура (рис. 2, б). На первом этапе силового исследования рассматриваемой группы силы трения не учитываем, считаем идеальность всех кинематических пар, т.е. зазоры в них отсутствуют.

Отметим, что в случае необходимости учета сил трения, после выполнения первого этапа силового исследования, можно применить метод последовательных приближений [2].

На рассматриваемой группе извне действуют внешние неизвестные реакции $\bar{R}_{12} = \bar{R}_{12}^{\tau} + \bar{R}_{12}^n$ и \bar{R}_{05} , где \bar{R}_{12}^n и \bar{R}_{12}^{τ} направлены по прямой AS и перпендикулярно к ней. Неизвестной является также точка k приложения реакции \bar{R}_{05} . Для определения значения названных четырех неизвестных, а также полные реакции в шарнирных соединениях A, B, C, D, E предлагаем следующую последовательность решения.

1. Разрываем связи в шарнирных соединениях B, C, D, E и представим расчетную модель силового исследования в виде на рис. 1, б. В шарнирах B, D , реакции разлагаем на составляющие – по продольной оси звеньев 3 и 4 соответственно и перпендикулярно: $\bar{R}_{23} = \bar{R}_{23}^{\tau} + \bar{R}_{23}^n$; $\bar{R}_{24} = \bar{R}_{24}^{\tau} + \bar{R}_{24}^n$. В шарнирных соединениях C, E возникают реакции \bar{R}_{53} и \bar{R}_{54} соответственно, которых также следует определить. Отметим, что аналогичные реакции возникают и действуют на звеньях 2 и 5 (рис. 2, б), согласно третьему закону Ньютона.

2. Составляем уравнения равновесия моментов сил, действующих на звеньях 3 и 4 относительно центров шарнирных соединений C, E соответственно. Имеем

$$\sum M_C^{(3)}(\bar{F}) = -R_{23}^{\tau} \cdot l_{BC} - F_3 h_3 \mu_l + M_3 = 0; \quad (1)$$

$$\sum M_E^{(4)}(\bar{F}) = -R_{42}^{\tau} \cdot l_{DE} - F_4 h_4 \mu_l + M_4 = 0, \quad (2)$$

где l_{BC}, l_{DE} – длины звеньев 3 и 4 соответственно,

h_3, h_4 и – плечи соответствующих сил до центров шарнирных соединений C и E ,

μ_l – линейный масштабный коэффициент построения расчетной модели.

Из решения линейных уравнений (1), (2) находим модули составляющих реакций $\bar{R}_{23}^{\tau}, \bar{R}_{23}^n$ и уточняем их направления – положительный знак составляющего означает правильность выбранного направления. В противном случае изменяем направление вектора в противоположную сторону.

3. Рассматриваем равновесие второго звена, нагруженного внешними силами, моментами и реакциями связей (рис. 2, б). В пересечении линий действия векторов $\bar{R}_{32}^n = -\bar{R}_{23}^n$ и $\bar{R}_{42}^n = -\bar{R}_{24}^n$ находим особую точку S Ассура. Реакцию в шарнире A разлагаем на составляющие $\bar{R}_{12} = \bar{R}_{12}^{\tau} + \bar{R}_{12}^n$. Составляющую \bar{R}_{12}^{τ} направим перпендикулярно к линии AS , а \bar{R}_{12}^n – по линии AS . Составляем уравнение равновесия моментов сил звена 2 относительно точки S

$$\sum M_S^{(2)}(\bar{F}) = R_{12}^r \cdot h_{12} \cdot \mu_l - R_{42}^r \cdot h_{42} \cdot \mu_l + M_2 - F_2 \cdot h_2 \cdot \mu_l - R_{32}^r \cdot h_{32} \cdot \mu_l = 0, \quad (3)$$

где $h_{12}, h_{32}, h_{42}, h_2$ – плечи сил $\bar{R}_{12}^r, \bar{R}_{32}^r, \bar{R}_{42}^r$ и \bar{F}_2 относительно точки S .

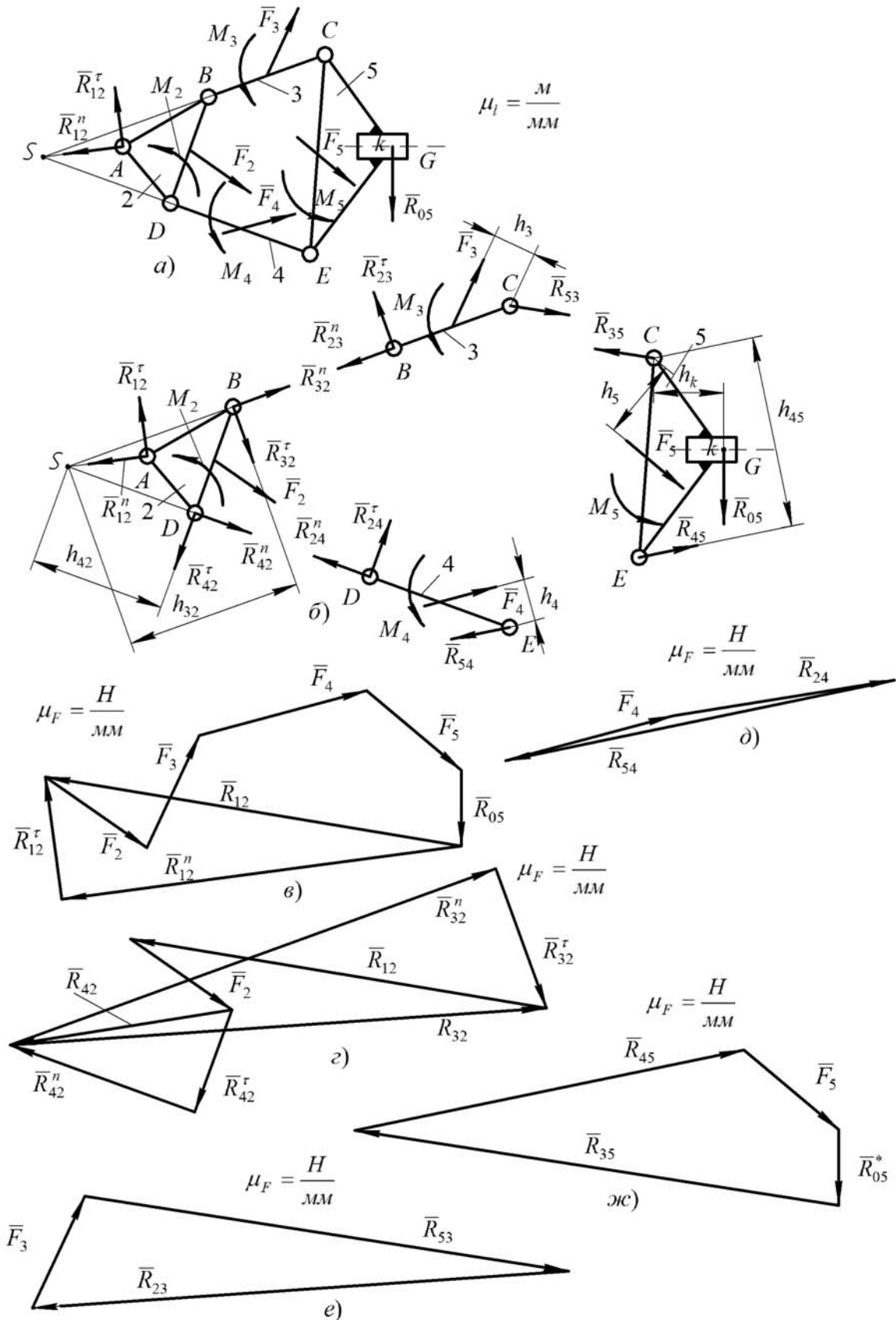


Рис. 2. Модификация группы Ассур с одной концевой поступательной кинематической парой; а) расчетная модель кинестатики группы; б) планы сил группы; в) планы сил второго, третьего, четвертого, пятого звеньев; г), д), е), ж) соответственно

Примечание. При составлении уравнения (3) учтены направления моментов сил относительно точки S .

Из решения линейного уравнения (3) находим модуль реакции \bar{R}_{12}^{τ} и уточняем ее направление.

4. Рассматриваем равновесие всей группы, на которой остались три неизвестных: \bar{R}_{12}^n , \bar{R}_{05} и точка k приложения реакции \bar{R}_{05} .

Составляем векторное уравнение равновесия группы

$$\bar{R}_{12}^n + \bar{R}_{12}^{\tau} + \bar{F}_2 + \bar{F}_3 + \bar{F}_4 + \bar{F}_5 + \bar{R}_{05} = 0. \quad (4)$$

На основании векторного уравнения (4) строим план сил (рис. 2, в) откуда находим неизвестные реакции \bar{R}_{12}^n , \bar{R}_{05} .

5. Рассматриваем равновесие 2-го звена, составляем векторное уравнение равновесия сил, действующих на него

$$\bar{R}_{12} + \bar{F}_2 + \bar{R}_{32}^n + \bar{R}_{32}^{\tau} + \bar{R}_{42}^{\tau} + \bar{R}_{42}^n = 0. \quad (5)$$

На основании векторного уравнения (5) строим план сил звена 2 (рис 2, г) откуда находим значения составляющих \bar{R}_{32}^n , \bar{R}_{42}^n и, следовательно полные реакции в шарнирных соединениях B и D .

6. Составляем векторные уравнения равновесия сил звеньев 3, 4

$$\bar{R}_{23} + \bar{F}_3 + \bar{R}_{53} = 0, \quad \bar{R}_{24} + \bar{F}_4 + \bar{R}_{54} = 0 \quad (6)$$

На основании (6) строим планы сил звеньев 3, 4 и находим полные реакции $\bar{R}_{53} = -\bar{R}_{35}$, $\bar{R}_{54} = -\bar{R}_{45}$ в шарнирных соединениях C и E соответственно (рис. 2, д, е).

7. Составляем уравнение равновесия моментов сил звена 5 относительно центра шарнирного соединения, например, C .

$$\sum M_C^{(5)}(\bar{F}) = -R_{05} \cdot h_k \cdot \mu_l - R_{45} \cdot h_{45} \cdot \mu_l + F_5 \cdot h_5 \cdot \mu_l + M_5 = 0, \quad (7)$$

где h_k – расстояние, определяющее точку k приложения реакции \bar{R}_{05} ,

h_{45}, h_5 – плечи соответствующих сил относительно точки C .

Из уравнения (7) находим значение h_k .

8. Проверка правильности расчетных операций и графических построений. Поскольку для пятого звена нами было использовано уравнение равновесия моментов сил, то векторное уравнение равновесия сил даст возможность оценить правильность решения задачи. Имеем

$$\bar{R}_{35} + \bar{R}_{45} + \bar{F}_5 + \bar{R}_{05}^* = 0. \quad (8)$$

На основании (8) строим план сил, предполагая, что реакция \bar{R}_{05}^* неизвестна. На основании построенного плана находим погрешность $\Delta R_{05} = |R_{05} - R_{05}^*|$ по модулю и по направлению. Как показывают числовые расчеты при правильных геометрических построениях ошибка рассматриваемого вектора практически нулевая.

Если шарнирное соединение A преобразовано в поступательное, то представленная методика силового исследования легко применима и для такого случая. Отличие заключается лишь в том, что меняется последовательность расчетов, а именно:

– после рассмотрения равновесий звеньев 3 и 4 необходимо рассмотреть равновесие 5-го звена, разложив реакцию в шарнирном соединении G на составляющие через особую точку S Ассура.

Задача 2. Поступательная кинематическая пара находится на четырехугольном контуре рассматриваемой группы, например, в соединении B (рис. 3, а).

Расчетная модель кинетостатического исследования такой группы нагруженной равнодействующими всех сил $\bar{F}_i (i = 2, \dots, 5)$ и моментов сил $\bar{M}_i (i = 2, \dots, 5)$ представлена на рис. 3, б.

Предлагается следующая последовательность кинетостатического исследования.

1. С центром шарнирного соединения C свяжем прямоугольную декартову систему координат направив ось Y -в по направлению поступательной кинематической пары B . Реакцию в шарнирном соединении C звена 3 разлагаем на составляющие – по оси Y -в – \bar{R}_{53}^{τ} , по оси X -в – \bar{R}_{53}^n .

Составляем уравнение равновесия проекций сил на оси Y -в $\sum Y^{(3)} = 0$, откуда находим модуль составляющей \bar{R}_{53}^{τ} и уточняем правильность выбранного её направления.

2. Рассматриваем равновесие звена 4. Реакция в шарнирном соединении E разлагаем на составляющие: \bar{R}_{54}^n – по продольной оси ED звена и \bar{R}_{54}^{τ} – перпендикулярно к ED . Составляем уравнение

равновесия моментов сил, действующих на звено 4 относительно центра шарнира D . Из этого уравнения находим модуль вектора \bar{R}_{54}^{τ} и уточняем его направление. Аналогичным образом поступаем с шарнирным соединением D . Из уравнения равновесия моментов сил $\sum M_E^{(4)}(F) = 0$ находим составляющую \bar{R}_{24}^{τ} .

3. Рассматриваем равновесие звена 5. К внешним силам добавляем реакции в шарнире C $\bar{R}_{35}^{\tau} = -\bar{R}_{53}^{\tau}$, $\bar{R}_{35}^n = -\bar{R}_{53}^n$, $\bar{R}_{45}^{\tau} = -\bar{R}_{54}^{\tau}$ и $\bar{R}_{45}^n = -\bar{R}_{54}^n$ (рис. 3, б). В пересечении линий действия сил \bar{R}_{35}^n и \bar{R}_{45}^n находим особую точку S . Реакцию в шарнирном соединении G разлагаем на составляющие $\bar{R}_{05} = \bar{R}_{05}^{\tau} + \bar{R}_{05}^n$. Нормальную составляющую \bar{R}_{05}^n направляем по прямой GS , а тангенциальную \bar{R}_{05}^{τ} – перпендикулярно к прямой GS . Составляем уравнение равновесия моментов сил на звено 5 относительно точки S $\sum M_S^{(5)}(F) = 0$. Из этого уравнения находим модуль вектора \bar{R}_{05}^{τ} и уточняем его направление.

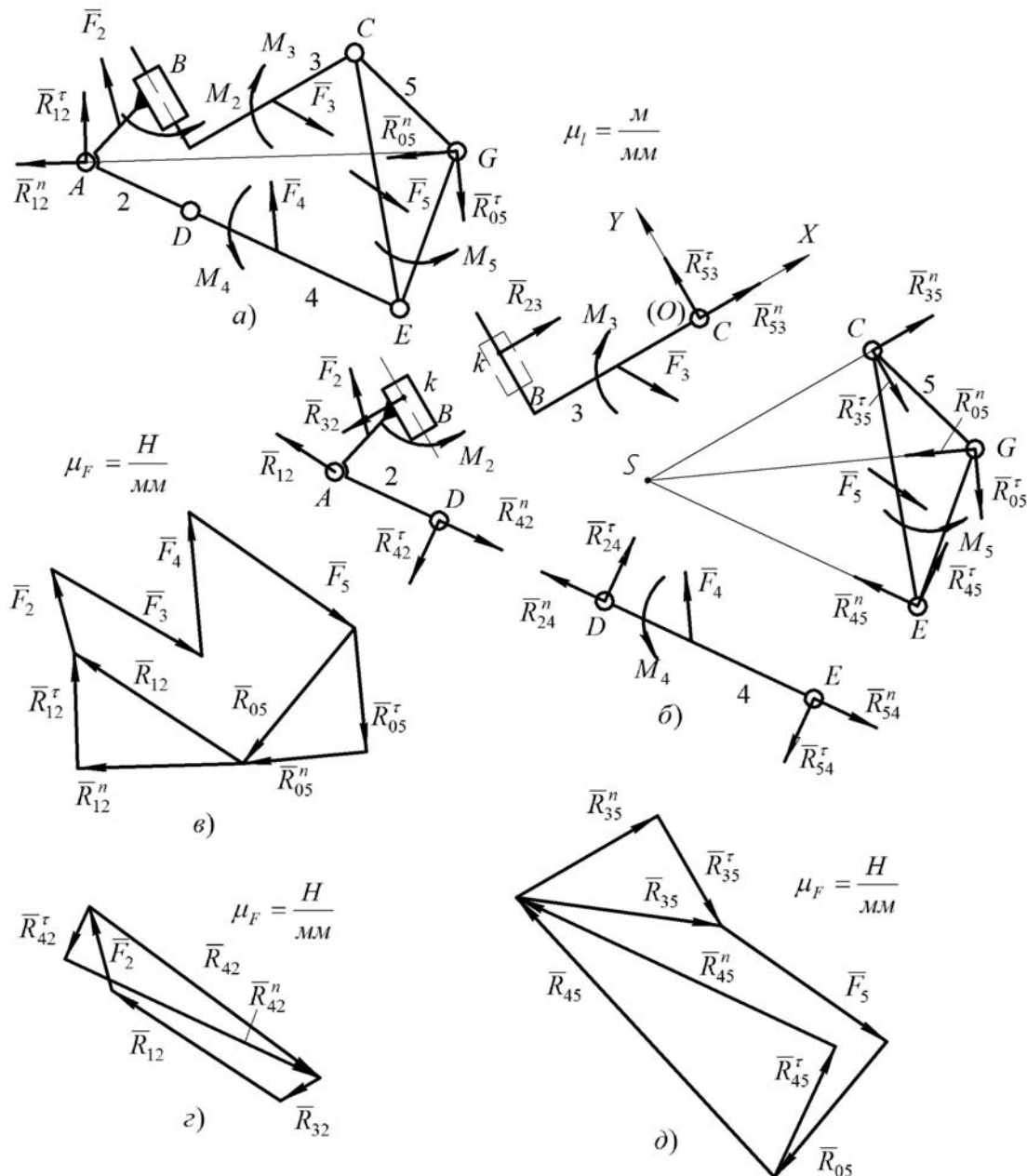


Рис. 3. Группа Ассура четвертого класса с одной поступательной кинематической парой на четырехугольном контуре: а) расчетная схема кинестатики группы; б) планы сил: группы; в) планы сил звеньев 2, 5; г), д) соответственно

4. Рассматриваем равновесие группы. Реакцию в шарнирном соединении A разлагаем на составляющие: \bar{R}_{12}^n – по прямой AG (рис. 3, а) и \bar{R}_{12}^{τ} – перпендикулярно к прямой AG . Составляем

уравнение равновесия моментов сил группы относительно центра G $\sum M_G^{(sp)}(F) = 0$, откуда находим модуль вектора \bar{R}_{12}^{τ} и уточняем его направление. Составляем векторное уравнение равновесия сил группы

$$\bar{R}_{12}^n + \bar{R}_{12}^{\tau} + \bar{F}_2 + \bar{F}_3 + \bar{F}_4 + \bar{F}_5 + \bar{R}_{05}^{\tau} + \bar{R}_{05}^n = 0. \quad (9)$$

На основании (9) строим план сил группы (рис. 3, в) откуда находим реакции \bar{R}_{12} и \bar{R}_{05} .

Для определения точки приложения реакции \bar{R}_{32} составляем уравнение равновесия моментов сил звена 2 относительно центра шарнирного соединения, например A $\sum M_A^{(2)}(F) = 0$, откуда находим расстояние h_{32} (рис. 3, б).

5. Рассматриваем равновесие звена 2 (рис. 3, в). Загружаем его также реакциями связей \bar{R}_{32} , $\bar{R}_{42}^n = -\bar{R}_{24}^n$, $\bar{R}_{42}^{\tau} = -\bar{R}_{24}^{\tau}$. Составляем векторное уравнение равновесия звена 2

$$\bar{R}_{32} + \bar{F}_2 + \bar{R}_{12} + \bar{R}_{42}^{\tau} + \bar{R}_{42}^n = 0. \quad (10)$$

На основании (10) строим план сил звена 2 откуда находим векторы \bar{R}_{32} и \bar{R}_{42} (рис. 3, г).

6. Рассматриваем равновесие 5-го звена, составляем векторное уравнение равновесия сил $\bar{F}_5 + \bar{R}_{05} + \bar{R}_{45}^{\tau} + \bar{R}_{45}^n + \bar{R}_{35}^n + \bar{R}_{35}^{\tau} = 0$ и на его основании строим план сил, откуда находим \bar{R}_{35} и \bar{R}_{45} (рис. 3, д).

Таким образом реакции во всех кинематических парах определены.

Для проверки правильности расчетов и графических построений можно воспользоваться уравнением равновесия проекций сил по оси X -в для звена 3, считая, что сила \bar{R}_{23}^* является неизвестной величиной. Отклонение $\Delta R_{23} = |R_{23} - R_{23}^*| \rightarrow \min$ показывает правильность величин и построений.

Заключение. Количество конструктивных исполнений рассматриваемой группы (количество модификаций) равно шести. Однако с точки зрения кинетостатического их исследования интерес представляет лишь две их разновидности, которые и рассмотрены в этой работе. Методику силового исследования других модификаций группы четвертого класса с одной поступательной кинематической парой можно проводить аналогичным образом. Учет сил трения в кинематических парах, что может быть важным при наличии поступательной кинематической пары, как ранее было отмечено, можно осуществить методом последовательных приближений [2] после выполнения первого этапа исследований.

Литература

1. Амбарцумянц Р. В. Кинетостатическое исследование шарнирной группы Ассура четвертого класса второго порядка / Р.В. Амбарцумянц, А.П. Липин, С.А. Ромашкевич // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2019. – № 1. – С. 12–16.
2. Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин : учеб. для вузов / И.И. Артоболевский. – 4-е изд., перераб. и допол. – М. : Наука. Гл. ред. физ.-мат. литературы, 1988. – 640 с.
3. Левитский Н. И. Теория механизмов и машин / Н. И. Левитский. – М. : Наука, 1990. – 592 с.

References

1. Ambarcumyanc R. V. Kinetostaticheeskoe issledovanie sharnirnoj grupy Assura chetvertogo klassa vtorogo poryadka / R.V. Ambarcumyanc, A.P. Lipin, S.A. Romashkevich // Herald of Khmelnytskyi National University. – 2019. – № 1. – S. 12–16.
2. Artobolevskij I.I. Teoriya mehanizmov i mashin : ucheb. dlya vuzov / I.I. Artobolevskij. – 4-e izd., pererab. i dopol. – M. : Nauka. Gl. red. fiz.-mat. literatury, 1988. – 640 s.
3. Levitskij N. I. Teoriya mehanizmov i mashin / N. I. Levitskij. – M. : Nauka, 1990. – 592 s.

Рецензія/Peer review : 03.06.2019 р.

Надрукована/Printed : 23.07.2019 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Гладушняк А.К.

О.І. МАЛАКОВ, С.А. БУРЛАКА, Ю.О. МИХАЛЬОВА
Вінницький національний аграрний університет

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОСНОВИ КОНСТРУЮВАННЯ ВІБРАЦІЙНИХ ЗМІШУВАЧІВ

В статті систематизовано і узагальнено методи проектування змішувального обладнання та інтенсифікації процесів змішування, вирішені завдання, пов'язані з методологічними засадами пошуку шляхів підвищення інтенсивності та ефективності робочих процесів змішувальних машин. Встановлено, що вони вимагають уточнення і подальшого вдосконалення існуючих методик розрахунку змішувального обладнання з використанням перспективних фізико-технічних ефектів. Обґрунтовано вплив змішувальних силових факторів на зміну траєкторії руху виконавчих органів вібраційної технологічної системи, що дозволяє прогнозувати поведінку завантаження та мінімізувати кількість кінематичних ланок у системі. Вивчені напрями розвитку конструкцій енергозберігаючих та високопродуктивних вібраційних приводів машин для реалізації дроблення, різання, перемішування, очищення поверхневого покриву та розділення неоднорідних систем в процесах харчових і переробних виробництв. Досліджено динамічні моделі вібраційних приводів з комбінованим кінематичним вібробудженням, отримано аналітичні залежності для оцінки кінематичних, силових та енергетичних характеристик колівальних систем, що дозволило здійснити вибір та обґрунтування раціонального способу вібробудження для технологічних машин механічної дії на сировину. Проаналізовані математичні моделі, що найбільш часто використовуються при вивченні кінетики процесів змішування за допомогою функції розподілу часу перебування (РЧП) досліджуваного компонента в апараті по кривим відгуку на характер опору. Визначена адекватність розглянутих моделей змішування реальним фізичним процесам, що відбуваються в перемішувальних пристроях, шляхом нанесення перевірених даних на розрахункові криві при ступінчастому введенні індикатора. При розробці та аналізі математичних моделей були використані наближені дані про можливі величини деяких параметрів рівнянь моделі, проведена корекція моделі.

Ключові слова: змішування, динамічні моделі, математичне моделювання, вібраційні машини.

O.I. MALAKOV, S.A. BURLAKA, Y.O. MIKHALIOVA
Vinnytsia National Agrarian University

MATHEMATICAL MODELLING AND BASICS OF CONSTRUCTION OF VIBRATION MIXERS

The article systematizes and generalizes the methods of designing mixing equipment and the intensification of mixing processes, solved the problems associated with the methodological principles of finding ways to increase the intensity and efficiency of the working processes of mixing machines. It was established that they require clarification and further improvement of existing methods for calculating mixing equipment using promising physical and technical effects. The effect of mixing force factors on the change in the path of the executive bodies of the vibration technological system, which allows to predict the loading behaviour and minimize the number of kinematic links in the system, is substantiated. The directions of development of the designs of energy-saving and high-performance vibration drives of machines for the implementation of crushing, cutting, mixing, cleaning the surface cover and separation of heterogeneous systems in the processes of food and processing industries are studied. The dynamic models of vibration drives with combined kinematic vibration excitation are investigated. Analytical dependences are obtained for assessing the kinematic, power and energy characteristics of vibration systems, which made it possible to select and justify a rational method of vibration excitation for technological machines for mechanical impact on raw materials. Mathematical models are analysed, and they are most often used when studying the kinetics of mixing processes using the residence time distribution (RTD) function of the component under study in the response curves of the nature of the resistance. The certain adequacy of the considered mixing models for real physical processes occurring in mixing devices by applying verified data to the calculated curves with the stepwise introduction of the indicator. When developing and analysing mathematical models, approximate data on the possible values of some parameters of the model equations were used, and the model was corrected.

Key words: dynamic model, dynamic model, mathematical model, automatic machine.

Вступ

Узагальнення і аналіз методів проектування змішувального обладнання і інтенсифікації процесів змішування показують, що вирішені далеко не всі завдання, пов'язані з методологічними засадами пошуку шляхів підвищення інтенсивності та ефективності робочих процесів змішувальних машин. Зокрема, вимагають уточнення і подальшого вдосконалення існуючих методик розрахунку змішувального обладнання з використанням перспективних фізико-технічних ефектів, наприклад, вібрації, а також ряд приватних завдань з проектування першочергових важливих елементів конструкцій.

Як узагальнений метод пошуку нових технічних рішень в даний час використовують метод системного аналізу для вивчення складних технічних систем і процесів. Під системним аналізом мається на увазі вся методологія процесу вироблення і прийняття рішень у проблемних ситуаціях, коли операції аналізу і синтезу тісно перетинаються. В процедуру системного аналізу технічної системи входять етапи: формулювання мети, аналіз проблеми і структури технічної системи, аналіз закономірностей і тенденції історичного розвитку, складання моделей і розробка розгорнутого плану досліджень, вибір критеріїв порівняння тощо.

Мета і задачі роботи

Метою дослідження є зменшення енерговитрат та підвищення продуктивності операцій вібраційних змішувачів, перемішування, механічного розділення неоднорідних систем на основі математичного аналізу

досліджуваних процесів та обладнання, визначення перспективних напрямів підвищення їх ефективності, обґрунтування науково технічних основ конструювання вібраційних змішувачів.

Методи моделювання процесів змішування. Основні завдання, що стоять перед конструкторською службою: вибір конструктивної схеми змішувача; визначення його геометричних і кінематичних параметрів; розрахунок потужності, споживаної в процесі змішування; визначення часу перемішування (або продуктивності змішувача). Вибір конструктивної схеми змішувача пов'язаний з формулюванням вимог до режиму роботи (циклічний, безперервний). Геометричні і кінематичні параметри в основному визначаються необхідною продуктивністю по випуску готової продукції.

При вивченні кінетики процесу змішування гомогенних або гетерогенних середовищ, у визначенні споживаної потужності головною роллю відіграють експериментальні дослідження, що дозволяють встановити найпростіші досліди, на основі яких можна формулювати закони, що керують досліджуваним явищем, і записати їх у вигляді деяких математичних співвідношень. Вони включають такі методи: 1 – заснований на аналізі структури потоків за допомогою функції розподілу часу перебування (РЧП) частинок суміші в корпусі змішувача; 2 – механіка суцільних середовищ з використанням детермінованих або стохастичних підходів; 3 – ентропійно-інформаційний; 4 – емпіричний (феноменологічний); 5 – фізичного моделювання; 6 – статистичний; 7 – оптимального планування [1, 2].

Нижче представлені деякі математичні моделі, найбільш часто використовувані в хімічній технології під час вивчення кінетики процесів змішування за допомогою функції розподілу часу перебування (РЧП) досліджуваного компонента в апараті по кривим відгуку на характер опір.

Модель ідеального витіснення. Відповідно до цієї моделі приймається:

$$\frac{\partial c}{\partial \tau} = -v \frac{\partial c}{\partial \tau},$$

де C – концентрація досліджуваного компонента, v – швидкість потоку матеріалу, τ – час [3–5].

Характер відгуку на ступінчатий $F(\tau)$ і імпульсний $C(\tau)$ опір показані на рис. 1.

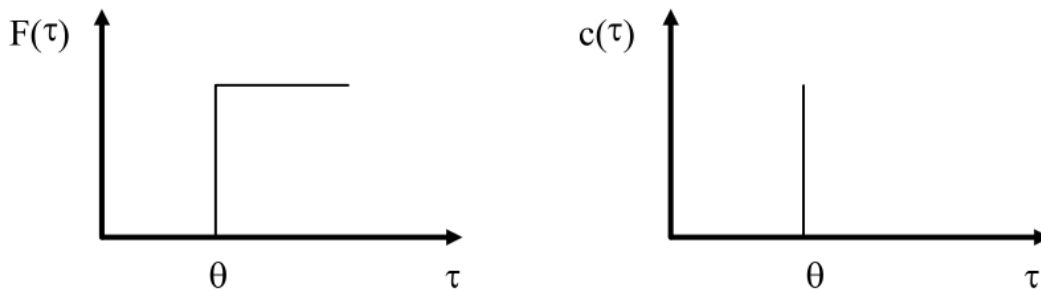


Рис. 1. Відгук на типовий опір

Модель ідеального змішування. Відповідно до цієї моделі приймається рівномірний розподіл досліджуваного компонента в усьому обсязі змішаного матеріалу:

$$\frac{dc_{\text{вих}}}{d\tau} = \frac{V_c}{V} (C_{\text{вх}} - C_{\text{вих}})$$

де $C_{\text{вх}}, C_{\text{вих}}$ – відповідно концентрація досліджуваного компонента на вході і виході зі змішувача;

V_c, V , – відповідно об'ємна швидкість потоку і обсяг змішувача.

Характер відгуку на ступінчатий $F(\tau)$ і імпульсний $C(\tau)$ опір показані на рис. 2.

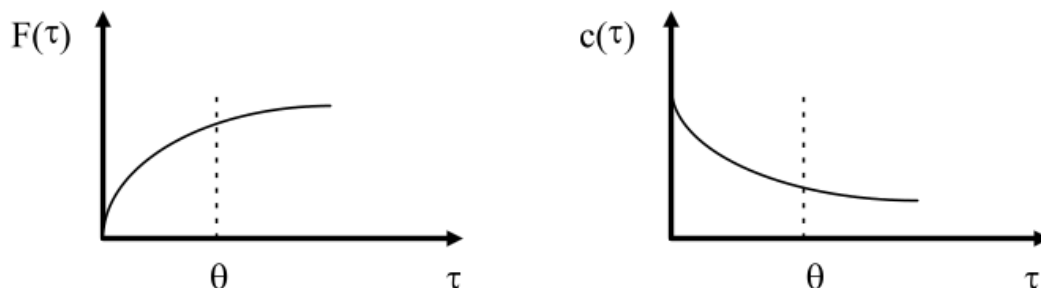


Рис. 2. Відгук на типовий опір

Очевидно, що моделі ідеального змішування відповідає аперіодична ланка і функція відгуку має вигляд:

$$C(\tau) dt = \frac{V_c}{V} e^{-V_c \tau / V} d\tau = \frac{e^{-\tau/\bar{\tau}}}{\bar{\tau}} d\tau,$$

де $\bar{\tau} = \frac{V_c}{V}$ – середній час перебування досліджуваного компонента в змішувачі [6, 7].

Дифузійна модель змішання. Розрізняють два типи моделей: однопараметричні і двопараметричні. Їх основою є модель ідеального витіснення поєднана з процесом перемішування, який підпорядковується формальним законом дифузії. При використанні даних моделей приймаються такі припущення: зміна концентрації досліджуваного компонента є безперервною функцією координати. Концентрація його в перерізі постійна, об'ємна швидкість потоку і коефіцієнти перемішування не змінюються по перетину змішувача.

При таких припущеннях моделі описуються рівняннями:

$$\frac{\partial c}{\partial \tau} = -v \frac{\partial c}{\partial x} + D_L \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} \quad \text{и} \quad \frac{\partial c}{\partial \tau} = -v \frac{\partial c}{\partial x} + D_L \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + \frac{D_R}{R} * \frac{\partial}{\partial R} \left(R \frac{\partial c}{\partial R} \right),$$

де D_L, D_R – коефіцієнти подовжнього і поперечного змішування; R – певний лінійний розмір.

В ході дослідного визначення коефіцієнтів перемішування їх представляють у вигляді безрозмірних комплексів – критеріїв Пекле:

$$Pe_L = \frac{D_L}{vL}; Pe_R = \frac{D_R}{vL}.$$

Якщо $Pe \rightarrow 0$, дифузійна модель переходить в модель ідеального витіснення; при $Pe \rightarrow \infty$ – в модель ідеального змішування.

У змішувачах безперервної дії на підставі дифузійних моделей при різній інтенсивності змішування С-криві апроксимуються нормальним або гаусовським розподілом. Зв'язок між дисперсією σ^2 і Pe_L задається рівнянням $\sigma^2 = 2 \frac{D_L}{vL}$. Характер відгуку на ступінчастий $F(\tau)$ і імпульсний $C(\tau)$ опір представлено на рис. 3.

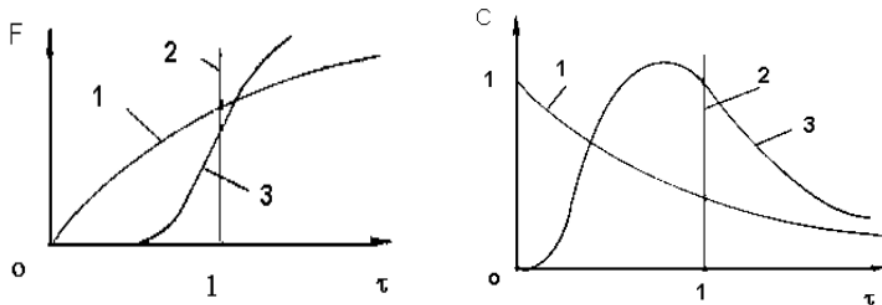


Рис. 3. Відгук на типовий опір:

а) дифузійні моделі: 1 – ідеального змішування; 2 – ідеального витіснення; 3 – проміжна; б) осередкова модель: 1) число осередків $m = 1$; 2) $m = \infty$; 3) m приймає проміжні значення

Осередкова модель. Основою моделі є уявлення про ідеальне перемішування в межах осередків (мішалок) з'єднаних послідовно або паралельно і відсутності перемішування між ними. Параметром, що характеризує модель, служить число осередків m . Математичний опис осередкової моделі складається з m лінійних диференціальних рівнянь першого порядку:

$$\frac{1}{m} * \frac{dc_i}{d\tau} = \frac{1}{\tau_n} (c_{i-1} - c_i),$$

де $i = 1, 2, 3, \dots$

Осередковою моделлю оцінюють функцію розподілу в послідовно з'єднаних змішувачах, які здійснюють інтенсивне перемішування, абсорбційних і екстракційних колонах, апаратах з псевдозрідженими шарами. Різновидом осередкової моделі є модель зі зворотним потоком, в якій враховується наявність зворотного потоку між осередками. Зв'язок між розподілом по С-кривій і числом осередків визначається рівнянням:

$$C = \frac{c}{c_0} = \frac{m\theta^{m-1}}{(m-1)!} e^{-m\theta}$$

При $m > 10$ достатню для практичних розрахунків точність дає вираз:

$$\sigma^2 = \frac{1}{m} = 2 \frac{D_L}{vR}.$$

Осередкова модель при $m = 1$ переходить в модель ідеального змішування, при $m \rightarrow \infty$ – в модель

ідеального витіснення. Характер відгуку на ступеневий $F(\tau)$ і імпульсний $C(\tau)$ опір представлені на рис. 3 [8, 9].

Висновок

Адекватність розглянутих моделей змішання реальним фізичним процесам, що відбуваються в перемішувачих пристроях, найчастіше встановлюється шляхом нанесення перевірених даних на розрахункові криві при ступінчастому введенні індикатора. Оскільки при розробці математичних моделей використовуються наближені дані про можливі величини деяких параметрів рівнянь моделі, виникає необхідність корекції моделі. Корекція моделі проводиться на реальних фізичних лабораторних і напівпромислових моделях. Перехід до інших масштабів здійснюється за допомогою методів фізичного моделювання.

Не всі реальні процеси вдається описати за допомогою розглянутих вище моделей. У цих випадках використовують комбіновані моделі, що складаються з послідовно і (або) паралельно з'єднаних перерахованих вище моделей. Комбінованою моделлю може бути описаний практично будь-який складний процес, проте його моделювання значно ускладнюється через громіздкість рівнянь, що утворюються, і складності їх рішень.

Література

1. Повідайло В.О. Вібраційні процеси та обладнання / В.О. Повідайло. – Львів : Вид-во НУ «Львівська політехніка», 2004. – 248 с.
2. Бабичев А.П. Основы вибрационной технологии / А.П. Бабичев, И.П. Бабичев. – Ростов-на-Дону : Издательский центр ДГТУ, 1999. – 620 с.
3. Цуркан О.В. Комбінований вібраційний змішувач / О.В. Цуркан, І.М. Кесарчук // Вібрації в техніці та технологіях. – 2009. – № 1(53). – С. 114-115.
4. Sarang O. Effects of powder cohesion and segregation on pharmaceutical mixing and granulation: dissertation of doctor of philosophy : 05.2003 / O. Sarang. – USA: New Jersey, 2016. – P. 1–8.
5. Баранецька О.Р. Вібраційне змішування сумішей сипучих матеріалів / О.Р. Баранецька // машинознавство. – 2000. – № 3 (33). – С. 60–63.
6. Берник М.П. Віброімпульсний привод нового вібраційного змішувача / М.П. Берник, О.В. Цуркан, Л.Д. Величко // Вібрації в техніці та технологіях. – 2001. – № 2(18). – С. 3–7.
7. Пат. На корисну модель 115132 Україна (UA), МПК B01F 11/00. Вібровідцентровий змішувач / В.П. Янович, І.П. Паламарчук, Ю.О. Михальова ; заявник і патентовласник Янович В.П. – Заявл. 25.07.2016 ; опубл. 10.04.2017, Бюл. No 7. – 5 с.
8. Григоренко Ю.В. Математичні моделі та узагальнення математичного опису процесів первинної переробки сирих вуглеводнів [Електронний ресурс] / Ю.В. Григоренко // Інформатика та математичні методи в моделюванні. – 2014. – Режим доступу : http://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/Itmm_2014_4_2_13.pdf.
9. Погосов А.Ю. Моделирование физических процессов и технологическая информатизация в нефтяной промышленности и энергетике : монография / А.Ю. Погосов, С.А. Положаенко, Ю.В. Григоренко. – Одесса : Наука и техника, 2013. – 656 с.

References

1. Povidaylo V.O. Vibration processes and equipment / V.O. Povidaylo. – Lviv : Publishing House of Lviv Polytechnic National University, 2004. – 248 p.
2. Babichev A.P. Fundamentals of Vibration Technology / A.P. Babichev, I.P. Babichev. – Rostov-on-Don : Publishing center of DSTU, 1999. – 620 p.
3. Tsurkan O.V. Combined vibrating mixer / O.V. Zurkan, I.M. Kesarchuk // Vibrations in Engineering and Technology. – 2009. – No 1 (53). – P. 114–115.
4. Sarang O. Effects of powder cohesion and segregation on pharmaceutical mixing and granulation: dissertation of doctor of philosophy : 05.2003 / O. Sarang. – USA: New Jersey, 2016. – P. 1–8.
5. Baranetska O.R. Vibrational mixing of mixtures of bulk materials / O.R. Baranetska // Mechanical Engineering. – 2000. – No 3 (33). – P. 60–63.
6. Bernik M.P. Vibration impulse drive of a new vibration mixer / M.P. Bernik, O.V. Zurkan, L.D. Velichko // Vibrations in Engineering and Technology. – 2001. – No 2 (18). – P. 3–7.
7. Pat. For utility model 115132 Ukraine (UA), IPC B01F 11/00. Vibration centrifugal mixer / V.P. Yanovich, I.P. Palamarchuk, Y.O. Mikhaliova ; the applicant and the patent owner Janovich V.P. – Statement. 25.07.2016 ; publ. 10/04/2017, Bul. No. 7. – 5 p.
8. Grigorenko Y.V. MATHEMATICAL MODELS AND GENERALIZATION OF THE MATHEMATICAL DESCRIPTION OF THE PROCESSES OF PRIMARY PROCESSING OF CRUDE CARBON [Electronic resource] / Y.V. Grigorenko // MNATMET. – 2014. – Resource access mode: http://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_201.pdf
9. Pogosov A.Y. Modeling of physical processes and technological informatization in the oil industry and energy: a monograph / A.Y. Pogosov, SA Polozhaenko, Y.V. Grigorenko. – Odessa : Science and Technology, 2013. – 656 p.

Рецензія/Peer review : 21.06.2019 р.

Надрукована/Printed : 23.07.2019 р.
Рецензент: д.т.н., проф. В.Ф. Малаков

ТЕХНОЛОГІЇ ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

DOI 10.31891/2307-5732-2019-277-5-34-39

УДК 687.05

А.Л. СЛАВІНСЬКА
Хмельницький національний університетПІВСТОЛІТТЯ ОСВІТНЬО-НАУКОВОЇ ДІЯЛЬНОСТІ КАФЕДРИ
ТЕХНОЛОГІЇ І КОНСТРУЮВАННЯ ШВЕЙНИХ ВИРОБІВ
ХМЕЛЬНИЦЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

Наведені пам'ятні дати історії кафедри технології і конструювання швейних виробів. Представлені складові конкурентоздатності освітніх технологій кафедри на основі єдності теорії і практики в організації навчального процесу.

Ключові слова: університет, кафедра, навчальний процес, інноваційні технології, спеціальність 182, лабораторія, студент, професорсько-викладацький склад.

A.L. SLAVINSKA
Khmelnytskyi National UniversityHALF A CENTURY OF EDUCATIONAL AND SCIENTIFIC ACTIVITY OF THE DEPARTMENT OF
TECHNOLOGY AND DESIGN OF GARMENTS IN KHMELNYTSKYI NATIONAL UNIVERSITY

The chronology of memorable dates and events of educational and scientific activity of the department of technology and design of garments was developed. High quality of the educational process in accordance with the requirements of the garment industry is confirmed. The qualitative level of the faculty members and the development of the material and technical base for the 50 years of the department's history are analysed. The directions of application of alternative training technologies based on the introduction of Internet resources and automated design systems are shown. Modern methodological support of educational activity has been created. The introduction of innovative equipment in technological laboratories to provide a high level of practical training is shown. Publication activity of faculty members as well as their participation in conferences is presented. The department's compliance with the educational programs of the specialty 182 - Light industry technologies by educational levels of bachelor's and master's degrees is confirmed. The effectiveness of training of educational specialists through postgraduate and doctoral studies is confirmed. Students' creative potential is embodied through the recognition of their clothing collections at various clothing design contests.

Key words: university, department, educational process, innovative technologies, specialty 182, laboratory, student, teaching staff.

Хмельницький національний університет визнаний в Україні і світі вищий навчальний заклад IV рівня акредитації, який вже 57 років активно розширює горизонти вітчизняної науки і освіти, впроваджує інноваційні розробки у виробництво [1]. Основною метою науково-освітньої діяльності університету є забезпечення якісної підготовки фахівців для потреб народного господарства, наукових і науково-педагогічних кадрів вищої кваліфікації. Протягом 50 років всі ці види діяльності успішно виконуються на кафедрі технології і конструювання швейних виробів, про що свідчить хронологія історичних дат (табл. 1).

Таблиця 1

Хронологія історії кафедри технології і конструювання швейних виробів [2]

Пам'ятні дати	Подія	Очільник підрозділу	Штатні одиниці	Матеріально-технічна база
1	2	3	4	5
1968-1969 н. р.	Започаткування підготовка інженерних кадрів	Асистент Дубач В.С.	2	2-й корпус, швейна лабораторія
Лютий 1969 р.	Початок занять зі спецдисциплін	Асистент Дубач В.С.	2	2-й корпус
1 вересня 1969 р.	Організаційні заходи формування кафедри	ст. викладач Дубач В.С.	5	2-й корпус
11 вересня 1969 р.	Утворення кафедри технології виробничих процесів побутового обслуговування, наказ № 285 від 11.09.1969 р.	ст. викладач Дубач В.С.	5	Оснащення кафедри технологічним та лабораторним обладнанням
1 вересня 1970 р.	Розташування площ кафедри у III навчальному корпусі	к.т.н., доц. Базюк Г.П.	8	3-й корпус, 3-4 поверх
Квітень 1972 р.	Перша науково-теоретична конференція з проблем побутового обслуговування	к.т.н., доц. Базюк Г.П.	15	3-й корпус, 3-4 поверх

Продовження табл. 1

1	2	3	4	5
1 червня 1973 р.	Розподіл існуючої кафедри на „Кафедру технології і конструювання швейних виробів” та „Кафедру техно-логії та конструювання виробів із шкіри”, наказ № 130 від 01.06.1973 р.	к.т.н., доц. Базюк Г.П.	13	3-й корпус, 4 поверх
Червень 1973 р.	Перший випуск. Впровадження заочної форми навчання. Освоєння площ будинку побуту, реконструкція лабораторних приміщень та технічне переоснащення кафедри	к.т.н., доц. Базюк Г.П.	13	3-й корпус, 4 поверх
Вересень 1975 р.	Впровадження заочної форми навчання	к.т.н., доц. Шаршов В.С.	14	3-й корпус, 4 поверх
1976–1982 н.р.	Освоєння площ будинку побуту	к.т.н., доц. Шаршов В.С., к.т.н., доц. Алексієнко А.І.	14	Реконструкція приміщень 4 і 5 поверхів будинку побуту
1985–1987 р.р.	Максимальна кількість випускників (250 осіб). Відкриття спеціалізації „Конструювання швейних виробів із текстильних матеріалів”	к.т.н., доц. Базюк Г.П., к.т.н., доц. Славінська А.Л.	20	Будинок побуту, 4 і 5 поверхи
1992 р.	Створення СБМ (Студентського будинку моделей)	к.т.н., доц. Базюк Г.П., к.т.н., доц. Баннова І.М.	5	Будинок побуту, ауд. 407
1994 р.	Початок підготовки бакалаврів	к.т.н., доц. Кустова О.Г.	20	Будинок побуту, 4 і 5 поверхи
1995 р.	Відкриття аспірантури за науковими спеціальностями кафедри	к.т.н., доц. Славінська А.Л.	16	Будинок побуту, 4 і 5 поверхи
Жовтень 1995 р.	Створення науково-виробничого центру „Інновація”	к.т.н., доц. Ярошук О.В.	4	2-а експериментальна база
1998 р.	Відкриття докторантури	д.т.н., проф. Скрипник В.М., д.т.н., проф. Мичко А.А.	1	Будинок побуту, ауд. 403
1999 р.	Випуск бакалаврів	к.т.н., доц. Славінська А.Л.	25	Будинок побуту, 4 і 5 поверхи
Червень 2000 р.	Перший випуск магістрів на кафедрі	к.т.н., доц. Славінська А.Л.	6	Будинок побуту, 4 і 5 поверхи
Вересень 2000 р.	Поновлення спеціалізацій кафедри	к.т.н., доц. Славінська А.Л.	25	Будинок побуту, 4 і 5 поверхи
Вересень 2001 р.	Відкриття спеціальності «Дизайн»	к.т.н., доц. Славінська А.Л.	5	Будинок побуту, ауд. 513
Червень 2004 р.	Захист докторської дисертації	д.т.н., проф. Славінська А.Л.	1	КНУТД, м. Київ
Вересень 2005 р.	Відділення кафедри „Дизайн”	к.т.н., доц. Баннова І.М.	5	2-й корпус
2005 р.	Перший випуск студентів дистанційної форми навчання	д.т.н., проф. Славінська А.Л.	28	Будинок побуту, 4 і 5 поверхи

Продовження табл. 1

1	2	3	4	5
Грудень 2005 р.	Початок захистів кандидатських дисертацій в спецраді	д.т.н., проф. Славінська А.Л., к.т.н., доц. Кущевський М.О.	3	3-й корпус, Зала засідань
Жовтень 2009 р.	40-річний ювілей кафедри	к.т.н., доц. Кущевський М.О.	28	Будинок побуту, ауд. 403
Грудень 2014 р.	Відкриття докторантури	д.т.н., проф. Славінська А.Л.	2	Будинок побуту, ауд. 401, 415
Квітень 2018 р.	Відкриття лабораторії Технології і моди	д.т.н., проф. Славінська А.Л., к.т.н., доц. Засорнова І.О.	18	Будинок побуту, Оснащення ауд. 412 обладнанням фірми «JACK»
Жовтень 2018 р.	Захист докторської дисертації	д.т.н., проф. Славінська А.Л., к.т.н., доц. Захаркевич О.В.	1	ХНТУ, м. Херсон

Динаміка зміни якості науково-викладацького складу в п'ятирічних періодах діяльності кафедри наведена на рис. 1.

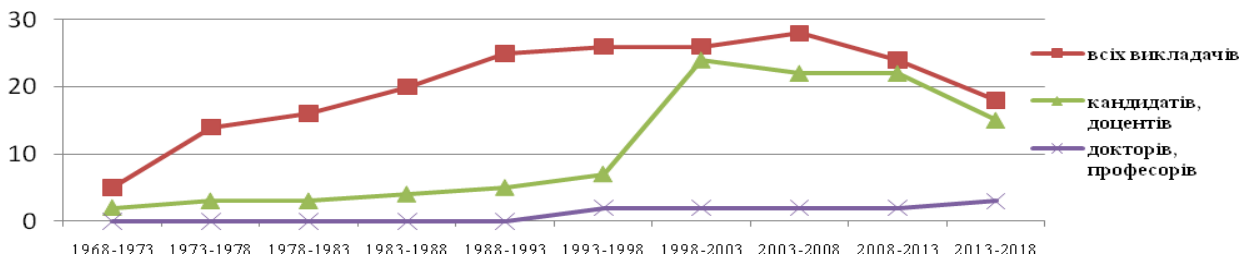


Рис. 1. Динаміка розвитку якісного складу кафедри ТКШВ

Галузь швейної промисловості сьогодні визнана гостро дефіцитною. Підвищення якості професійної підготовки фахівців, підтримка у розвитку власної підприємницької діяльності випускників, самостійного, ініціативного, захищеного та мобільного виробника на ринку праці – ось ті завдання, що стоять сьогодні перед освітянами.

Для підготовки висококваліфікованих спеціалістів, у навчальному процесі використовуються такі складові: технології впровадження інтернет-ресурсів та автоматизованих систем проектування; біо- та фотометричні технології дослідження параметрів людського тіла, 3D-технології побудови манекену та віртуальної візуалізації нових моделей одягу на стадії їх ескізної та композиційної проробки; інформаційна підтримка процесів життєвого циклу товарів; прогнозування та забезпечення необхідного рівня конкурентоздатності швейних виробів; сучасне високоякісне автоматизоване швейне обладнання та інше технічне забезпечення; впровадження новітніх технологій обробки та виготовлення деталей одягу та швейних виробів різного призначення. Навчання спрямоване на прогнозування розвитку конкретних інновацій в галузі швейного виробництва, матеріалів та технологій, знання про які є необхідними для високо конкурентних фахівців на європейському ринку праці.

У навчальному процесі широко застосовуються сучасні комп'ютерні техніка та технології. Для побудови креслеників деталей одягу, створення художніх та технічних ескізів, обробки різнопланових зображень і фото використовується такі програми комп'ютерної графіки, як AutoCad, The GIMP, Inkscape та багато інших. Окрім здобуття практичних професійних навиків, студенти навчаються роботі у спеціалізованих автоматизованих програмах: САПР "Julivi" фірми САПРЛЕГПРОМ (м. Луганськ) та САПР "Грація" (м. Харків) [3].

Свої найсмівливіші творчі ідеї та задуми студенти можуть реалізувати за допомогою тривимірної комп'ютерної графіки, навчаючись роботі у програмі CLO 3D САПР "Julivi", що дозволяє працювати із віртуальним 3D-манекеном, візуально "одягати" його та візуалізувати зовнішній вигляд моделі одягу ще на етапі його ескізної проробки (рис. 2).



Рис. 2. Приклади студентських робіт зі створення ескізів моделей із застосуванням програм комп'ютерної графіки та CLO 3D

З 2018 р. кафедра ТКШВ розпочала плідну співпрацю з компанією “SOFTORG”, яка є лідером в Україні з постачання швейного обладнання “JUKI” та “JACK”. Завдяки компанії за досить короткий час значно зміцнилась матеріально-технічна база кафедри. Швейні лабораторії регулярно оснащуються інноваційним обладнанням. За сприяння директора “SOFTORG” Олександра Зверева на базі кафедри відкрито навчально-наукову лабораторію “Технологій і моди”, у якій представлено вісім новітніх спеціалізованих швейних машин фірми “JACK” (рис. 3).

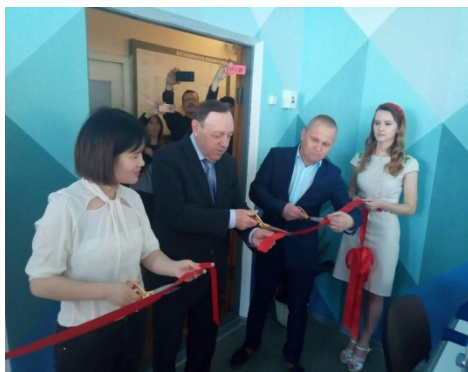


Рис. 3. Урочисте відкриття навчально-наукової лабораторії “Технологій і моди”

За досить короткий час для студентів та майбутніх абітурієнтів в стінах лабораторії проведено чимало заходів, майстер-класів для ознайомлення з можливостями роботи на новітньому швейному обладнанні (рис. 4).



Рис. 4. Майстер-класи на тему: «Сучасне швейне обладнання фірми «JACK»

За результатами конструкторсько-технологічної практики з виготовленням зразка рішенням кваліфікаційної комісії студентам присуджуються 3-4 тарифно-кваліфікаційні розряди з робітничої професії за фахом.

Студенти, що навчаються на кафедрі ТКШВ, також мають можливість ознайомитися з новітніми та альтернативними технологіями у напрямку проектування одягу. Наприклад, нещодавно придбано принтер та прес для виконання сублимаційного друку, що дозволяє студентам розробляти і друкувати модні принти, створювати ексклюзивні дизайнерські вироби та колекції одягу.

В даний час на кафедрі працюють 18 викладачів, серед яких три професора, 15 доцентів, 5 працівників допоміжного персоналу, 2 інженера.

За останні роки викладачами кафедри видано сто найменувань посібників, лабораторних практикумів, методичних вказівок до виконання лабораторних, практичних, курсових проектів та магістерських робіт. Кафедра Технології та конструювання швейних виробів проводить підготовку фахівців за спеціальністю 182 – «Технології легкої промисловості» (очна, заочна та дистанційна форми навчання), за чотири освітніми рівнями: бакалавр, магістр, доктор філософії, доктор наук.

Під керівництвом д-ра техн. наук, професора Славінської А.Л. на кафедрі працює наукова школа за тематичним напрямком «Теоретичні основи і методичне забезпечення модульного проектування конкурентоздатного одягу» [4]. Науковцями школи захищено 2 докторські та 11 кандидатських дисертацій, видано 3 монографії, 11 навчальних посібників, 8 патентів, опубліковано понад 300 наукових праць.

Викладачі, аспіранти кафедри підтримують творчі та наукові зв'язки з Київським національним університетом технологій та дизайну, Херсонським національним технічним університетом, Українською інженерно-педагогічною академією, Мукачівським державним університетом.

Нещодавно були налагоджені й міжнародні зв'язки зі спорідненими закладами вищої освіти: Казанським національним дослідницьким технологічним університетом; Kafrelsheikh University (Egypt), Вітебською філією Установи освіти Федерації профспілок Білорусі Міжнародним університетом «МІТСВ».

В період з 2006 по 2019 рік на кафедрі виконувалися 5 держбюджетних науково-дослідних робіт, що фінансувалися Міністерством освіти і науки України.

Співробітники кафедри підтверджують свій науковий та творчий потенціал наявністю патентів та авторських свідоцтв, серед яких є промислові зразки швейних виробів, нові методи, технології та комп'ютерні програми.

Крім того, на кафедрі постійно проводяться розширені наукові семінари з заслуховування кандидатських (докторських) дисертацій, виконаних у стінах рідного університету та інших закладах вищої освіти країни.

У 2005–2017 роках в університеті за профілем кафедри працювала спеціалізована вчена рада К 70.052.03. з захисту кандидатських дисертацій за спеціальністю 05.18.19 – технологія текстильних матеріалів, швейних і трикотажних виробів. До ради входили троє представників кафедри: д-р техн. наук, професор Славінська А.Л., канд. техн. наук, професор Кушевський М.О., канд. техн. наук, доцент Домбровська О.М. За цей час у ній захистили свої кандидатські дисертації десять членів сьогоднішнього складу професорсько-викладацького складу кафедри: Дітковська О.А., Захаркевич О.В., Кошевка Ю.В., Луцевська О.М., Привала В.О., Сиротенко О.П., Швець Г.С., Буханцова Л.В., Засорнова І.О., Вовк Ю.В.

Викладачі кафедри здійснюють також опонування кандидатських дисертацій.

Завідувач кафедри ТКШВ д-р техн. наук, професор Славінська А.Л. є членом редколегій Вісника Хмельницького національного університету, Вісника Київського національного університету технологій та дизайну, а також журналу «Легка промисловість», які входять до переліку наукових фахових видань України.

Починаючи з 2013 року на базі кафедри успішно проводилась щорічна Всеукраїнська науково-практична Інтернет-конференція молодих вчених та студентів «Ресурсозберігаючі технології легкої, текстильної і харчової промисловості», яка з 2018 року набула статусу міжнародної на базі кафедри технології та конструювання швейних виробів Хмельницького національного університету.

В конференції приймають участь представники з 21 навчального закладу, серед яких 19 навчальних закладів України. Окрім того, в конференції приймають участь іноземні вчені з навчальних закладів, з якими підтримуються постійні творчі та наукові зв'язки.

Професорсько-викладацький склад постійно підвищує свій науковий та педагогічний рівень шляхом стажування, у тому числі міжнародного. Делегація Хмельницького національного університету у складі викладачів кафедри технології та конструювання швейних виробів доцентів Дітковської О.А., Засорнової І. О., Захаркевич О.В., Кулешової С.Г. та Кошевка Ю.В. протягом 2–11 червня 2017 р. проходили стажування у Технічному університеті Варна (Болгарія) (рис. 5).



Рис. 5. Делегація ХНУ з організаторами конференції

Тематика стажування «Сучасні тенденції вищої освіти у країнах Європейського союзу. Досвід Технічного Університету Варни» ("Contemporary Tendencies of Higher Education in European Union Countries Experience of Technical University of Varna") передбачала 120 академічних годин аудиторної та самостійної

роботи (в обсязі 4 кредити).

Крім того, під час стажування викладачі прийняли участь у XIII міжнародній конференції «STRATEGY OF QUALITY IN INDUSTRY AND EDUCATION» (5–8 червня 2017 р).

Делегація Хмельницького національного університету у складі викладачів кафедри технології та конструювання швейних виробів доцентів Захаркевич О.В. та Кошевка Ю.В. протягом 27-28 жовтня 2017 р. взяли участь у роботі освітньої програми в рамках LVIV FASHION WEEK SS 2018.

Доценти кафедри технології та конструювання швейних виробів Хмельницького національного університету Захаркевич О. В. та Кошевка Ю. В. відвідали 35 Міжнародний фестиваль моди Kyiv Fashion, що проходив 5–7 вересня 2018 р. у м. Київ. Kyiv Fashion – найбільший міжнародний виставковий проект, який має багаторічну успішну історію та зберігає кращі виставкові традиції. Цей захід є найбільш авторитетним форумом у сфері модної індустрії України.

За останні десять років щорічно представляються роботи на вузівські та всеукраїнські конкурси наукових і творчих робіт, значна кількість з них отримує призові місця.

Щорічно студенти кафедри приймають участь у Всеукраїнській студентській олімпіаді зі спеціальності та отримують дипломи переможців.

На базі кафедри функціонує студентське конструкторське бюро факультету технологій і дизайну. Осередок основного складу студентського конструкторського бюро факультету технологій і дизайну складають саме студенти кафедри технології та конструювання швейних виробів. Керівництво роботою бюро здійснює доктор техн. наук, професор Захаркевич О.В.

Особлива увага на кафедрі ТКШВ приділяється підготовці магістрів, адже, як свідчить світовий досвід, саме цей вид підготовки є квінтесенцією системи вищої освіти, основою науково-технічного прогресу країни в цілому. Актуальність магістерської підготовки обумовлена стрімким розвитком ринкових відносин в Україні, поглибленням прогресивних реформ в усіх галузях народного господарства, які неможливі без наявності висококваліфікованих фахівців.

Саме тому, вже двадцять сім років у Хмельницькому національному університеті діє великий творчий колектив – Студентський будинок моделей (СБМ).

Творчі студенти постійними учасниками та призерами міжнародних конкурсів дизайнерів одягу, таких як «Адмиралтейская игла» (м. Санкт-Петербург, Росія), «Подіум» (м. П'ятигорськ, Росія), «Русский силуэт» (м. Москва, Росія), «Ассамблея моды» (м. Москва, Росія), «Автограф» в рамках 25 Міжнародного фестивалю моди Kyiv Fashion (м. Київ), «Печерські каштани», «Міжнародні премії SMIRNOFF в галузі моди» і «Сезони моди. – Погляд у майбутнє» (м. Київ), «Времена года» (м. Одеса), «Леополіс» (м. Львів), «Паром» (м. Харків), міжнародних форумах з дизайну та в інших конкурсах та фестивалях моди, що проходять у Києві, Харкові, Херсоні, Дніпрі, Мукачеві, а також у Всеукраїнському конкурсі молодих дизайнерів одягу «Барви Поділля», який проходить у стінах нашого університету.

Отже, плідна багаторічна робота колективу кафедри у напрямку постійного оновлення навчального матеріалу, впровадження інноваційних технологій, комп'ютеризації та сучасної техніки спрямована на розвиток творчих ідей, бажань і поглядів наших студентів, їх професійного розкриття і росту, формування амбіційних, творчих, перспективних та креативних спеціалістів майбутнього в індустрії моди і дизайну одягу.

Література

1. Інноваційно-інформаційні наукові розробки : зб. наук.-метод. праць / за заг. ред. М.Є. Скиби, С.Г. Костогриза. – Хмельницький : ХНУ, 2012. – С. 3–15.
2. Літопис кафедри технології та конструювання швейних виробів (1969–2009) – 40 річниця створення кафедри. – Хмельницький : ХНУ, 2009. – 80 с.
3. Гаврилюк П. Кафедра індустрії моди / П. Гаврилюк // Університет : газета Хмельницького національного університету. – Хмельницький : ХНУ, 2014. – № 2 (103). – С. 8.
4. Кафедра технології та конструювання швейних виробів // Університет : газета Хмельницького національного університету. – Хмельницький : ХНУ, 2019. – № 1 (116). – 27 с.

References

1. Innovatsiino-informatsiini naukovi rozrobky : zb. nauk.-metod. prats / za zah. red. M.Ie. Skyby, S.H. Kostohryza. – Khmelnytskyi : KhNU, 2012. – S. 3–15.
2. Litopys kafedry tekhnolohii ta konstruiuvannia shveinykh vyrobiv (1969–2009) – 40 richnytsia stvorennia kafedry. – Khmelnytskyi : KhNU, 2009. – 80 s.
3. Havryliuk P. Kafedra industrii mody / P. Havryliuk // Universytet : hazeta Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. – Khmelnytskyi : KhNU, 2014. – № 2 (103). – S. 8.
4. Kafedra tekhnolohii ta konstruiuvannia shveinykh vyrobiv // Universytet : hazeta Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. – Khmelnytskyi : KhNU, 2019. – № 1 (116). – 27 s.

Рецензія/Peer review : 26.05.2019 р. Надрукована/Printed : 23.07.2019 р.
Стаття рецензована редакційною колегією

**ПЕРЦЕПТИВНИЙ ПІДХІД ДО ОЗНАК ВІЗУАЛІЗАЦІЇ
В МОДЕЛЮВАННІ ПРОЕКТНОГО РІШЕННЯ ОДЯГУ**

Стаття присвячена вирішенню завдання удосконалення процесу перетворень проектних рішень при адресному проектуванні одягу шляхом наскрізної автоматизації ескізної розробки. Запропонована інформаційна модель процесу дозволяє дослідити фігуру і форму костюма як єдину знакову систему комунікативного простору моди за допомогою ескізу. Вперше теоретично доведено топологію перцептивного проектного образу моделі одягу в триадах знакової системи візуалізації.

Ключові слова: адресне проектування, проектне рішення, перцептивний проектний образ моделі одягу, ескіз

S.G. KULESHOVA
Khmelnitskyi National University**PERCEPTUAL APPROACH TO VISUALIZATION FEATURES IN THE DESIGN SOLUTION OF CLOTHING**

The main aim of the article is to improve the alteration process of design solutions in clothing design by means of automate mode of sketch designing. The process of choosing the design solution based on its visualization characteristic is the object under study. Its information model allows one to explore the human figure and the shape of costume as a single sign system in communicative space of fashion with the help of a sketch. The concept of choosing the solution contains two stages: artistic and constructive analysis, and synthesis. For the first time, the topology of the perceptual design image of a clothing model in the triads of a sign imaging system has been proved. At the same time, the constraint of the development of costume language is the limited database to assess the emotional experience of consumers. As a result of the research the author proposed the process of harmonization of graphic fashion image to individual harmonized design image with planned impression. Vector graphic editor was used to create technical sketches and graphic objects.

Keywords: customized garment design, design decision, perceptual design image of clothing model, sketch.

Вступ

Тенденції розвитку інноваційних технологій у всіх сферах діяльності вимагають нових підходів до методології прийняття проектних рішень. Оскільки процеси перетворень проектних рішень при адресному проектуванні одягу є складними геометричними процесами, актуальним є врахування особливостей зорового сприйняття моделей одягу, на базі яких можливе створення інформаційних, структурних та інших моделей процесів вибору проектного образу моделі одягу.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Проблема автоматизації ескізного проектування одягу знаходить відображення в наукових дослідженнях спеціалістів та науковців [1–5]. При цьому дослідження проводилися у напрямку структурного аналізу костюму [1], інноваційних методів візуалізації результатів художнього проектування [2], застосування експертних систем для аналізу стилів модного одягу [3], автоматизації процесу створення ескізів нових моделей одягу в умовах малих підприємств [4, 5]. Проте, не зважаючи на достатність інноваційних технологій в легкій промисловості, проблема врахування індивідуальних відчуттів в процесах сприйняття (перцепції) і вражень (імпресії) від швейних виробів залишаються поза увагою.

Мета і завдання дослідження

Мета дослідження – перцептивний підхід до вибору проектного рішення за ознакою візуалізації. Для досягнення мети необхідно вирішити наступні завдання: 1) сформувати інформаційну модель етапів вибору прототипу перцептивного проектного образу моделі одягу; 2) виконати моделювання топологічних перетворень графічних структур ескізних рішень.

Виклад основного матеріалу

Перцептивний проектний образ моделі одягу (ППОб) – це створена в результаті адресного проектування костюмна форма з запланованим враженням, що відповідає всім вимогам композиції костюма і має функціональне призначення за потребами споживача у відповідному середовищі споживання.

За аналогією з [6], математична модель процесу адресного проектування одягу (ММАПО) як складної системи, що враховує тип перцепції, є сукупністю відношень і множин, які визначають функцію $\{F\}$, набір проектних ситуацій $\{St\}$ та вихідні дані $\{Dn\}$ на всіх етапах процесу:

$$ММАПО = (F\{Pr\} \rightarrow Pr_m; St = \{St_n\}; Dn = \{Dn_n\}), \quad (1)$$

де F – оператор контролю;
 Pr – проектне рішення одягу;
 Pr_m – тип перцептивного образу моделі одягу;
 $n = 1, \bar{N}$ – область обмежень.

В цілому завдання проектного рішення, відповідно до проектної ситуації $\{St\}$ зводяться до визначення оператора вибору прототипу перцептивного образу моделі одягу Pr_m :

$$Pr_{Pr_m} = \forall x \in Pr_n, F(x) = y \in z_n, n = 1, \bar{N}; \quad (2)$$

або

$$F(Pr_n) = z_n, z = \{z_n\}, \quad (3)$$

де $Z = \{z_n\}$ – завдання вибору прототипу перцептивного проектного образу моделі одягу із запланованим враженням.

Формування інформаційної моделі етапів вибору прототипу перцептивного проектного образу моделі одягу

До процесу формування інформаційної моделі етапів вибору прототипу перцептивного проектного образу моделі одягу застосовано комплексні дослідження знакових структур [1, 2, 7], що візуалізують вербальні визначення стилістичних образів сучасного одягу. При цьому використано два рівні інформації:

1) з позиції стилю, моделі, крою, матеріальних елементів, структури форми, кольору, взаємозв'язку з фігурою і т.п.; 2) з позиції манери його носіння та споживання. При формуванні інформаційної моделі паралельно працюють дві системи: візуально-матеріальна, що представляє свою інформацію у вигляді схем, ескізів, матеріалів, цифр і т.д., і вербальна, що дає словесне осмислення візуального образу з описом головних елементів, та взаємозв'язків ознак моди.

З урахуванням рекомендацій [7] інформаційна модель містить два етапи вибору прототипу проектного рішення одягу: Перший етап – художньо-конструктивний аналіз (ХКА) – допроектні дослідження морфологічної структури прототипу форми і прототипу кольору (декомпозиція і аналіз графічного образу моди).

Другий етап – художньо-конструктивний синтез (ХКС) – вибір, розробка, синтез нової морфологічної структури прототипу форми і прототипу кольору як проектного рішення перцептивного проектного образу моделі одягу.

Кожен етап передбачає опрацювання множин відповідних типів проектних рішень (рис. 1), вихідна інформація до яких представлена у вигляді прогнозованого образу споживача і тріади елементарних одиниць враження.

Відповідно до розробленої інформаційної моделі на етапі ХКА проводиться:

1. Декомпозиція графічного образу моди. Графічний образ моди – інформація, яка представлена графічними методами і засобами [4]. Існує два типи графічних образів моди: 1 – фотографічне зображення системи «фігура – одяг», 2 – ескіз системи «фігура – одяг».

1.1. Первинне дослідження з виявлення знаків-символів візуалізації графічного образу моди (блоки 1.1.1, 1.1.2).

1.2. Виявлення костюмографічних закономірностей функціонування ідентифікаційних структур графічного образу моди.

1.3. Формування ідентифікаційних графічних структур для візуалізації графічного образу моди (виявлення і кодування варіантів ознак зовнішнього вигляду (ОЗВ), що поділяються на основні та додаткові) (блоки 1.3.1, 1.3.2).

На основі типових образів (типові поєднання ОЗВ, які є прообразами майбутніх перцептивних проектних образів моделей одягу), доцільно результат ХКА представити як вихідні дані для етапу ХКС.

2. Синтез нового графічного образу.

Відповідно з вихідними антропометричними даними, вимогами і смаком споживача результати ХКА упорядковуються та синтезуються на етапі ХКС.

2.1. Вибір проекту-ідеї типового проектного образу моделі одягу (блоки 2.1.1, 2.1.2).

2.2. Аналіз костюмографічних ідентифікаційних графічних структур для ХКС візуалізації основної ескізної пропозиції.

2.3. Гіпотеза можливих варіантів оптимальних ескізних рішень пропозицій (блоки 2.3.1, 2.3.2).

2.4. Проект рішення перцептивного проектного образу моделі одягу (блоки 2.4.1, 2.4.2).

Після затвердження оптимальних ескізних рішень і визначення їх рівня естетичної якості виконується вибір оптимального варіанту конструктивної побудови проектного виробу у певній системі художнього проектування.

Методика топологічних перетворень ескізних форм

Перцептивні образи моди несуть в собі певний культурно-стильовий код художнього образу: інформацію про архітектонічну цілісність, метафору або ритмічну і образну виразність форми. У цьому випадку реальний одяг перетворюється в зображення, яке посилює враження про нього. Цьому служать спеціальні костюмографічні прийоми перекладу реальності в образні композиції, що розкривають дизайн-концепцію речі: її нову пластичну ідею, або новий проектний простір, або нову технологію. І те, і інше інтегрує в собі безліч чинників і є багаторівневою системою, в якій реалізовані психофізіологічні, психосеміотичні, психосемантичні, предметно-функціональні, соціокультурні та маркетингові характеристики моделі одягу.

Організацію фонду графічної інформації системи «костюм» доцільно виконати на засадах теорії інформаційних процесів структур системи зображувальних мовних одиниць спілкування дизайнера в процесі художнього проектування системи «костюм» – костюмографічної мови [7, 9, 10].

Всю графічну інформацію поділено на два класи залежно від виду костюмного ескізу:

1) геометричну, яка характеризує просторові (площинні) властивості об'єкта проектування і його компонент. Вона може бути представлена як вербально, так і з допомогою геометричних елементів, символів, образів. Основою геометричної інформації є лінія (контур).

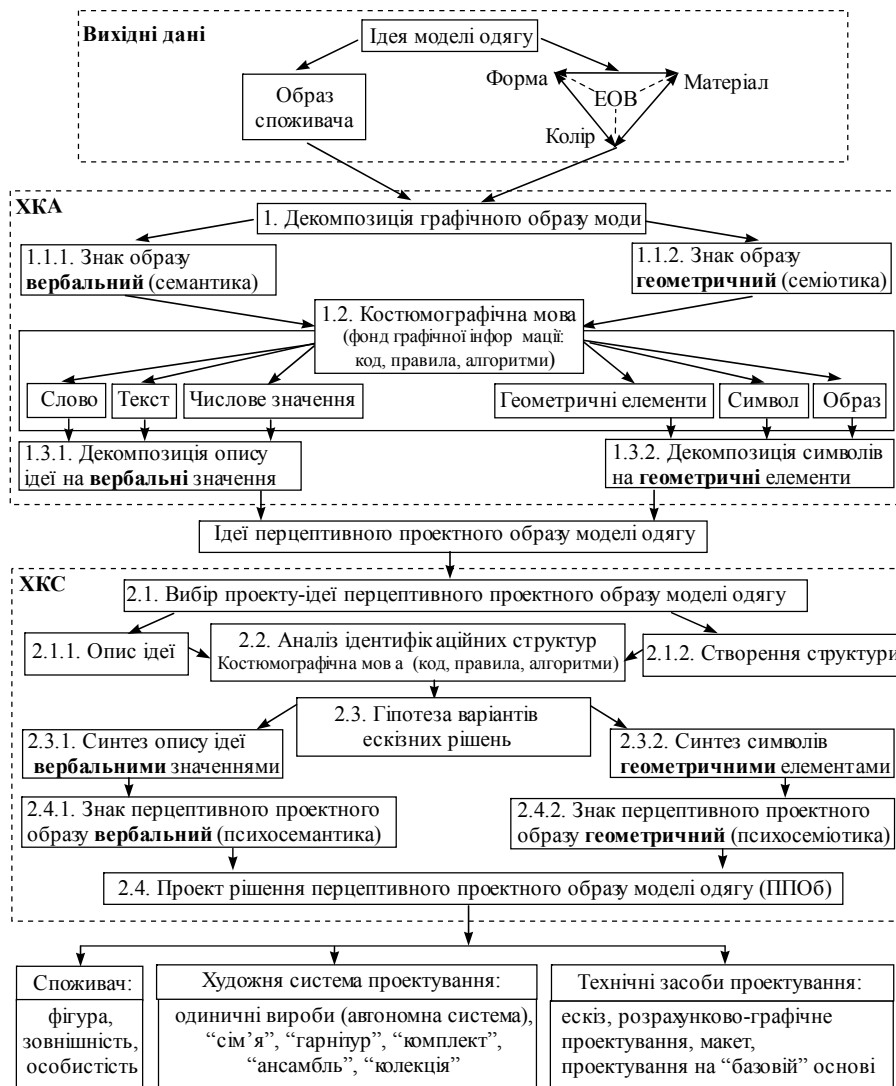


Рис. 1. Інформаційна модель вибору проектного рішення перцептивного проектного образу моделі одягу як знакової системи візуалізації

2) колористичну, основою якої є поверхня, пляма. Вона описується тільки вербально: слово, текст, числове значення. Стосовно до швейних виробів колористична інформація описує колір, фактуру, декор матеріалів.

Різноманітність сполучень двох класів графічної інформації в одному графічному образі забезпечує можливість комбінування нових варіантів форм і кольорових рішень об'єкта художнього проектування.

Структурні одиниці, на які розподіляється графічна інформація костюмографічної мови на предметному рівні, утворюють ієрархію елементарних, складових, групових і комплексних компонент зображення.

$$SGD = SGI + SCI, \tag{4}$$

де SGD – структура графічних даних;
 SGI – структура геометричної інформації;
 SCI – структура колористичної інформації.

$$SGI = \bigcup_{i=H} PG_i \subseteq \bigcup_{j=L} SG_j \subseteq \bigcup_{n=R} GG_n \subseteq \bigcup_{m=T} CG_m, \tag{5}$$

$$SCI = \bigcup_{i=H} PC_i \subseteq \bigcup_{j=L} SC_j \subseteq \bigcup_{n=R} UC_n \subseteq \bigcup_{m=T} CC_m, \tag{6}$$

де $PG, (PC)$ – множина геометричних (колористичних) елементарних компонент зображення, тобто графічний примітив i -го типу;

H – множина типів графічних примітивів;

$SG, (SC)$ – множина геометричних (колористичних) складових компонент зображення, тобто графічний сегмент j -го типу;

L – множина типів графічних сегментів;

$GG, (GC)$ – множина геометричних (колористичних) групових компонент зображення, тобто графічний розряд n -го типу;

R – множина типів графічних розрядів;

$CG, (CC)$ – множина геометричних (колористичних) комплексних компонент зображення, тобто

графічна категорія m -го типу;

T – множина типів графічних категорій.

Отже, ескіз костюму представляє собою складну комбінаторну систему, яка отримується синтезом зв'язаних між собою структурних компонент у вигляді костюмографічних модулів (геометричних і колористичних). Графічна геометрична і колористична інформація ескізу представлена у вигляді підпорядкованої структури графічних даних (рис. 2, 3).

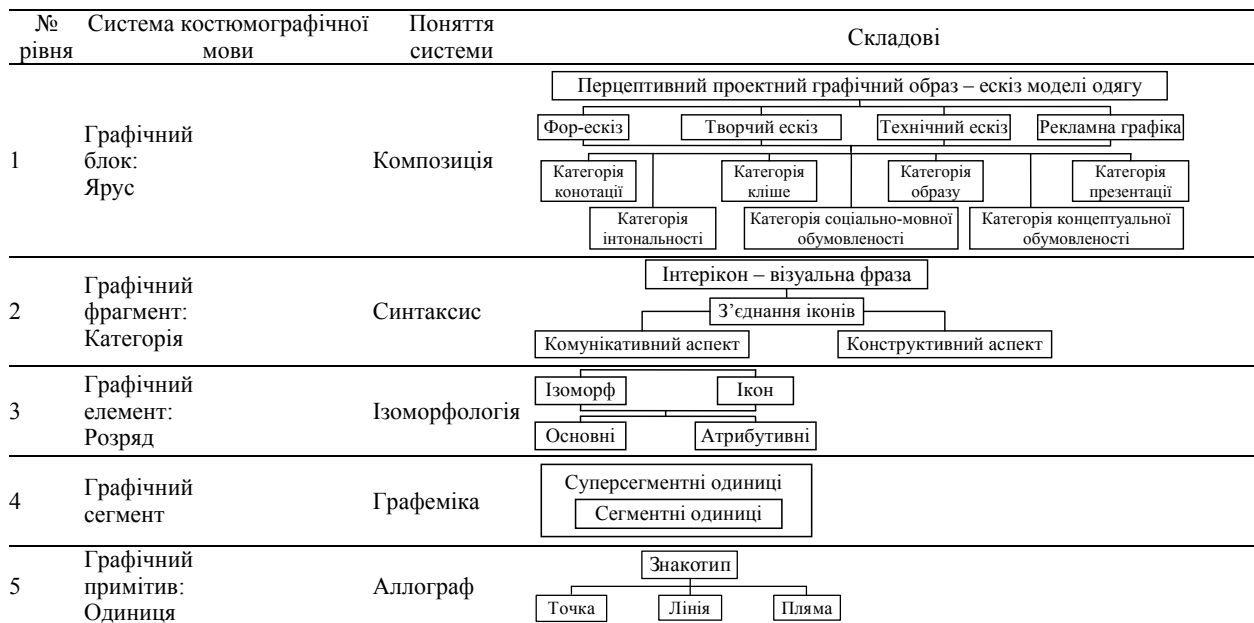


Рис. 2. Ієрархічна схема графічних геометричних структурних одиниць системи костюмографічної мови

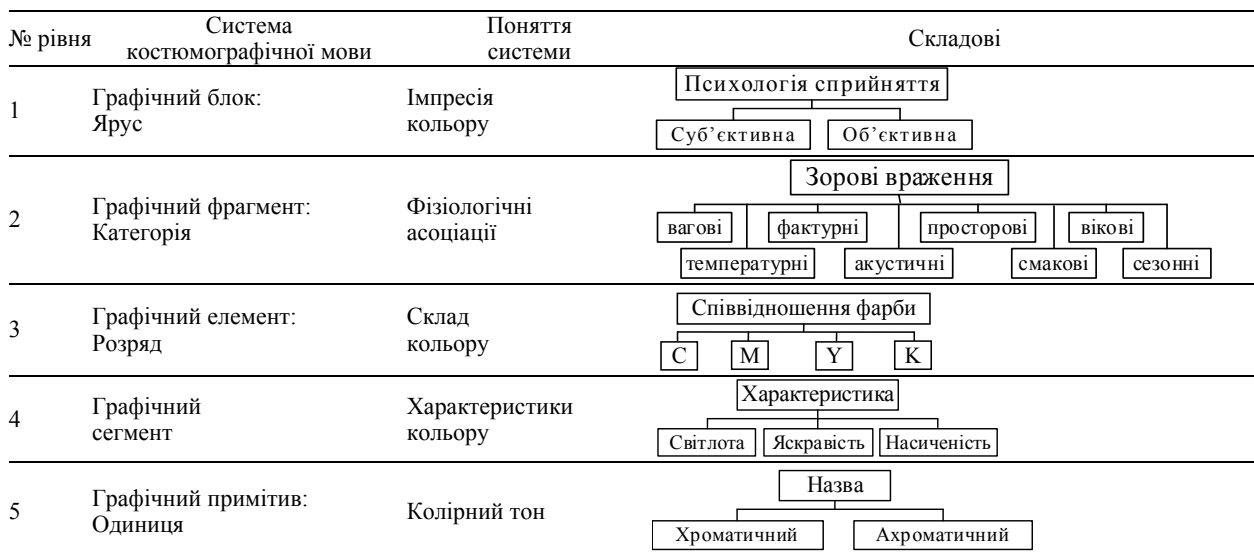


Рис. 3. Ієрархічна схема графічних колористичних структурних одиниць системи костюмографічної мови

Таким чином, завдання синтезу нового графічного образу Pr_E на етапі ХКС вирішується оператором у вигляді квантора \forall_E експлікації ескізу перцептивного проектного образу моделі одягу з структурних одиниць графічних даних костюмографічної мови з 5 по 1 рівень (табл. 1):

$$Pr_E = \forall_E (Pr_T, Pr_3, Pr_P, Pr_K, Pr_{ОбН}) \rightarrow \{E\}, \quad (7)$$

де E – ескіз перцептивного проектного образу моделі одягу;
 Pr_T – множина структурних компонент костюмографічних модулів класу тіло (стовп. 3 табл. 1);
 Pr_3 – множина структурних компонент костюмографічних модулів класу зовнішність (стовп. 4 табл. 1);
 Pr_P – множина структурних компонент костюмографічних модулів класу рухи (стовп. 5 табл. 1);
 Pr_K – множина структурних компонент костюмографічних модулів класу костюм (стовп. 6 табл. 1);
 $Pr_{ОбН}$ – множина структурних компонент костюмографічних модулів класу образ носія (стовп. 7 табл. 1).

Таблиця 1

Ієрархічна схема синтезу структурних одиниць костюмографічної мови

№ рівня	Знак (графіка+колір)	Інтеграл експлікації					Зміст (конотація)
		Клас <i>T</i> (тіло)	Клас <i>З</i> (зовнішність)	Клас <i>P</i> (рухи)	Клас <i>K</i> (костюм)	Клас <i>ОбН</i> (образ носія)	
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Відображення (ескіз)	Фігура людини	Пігментація шкіри, волосся, очей	Модна поза	Складові системи «костюм»	Поведінка	Перцептивний проектний образ
2	Інтерікон	Анатомічний пояс тілобудови	Пояс натурального покриву	Поза, жест (динамічні)	Предмет одягу	Вчинок	Інтерікон
3	Ікон	Частина поясу тілобудови	Частина натурального покриву	Жест (невеликий)	Частина конструкції одягу	Дія	Ікон
	Морф	Силует тіла (наочний образ)	Шкіра, волосся, очі	Помах	Матеріал	Акт	Морфема
4	Сегмент експлікації першообразу	Мінімальні елементи тіла	Мінімальний елемент зовнішності	Мінімальний елемент рухів тіла	Мінімальний елемент одягу	Мінімальний елемент дії	Інтегрально диференціальні ознаки першообразу
5	Одиниці знаковості (зовнішній аспект)	Предметність тіла	Ознаки натуральної предметності зовнішності	Процес рухів тіла	Предметність і ознаки одягу	Ознаки непредметної приналежності (образ носія)	Одиниці змісту (абстрактний аспект-внутрішній)

Як видно з рівня 1 рис. 2 система «ескіз» (E) є множиною графічних образів, які можуть бути послідовно трансформовані один в одного по мірі накопичення інформаційної бази про характеристики зовнішнього конструктивного устрою об'єктів, ланцюг перетворення: фор-ескіз (E^{Φ}) \rightarrow творчий ескіз ($E^{T\phi}$) \rightarrow технічний ескіз (E^T):

$$E = \{E^{\Phi}, E^{T\phi}, E^T\} \tag{8}$$

Фор-ескіз – це початкове оформлення об'ємно-просторової форми в зменшеному масштабі у вигляді двомірної схеми, без проробки деталей, для представлення на художню раду підприємства [8]. Тобто це ескізний начерк стилізованого образу, що виражає засобами кольору і графіки художній задум проектованої моделі одягу з частковим опрацюванням співвідношень з фігурою.

Творчий ескіз подається у вигляді графічного зображення моделі, яке відтворює об'єкт, що проектується, у загальних і найхарактерніших рисах, без ретельного опрацювання деталей, але у художній манері, за допомогою якої ідея модельєра буде «донесена» до виконавця і замовника [8]. Творчий ескіз відображає модний образ системи «фігура-костюм»: модна фігура (Φ_{Σ}^M) + модна постава ($П\Phi_{\Sigma}^M$) + модель модного одягу (O^M) + аксесуари й доповнення + взуття:

$$E^{T\phi} \supseteq \Phi_{\Sigma}^M \cup П\Phi_{\Sigma}^M \cup O^M \tag{9}$$

Ескіз модної фігури (Φ_{Σ}^M) – це стилізована ідеалізована фігура зі своєрідними розмірами, пропорціями, поставою, макіяжем та зачіскою, залежними від пануючого модного образу для певного історичного періоду.

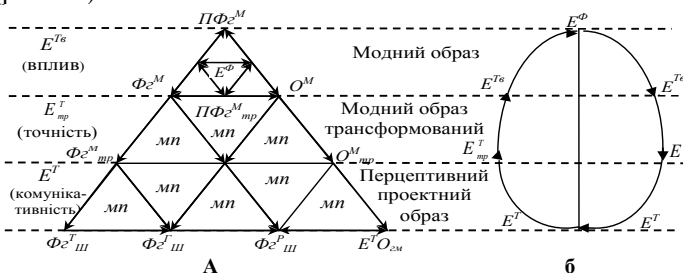
Ескіз моделі модного одягу (O^M), характеризується композицією (модними стилізованими пропорціями частин, силуетом, масою частин, ритмом, кольорами) і конструкцією.

Технічний ескіз, або технічний рисунок, це форма ескізу у вигляді дизайн-документу, який відображає принципове або остаточне дизайнерське рішення виробу та входить до складу технічного опису (TO) на конкретну модель [8]. Він є результатом перекладу художнього образу в проекційне зображення (абрис) системи «фігура – матеріал – одяг» з точною передачею конфігурації силуетних абрисів вузлів і деталей моделі одягу ($E^T O$). Це тип графічного зображення костюма, що використовує мову геометрії. Основна функція цього графічного зображення костюма – точне відтворення моделі одягу.

$$E^T \supseteq \Phi_{\Sigma}^T \cup E^T O, \tag{10}$$

де Φ_{Σ}^T – шаблон фігури – це проекційне зображення контурів фігури (абрис), що знаходиться в статичній (антропометричній) постановці.

На основі прототипу схеми тріадного вираження загальної теорії систем [5] запропоновано три рівні перетворення інформації в процесі ескізування з виділенням тріад структурних компонент ескізних форм (рис. 4 а).



Умовні позначення:
 $\Phi_{\Sigma}^T - E^T$ шаблону типової фігури;
 $\Phi_{\Sigma}^T - E^T$ шаблону гармонійної фігури;
 $\Phi_{\Sigma}^P - E^T$ шаблону реальної фігури;
 $E^T O_{\Sigma M} - E^T$ одягу, гармонізованого до реальної фігури.

Рис. 4. Концептуальна модель топологічних перетворень зображень в процесі ескізування: а) тріадна модель ескізування; б) цикл топологічних перетворень візуального проектного образу

Системна кореляція тріадних категорій компонент виражається математичними перетвореннями параметрів стилізації. Замкнутий цикл топологічних перетворень ескізних форм, як графічних етапів роботи над системою «костюм», ілюструє рис. 4 б.

Математичний опис ланцюга перетворень в тріадній моделі за вертикаллю має наступний вигляд:

$$E^{T_6} \rightarrow mn \rightarrow E^T, \tag{11}$$

$$mn = \{nc\}, \tag{12}$$

$$nc = \{vnc, p, ПФ\epsilon^M\}, \tag{13}$$

де mn – математичне перетворення;
 nc – сукупність параметрів стилізації;
 vnc – відносні показники стилізації;
 p – сукупність параметрів, що характеризують рух фігури в просторі.

Процес гармонізації графічного модного образу до індивідуального гармонізованого проектного образу описують наступні перетворення:

$$E^T O \rightarrow mn \rightarrow E^T O_{2M}, \tag{14}$$

$$E^T \supseteq \Phi_{III}^P \cup E^T O_{2M}. \tag{15}$$

Замкнутий цикл топологічних перетворень ескізних форм, як графічних етапів роботи над системою «костюм», ілюструє рис. 4 б. По вертикалі тріадної моделі процес формування гармонійного візуального проектного образу (ППОб) описують перетини ескізних форм:

$$ППОб \supseteq E^{T_6} \cap E_{mp}^T \cap E^T, \tag{16}$$

де E_{mp}^T – технічний ескіз трансформований.

Практична реалізація запропонованого підходу здійснена на прикладі візуалізації перетворень зображень куртки в стилі мілітарі для адресного споживача з використанням універсальної програми комп'ютерної графіки Xara Designer Pro.

Приклади виконання творчого ескізу куртки на фігурі, технічного ескізу куртки на шаблоні типової фігури на основі пропорційних схем і база конструктивно-декоративних елементів виробу представлені в табл. 2. Приклади створення моделей-ідей технічних ескізів курток шляхом комбінаторного синтезу з бази даних таблиці 2 в графічному редакторі представлено на рис. 5.

Таблиця 2

База даних для візуальної видозміни вихідного образу моделі одягу

Ескіз виробу		База конструктивно-декоративних елементів виробу		
Творчий	Технічний	Варіанти накладних кишень		Варіанти пластронів
		нагрудних	бічних	
		Варіанти хлястику спинки і погон 	Варіанти манжет 	



Рис. 5. Моделі-ідеї технічних ескізів курток в графічному редакторі Xara Designer Pro

Висновки

Вперше теоретично доведено топологію перцептивного проектного образу моделі одягу в тріадах знакової системи візуалізації. Запропонована в дослідженні інформаційна модель вибору проектного рішення перцептивного проектного образу моделі одягу є методологічним принципом розгляду системи «костюм» у рамках психосеміотичної і психосемантичної теорії. Це дозволяє дослідити модну фігуру і форму костюма як єдину знакову систему комунікативного простору моди у вигляді ескізу, в якому акцент переноситься на сприйняття і прочитання не окремих моделей одягу, а комунікацій перцептивних образів. Запропонований процес гармонізації графічного модного образу дозволяє отримати індивідуальний гармонізований проектний образ із запланованим враженням.

Література

1. Косенко О.І. Аналіз графічних матеріалів для проведення структурного аналізу костюму у художній системі формоутворення «колекція» / О. І. Косенко // Вісник Харківської державної академії дизайну і мистецтв. – 2011. – № 9. – С. 17–21.
2. Гардабхадзе І. А. Інноваційні методи візуалізації результатів художнього проектування одягу в індустрії моди / І. А. Гардабхадзе, М. О. Островецька // Наукові записки КНУКіМ. – 2012. – Вип. 13. – С. 33–41.
3. Nada Y. A. Analysis, design, and implementation of intelligent expert system for clothes style selection / Y. A. Nada, H. Meshref // International Journal of Computer Applications (0975 – 8887). – 2014. – Vol. 105, Issue 4. – P. 15–20.
4. Захаркевич О. В. Практикум з комп'ютерного проектування одягу : навч. посібник / О. В. Захаркевич, С. Г. Кулешова, О. М. Домбровська. – Хмельницький : ХНУ, 2016. – 311 с.
5. Васильковський Д. В. Автоматизація процесу створення ескізів нових моделей одягу в умовах малих підприємств [Електронний ресурс] / Д. В. Васильковський, Н. А. Цимбал // ВІСНИК КНУТД. – 2018. – № 1(118). – С. 16–23. – Режим доступу : https://er.knutd.edu.ua/bitstream/123456789/9387/1/V118_P016-023.pdf
6. Славінська А. Л. Наукові основи топологічних процесів модульного проектування одягу : дис. ... доктора техн. наук : 05.19.04 / Славінська Алла Людвигівна. – К., 2004. – 380 с.
7. Степучев Р. А. Кимберлит костюмографического языка : учеб. пособие / Р. А. Степучев. – Москва : МГТУ им. А.Н. Косыгина, 2007. – 416 с.
8. Енциклопедія швейного виробництва: від А до Я : навч. посіб. / Київ. нац. ун-т технологій та дизайну. – Київ : Самміт-Книга, 2010. – 967 с.
9. Кулешова С. Г. Удосконалення методу автоматизованого ескізного проектування конкурентоспроможних моделей одягу / С. Г. Кулешова, А. Л. Славінська // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. – 2010. – № 6. – С. 109–114.
10. Кулешова С. Г. Розробка методу перетворення інформації на етапах «художній ескіз – технічний ескіз» в САПР одягу / С. Г. Кулешова // Вісник Хмельницького національного університету. – 2013. – № 2. – С. 97–103.

References

1. Zakharkevich O. V. Practicum on computer clothing design: study guide / O. V. Zakharkevich, S. G. Kuleshova, O. M. Dombrovska. – Khmelnytskyi : KhNU, 2016. – 311 p.
2. Kosenko O. I. Analysis of graphic materials for structural analysis of costume in the art system of formation of "collection" / O. I. Kosenko // Bulletin of the Kharkiv State Academy of Design and Arts. – 2011. – № 9. – P. 17–21.
3. Gardabhadze I. A. Innovative methods of visualization of the results of the artistic design of clothing in the fashion industry / I. A. Gardabhadze, M. O. Ostrovetska // Scientific notes of KNUKiM. – 2012. – Vol. 13. – P. 33–41.
4. Nada Y. A. Analysis, design, and implementation of intelligent expert system for clothes style selection / Y. A. Nada, H. Meshref // International Journal of Computer Applications (0975 – 8887). – 2014. – Vol. 105, Issue 4. – P. 15–20.
5. Vasylykovskiy D. V. Automatization process of new clothing models design in the conditions of small enterprises / D. V. Vasylykovskiy, N. A. Tsymbal // Visnyk of Kyiv National University of Technologies and Design. – 2018. – № 1(118). – С. 16–23 – URL : https://er.knutd.edu.ua/bitstream/123456789/9387/1/V118_P016-023.pdf
6. Slavinska A. L. Scientific fundamentals of topological processes of modular design of clothes: dis. ... doctor of technical sciences. Sciences: 05.19.04 / Slavinskaya Alla Ludvigivna. – K., 2004. – 380 p.
7. Stepuchev R. A. Kimberlite costume language: textbook. allowance / R. A. Stepuchev. – Moscow : MSTU. A.N. Kosyгина, 2007. – 416 p.
8. Encyclopedia of sewing production: A to Z : textbook. tool. / Kyiv National University of Technologies and Design. – Kyiv : Summit Book, 2010. – 967 p.
9. Kuleshova S. G. Improvement of the method of automated sketch design of competitive clothing models / S. G. Kuleshova, A. L. Slavinska // Bulletin of the Kiev National University of Technology and Design. – 2010. – № 6. – P. 109–114.
10. Kuleshova S. G. Development of the method of information transformation at the stages of «art sketch – technical sketch» in SAPR clothing / S. G. Kuleshova // Herald of Khmelnytskyi National University. – 2013. – № 2. – P. 97–103.

Рецензія/Peer review : 6.06.2019 р.

Надрукована/Printed : 23.07.2019 р.
Рецензент: д.т.н., проф. А.Л. Славінська

О. М. ЛУЩЕВСЬКА, Л. В. БУХАНЦОВА,
Л. В. КРАСНЮК, О. М. ТРОЯН, О. Й. ЯНЦАЛОВСЬКИЙ
Хмельницький національний університет

УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ПРОЕКТУВАННЯ АДАПТИВНОГО БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНОГО ОДЯГУ

У результаті аналітичних та експериментальних досліджень обґрунтовано вибір пакета матеріалів для створення адаптивної білизни для коригування психоемоційного стану людини. На основі результатів дослідження товщини швів, у складі яких є засоби лікувально-профілактичного впливу, обрано раціональну технологію виготовлення проектного виробу. Підтверджено якість та ефективність розробленої адаптивної багатофункціональної білизни шляхом проведення дослідного ношення.

Ключові слова: адаптивний багатофункціональний одяг, лікувально-профілактичний одяг, товщина шва, енергоінформаційний вплив, пакет матеріалів, ергономічна конструкція.

O. M. LUSHCHEVSKA, L. V. BUHANTSOVA, L. V. KRASNIUK, O. M. TROYAN, O. I. YANTSALOVSKYI
Khmelnitskyi National University

IMPROVING THE PROCESS OF ADAPTIVE MULTIFUNCTIONAL CLOTHING DESIGN

The object of research is the process of designing of adaptive multifunctional clothing. The problematic issue of the object is to ensure its effectiveness through properties and ergonomic design. The basis for improvement of designing of adaptive multifunctional clothing is the application of energy-information effects of materials on the functional state of the human body. On the basis of this, it is justified to form a package of materials for development of adaptive lingerie to reduce the level of stress. Selected paintings have a high inertness level for the functional state of the human body 0.87...1.0. Positive energy-information impact on the functional state of the body is achieved due to the influence of silver plates located in the product, according to certain biologically active zones of the human body. For a reasonable choice of the technology of joining materials and means of energy-information impact, the thickness of the overhead seams is studied. The rationale is that by increasing the design thickness of the package of materials by 32 %, the thickness of the seam increases by 28.8 %. The effectiveness of the developed adaptive multifunctional underwear is confirmed by experimental wearing. It is determined that there was an improvement in the functional and psychological state of the human body after the exploitation of the developed clothes. The conducted researches ensure the provision of adaptive multi-functional clothing with expanded functional capabilities that has a positive social and economic effect.

Keywords: adaptive multifunctional clothes, medical and prophylactic clothes, seam thickness, energy information impact, material package, ergonomic design.

Одним із перспективних напрямків розвитку швейної промисловості є проектування адаптивного багатофункціонального одягу (АБО), що може здійснюватись за рахунок синергізму одягу і технологій, а саме технології вбудовування засобів в одяг або розроблення матеріалів з вбудованими технологіями [1–3]. Це надає виробу розширення його функціональних можливостей, а саме: реактивних (одяг реагує на особливості навколишнього середовища), сенсорних (одяг при контакті з тілом змінює параметри комфорту), захисних (одяг захищає від травм або небезпечних факторів), лікувально-профілактичних або адаптивних (одяг, що підтримує в нормальному стані фізичні і сенсорні можливості людини) [3]. Такий багатофункціональний одяг може поєднувати декілька призначень, спрямованих на покращення якості життя сучасної людини. Він сприяє адаптації людини до мінливих умов середовища (кліматичного, емоційного тощо), тому він є адаптивним.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Багатофункціональний одяг – це виріб або набір виробів, що має більш широке застосування для користувача за рахунок поєднання основних та додаткових функцій, що розширюють його призначення [2].

Процес концептуального проектування багатофункціонального одягу ґрунтується на таких основних принципах [3]: обов'язкове врахування потреб користувача, ринку і тенденцій моди, оскільки модні елементи мають вирішальне значення для психологічної та естетичної комфортності одягу; визначення вимог та потреб споживачів щодо властивостей багатофункціонального одягу; вибір сучасних матеріалів і технологій, які можуть бути використані в концепції проектування; визначення головних чинників, які мають вирішальну роль при розробці концепції проектування багатофункціонального одягу; оцінювання концепції, що є ключовим етапом визначення ефективності прийнятих рішень концептуального проектування.

При цьому важливим є забезпечення гармонізації системи «людина – одяг – середовище», шляхом здійснення вибору екологічно безпечних матеріалів та засобів розширення функціональних можливостей одягу.

Одним із пріоритетних напрямків розширення можливостей застосування одягу є створення лікувально-профілактичних швейних виробів, направлених на підтримання функціональних можливостей організму людини в цілому та здійснення позитивного лікувально-профілактичного впливу на певні органи чи системи органів, що мають незначні відхилення від норми. Використання такого АБО дозволить здійснювати профілактику захворювань та покращити стан здоров'я людини [4].

В умовах сучасної цивілізації спостерігається підвищення психогенних навантажень, які провокують виникнення негативних психоемоційних станів людини, зокрема стресу. Стрес – це неспецифічна реакція організму у відповідь на дуже сильну зовнішню дію або подразник. Резерви адаптації до стресу не безмежні і коли інтенсивність впливу подразника та його тривалість перевищує функціональні можливості людини, в її організмі відбуваються негативні зміни. Встановлено [5], що різнобічна та тривала дія несприятливих соціальних, психологічних, економічних та інших чинників зумовлює виникнення у людини високої нервово-психічної напруги. Це викликає різноманітні негативні прояви в її поведінці та психіці, зокрема відчуття душевного дискомфорту, появу негативних психічних станів, межових нервово-психічних розладів. Результати дослідження [6] стресових станів сучасного населення показали, що 90% досліджуваних знаходяться у стресовому стані, у 57% наявні ознаки втоми, а у 93% – початкові ознаки неврозу.

Саме тому виникає необхідність розроблення і застосування новітніх методів відновлення та коригування психоемоційного стану людини з метою зменшення стресу та його негативних наслідків для організму. Одним із таких методів є створення лікувально-профілактичного одягу, призначеного для коригування стресових станів [7].

Надання АБО лікувально-профілактичних властивостей можливе із використанням принципів енергоінформаційної хвильової медицини, основні положення якої ґрунтуються на науковій концепції про важливість та інформативність внутрішніх електричних полів у процесах життєдіяльності організму [8]. У роботі [4] описано математичну модель хвильових процесів у системі «людина – одяг», а в роботах [9–11] визначено ефективну енергоінформаційну складову під час розроблення одягу, призначеного для оздоровлення організму людини. Так, розширення функціональних можливостей АБО, а саме надання йому лікувально-профілактичних властивостей, забезпечують використанням засобів у вигляді вкладок, сенсорів, контролерів [12, 13], лікувально-профілактичних аплікаторів [14].

Відповідно до [4, 10, 11] якість і комфортність АБО суттєво залежить від властивостей матеріалів для його виготовлення. До складу пакета АБО входять декілька шарів матеріалів, найчастіше це основні, підкладкові та прокладкові матеріали. Згідно з [11] важливим є дослідження енергоінформаційного впливу матеріалів на функціональний стан організму людини. Саме це дозволить обрати інертні матеріали, які не чинять надмірного позитивного чи негативного впливу на організм.

Аналіз застосування різних металів як засобів впливу АБО [7] показав, що використання срібла для виготовлення засобів впливу дозволяє забезпечити енергоінформаційний вплив на функціональний стан організму людини та підвищити гігієнічні властивості виробу. Розміщення зазначених засобів впливу повинно відповідати біологічно-активним зонам (БАЗ) тіла людини, які мають рефлекторний зв'язок із внутрішніми органами та системами організму. Локальний вплив таких засобів на певних БАЗ тіла викликає реакції органів та систем органів, що дозволяє відновлювати їх нормальне функціонування [7].

Вагомим показником, що впливає на ефективність АБО, його лікувальні та профілактичні властивості, є товщина пакета матеріалів виробу [15]. На значення цього показника діють кількість шарів матеріалів, спосіб з'єднання матеріалів, тип з'єднувальних швів, обраний засіб впливу тощо. З'єднання матеріалів АБО найчастіше використовують нитковим способом, тому забезпечення якості ниткових швів є важливим питанням стосовно якості і комфортності АБО. Показниками, що впливають на якість ниткових з'єднань, є міцність шва, його подовження, жорсткість шва при згині тощо [16]. Відповідно [15] та ґрунтуючись на значеннях товщини з'єднуваних матеріалів і засобів впливу, можливо отримати прогнозоване значення товщини швів одягу. Це дозволить обґрунтовано здійснити вибір матеріалів та технології з'єднання засобів впливу ще на етапі концептуального проектування АБО для забезпечення його комфортності у експлуатації.

Отже, АБО повинен забезпечувати свої основні та додаткові розширені функції, бути виготовленим із екологічно безпечних матеріалів та ефективних засобів впливу за раціональною технологією, мати ергономічну конструкцію, здійснювати прогнозований вплив на функціональний та психоемоційний стан організму людини.

Мета і завдання дослідження

Метою даної роботи є підвищення якості адаптивного багатофункціонального одягу для зменшення рівня стресу та його негативних наслідків. Основними завданнями дослідження є:

Вибір та обґрунтування матеріалів для АБО на основі дослідження їхніх фізико-механічних властивостей та енергоінформаційного впливу на функціональний стан організму людини.

Обґрунтування технології з'єднання матеріалів та засобів впливу АБО.

Виготовлення дослідного АБО, проведення його дослідного ношення та оцінювання його ефективності.

Виклад основного матеріалу

На основі викладених раніше принципів концептуального проектування багатофункціонального одягу з метою підвищення якості проектного АБО авторами статті розроблено схему, представлену на рис. 1.

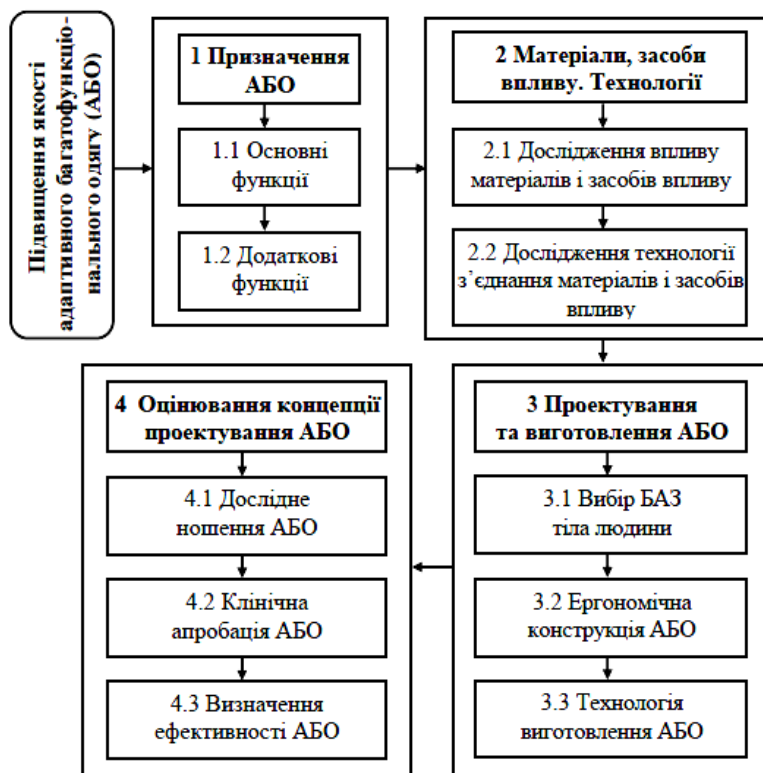


Рис. 1. Схема концептуального проектування адаптивного багатофункціонального одягу

Згідно з цією схемою, підвищення якості АБО, у першу чергу, реалізують шляхом визначення проектної ситуації, основних та додаткових функцій проектованого одягу. Виходячи з цього, важливим є вибір і обґрунтування матеріалів та засобів впливу на БАЗ тіла людини, адже ця інформація є основою для обґрунтування технології з'єднання елементів одягу (матеріалів та засобів впливу). Наступним етапом концептуального проектування АБО є виготовлення дослідного виробу, що включає вибір БАЗ тіла людини, побудову конструкції виробу та розроблення технології його виготовлення. Оцінювання ефективності АБО виконують за дослідним ношенням та результатами клінічної апробації.

За принципами концептуального проектування АБО науковцями кафедри технології та конструювання швейних виробів у співпраці з фахівцями кафедри практичної психології та педагогіки

Хмельницького національного університету (ХНУ) розроблено лікувально-профілактичну натільну білизну [17]. Розширення функцій білизни полягає у коригуванні психоемоційного стану, зокрема зменшенні стресу та його негативних наслідків для організму людини, що експлуатує виріб. Лікувально-профілактичну дію АБО забезпечено за рахунок використання енергоінформаційних засобів впливу у вигляді срібних пластинок, що містять лікувальну інформацію [18]. Срібні пластинки мають округлу форму, діаметр – 5 мм та товщину – 0,4 мм; їх розміщують між шарами основного матеріалу виробу і накладки у місцях, що є проекціями відповідних БАЗ тіла людини. Тому для щільного контакту білизни із поверхнею тіла для її виготовлення обрано трикотажні полотна, основні властивості яких наведено у табл. 1.

Таблиця 1

Структурні та фізико-механічні характеристики трикотажних полотен для виготовлення натільної білизни

Умове позначення трикотажного полотна	Сировинний склад, %	Товщина, мм ГОСТ 12023-2003	Поверхнева густина, г/м ² ДСТУ EN 12127:2009	Гігроскопічність, % ДСТУ ГОСТ 3816:2009	Вологість, % ГОСТ 8845-87
T1	Віскоза – 97 Еластан – 3	0,45	146,0	23,0	5,47
T2	Бавовна – 100	0,70	212,4	17,35	6,61
T3	Бавовна – 100	0,64	185,0	20,0	6,79
T4	Віскоза – 92 Еластан – 8	0,65	188,2	16,0	3,79
T5	Бавовна – 97 Еластан – 3	0,31	116,0	20,35	3,99

З метою забезпечення екологічної безпечності проектованої білизни здійснено оцінювання енергоінформаційного впливу трикотажних полотен на функціональний стан організму людини за допомогою апаратно-програмного діагностичного комплексу (АПДК) «Intera-DiaCor», який внесений до реєстру медичної техніки України (№ 3277/2004 від 30.10.2009 р.) і дозволений для застосування в медичній практиці.

Дослідження проведено за методикою, викладеною у роботі [11]. Згідно з методикою після двох повних циклів діагностування здійснено порівняння результатів діагностики функціонального стану органів та систем організму людини без впливу досліджуваного трикотажного полотна та із ним. При цьому на екрані монітору ПК порівнювали гістограми, що відображають три основні стани органів та систем організму людини: енергетичну лабільність (стан норми), енергетичну нестійкість (нестабільність енергетичних процесів в органі) та енергетичну недостатність (пригніченість енергетичних процесів). Рівень

негативного та позитивного енергоінформаційного впливу досліджуваних трикотажних полотен на функціональний стан людини, а також його інертності для організму оцінено за числовими значеннями коефіцієнтів k_H , k_{II} та k_I відповідно [19] та наведено у табл. 2.

Таблиця 2

Результати розрахунку рівня енергоінформаційного впливу досліджуваних трикотажних полотен на організм людини

Номер досліджуваної особи	Рівень енергоінформаційного впливу зразка трикотажного полотна на функціональний стан організму людини:														
	негативного (k_H)					позитивного (k_{II})					інертного (k_I)				
	T1	T2	T3	T4	T5	T1	T2	T3	T4	T5	T1	T2	T3	T4	T5
1	0,06	0	0	0,03	0,02	0,03	0,07	0,12	0,03	0,03	0,91	0,93	0,88	0,94	0,95
2	0	0	0,02	0	0	0	0,03	0,02	0,03	0	1,00	0,97	0,96	0,97	1,00
3	0	0,02	0,02	0	0	0,08	0,03	0,02	0,06	0,02	0,92	0,95	0,96	0,94	0,98
4	0,05	0	0	0,05	0	0,06	0,05	0,24	0,06	0,08	0,89	0,95	0,76	0,89	0,92
5	0,06	0,07	0,12	0,04	0,05	0,02	0,07	0,13	0,02	0	0,92	0,86	0,75	0,94	0,95
6	0,02	0	0,02	0,03	0,04	0,15	0,09	0,18	0,12	0,02	0,83	0,91	0,80	0,85	0,94
7	0,03	0	0	0,03	0,03	0	0,13	0,04	0	0,02	0,97	0,87	0,96	0,97	0,95
8	0	0,03	0,21	0	0,02	0,03	0,02	0,15	0,04	0,02	0,97	0,95	0,64	0,96	0,96
9	0,02	0	0,05	0,03	0,02	0,03	0,13	0,05	0,02	0,02	0,95	0,87	0,90	0,95	0,96
10	0	0,02	0,03	0	0	0,07	0,20	0,25	0,13	0,12	0,93	0,78	0,72	0,87	0,88

У дослідженні приймали участь 10 осіб, функціональний стан організму яких, на момент проведення дослідження, не мав значних відхилень від норми. Така кількість досліджуваних є достатньою, оскільки визначення функціонального стану організму людини за допомогою АПДК «Intera-DiaCor» відзначається високою точністю (відносна гарантійна помилка не перевищує 5 %).

Встановлено, що усі обрані трикотажні полотна здійснюють певний енергоінформаційний вплив на організм досліджуваних осіб. Ураховуючи призначення трикотажних полотен важливим є вибір полотна із найвищими коефіцієнтами інертності (табл. 3).

Таблиця 3

Аналіз результатів дослідження рівня інертності трикотажних полотен

Значення коефіцієнта k_I	Відсотковий розподіл кількості досліджуваних осіб за рівнем інертності зразків трикотажних полотен, %				
	T1	T2	T3	T4	T5
0,95...1,00	40	40	30	40	70
0,90...0,94	40	20	10	30	20
0,85...0,89	10	30	10	30	10
0,80...0,84	10	–	10	–	–
0,75...0,79	–	10	20	–	–
0,70...0,74	–	–	10	–	–
менше 0,7	–	–	10	–	–

Аналіз результатів дослідження рівня інертності трикотажних полотен дозволив встановити, що найвищий рівень інертності ($k_I=0,95...1,00$) для функціонального стану організму 70 % осіб має зразок трикотажного полотна T5. Оскільки це полотно має найменшу товщину (0,31 мм) та найвищий рівень інертності, його обрано як підкладковий матеріал для виготовлення проектованого АБО. Також високі значення k_I мають зразки трикотажних полотен T4 ($k_I=0,87...0,97$) та T1 ($k_I=0,83...1,00$). Такий рівень інертності свідчить про відсутність надмірного позитивного чи негативного енергоінформаційного впливу полотна на стан органів та систем організму людини. Саме тому їх рекомендовано як основний матеріал для виготовлення лікувально-профілактичної білизни.

Вибір матеріалів і засобів впливу для АБО супроводжується обґрунтуванням технології його виготовлення. Для надання АБО прогнозованих додаткових функцій у виробках використовують накладки та засоби впливу, з'єднання яких із основним матеріалом виконують накладними швами (класи швів 2 та 5 відповідно ДСТУ ISO 4916:2005). Для визначення товщини матеріалів, засобів впливу та товщини шва використовують стандартний метод відповідно ГОСТ 12023-2003.

Для вибору раціонального пакета матеріалів АБО та технології їхнього з'єднання за методикою викладеною у [15, 19] досліджено товщину накладних швів. Досліджені шви мають такі параметри: кількість шарів основного матеріалу ($n_j=1$); кількість шарів підкладки ($n_\gamma=1$, $n_\gamma=2$); кількість строчок у шві ($n_s=1$, $n_s=2$); кількість срібних пластин ($n_i=1$) (рис. 2).

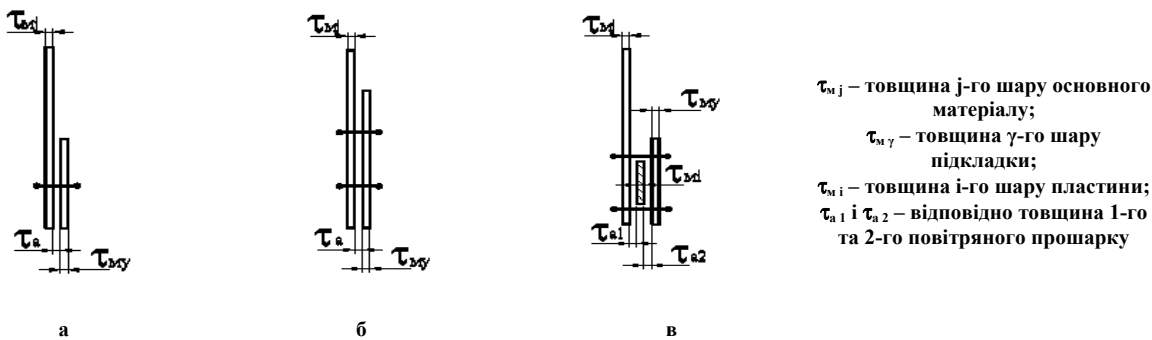


Рис. 2. Зображення накладних швів: а) шов 1 ($n_j=1, n_\gamma=1, n_s=1$); б) шов 2 ($n_j=1, n_\gamma=1, n_s=2$); в) шов 3 ($n_j=1, n_\gamma=1, n_s=2, n_i=1$)

Результати дослідження товщини матеріалів, що входять до пакета проєктованого АБО, наведено у табл. 4.

Таблиця 4

Результати дослідження товщини швів для з'єднання елементів АБО

Умове позначення матеріалу	Товщи на основн о-го матеріа лу, мм	Товщи на підклад ки, мм	Товщи на срібної пласти ни, мм	Товщина шва $\tau_{ш}$, мм			Розрахункове значення товщини матеріалів у шві $\sum_{j=1}^{n_j} \tau_{mj}$, мм			Коефіцієнт товщини шва, $K_{ши}$		
				шов 1	шов 2	шов 3	шов 1	шов 2	шов 3	шов 1	шов 2	шов 3
T1	0,45	0,31	0,4	0,80	0,83	1,25	0,76	0,76	1,16	1,05	1,09	1,08
T2	0,70	0,31	0,4	1,00	1,04	1,45	1,01	1,01	1,41	0,99	1,03	1,03
T3	0,64	0,31	0,4	0,98	1,00	1,45	0,95	0,95	1,35	1,03	1,05	1,07
T4	0,65	0,31	0,4	0,96	0,94	1,32	0,96	0,96	1,36	1,00	0,98	0,97
T5	0,31	0,31	0,4	0,68	0,72	1,16	0,62	0,62	1,02	1,10	1,16	1,14

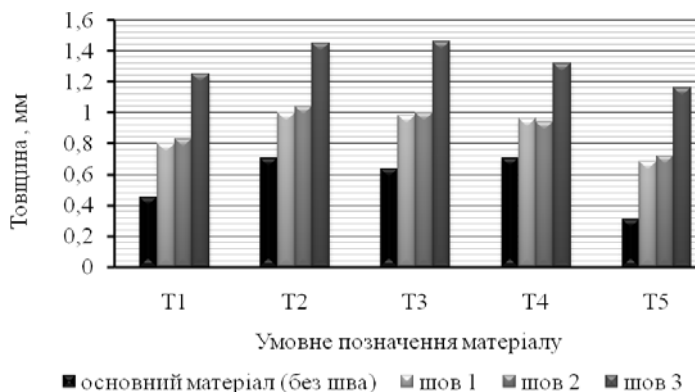


Рис. 3. Діаграма порівняння товщини пакета матеріалів та швів АБО

Зазначене вище підтверджують фотозображення ниткових швів у розрізі (рис. 4).

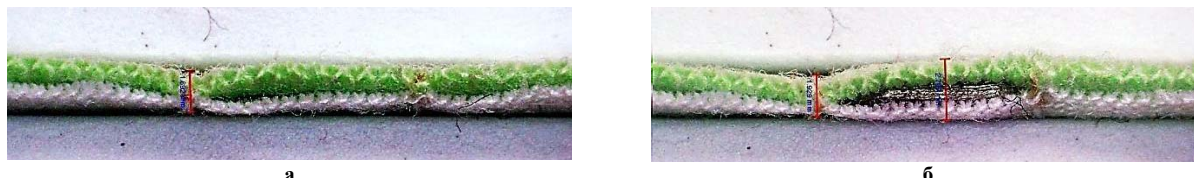


Рис. 4. Фотозображення накладних швів у розрізі (матеріал T4): а) без срібної пластини (шов 2); б) зі срібною пластинною (шов 3)

Результати дослідження підтверджують, що коефіцієнт товщини шва є адекватним показником оцінки якості ниткових швів, оскільки на його значення найбільшою мірою впливають товщина основного матеріалу (рис. 5) та товщина срібних пластин (рис. 6).

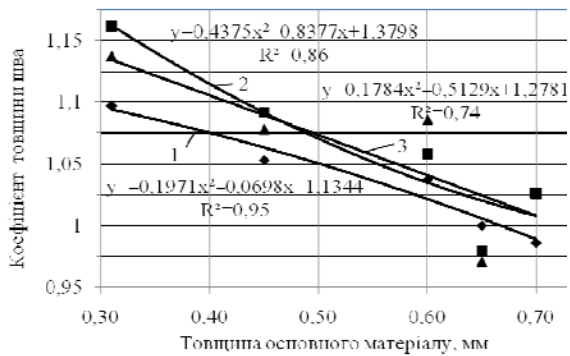


Рис. 5. Залежність коефіцієнта товщини шва від товщини основного матеріалу: 1) шов 1; 2) шов 2; 3) шов 3

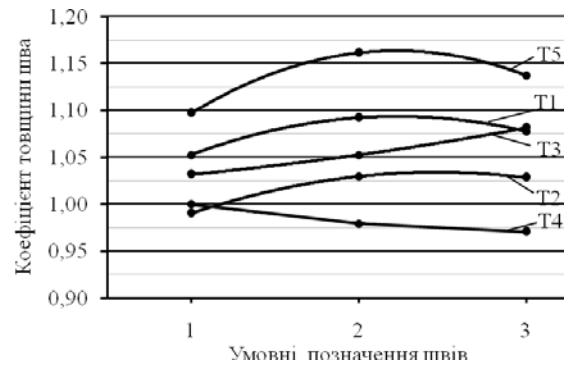


Рис. 6. Зміна коефіцієнта товщини шва для швів: 1) шов 1; 2) шов 2; 3) шов 3

Слід зазначити, що при виборі матеріалів для АБО та технології його виготовлення доцільно визначити значення розрахункової товщини пакета матеріалів у шві. Саме тому, у роботі встановлено залежність коефіцієнта товщини шва від розрахункової товщини пакета матеріалів у шві (рис. 7).

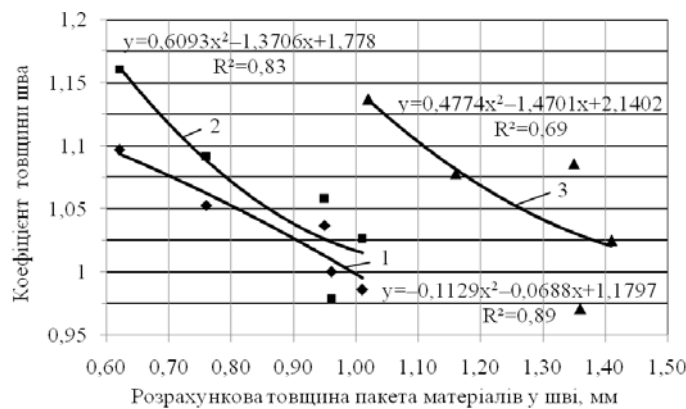


Рис. 7. Залежність коефіцієнта товщини шва від розрахункової товщини пакета матеріалів у шві: 1) шов 1; 2) шов 2; 3) шов 3

Аналіз результатів досліджень дозволив вибрати для виготовлення лікувально-профілактичної білизни трикотажне полотно Т4. Це пояснюється тим, що серед п'яти досліджуваних зразків збільшення товщини шва (шов 3) для матеріалу Т4 найменше – на 28,8 %. Крім того, вибраний матеріал має найменше значення коефіцієнта товщини шва – 0,97.

Таким чином, за принципами концептуального проектування АБО, розроблено та виготовлено лікувально-профілактичну натільну білизну, зовнішній вигляд якої представлено на рис. 8.

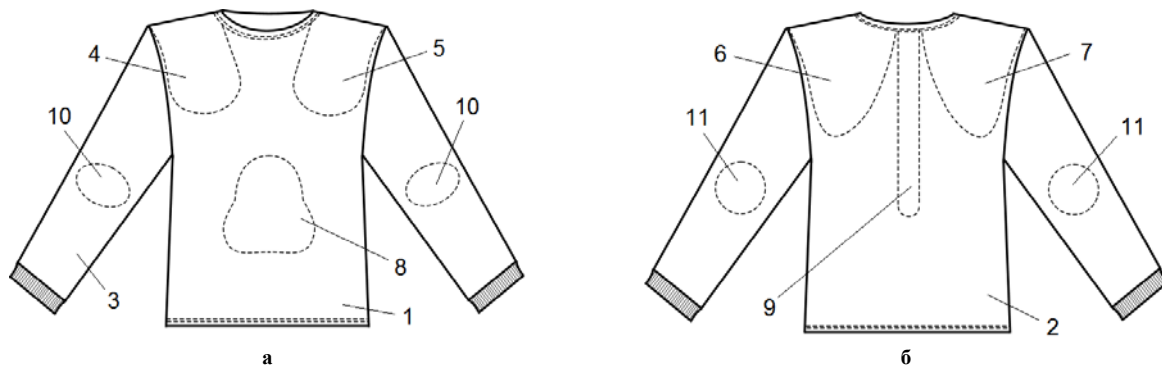


Рис. 8. Зовнішній вигляд та розміщення накладок лікувально-профілактичної білизни у відповідності до розташування БАЗ (табл. 5): а) вигляд спереду; б) вигляд ззаду

Лікувально-профілактичний вплив натільної білизни забезпечено за рахунок використання срібних пластин, розташованих на ділянках одягу, що контактують із БАЗ при щільному приляганні виробу до тулуба людини (табл. 5). При впливі на ці БАЗ можливо коригувати психоемоційні стани та їх негативні наслідки, зокрема неврози, розлади сну, погіршення пам'яті, неможливість зосередитися та тривожність.

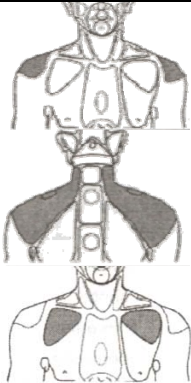
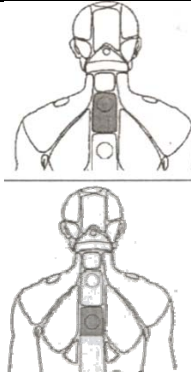
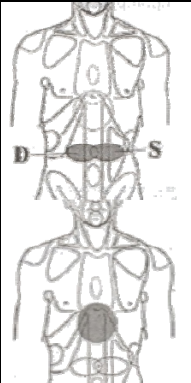

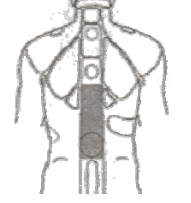
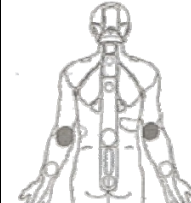
Для виготовлення лікувально-профілактичної натільної білизни розроблено лекала накладок (рис. 8), на які нанесено місця розташування срібних пластин у відповідності до розташування БАЗ (табл. 5). З метою забезпечення лікувально-профілактичного впливу проектованої білизни взято відстань між

центрами срібних пластин – 30 мм, що дозволяє досягти рівномірного впливу на всю поверхню БАЗ.

Під час дослідного ношення розробленої білизни встановлено, що срібні пластини, розташовані між шарами матеріалів, є невідчутними під час експлуатації АБО, тобто не спричиняють споживачеві дискомфорт та не деформуються при експлуатації виробу.

Таблиця 5

Місця розміщення біологічно-активних зон для коригування психоемоційних станів

Номер і назва БАЗ та номер відповідних їй накладок	Ескіз місця розташування БАЗ	Номер і назва БАЗ та номер відповідних їй накладок	Ескіз місця розташування БАЗ	Номер і назва БАЗ та номер відповідних їй накладок	Ескіз місця розташування БАЗ
БАЗ-1 Надпліччя Підключична ямка <i>Накладки 4, 5, 6, 7 (рис. 10)</i>		БАЗ-2 Шийно-грудна зона Міжлопаткова зона		БАЗ-3 Епігастральна зона Пупочна зона <i>Накладка 8 (рис. 10)</i>	
БАЗ-4 Ліктьова ямка <i>Накладка 10 (рис. 10)</i>		Пояснично-грудинна зона <i>Накладка 9 (рис. 10)</i>		БАЗ-5 Зона ліктя <i>Накладка 11 (рис. 10)</i>	

Для перевірки ефективності розробленого АБО використано АПДК «Intera-DiaCor», що дозволяє проводити моніторинг стану здоров'я і спостерігати динаміку функціонального стану усіх органів на клітинному рівні, а також оцінювати ефективність оздоровчо-профілактичних та лікувальних заходів [6, 11].

На рис. 9 представлено вікно програмного забезпечення АПДК «Intera-DiaCor», що відображає порівняння результатів діагностики функціонального стану організму без впливу розробленого АБО та з ним.

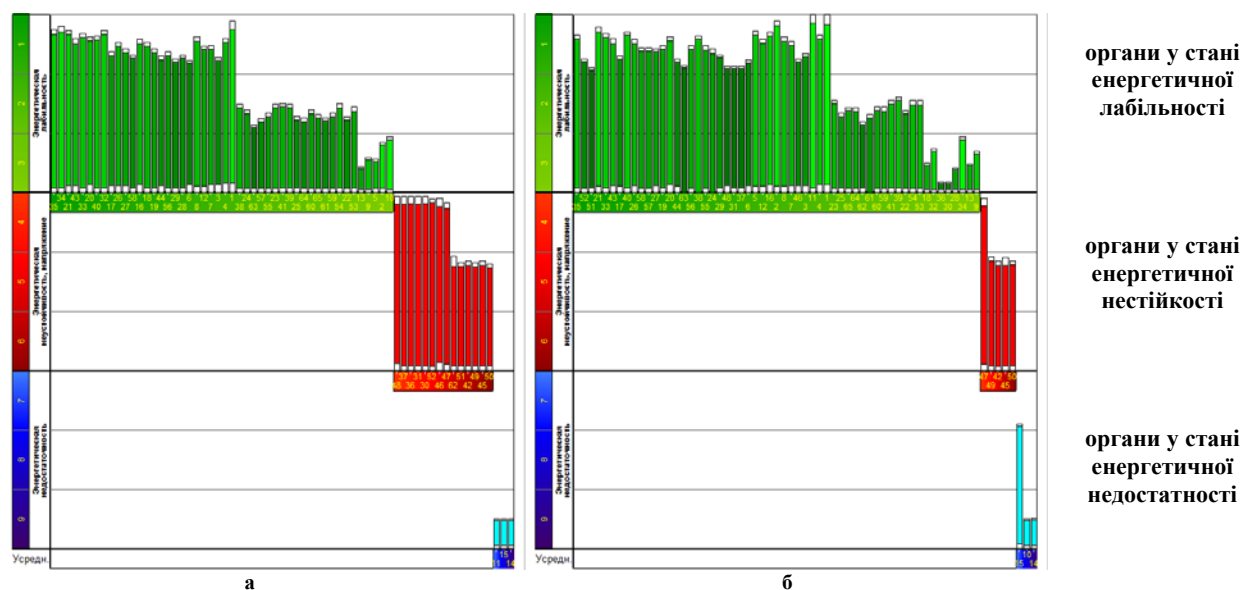


Рис. 9. Вікно програмного забезпечення для «Intera-DiaCor» (Україна), що відображає результати діагностики функціонального стану людини: а) без впливу розробленої білизни; б) із впливом розробленої білизни

Порівнюючи кількість органів, що знаходяться у різних енергетичних станах (рис. 9), встановлено, що створена лікувально-профілактична білизна має виразний позитивний вплив на функціональний стан організму людини, що її експлуатує. Так, у 80% досліджуваних відмічається зменшення кількості органів у

стані енергетичної недостатності та енергетичної нестійкості, а також збільшення кількості органів в стані енергетичної лабільності, що свідчить про позитивний вплив розробленої білизни на функціональний стан організму в цілому.

Для визначення ефективності розробленого АБО як такого, що знижує рівень стресу, проведено дослідження за допомогою АПДК «ROFES», який дозволяє оцінити психоемоційний стан людини, рівень стресу, втоми, виявляє неврози, дозволяє визначити як організм адаптується до факторів зовнішнього середовища [6]. Для цього спочатку було проведено діагностику 10 осіб без використання білизни і оцінено їх психоемоційний стан, потім досліджувані знаходились у розробленій білизні протягом 30 хв, після чого повторно проводилась діагностика і оцінювання їх психоемоційного стану. Результати дослідження за двома критеріями – рівнем стресу та рівнем втоми – представлено на рис. 10 і рис. 11 відповідно.

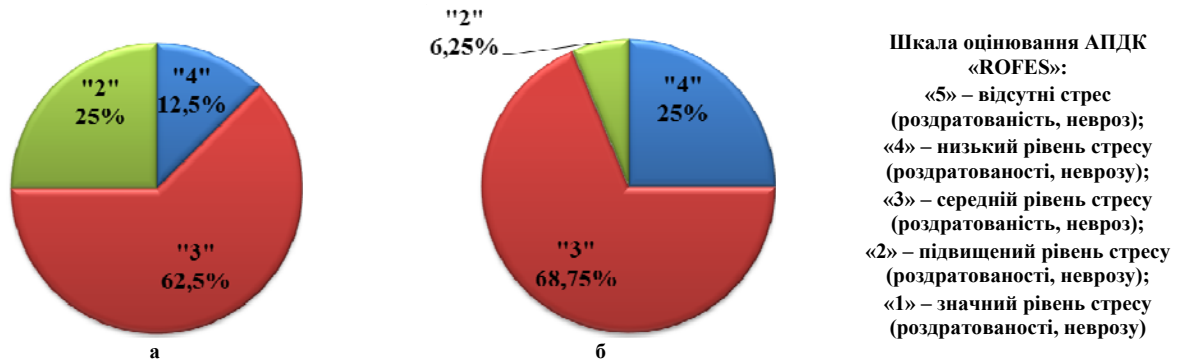


Рис. 10. Результати оцінювання рівня стресу чоловіків на АПДК ROFES: а) без впливу лікувально-профілактичної білизни; б) з впливом лікувально-профілактичної білизни

Як видно із діаграми (рис. 10) у більшості досліджуваних (62,5 %) зафіксовано середній рівень стресу, а 25,0 % досліджуваних – підвищений, що ще раз підтверджує актуальність розроблення АБО для зменшення стресу та його негативних наслідків. Із впливом лікувально-профілактичної білизни (рис. 10, 11) у 25 % досліджуваних рівень стресу став низьким, у 68,75 % осіб діагностовано середній рівень стресу, і лише у 6,25% – підвищений рівень стресу, тобто можна побачити, що психоемоційний стан досліджуваних поліпшився, а рівень стресу відповідно знизився.

Рівень психофізіологічної втоми із впливом розробленої лікувально-профілактичної білизни також зменшився (рис. 11); так, встановлено збільшення на 18,75 % кількості осіб, у яких втома відсутня та на 6,25 % осіб із низьким рівнем втоми. Таким чином, за результатами дослідження на АПДК «ROFES» видно, що рівень стресу та втоми у досліджуваних осіб, що експлуатували розроблену лікувально-профілактичну білизну, знизився.

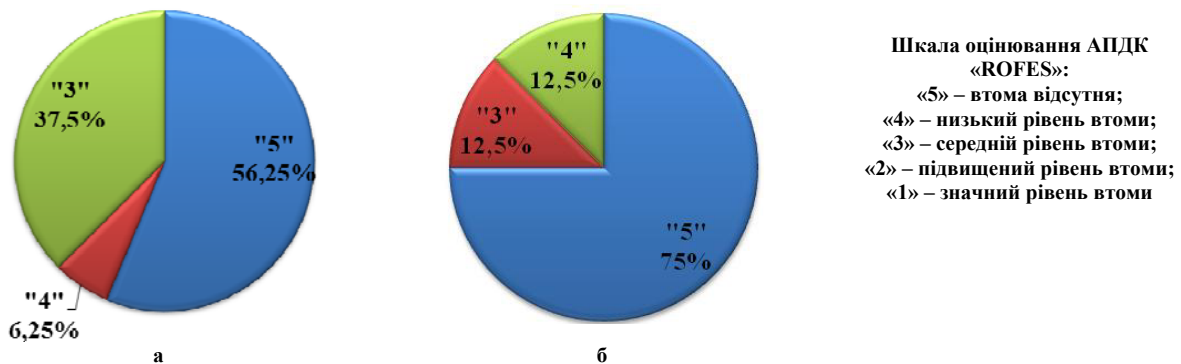


Рис. 11. Результати оцінювання рівня психофізіологічної втоми чоловіків на АПДК «ROFES»: а) без впливу лікувально-профілактичної білизни; б) з впливом лікувально-профілактичної білизни

Таким чином отримані результати дослідження впливу розробленого АБО лікувально-профілактичного призначення на організм людини засвідчили, що під дією цього одягу спостерігається покращення функціонального стану організму людини, відбувається зниження рівня стресу та психоемоційної втоми. Отже, розроблений адаптивний багатофункціональний одяг з розширеними можливостями застосування забезпечує комфортний енергоінформаційний вплив на функціональний стан організму людини, що приводить до покращення психофізіологічного стану та адаптивних можливостей людей та дозволить покращити рівень та якість життя українців.

Висновки

Розроблено концепцію проектування швейних виробів із розширеними можливостями застосування, яка полягає у розширенні функцій адаптивного багатофункціонального одягу, виборі екологічних матеріалів для його виготовлення та ефективних засобів для забезпечення адаптивних

можливостей, визначенні біологічно-активних зон тіла людини, розробленні конструкторсько-технологічної документації та виготовленні адаптивного багатофункціонального одягу, а також оцінюванні його ефективності.

Запропонована авторами концепція проектування швейних виробів із розширеними можливостями застосування базується на використанні ефективних засобів впливу, що розміщені у швейних виробках відповідно до проєкцій біологічно-активних зон тіла людини. Розроблено конструкцію адаптивного багатофункціонального одягу, такого як чоловіча спідня сорочка із розширеними можливостями застосування, яка виготовлена із трикотажного полотна. Для розширення функціональності виробів, а саме коригування психоемоційних стресових станів, застосовано спеціальні засоби впливу, які розроблені із урахуванням принципів і засад енергоінформаційної медицини.

Вибрано та обґрунтовано склад пакета матеріалів для виготовлення АБО для зменшення рівня стресу, обрано трикотажні полотна, які мають високий рівень інертності ($k_f=0,87\dots 0,97$ та $k_f=0,88\dots 1,00$ відповідно) для функціонального стану організму людини, як основний та підкладковий матеріали для виготовлення лікувально-профілактичної білизни. Також обґрунтовано раціональну технологію з'єднання матеріалів та засобів впливу АБО, яка забезпечує комфортність розробленої натільної білизни при експлуатації. Визначено, що при збільшенні розрахункової товщини пакета матеріалів на 32 % товщина шва зростає на меншу величину – 28,8 %.

Основний економічний ефект від застосування розробленого адаптивного багатофункціонального одягу полягає у розширенні можливостей його використання, тобто окрім звичних функцій такий одяг здійснює позитивний вплив на психофізіологічний стан людини, що його експлуатує.

Література

1. Чупріна Н. В. Энергозберігаючі технології екодизайну у створенні сучасного одягу як продукту індустрії моди / Н. В. Чупріна // Вісник Київського національного університету технологій і дизайну. – 2013. – № 6 (74). – С. 245–253.
2. Deepti, Gupta. Functional clothing – definition and classification / G. Deepti // Indian Journal of Fibre & Textile Research. – 2011. – Vol. 36. – P. 321–326.
3. Cunha, J. Designing multifunctional textile fashion products classification [Electronic resource] / J. Cunha, A. C. Broega // Autex 2009 World Textile Conference. – 2009. – Available at : https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/19207/3/AUTEX09_JC_CB.pdf
4. Березненко М. П. Роль одягу як фактора оздоровчого характеру / М. П. Березненко, І. М. Федоткін, С. М. Березненко, О. Й. Янцаловський // Вісник Хмельницького національного університету. – 2013. – №3. – С. 16–19.
5. Потапчук Є. М. Самоконтроль особистості в екстремальних та кризових ситуаціях як важлива умова самозбереження / Є. М. Потапчук, Н. Д. Потапчук // Проблеми екстремальної та кризової психології. – 2015. Випуск 17. – С. 231–240.
6. Краснюк Л. В. Підбір і перевірка ефективного діагностичного інструментарію для дослідження психоемоційного стану особистості / Л. В. Краснюк, О. М. Троян, О. Й. Янцаловський, В. С. Тороканець // Психічне здоров'я особистості у кризовому суспільстві : збірник тез Всеукраїнської науково-практичної конференції, 21 жовтня 2016 р. / упор. Н. М. Бамбурак. – Львів : ЛьвДУВС, 2016. – С. 160–164.
7. Тороканець В. С. Перспективи створення багатофункціональних швейних виробів із урахуванням біологічно-активних точок та біологічно-активних зон тіла людини / В. С. Тороканець, Л. В. Краснюк, О. М. Троян, О. Й. Янцаловський // Вісник Хмельницького національного університету. – 2016. – № 5. – С. 110–115.
8. Николаев Е. Л. Адаптация и адаптационный потенциал личности: соотношение современных исследовательских подходов / Е. Л. Николаев, Е. Ю. Лазарева // Вестник психиатрии и психологии Чувашии. – 2013. – № 9. – С. 18–32.
9. Кобилянська Р. М. Моніторинг стану імунної системи та ефективності застосування інформаційних імунокоректорів / Р. М. Кобилянська, В. Я. Кобилянський // Сучасні теоретичні та практичні аспекти щодо стратегії розвитку народної і нетрадиційної медицини : матеріали науково-практичної конференції з міжнародною участю 28-29 жовтня 2016 року. – К. : Наукове видання, 2016. – С. 68–69.
10. Bereznenko M. Influence of textile materials on the functional state of human body- assesment classification / M. Bereznenko, S. Bereznenko, M. Pawłowa, O. Jancałowski // Towaroznawcze problemy jakosci, Polish journal of commodity science, Radom. – 2011. – № 4 (29) – P. 59–64.
11. Луцевська О. М. Дослідження екологічної безпечності матеріалів для виготовлення верхнього одягу / О. М. Луцевська, О. Й. Янцаловський, С. В. Петегерич, М. П. Березненко // Проблеми легкой и текстильной промышленности Украины. – Херсон : ХНТУ, 2012. – № 1(19). – С. 105–110.
12. Березненко Н. П. Энерго-информационный аспект функционирования системы «человек – одежда» / Е. Н. Луцевская, В. И. Власенко, С. Н. Березненко // Тезисы Международной конференции «Современные наукоемкие технологии и перспективные материалы текстильной и легкой промышленности» Прогресс-2013. – Иваново. – С. 374–375.
13. Shchutka G. Development and application of the discrete model of multilayered textile materials /

G. Shchutska // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – Issue 6/5 (84). – P. 39–45. – DOI : 10.15587/1729-4061.2016.85784.

14. Думанська Л. В. Розроблення напульсників із лікувально-профілактичними властивостями та оцінювання їхньої ефективності / Л. В. Думанська, О. М. Луцкевська, О. Й. Янцаловський // Вісник КНУТД. – 2017. – № 6. – С. 89–95.

15. Буханцова Л. В. Дослідження впливу параметрів швів одношарового одягу на товщину шва / Л. В. Буханцова // Вісник Херсонського національного технічного університету. – 2016. – № 6. – С. 56–61.

16. Замышляева В. В. Исследование влияния ниточных соединений на показатели формоустойчивости пакетов одежды / В. В. Замышляева, Н. А. Смирнова, С. В. Волкова, Л. М. Татарникова // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 2014. – № 5 (353). – С. 8–12.

17. Ергономічне проектування одягу різного призначення : монографія / Л. В. Краснюк, О. М. Троян, О. М. Луцкевська, Ю. Б. Кокоячук, О. Й. Янцаловський. – Хмельницький : ХНУ, 2017. – 177 с.

18. Розроблення чоловічої білизни лікувально-профілактичного призначення з використанням енергоінформаційних технологій / О. М. Троян, О. М. Луцкевська, О. Й. Янцаловський, Л. В. Краснюк // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2017. – № 1. – С. 110–115.

19. Buhantsova L. Formation of the package of materials of adaptive multifunctional clothing / L. Buhantsova, O. Lushchevska, O. Troyan, L. Krasniuk // Technology audit and production reserves. – 2017. – № 3/3(35). – P. 4–12.

References

1. Chuprina N. V. Enerhozberihaiuchi tehnologii ekodyzainu u stvorenni suchasnoho odiahu yak produktu industrii mody / N. V. Chuprina // Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tehnologii i dyzainu. – 2013. – № 6 (74). – S. 245–253.

2. Deepti, Gupta. Functional clothing – definition and classification / G. Deepti // Indian Journal of Fibre & Textile Research. – 2011. – Vol. 36. – P. 321–326.

3. Cunha, J. Designing multifunctional textile fashion products classification □ Electronic resource □ / J. Cunha, A. C. Broega // Autex 2009 World Textile Conference. – 2009. – Available at : https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/19207/3/AUTEX09_JC_CB.pdf

4. Bereznenko M. P. Rol odiahu yak faktora ozdorovchoho kharakteru / M. P. Bereznenko, I. M. Fedotkin, S. M. Bereznenko, O. Y. Yantsalovskyi // Herald of Khmelnytskyi National University. – 2013. – №3. – S. 16–19.

5. Potapchuk Ye. M. Samokontrol osobystosti v ekstremalnykh ta kryzovykh sytuatsiiakh yak vazhlyva umova samozberezhennia / Ye. M. Potapchuk, N. D. Potapchuk // Problemy ekstremalnoi ta kryzovoi psikhologii. – 2015. Vypusk 17. – S. 231–240.

6. Krasniuk L. V. Pidbir i perevirka efektyvnoho diahnostychnoho instrumentariiu dlia doslidzhennia psykhoemotsiinoho stanu osobystosti / L. V. Krasniuk, O. M. Troian, O. Y. Yantsalovskyi, V. S. Torokanets // Psykhichne zdorovia osobystosti u kryzovomu suspilstvi : zbirnyk tez vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferentsii, 21 zhovtnia 2016 r. / upor. N. M. Bamburak. – Lviv : LvDUVS, 2016. – S. 160–164.

7. Torokanets V. S. Perspektivy stvorennia bahatofunktionalnykh shveinykh vyrobiv iz urakhuvanniam biolohichno-aktyvnykh tochok ta biolohichno-aktyvnykh zon tila liudyny / V. S. Torokanets, L. V. Krasniuk, O. M. Troian, O. Y. Yantsalovskyi // Herald of Khmelnytskyi National University. – 2016. – № 5. – S. 110–115.

8. Nikolaev E. L. Adaptaciya i adaptacionnyj potencial lichnosti: sootnoshenie sovremennykh issledovatel'skikh podhodov / E. L. Nikolaev, E. Yu. Lazareva // Vestnik psihiatrii i psihologii Chuvashii. – 2013. – № 9. – S. 18–32.

9. Kobyljanska R. M. Monitoryng stanu imunnoi systemy ta efektyvnosti zastosuvannia informatsiinykh imunokorektoriv / R. M. Kobyljanska, V. Ya. Kobyljanskyi // Suchasni teoretychni ta praktychni aspekty schodo stratehii rozvytku narodnoi i netradytsiinoi medytsyny : materialy naukovo-praktychnoi konferentsii z mizhnarodnoiu uchastiu 28-29 zhovtnia 2016 roku. – K. : Naukove vydannia, 2016. – S. 68–69.

10. Bereznenko M. Influence of textile materials on the functional state of human body-assessment classification / M. Bereznenko, S. Bereznenko, M. Pawłowa, O. Jancałowski // Towaroznawcze problemy jakosci, Polish journal of commodity science, Radom. – 2011. – № 4 (29) – R. 59–64.

11. Lushchevska O. M. Doslidzhennia ekolohichnoi bezpechnosti materialiv dlia vyhotovlennia verkhnoho odiahu / O. M. Lushchevska, O. Y. Yantsalovskyi, S. V. Peteherych, M. P. Bereznenko // Problemy lehkoi y tekstylnoi promyshlennosti Ukrainy. – Kherson : KhNTU, 2012. – № 1(19). – S. 105–110.

12. Bereznenko N. P. Energo-informacionnyj aspekt funkcionirovaniya sistemy «chelovek – odezhda» / E. N. Lushchevska, V. I. Vlasenko, S. N. Bereznenko // Tezisy Mezhdunarodnoj konferencii «Sovremennye naukoemkie tehnologii i perspektivnye materialy tekstilnoj i legkoj promyshlennosti» Progress-2013. – Ivanovo. – S. 374–375.

13. Shchutska G. Development and application of the discrete model of multilayered textile materials / G. Shchutska // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – Issue 6/5 (84). – R. 39–45. – DOI : 10.15587/1729-4061.2016.85784.

14. Dumanska L. V. Rozroblennia napul'snykiv iz likuvalno-profilaktychnomy vlastyviamy ta otsiniuvannia yikhnoi efektyvnosti / L. V. Dumanska, O. M. Lushchevska, O. Y. Yantsalovskyi // Visnyk KNUVD. – 2017. – № 6. – S. 89–95.

15. Bukhantsova L. V. Doslidzhennia vplyvu parametriv shviv odnosharovoho odiahu na tovshchynu shva / L. V. Bukhantsova // Visnyk Khersonskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu. – 2016. – № 6. – S. 56–61.

16. Zamyshlyayeva V. V. Issledovanie vliyaniya nitochnykh soedinenij na pokazateli formoustojchivosti paketov odezhdy / V. V. Zamyshlyayeva, N. A. Sмирнова, S. V. Volkova, L. M. Tatarnikova // Izvestiya vuzov. Tehnologiya tekstilnoj promyshlennosti. – 2014. – № 5 (353). – S. 8–12.

17. Erhonomichne proektuvannia odiahu riznoho pryznachennia : monohrafiia / L. V. Krasniuk, O. M. Troian, O. M. Lushchevska, Yu. B. Kokoichuk, O. Y. Yantsalovskyi. – Khmelnytskyi : KhNU, 2017. – 177 s.

18. Rozroblennia cholovicho bilizny likuvalno-profilaktychnomy pryznachennia z vykorystanniam enerhoinformatsiinykh tehnologii / O. M. Troian, O. M. Lushchevska, O. Y. Yantsalovskyi, L. V. Krasniuk // Herald of Khmelnytskyi National University. – 2017. – № 1. – S. 110–115.

19. Buhantsova L. Formation of the package of materials of adaptive multifunctional clothing / L. Buhantsova, O. Lushchevska, O. Troyan, L. Krasniuk // Technology audit and production reserves. – 2017. – № 3/3(35). – R. 4–12.

Рецензія/Peer review : 22.06.2019 р.

Надрукована/Printed : 23.07.2019 р.

Рецензент: д.т.н., проф. О.В. Захаркевич

ЗАСТОСУВАННЯ ФРАКТАЛЬНОЇ СТРУКТУРИ В ОРНАМЕНТАХ УКРАЇНСЬКОЇ НАЦІОНАЛЬНОЇ ВИШИВКИ

Застосування вишивки як плоского виду оздоблення ґрунтується на повторі однакових елементів орнаменту в програмному забезпеченні технології вишивання. Досліджено процес масштабної інваріантності фракталів типової структурної організації хрестів в рослинних і геометричних орнаментах автентичної української вишивки.

Ключові слова: самоподібність елементів орнаменту, фрактал, масштабна інваріантність, алфавіт, автентичний орнамент, патерн, генерація мультифракталу, розмірність, синтез, художнє поле «Оксіс».

A.L. SLAVINSKA, O.P. SYROTENKO

Khmelnyskyi National University

APPLICATION OF THE FRACTAL STRUCTURE IN THE ORNAMENTS OF UKRAINIAN NATIONAL EMBROIDERY

The use of embroidery as a flat type of decoration is based on repeating the same elements of the ornament in software embroidery technology. The process of large-scale invariance of fractals of a typical structural organization of crosses in plant and geometric ornaments of authentic Ukrainian embroidery is researched. Fractal box of the alphabet of base ornament units for generation of multifractals was used. A number of ideas of ornaments of Ukrainian embroidery was formed with the help of the art field "Oksis". The hierarchical approach of synthesis in transitions from one group of fractals to another is proposed maintaining the unity of compositional construction of plant and geometric ornamentation.

Key words: self-similarity of elements of ornament, fractal, scale invariance, alphabet, authentic ornament, pattern, generation of multifractals, dimension, synthesis, artistic field of "Oksis".

Постановка задачі

Візуальний аналіз орнаментів автентичної української вишивки вказує на частий повтор однакових елементів в межах одного орнаменту з збереженням їхніх сталих розмірів або із закономірною покровою зміною за ознакою подібності. Найбільш чітко ці закономірності прослідковуються в групі геометричних орнаментів і вказують на те, що вони можуть бути описані законами фрактальної геометрії за ірраціональними співвідношеннями кількості подібних об'єктів з їх розмірами.

Відсутність регламентації розмірностей геометричних орнаментів не забезпечує ентропійний механізм формування алфавіту елементів для генерації рисунку орнаменту. Актуальність геометричних фракталів для програмного забезпечення технології вишивання орнаментів полягає у формуванні базових орнаментальних блоків елементарних частин для тиражування або масштабування фрагментів вишивки, що суттєво скорочує терміни розробки і підвищує якість виконання операцій вишивання.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Фрактал (лат. *fractus, fractal* – дроблений) – це нескінченно самоподібна геометрична фігура, кожний фрагмент якої повторюється при зменшенні масштабу. Масштабна інваріантність, що спостерігається у фракталах, може бути точною або наближеною [1]. Прикладами геометричних фракталів є крива Гільберта-Пеано (рис. 1, а), триадна крива Коха (рис. 1, б), дракон «Хартера-Хейтуея» (рис. 1, в), крива Мінковського (рис. 1, г), крива Леві (рис. 1, д), килим Серпінського (рис. 1, е), трикутник Серпінського (рис. 1, є), дерево Піфагора (рис. 1, ж) [2], крива Госпера (рис. 1, з), Н-фрактал (рис. 1, и), Т-фрактал (рис. 1, і), фрактал Мандельброта (рис. 1, і), зірка Дарера (рис. 1, й) [3], фрактал Вісекка (рис. 1, к) [4], фрактал на основі кола (рис. 1, л) [5]. Це сукупності геометричних фігур, які утворюються шляхом нескладних геометричних перетворень – поділом більших фігур на подібні менші (масштабуванням) або шляхом тиражування одного і того ж елемента на ділянці простору з використанням афінних перетворень – повороту (зламу), паралельного перенесення. Афінні перетворення, які використовуються для побудови фракталів вважаються стискаючими, якщо коефіцієнт їхнього масштабування менший одиниці [1].

Рівень організації складних геометричних систем за законами фрактальної геометрії описують наступними розмірностями: Хаусдорфа, Мінковського, Рені, інформаційною, кореляційною та ін. [6].

Сьогодні теорія фракталів широко використовується для розробки складних орнаментів з використанням комп'ютерних технологій (рис. 2) [7], для опису процесів та явищ [8–12]. Відповідно доцільним є її застосування для дослідження будови схем орнаментів української національної вишивки, серед яких Т-фрактал, фрактал Вісекка та Серпінського є наглядним прикладом типової структурної організації хрестів в більшості орнаментів автентичної української вишивки.

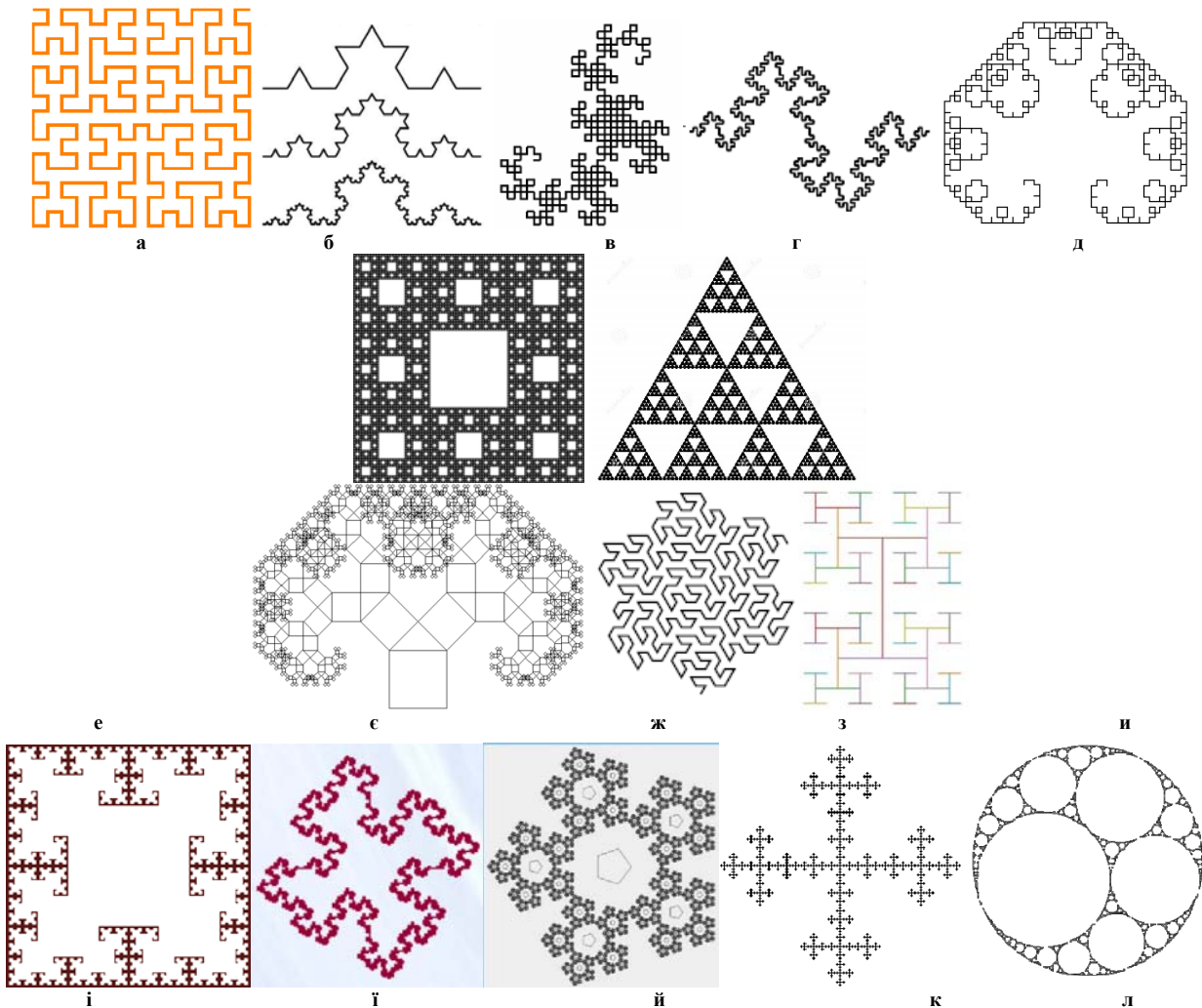


Рис. 1. Приклади геометричних фракталів

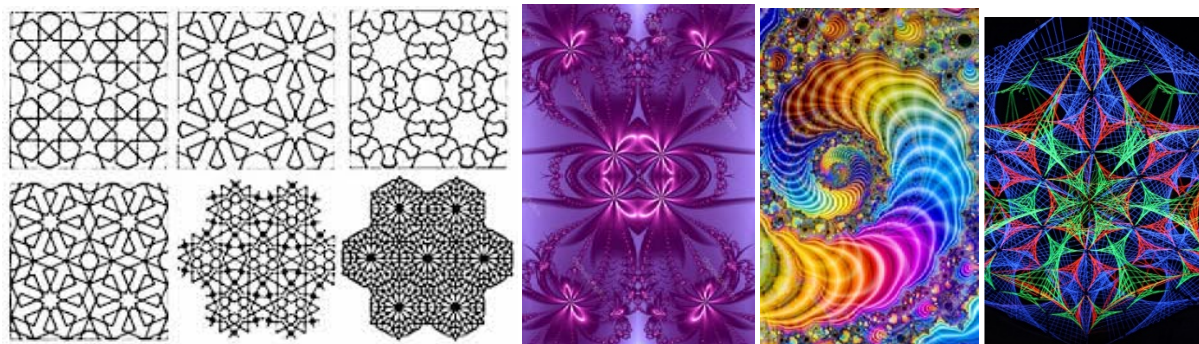


Рис. 2. Геометричні орнаменти розроблені за принципом фракталів

Мета і завдання дослідження

З метою дослідження законів внутрішньої будови орнаментів української національної вишивки доцільно вирішити ряд наступних завдань: визначити елементарні складові частини орнаменту; проаналізувати та математично обґрунтувати співвідношення параметрів цих частин між собою за законами фрактальної геометрії; визначити принципи формування патернів базових орнаментальних блоків (ізоморфем) на основі алфавіту української вишивки і встановити закономірності їх розташування та взаємозв'язку в єдиній орнаментальній схемі.

Виклад основного матеріалу

Подібність однакових елементів в різних схемах орнаментів української національної вишивки говорить про їх спільну структуру, обумовлену формою хреста як базового елемента вишивки. Вона пов'язана з сітчастою структурою канви або тканини, що обумовлює його чітку геометричну будову, яка вписується в межі квадрата (комірки). При цьому сітка матеріалу обумовлює характер їх взаємного розташування – лише під кутом 90° за умови зсуву на один цілий крок по вертикалі або горизонталі або 45° за умови одночасного зсуву на 1 крок по вертикалі та один по горизонталі. Більшість орнаментальних фігур,

побудованих на основі хреста, є прикладом фрактальної коробки, яку можна побудувати, використовуючи переписування рядків у матриці, починаючи з 1 комірки та ітеруючи правило:

$$\left\{ \begin{matrix} 0 \rightarrow \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, 1 \rightarrow \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix} \right\}. \quad (1)$$

Фрактал Вісекка будується шляхом покрокового віддалення кутових квадратів. Алгоритм для цієї фігури полягає в тому, щоб віддалити чотири кутові квадрати, залишивши середній квадрат (рис. 3, а), або віддалити квадрати зверху, знизу, зліва і справа від середнього (рис. 3, б). Ці дві конструкції створюють ідентичні граничні криві, але одна повернута на 45° відносно іншої [4].



Рис. 3. Побудова фракталу Вісекка

Рівняння, яке описує будову даного фракталу, представлено формулою 2, а його розмірність – формулою 3.

$$A_n = L_n^2 \cdot N_n = (5/9)^n \quad (2)$$

$$d_{cap} = \lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{\ln N_n}{\ln L_n} \right) = \log_3 5 = \frac{\ln 5}{\ln 3} = 1,465 \quad (3)$$

де N_n – число чорних скриньок;
 L_n – довжина сторони білого скриньки.

В результаті аналізу структур орнаментів визначено, що вони складаються з найпростіших елементів, які можуть бути основою елементарних геометричних фракталів (рис. 4) з 4- та 8-кратною повторюваністю елементів.

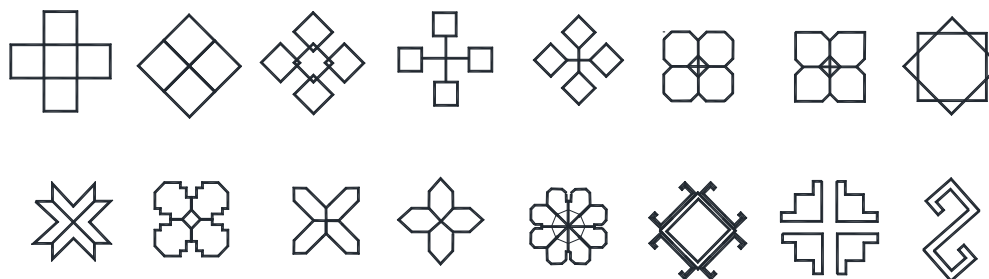


Рис. 4. Патерни геометричних фракталів в алфавіті української вишивки

Їх також використовують для генерування більш складних базових одиниць орнаменту шляхом накладання двох різних фракталів (рис. 5, а) або шляхом тиражування (рис. 5, б), приєднання (нарощування) (рис. 5, в) однакових фракталів або їх частин.

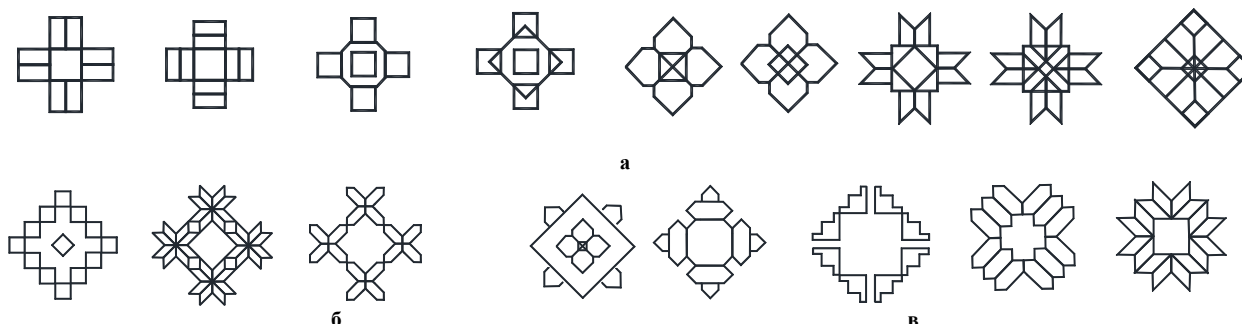


Рис. 5. Базові одиниці орнаменту, утворені при: а) накладанні; б) тиражуванні; в) приєднанні декількох найпростіших фракталів

Як правило, більшість орнаментів української національної вишивки містить в собі поєднання декількох фракталів (рис. 6), тому вони є мультифрактальними. Мультифрактал – це комплексний фрактал,

який може детермінуватись не одним єдиним алгоритмом побудови, а декількома послідовними алгоритмами, що змінюють один одного. Кожен з них генерує патерн зі своєю фрактальною розмірністю.

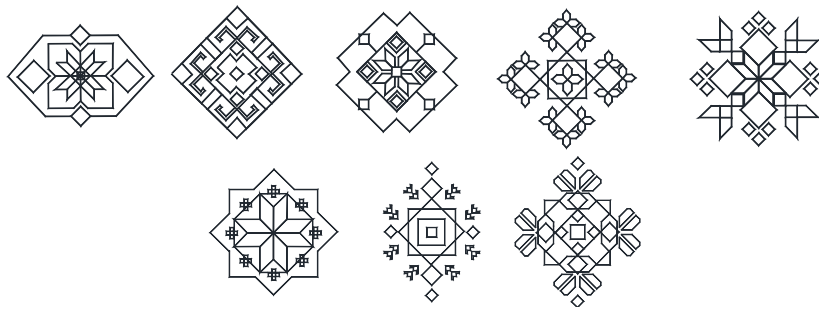


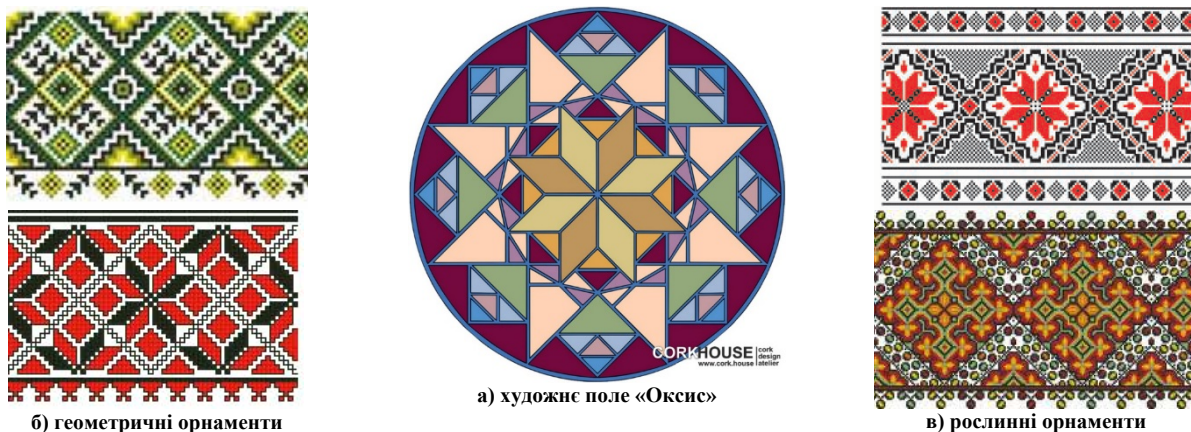
Рис. 6. Мультифрактальна генерація орнаментів української вишивки

Динамічна система мультифракталу задається ітераціями многочлена чи голоморфною функцією комплексної перемінної на площині (формула 4) [13]:

$$z_0, z_1 = F(z_0), z_2 = F(F(z_0)) = F(z_1), z_3 = F(F(F(z_0))) = F(z_2), \dots \quad (4)$$

де $F(z)$ – многочлен;
 z_0 – комплексне число.

Художнє поле «Оксис» (рис. 7, а), розроблене дизайнерською студією Cork house [14], є планшетом ідей можливих варіантів використання (рис. 7, б, в) алфавіту української вишивки, оскільки містить сукупність базових геометричних фігур, які найчастіше зустрічаються в автентичних орнаментах (трикутник, квадрат, восьмикутник, восьмикутна «Віфлеємська» зірка) тощо.



б) геометричні орнаменти

а) художнє поле «Оксис»

в) рослинні орнаменти

Рис. 7. Планшет ідей використання алфавіту української вишивки на основі художнього поля «Оксис»

Розглянемо особливості синтезу мультифракталів рослинного (рис. 8, а) та геометричного (рис. 9, а) орнаментів на основі художнього поля «Оксис». Рослинний орнамент базується на застосуванні фракталу поля Z_9 р-адичного числа [15] (рис. 8, б), геометричний – на основі фракталу квадратури кола Леонардо да Вінчі (рис. 9, б). Їм характерний круговий перехід від контуру найбільшого елемента до контуру найменшого шляхом поступового поділу найбільшого елемента на частини за принципом подібності. Кількість здійснених поділів характеризує передфрактальне покоління – n . В обох орнаментах для генерації необхідної кількості патернів достатніми є чотири ланцюги перетворень. В рослинному орнаменті (рис. 8, в) внутрішній контур більшого фракталу (рівень 1, крок 4) є основою для розвитку меншого (рівень 2 та 3), квадратна комірка фракталу (рівень 2, крок 3) є основою для генерації патерну рівня 4.

В геометричному орнаменті вихідним для ланцюгів перетворень рівня 1 та 2 є контур найбільшого елемента орнаменту, для рівня 3 – внутрішній контур патерну рівня 1 (крок 1), для рівня 4 – внутрішній контур патерну рівня 3 (крок 2). В усіх ланцюгах перетворень, крім рівня 2, здійснюється покрокове зменшення вихідного елемента на один і той же коефіцієнт подібності з одночасним його поворотом на 45° . На 2–4 рівнях застосовується принцип приєднання елементів алфавіту, які за розмірами вписуються в контури сітки фракталу, що призводить до формування нової схеми патерну.

Із патернів, отриманих на всіх рівнях, синтезують повну схему орнаменту, здійснюючи багатократне їх тиражування за чітко визначеним алгоритмом. Базові патерни (рівень 1 (рис. 8, в) та рівень 2 (рис. 9, в)) тиражуються по прямій за законами ланцюга і утворюють типологічний ряд, а модифікаційні (рівень 2 (рис. 8, в) та рівень 3 (рис. 9, в)) – за законами тріадної кривої Коха першого передфрактального покоління ($n = 1$). Патерни інших рівнів використовуються для доповнення базових та модифікаційних патернів.

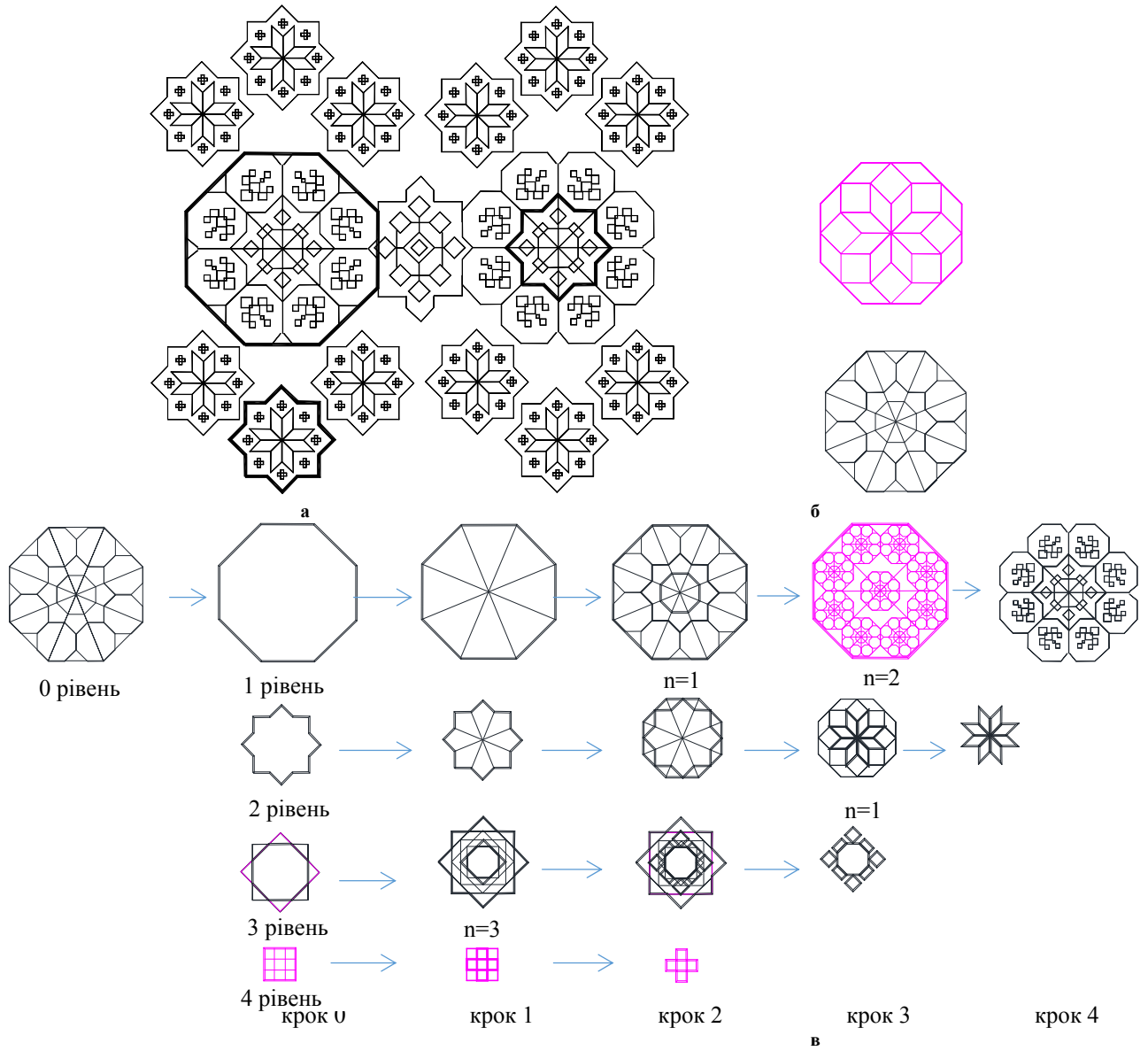


Рис. 8. Схема ієрархічних рівнів синтезу мультифракталу рослинного орнаменту

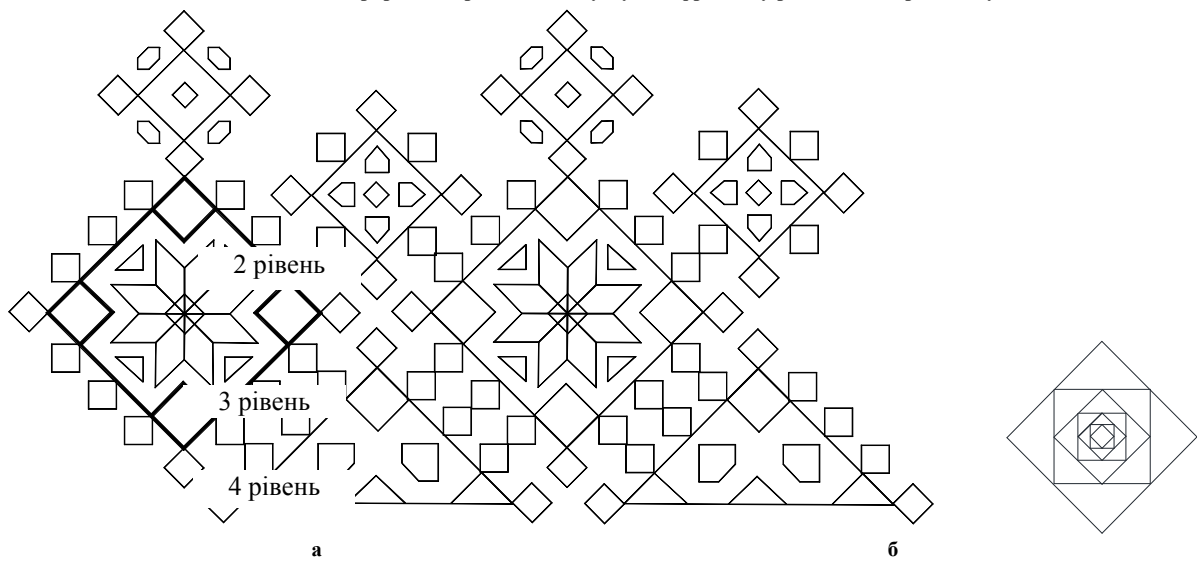


Рис. 9. Схема ієрархічних рівнів синтезу мультифракталу геометричного орнаменту

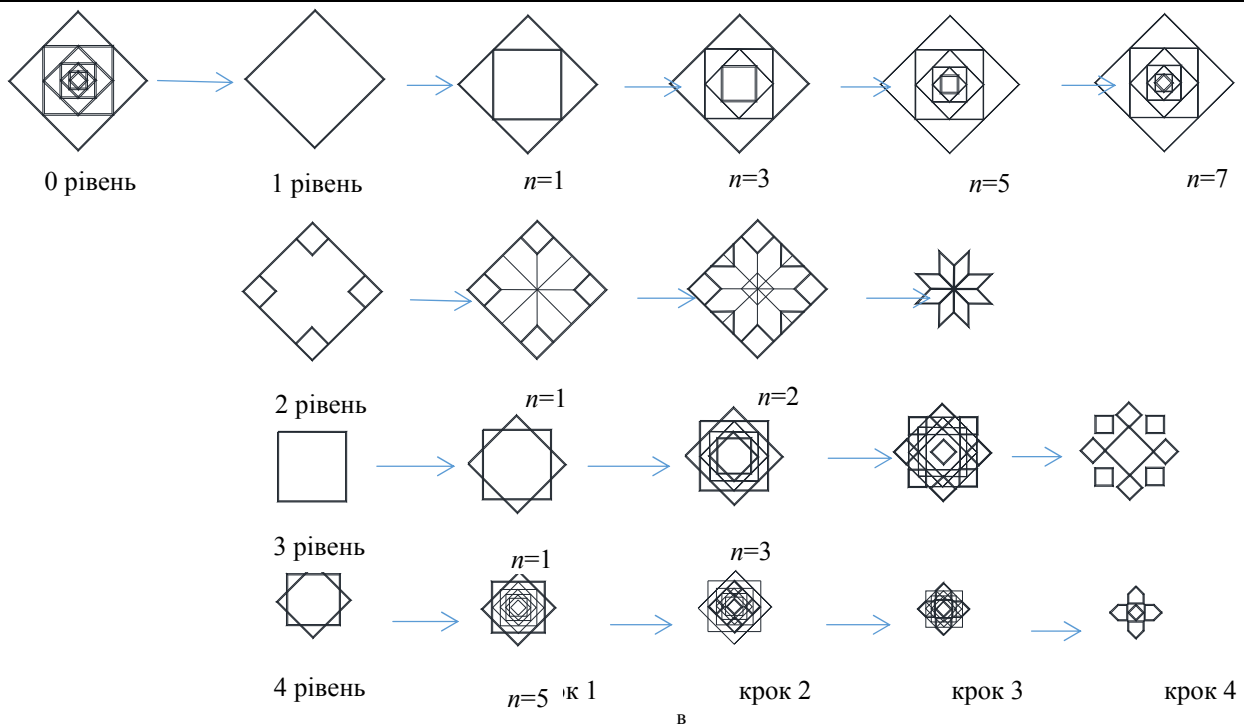


Рис. 9. Схема ієрархічних рівнів синтезу мультифракталу геометричного орнаменту (продовження)

Розглянуті способи побудови фракталів дозволяють здійснювати перехід від однієї групи фракталів до іншої, зберігаючи єдність композиційної побудови та чітку співрозмірність всіх елементів орнаменту.

Система поділу базових елементів орнаменту на більш дрібні частини має обмеження у вигляді факторіалу $n!$ елементарної одиниці розмірності хреста за рівнями масштабування.

Висновки

Досліджено можливості застосування закономірностей фрактальної геометрії в масштабній інваріантності типової структурної організації хрестів в орнаментах автентичної української вишивки на основі Т-фракталу, фракталів Вісека та Серпінського.

Визначено принципи формування патернів базових орнаментальних блоків шляхом збереження закономірностей розташування алфавіту української вишивки в єдиній орнаментальній схемі.

Наведені приклади ієрархічного підходу до синтезу мультифракталів рослинного і геометричного орнаментів української вишивки за допомогою планшету ідей, розробленого на основі художнього поля «Окис».

Література

1. Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы / Б. Мандельброт. – М., Ижевск : ИИКИ, НИЦ «РХД», 2010. – 656 с.
2. Hazewinkel M. Encyclopedia of Mathematics, Springer. Accessed May 25, 2007.
3. Понятие фрактал [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://fractbifur.narod.ru/html/index1.html>
4. Аметов А. Компьютерная графика. Фрактал Виссека [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://grafika.me/node/708>. – 28. 05. 2017.
5. Ronald L. Graham, Jeffrey C. Lagarias, Colin M. Mallows, Alan R. Wilks, and Catherine H. Yan. Apollonian Circle Packings: Number Theory. J. Number Theory, 100 (2003), 1–45.
6. O'Connor J. J., Robertson E. F. A History of Fractal Geometry. MacTutor History of Mathematics archive. School of Mathematics and Statistics, University of St Andrews, Scotland (01, 2009).
7. Компьютерная графика. Уроки, алгоритмы, программы, примеры [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://grafika.me/fractals>.
8. Vicsek, Tamás (2001). Fluctuations and scaling in biology. Oxford [Oxfordshire]: Oxford University Press.
9. Николаева Е. В. Фракталы в дизайнерских коллекциях и социокультурных практиках моды / Е. В. Николаева // Дизайн и технологии. – 2013. – № 35 (77). – С. 105–112.
10. Дмитришин Т. В. Особливості візуалізації фрактальних структур для підвищення естетичного рівня моделей одягу / Т. В. Дмитришин, С. Г. Кулешова // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених «Молодь – науці і виробництву – 2018: Інноваційні технології легкої

промисловості» (Херсон, 17-18 травня 2018 р.). – Херсон : ХНТУ, 2018. – С. 194–196.

11. Kuleshova S. G. Application of the fractal graphics as an innovative technology in clothing design / S. G. Kuleshova, T. V. Dmytryshyn, O. E. Glovatskaya // Textiles, clothing, leather and technology. – 2019. – Vol. 2. – P. 13–16. – URL : <https://tok-bg.org/archive-2019/number-of-2-2019/>.

12. Кулешова С.Г. Передумови застосування фрактальної графіки для структурного аналізу сучасного костюма / С.Г. Кулешова // Вісник Хмельницького національного університету. – 2015. – № 2. – С. 55–61.

13. Божокин С. В. Фракталы и мультифракталы / Божокин С. В., Паршин Д. А. – Ижевск : «РХД», 2001. – С. 128.

14. Художественное поле. Коллекция «геометрия» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://cork.house/khudozhestvennye-poly-ot-cork-house/khudozhestvennye-poly-print/khudozhestvennye-poly-kollektsiya-geometriya?tmpl=component>.

15. Маврикиди Ф. И. Фракталы: постигая взаимосвязанный мир [Электронный ресурс]/ Ф. И. Маврикиди // Дельфис. – 2000. – № 23(3). – Режим доступа : <http://www.delphis.ru/journal/article/fraktaly-postigaya-vzaimosvyazannyi-mir>.

References

- Mandelbrot B. Fraktalnaya geometriya prirody / B. Mandelbrot. – M., Izhevsk : IIKI, NIC «RHD», 2010.– 656 s.
- Hazewinkel M. Encyclopedia of Mathematics, Springer. Accessed May 25, 2007.
- Ponyatie fraktal [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa : <http://fractbifur.narod.ru/html/index1.html>
- Ametov A. Kompyuternaya grafika. Fraktal Visseka [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa : <http://grafika.me/node/708>. – 28. 05. 2017.
- Ronald L. Graham, Jeffrey C. Lagarias, Colin M. Mallows, Alan R. Wilks, and Catherine H. Yan. Apollonian Circle Packings: Number Theory. J. Number Theory, 100 (2003), 1–45.
- O'Connor J. J., Robertson E. F. A History of Fractal Geometry. MacTutor History of Mathematics archive. School of Mathematics and Statistics, University of St Andrews, Scotland (01, 2009).
- Kompyuternaya grafika. Uroki, algoritmy, programmy, primery [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa : <http://grafika.me/fractals>.
- Vicsek, Tamas (2001). Fluctuations and scaling in biology. Oxford [Oxfordshire]: Oxford University Press.
- Nikolaeva E. V. Fraktaly v dizajnerskih kollekcijah i sociokulturnyh praktikah mody / E. V. Nikolaeva // Dizajn i tehnologii. – 2013. – № 35 (77). – S. 105–112.
- Dmytryshyn T. V. Osoblyvosti vizualizatsii fraktalnykh struktur dlia pidvyshchennia estetychnoho rivnia modelei odiahu / T. V. Dmytryshyn, S. H. Kuleshova // Materialy mizhnarodnoi naukovy-praktychnoi konferentsii zdobuvachiv vyshchoi osvity i molodykh uchenykh «Molod – nautsi i vyrobnytstvu – 2018: Innovatsiini tekhnologii lehkoj promyslovosti» (Kherson, 17-18 travnia 2018 r.). – Kherson : KhNTU, 2018. – S. 194–196.
- Kuleshova S. G. Application of the fractal graphics as an innovative technology in clothing design / S. G. Kuleshova, T. V. Dmytryshyn, O. E. Glovatskaya // Textiles, clothing, leather and technology. – 2019. – Vol. 2. – P. 13–16. – URL : <https://tok-bg.org/archive-2019/number-of-2-2019/>.
- Kuleshova S.H. Peredumovy zastosuвання fraktalnoi hrafiky dlia strukturnoho analizu suchasnoho kostiuma / S.H. Kuleshova // Herald of Khmelnytskyi National University. – 2015. – № 2. – S. 55–61.
- Bozhokin S. V. Fraktaly i multifraktaly / Bozhokin S. V., Parshin D. A. – Izhevsk : «RHD», 2001. – S. 128.
- Hudozhestvennoe pole. Kolleksiya «geometriya» [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa : <https://cork.house/khudozhestvennye-poly-ot-cork-house/khudozhestvennye-poly-print/khudozhestvennye-poly-kollektsiya-geometriya?tmpl=component>.
- Mavrikidi F. I. Fraktaly: postigaya vzaimosvyazannyj mir [Elektronnyj resurs]/ F. I. Mavrikidi // Delfis. – 2000. – № 23(3). – Rezhim dostupa : <http://www.delphis.ru/journal/article/fraktaly-postigaya-vzaimosvyazannyi-mir>.

Рецензія/Peer review : 11.06.2019 р.

Надрукована/Printed : 23.07.2019 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

I.O. ZASORNOVA, O.S. ZASORNOV, V.S. KOSTIUK
Хмельницький національний університет

ВИБІР ВИДІВ АПЛІКАЦІЙ ДЛЯ ОЗДОБЛЕННЯ КОЛЕКЦІЇ «READY TO RAIN», ВИКОНАНОЇ В СТИЛІ SPORTCASUAL

Розроблено класифікатор аплікацій для оздоблення жіночого одягу, виконаного в стилі SportCasual. За розробленим класифікатором здійснено двоступеневе анкетування щодо вибору класів та видів аплікацій. Використовуючи дані анкетування, обрано два класи аплікацій: неформальні і логотипи. В класі неформальних обрано наступні види аплікацій: їжа; рослини; емоджі (смайли); тварини. В класі аплікацій-логотипів обрано музичні групи; логотипи відомих дизайнерів; логотипи соцмереж. З урахуванням результатів досліджень, на кафедрі технології і конструювання швейних виробів Хмельницького національного університету розроблено колекцію «Ready to rain» жіночого одягу для молодшої вікової групи, виконаної в стилі SportCasual.

Ключові слова: класифікатор аплікацій, клас, вид, стиль SportCasual, колекція одягу.

I. O. ZASORNOVA, A. S. ZASORNOV, V. S. KOSTIUK
Khmelnitskyi National University

THE SELECTION OF TYPES OF APPLICATIONS FOR THE “READY TO RAIN” COLLECTION, COMPLETED IN SPORTCASUAL STYLE

An application classifier for SportCasual style of women's clothing has been developed. The classifier includes six classes of applications: imitation military, military; logos; medical imitation, medical; patriotic; informal; form. According to the developed classifier, a two-stage questionnaire was conducted regarding the choice of classes and types of applications. Two classes of applications were selected: informal and logos. In the informal class the following types of application are selected: food; plants; emoticons; animals. According to the frequency calculations of the choice of applications-logos, the following were selected: music bands, logos of famous designers; social network logos. Based on the results of the research, the “Ready to rain” collection of women's casual wear for the SportCasual style for the younger age group has been developed. The “Ready to rain” Collection participated in the Módná línia mladých Young Designers Competition, held in April 2018 in Prešov, Slovakia and received a positive evaluation.

Key words: app classifier, app class, app type, SportCasual style, clothing collection.

Вступ

Вихід українських підприємств на міжнародний ринок вимагає від виробників одягу виготовлення якісних, конкурентоспроможних на світовому ринку виробів легкої промисловості. Для цього потрібно не лише застосовувати сучасне прогресивне обладнання при проектуванні і виготовленні одягу, але й розробляти новітні технології і нові моделі, які матимуть світову новизну [1]. Тому протягом останнього десятиліття все більше українських та світових дизайнерів широко застосовують різні види оздоблення одягу: аплікації, вишивку, каміни, шнури тощо. Найбільш вживаним видом оздоблення для молодшої вікової групи є аплікації. Їх використовують на різних видах одягу: верхньому, легкому, в білизняних виробках тощо. Аплікацію використовують навіть для оздоблення шкіряних виробів, сумок та взуття. Однак, при проектуванні моделей чи колекцій одягу модельєри та дизайнери звертають увагу на костюм загалом, не враховуючи його приналежність до відповідного історичного періоду, що виник у контексті розвитку певної субкультури.

Актуальність досліджень та постановка мети

Традиційна аплікація, як вид українського декоративно-прикладного мистецтва, згадується в працях Ніколаєвої Т., Васіної З., Гологовського Ю., Косміної О., Стельмашук Г., Мемарне М. та Білан М. [2, 3]. Питання художньо-образного вирішення ансамблю одягу вивчали Лагода О. та Кісіль М. [4].

Аплікацією оздоблюють: джинси, куртки, футболки, головні убори, взуття, сумки, рюкзаки, чохли для мобільних телефонів та навіть біжутерію. При проектуванні колекцій одягу модельєри та дизайнери звертають увагу на костюм загалом, не враховуючи його приналежність до відповідного історичного періоду, який виник у контексті розвитку певної субкультури. Тому необхідно вирішити задачу щодо обґрунтовано вибору виду аплікацій. Також не враховується призначення одягу та відповідність певній віковій групі. Тобто, наявна інформація є індивідуальною і пов'язана з конкретними практичними напрацюваннями, але науково не обґрунтована. Тому питання щодо оздоблення одягу аплікацією є актуальними на сьогодні і потребують конкретних наукових досліджень.

Метою дослідження є вибір видів аплікацій для оздоблення одягу споживачів молодшої вікової групи (для подальшого їх використання при проектуванні колекцій одягу, виконаних у стилі SportCasual).

Велика кількість видів аплікацій обумовила використання, для опитування і обробки результатів, методики PATTERN.

Виклад основного матеріалу дослідження

Сьогодні аплікацією називають техніку декоративно-прикладного мистецтва, яка полягає в отриманні зображення шляхом вирізання та настрочування або наклеювання елементів. Історія виникнення аплікацій (лат. applicatio — накладання, приєднання) сягає ще давніх часів, коли вони слугували на одязі знаком відмінності між кастами. Вперше їх використовували у Древньому Китаї, пізніше вони стали

популярними у середньовічній Європі.

Наприкінці XIX ст. аплікації з'явилися на уніформах збройних сил США і являли собою знак розпізнавання військового формування [5]. Як вид художнього оздоблення одягу, аплікацію почали використовувати різні субкультури в 60-х роках XX століття. В цей час свій одяг аплікаціями прикрашали хіпі, а в кінці 70-х та на початку 80-х їх використовували панки, як знак індивідуальності, особистості та навіть солідарності [6, 7].

Також у XX ст. істотну увагу аплікації стали приділяти й у фахово-професійній діяльності, де їй знайшлося застосування у дитячому одязі та жіночому вбранні. Аплікацією стали оздоблювали не лише одяг, а й постільну білизну, шиті килими, настінні панно тощо. Вона виступає способом декорування, що зумовлює її якість, кольорове вирішення, різнофактурність тощо.

При проектуванні сучасних колекцій одягу для молодшої вікової групи споживачів, для повсякденного носіння дизайнери використовують стиль Casual. Цей стиль одягу вважається відносно «молодим» та надзвичайно модним напрямком. Його зародження відбулось у 70-х роках XX століття. Саме слово Casual перекладається як випадковий, недбалий, повсякденний і неформальний. Одним із видів повсякденного одягу є SportCasual, який включає у себе: футболки, толстовки, спортивне взуття та костюми. Ці елементи гардеробу поєднують з сорочками, спідницями і штанами, в результаті чого з'являється стильний, ретельно продуманий образ [8, 9]. Для оздоблення одягу в стилі Casual всесвітньо відомі бренди такі, як: Gucci, Dolce&Gabbana, Fendi, Libertine та вітчизняні дизайнери: Elena Burba, Lake Studio, Navro та інші в більшості випадків використовують аплікацію (рис. 1).



Рис. 1. Використання аплікацій у сучасному одязі: а) Gucci; б) Dolce&Gabbana; в) Fendi; г) Libertine; д) Elena Burba; ж) Lake Studio; з) Navro

Під час створення колекцій одягу надзвичайно важливим етапом є вибір видів аплікацій. Тому, для дослідження обрано аплікації, які (за аналізом літературних джерел, інтернет-ресурсів, зразками одягу, інформацією провідних будинків мод та показів) найчастіше використовують в одязі, виготовленому в стилі Casual та SportCasual для молодшої вікової групи. Всі інші аплікації не підлягали дослідженню. За проведеним аналізом визначено, що серед вишитих аплікацій найбільш вживані наступні шість класів: імітація військових, військові; логотипи; імітація медичних, медичні; патріотичні; неформальні; бланкові (рис. 2).

1 Імітація військових, військові				
2 Логотипи				

Рис. 2. Класи аплікацій, якими найчастіше оздоблюють одяг, виконаний в стилі Casual та SportCasual



Рис. 2. Класи аплікацій, якими найчастіше оздоблюють одяг, виконаний в стилі Casual та SportCasual (продовження)

За результатами проведеного аналізу розроблено класифікатор аплікацій для оздоблення жіночого одягу, виконаного в стилі Casual та SportCasual (рис. 3).

Наступним етапом дослідження є вибір аплікацій. Авторами проведено двоступеневе анкетування за методикою PATTERN. Анкети складено з використанням “Класифікатору аплікацій для оздоблення жіночого одягу, виконаного в стилі SportCasual” (рис. 3). Перша анкета вміщувала перелік шести класів аплікацій.

Результати опитування оброблено за допомогою програми LibreOffice Calc, використання якої дозволило здійснити необхідні розрахунки і побудувати діаграми (рис. 4–6). За допомогою діаграм можна чітко визначити ті види аплікацій, які за думкою експертів найкраще відповідають одягу, виконаному в стилі SportCasual, оскільки на наведених діаграмах не виявлено монотонного спадання сум рангів.

Згідно з обробкою результатів анкетування побудовано діаграму рангів вибору класів орнаментів (рис. 4). При високому збіганні думок експертів (коефіцієнт конкордації $\omega=0,76$), критерій Пірсона розрахунковий ($\chi_p=60,92$) більший за критичний ($\chi_{кр}=11,07$) при ступенях свободи $f=5$. Отже, з діаграми (рис. 4) видно, що експертами обрано лише два класи аплікацій: X5 – неформальні і X2 – логотипи. Інші класи аплікацій експерти обрали у меншій кількості.

В наступній анкеті експертам було представлено два обрані класи: неформальні аплікацій і логотипи. Ранжування щодо вибору виду аплікацій експерти проводили в кожному із зазначених класів окремо. За підсумками обробки результатів, обрано види аплікацій в класі неформальних (при $\omega=0,83$, $\chi_p=79,85$ більше $\chi_{кр}=12,59$ і $f=6$), (рис. 5), а в класі аплікацій-логотипів (при $\omega=0,87$, $\chi_p=98,13$ більше $\chi_{кр}=14,07$ і $f=7$) (рис. 6). Встановлено, що в класі неформальних аплікацій обрано наступні види: X3 – їжа; X1 – рослини; X6 – емоджі (смайли); X2 – тварини (рис. 5). В класі аплікацій-логотипів обрано: X5 – музичні групи; X3 – логотипи відомих дизайнерів; X8 – логотипи соцмереж (рис. 6).

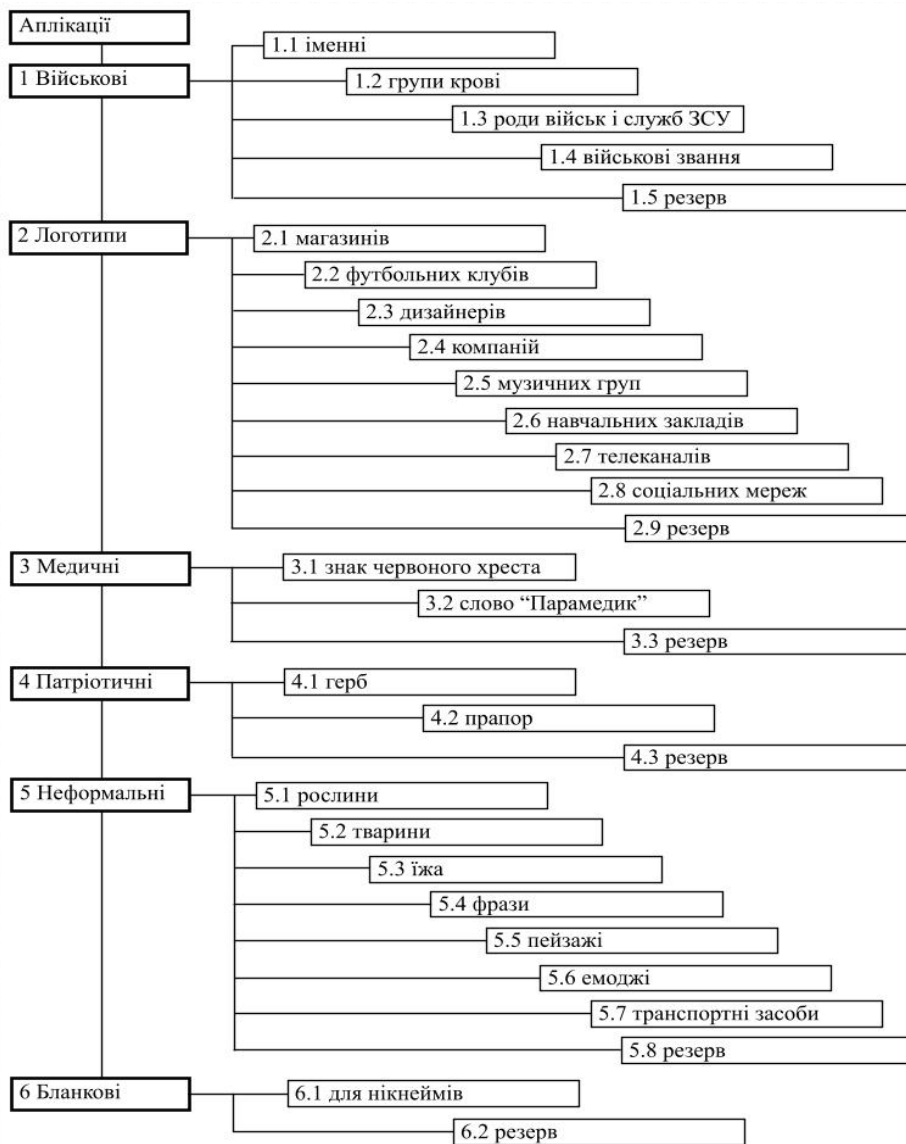


Рис. 3. Класифікатор аплікацій для оздоблення жіночого одягу, виконаного в стилі SportCasual

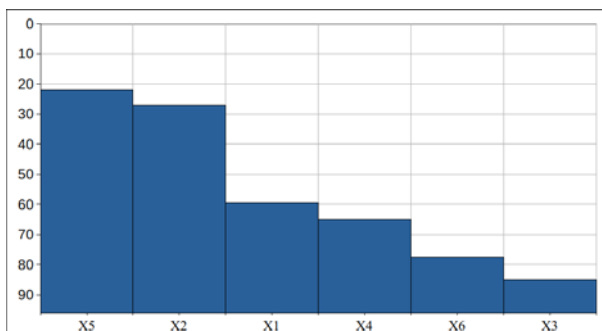


Рис. 4. Апріорна діаграма рангів вибору ключів аплікацій для оздоблення жіночого одягу в стилі SportCasual

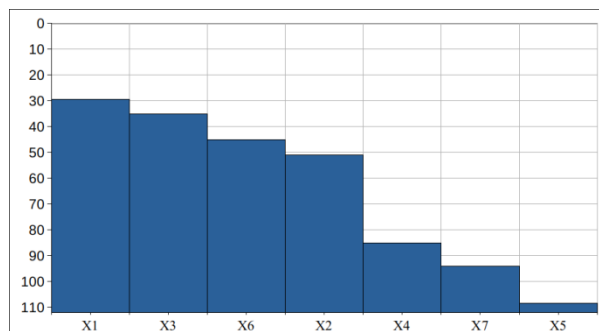


Рис. 5. Апріорна діаграма рангів вибору видів неформальних аплікацій для оздоблення жіночого одягу в стилі SportCasual

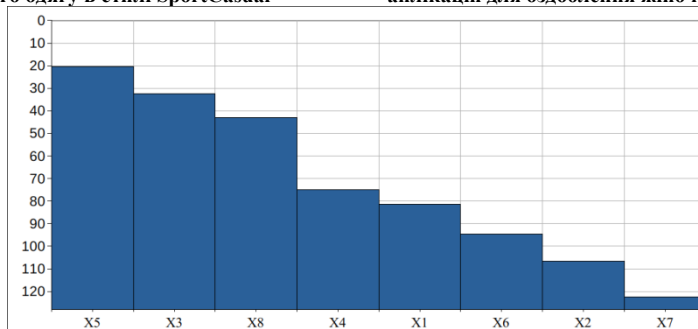


Рис. 6. Апріорна діаграма рангів вибору видів аплікацій-логотипів для оздоблення жіночого одягу в стилі SportCasual

Обрані експертами види аплікацій запропоновано використати для оздоблення колекції «Ready to gain» жіночого одягу, виконаної в стилі SportCasual. Колекція спроектована та виготовлена в навчально-науковій лабораторії «Технологій і моди», на кафедрі технології і конструювання швейних виробів Хмельницького національного університету, керівник колекції канд. техн. наук, доцент Луцевська О.М. (рис. 7, 8).



Рис. 7. Ескізний проєкт колекції «Ready to gain», виконаної в стилі SportCasual



Рис. 8. Фотографічне зображення центральної моделі колекції «Ready to gain»

Висновки

Розроблено класифікатор аплікацій для оздоблення жіночого одягу, виконаного в стилі SportCasual. За розробленим класифікатором здійснено двоступеневе анкетування щодо вибору класів та видів аплікацій. За результатами опитування експертами обрано два класи аплікацій: X5 – неформальні; X2 – логотипи. Встановлено, що в класі неформальних обрано наступні види аплікацій: X3 – їжа; X1 – рослини; X6 – емоджі (смайли); X2 – тварини. За розрахунками частот вибору аплікацій-логотипів обрано: X5 – музичні групи; X3 – логотипи відомих дизайнерів; X8 – логотипи соцмереж.

З урахуванням результатів досліджень, в навчально-науковій лабораторії «Технологій і моди», на кафедрі технологій і конструювання швейних виробів Хмельницького національного університету спроектовано та виготовлено колекцію «Ready to gain» жіночого одягу для молодшої вікової групи, виконаної в стилі SportCasual.

Колекція «Ready to gain» брала участь в конкурсі молодих дизайнерів “Módna línia mladých”, який відбувся в квітні 2018 року у м. Прешов, Словаччина, та здобула позитивну оцінку.

Література

1. Artemenko M. Costume Designin for hospitality establishments staff on the basis of analysis the Slavic Snakes ornamentation / M. Artemenko, O. Yakymchuk, D. Yakymchuk, N. Myrhorodska, I. Zasornova // *Vlakna a Textil. Indexed in SCOPUS Chemical Abstracts World Textiles.* – 2018. – Vol. 25. – № 1. – P. 3–7.
2. Мемарне М. В. Техніка аплікації: від народного мистецтва до сучасного дизайну / М. В. Мемарне // *Вісник КНУКіМ. Серія «Мистецтвознавство»* : зб. наук. праць. – 2015. – № 33. – С. 84–90.
3. Васіна З. О. Український літопис одягу: Книга-альбом: Науково-худож. реконструкції. XIII – початок XX ст. / Васіна З. О. – К. : Мистецтво, 2006. – Т. 2. – 448 с.
4. Кісіль М. В. Концепції формоутворення костюму в західноєвропейському дизайні XX століття: витоки, розвиток, тенденції : автореф. дис. канд. мистецтвознавства : 17.00.07 / Кісіль Марина Володимирівна ; Харк. держ. акад. декоративного мистецтва. – Харків, 2010. – 20 с.
5. Модний словар: патчі [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://ivona.bigmir.net/beauty/moda/436935-Modnyj-slovar-patchi>
6. A brief fashion history: the role of clothing patches in counterculture [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.asildastore.com/blogs/news/103889222-a-brief-fashion-history-the-role-of-clothing-patches-in-counterculture>
7. 20 Ways To Style Patches [Електронний ресурс]. – 2018. – Режим доступу : <https://www.rebelsmarket.com/blog/posts/20-ways-to-style-patches>
8. Засорнова І. О. Проектування сучасного ансамблю одягу з урахуванням історичного розвитку різних субкультур / І. О. Засорнова, В. С. Костюк // *IV Міжнародна науково-практична конференція «Соціокультурні тенденції розвитку сучасного мистецтва та дизайну»*, 5-9 листопада, 2018 р. у м. Херсон. – С. 255–257.
9. Краснюк Л. В. Досвід використання соціокультурної комунікації при проектуванні колекцій одягу / Л. В. Краснюк, І. О. Засорнова, Є. С. Царьова // *IV Міжнародна науково-практична конференція «Соціокультурні тенденції розвитку сучасного мистецтва та дизайну»*, 5-9 листопада, 2018 р. у м. Херсон. – С. 48-50.

References

1. Artemenko M. Costume Designin for hospitality establishments staff on the basis of analysis the Slavic Snakes ornamentation / M. Artemenko, O. Yakymchuk, D. Yakymchuk, N. Myrhorodska, I. Zasornova // *Vlakna a Textil. Indexed in SCOPUS Chemical Abstracts World Textiles.* – 2018. – Vol. 25. – № 1. – R. 3–7.
2. Memarne M. V. Tekhnika aplikatsii: vid narodnoho mystetstva do suchasnoho dyzainu / M. V. Memarne // *Visnyk KNUKіM. Serii «Mystetstvoznavstvo»* : zb. nauk. prats. – 2015. – № 33. – S. 84–90.
3. Vasina Z. O. Ukrainyskyi litopys odiahu: Knyha-albom: Naukovo-khudozh. rekonstruktzii. XIII – pochatok XX st. / Vasina Z. O. – K. : Mystetstvo, 2006. – T. 2. – 448 s.
4. Kisil M. V. Kontseptsii formoutvorennia kostiumu v zakhidnoievropeiskomu dyzaini XX stolittia: vytyky, rozvytok, tendentsii : avtoref. dys. kand. mystetstvoznavstva : 17.00.07 / Kisil Maryna Volodymyrivna ; Khark. derzh. akad. dekoratyvnoho mystetstva. – Kharkiv, 2010. – 20 s.
5. Modnyi slovar: patchi [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <http://ivona.bigmir.net/beauty/moda/436935-Modnyj-slovar-patchi>
6. A brief fashion history: the role of clothing patches in counterculture [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <https://www.asildastore.com/blogs/news/103889222-a-brief-fashion-history-the-role-of-clothing-patches-in-counterculture>
7. 20 Ways To Style Patches [Elektronnyi resurs]. – 2018. – Rezhym dostupu : <https://www.rebelsmarket.com/blog/posts/20-ways-to-style-patches>
8. Zasornova I. O. Proektuvannia suchasnoho ansambliu odiahu z urakhuvanniam istorychnoho rozvytku riznykh subkultur / I. O. Zasornova, V. S. Kostyuk // *IV Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiia «Sotsiokulturni tendentsii rozvytku suchasnoho mystetstva ta dyzainu»*, 5-9 lystopada, 2018 r. u m. Kherson. – S. 255–257.
9. Krasniuk L. V. Dosvid vykorystannia sotsiokulturnoi komunikatsii pry proektuvann kolektsii odiahu / L. V. Krasniuk, I. O. Zasornova, Ye. S. Tsarova // *IV Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiia «Sotsiokulturni tendentsii rozvytku suchasnoho mystetstva ta dyzainu»*, 5-9 lystopada, 2018 r. u m. Kherson. – S. 48-50.

Рецензія/Peer review : 8.06.2019 р.

Надрукована/Printed : 23.07.2019 р.
Рецензент: д.т.н., проф. О.В. Засорнова

Е. А. ЕЛЬНАШАР

Університет Кафрельшейха, Єгипет

О. В. ЗАХАРКЕВИЧ, А. В. СЕЛЕЗНЬОВА, С. Г. КУЛЄШОВА

Хмельницький національний університет

ОСОБЛИВОСТІ РОЗРОБКИ БАЗИ ДАНИХ ОДЯГУ МЕДИЧНОГО ПЕРСОНАЛУ

Визначені окремі конструктивно-композиційні рішення медичного одягу для формування бази даних зображень медичного одягу, яка може бути використана для глибокого навчання машин, пряме призначення яких – підбір конструктивного прототипу одягу повсякденного призначення для розробки одягу медичного призначення.

Ключові слова: медичний одяг, база даних, ознаки виробу, семантичний диференціал, евклідова відстань.

E. A. ELNASHAR

Kafrelsheikh University, Egypt

O. V. ZAKHARKEVICH, A. V. SELEZNEVA, S. G. KULESHOVA

Khmelnysky National University

DATABASE OF MEDICAL CLOTHING TO APPLY DEEP LEARNING IN APPAREL DESIGN

The main objective of the study is to organize the database of properly labelled images of medical clothing. It was considered advisable to use as labels specific features of the particular garment type rather than its name because the features are standard and can be determined specifically. With the help of the developed bipolar scales of semantic differential, the description of key emotional attributes of medical clothes in the form of psychographic profiles was made. The selected material was sampled for the next categorical principal components analysis and general assessment of differences that are caused by specific features of medical clothing. Thus, the structure of the databases of medical clothing corresponds to the indicators of clusters, which were revealed in the results of the categorical principal components analysis. Based on the information given in the database the typical design documentation of the garment that is already constructed at the given sewing enterprise might be selected out to design the medical clothing.

Keywords: medical clothing, database, garment features, semantic differential, Euclidian distance.

Вступ

Забезпечення медичного обслуговування населення є одним із ключових елементів національної безпеки будь-якої держави. Медичне обслуговування забезпечує, насамперед, медичний персонал, вимоги до якого чітко регламентовані як у плані відповідності професійним якостям, так і в аспекті дотримання правил гігієни, які прямо пов'язані з забезпеченням санітарно-епідеміологічної безпеки.

Під гігієною медичного персоналу розуміють підтримання зовнішнього вигляду, вибір та носіння комплекту спеціального медичного одягу, взуття, догляд за тілом (а особливо за руками) перед початком роботи, під час та після закінчення роботи. Однією із найперших вимог щодо підтримання зовнішнього вигляду є наступна: загальний вигляд медичного персоналу повинен бути естетично довершеним, строгим та водночас привабливим для зору, що сприяє довірі з боку пацієнтів та їх близьких.

З такою функцією успішно справляється одяг медичного персоналу, який повинен: 1) захистити пацієнта від інфекцій та бактерій, які лікар може принести на повсякденному одязі із зовнішнього світу; 2) захистити лікаря від потрапляння препаратів та біологічних рідин на шкіру; 3) забезпечити уникнення психо-емоційного збудження пацієнта (одяг чистий і білий).

Проте, сьогодні асортимент медичного одягу, що розробляється у відповідності з діючою в Україні нормативно-технічною документацією, не відповідає в повній мірі вимогам споживачів до захисних, експлуатаційних і естетичних вимог спецодягу. Діючі стандарти не завжди враховують спеціалізацію працівника, умови праці, а одяг, що виготовляється не володіє захисними властивостями [1]. Дослідники відмічають цілий ряд недоліків: обмежений асортимент; відсутність поділу одягу за спеціалізацією медичного працівника; матеріали, що рекомендуються в стандартах, не включають сучасних матеріалів зі спеціальними обробками.

Існуючі технічні умови на моделі медичного одягу не дають рекомендацій для конкретної спеціальності лікаря, вони єдині для всіх, а кожен лікар різної спеціалізації може висувати різні вимоги до свого одягу. Важливо врахувати, що раніше розроблені стандарти, які були затверджені в 80-х роках минулого століття, застаріли і вимагають розробки нових базових конструкцій медичного одягу з урахуванням сучасної типології населення та розроблення базових конструкцій з більш високими ергономічними, захисними, психофізіологічними і гігієнічними властивостями [1].

Крім того, слід звернути увагу на те, що необхідність побороти у пацієнтів так званий «страх білого халату» зумовлює потребу в зміні дизайну та звичного білого забарвлення медичного одягу. Поступово медичний одяг зі спецодягу перетворюється на окремий предмет гардеробу, над яким працюють дизайнери. На ринку з'являються нові, сучасні моделі медичного одягу, виробу оздоблюють декоративними елементами.

Існуючі дослідження медичного одягу концентрують свою увагу на матеріалах, з яких він виготовляється [2–5] та їх відповідності вимогам стандартів [6], в той час як композиційне вирішення моделей медичного одягу та їх конструктивний устрій залишаються поза увагою дослідників. Відсутні

дослідження сезонних та модних змін у зовнішньому вигляді та структурі асортименту медичного одягу.

Вихідними даними для таких досліджень є фотографічні зображення існуючого медичного одягу. При цьому світова мережа Інтернет дозволяє розглянути особливості зовнішнього вигляду медичного одягу, який використовується медичними працівниками різних країн світу.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Швидка мода та можливість купівлі одягу он-лайн в останні роки створили цікаве поле для використання технологій пошуку зображень, оскільки сотні тисяч зображень одягу є дуже складним набором даних, які використовують для автоматичного або напівавтоматичного аналізу кольорів, текстур, пошуку подібних зображень тощо [7]. Для виконання таких завдань застосовують методи машинного навчання, частиною яких є глибоке навчання.

Можливості застосування технологій глибокого навчання у швейній галузі дуже багатогранні. Наприклад, результати, описані в [8], дозволяють користувачеві перекладати зображення в текст, який також може бути інтерпретований як технічний опис виробу на основі його ескізу. Автори [9] обґрунтовують необхідність розкладання зображення на частини та маркування його цілим рядом міток, оскільки ці зображення часто використовують різні сайти Інтернет-магазинів. Крім того, щоб навчити машину розпізнавати одяг, потрібно використовувати великий набір даних через велику кількість категорій одягу [10].

Результати, отримані авторами [11], дозволяють використовувати їх модель для завдань виявлення і розпізнавання швейних виробів з подальшим пошуком візуальної подібності. Інформаційна панель, розроблена [10], дозволяє бачити, «як часто певний вид одягу з'являється за день, який одяг популярний серед людей заданої вікової групи тощо». Такий аналіз спрямований на те, щоб допомогти роздрібним торговцям планувати продажі та уникати надлишків.

Snap Fashion [12, 13] – один з перших проєктів у цій галузі, який існує на ринку вже кілька років. Точність пошуку досить низька і ґрунтується в основному на кольорі виробу. Проєкт ASAP54 [12, 14] дозволяє знайти виріб за його кольором з урахуванням кількох додаткових характеристик, які мають бути задані користувачем. Додаток iPhone "Take pictures of clothes" [15] дозволяє визначати одяг у зображенні, а потім порівнювати подібні зображення, доступні в мережі Інтернет.

Вище зазначені проєкти мають однаково призначення, так званий «пошук подібності», який дозволяє знаходити зображення, схожі на вихідне зображення за своїми загальними характеристиками, такими як розмірність, кількість пікселів, колір. Результатом такого пошуку є перелік зображень, які справляють таке ж враження, як вихідне зображення одягу. Однак знайдені зображення часто відрізняються за своїми конструктивними характеристиками і можуть належати до різних видів одягу [16, 17]. Така ситуація є неприйнятною для спеціалістів швейної галузі, особливо під час проєктування одягу конкретного призначення. Пошукові системи при пошуку зображень медичного одягу відбиратимуть одяг за кольором і розміром зображення, а отже до відібраного матеріалу попаде значна частка виробів святкового і повсякденного призначення.

«GETSARAFAN» [12, 18] – проєкт, який все ще знаходиться на стадії розробки. Основна ідея проєкту – позначити величезний набір зображень одягу конкретними мітками, навчити класифікатор та класифікувати таким чином сегментовані зображення. Автори проєкту базують свою роботу на твердженні про те, що існує істотна різниця між сприйняттям одного і того ж зображення машиною та людиною, – так званий «семантичний розрив».

Авторами [19] розроблено експертну систему вибору готового одягу із запланованим враженням, в основу якої лягли психографічні профілі окремих моделей одягу. Кожен профіль є набором усереднених оцінок семантичних диференціалів ключових емоційних компонент виробів. Запропоновано для оцінки виробу використовувати шість пар Kansei слів. Така система є однією із ряду спроб створити перехідний режим між сприйняттям виробу людиною і машиною. Наповнення бази знань розробленої експертної системи виконується в ручному режимі. Автоматизоване наповнення можливе за умови застосування алгоритмів глибокого навчання з використанням бази даних зображень виробів різного призначення.

Така база даних дозволить застосувати іншу експертну систему [20], яка забезпечує пошук конструктивного прототипу за переліком окремих конструктивно-композиційних рішень виробів. Комп'ютерні системи, які імітують процес прийняття рішень людським мозком, базуються на використанні баз даних і знань. В їх основі лежить систематизована інформація про об'єкти предметного середовища, в даному випадку – моделі виробів медичного одягу. Вихідна гіпотеза даного дослідження полягає у наступному: моделі медичного одягу можуть бути розроблені на основі конструктивного прототипу одягу побутового призначення. При чому, оскільки пакет конструкторсько-технологічної документації для його виготовлення вже є на підприємстві, то технологічний процес виготовлення одягу заданого призначення (спеціального, форменого, медичного, тощо) може бути налаштований у мінімальний термін.

Отже, для створення сприятливих умов дослідження асортименту існуючого одягу для медичного персоналу машинними засобами, а також для розробки механізму пошуку конструктивного прототипу одягу повсякденного призначення для проєктування медичного одягу необхідно розробити таку структуру бази даних зображень виробів, яка дозволить нівелювати «семантичний розрив» між сприйняттям зображення одягу людиною і машиною.

Мета дослідження – визначити окремі конструктивно-композиційні рішення медичного одягу для формування бази даних зображень медичного одягу, яка може бути використана для глибокого навчання машин, пряме призначення яких – підбір конструктивного прототипу одягу повсякденного призначення для розробки одягу медичного призначення.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- виконати аналіз асортименту медичного одягу;
- виділити окремі конструктивно-композиційні рішення (ОККР) і ключові емоційні атрибути медичного одягу;
- сформувати структуру бази даних одягу для медичного персоналу.

Виклад основного матеріалу дослідження

Для формування бази фотографічних зображень медичного одягу використано дані Інтернет-магазинів, каталогів, а також реальні моделі одягу, що використовуються медичним персоналом лікарень (м. Хмельницький). Для формування вибірки використано простий випадковий метод відбору моделей, оскільки в такому випадку можна стверджувати, що вибірка буде репрезентативною. Тоді проста випадкова вибірка розміром 188 зображень виробів медичного одягу є репрезентативною для всієї сукупності моделей заданих виробів. На рис. 1 та рис. 2 представлено співвідношення видів виробів, які складають структуру асортименту одягу для медичних працівників.

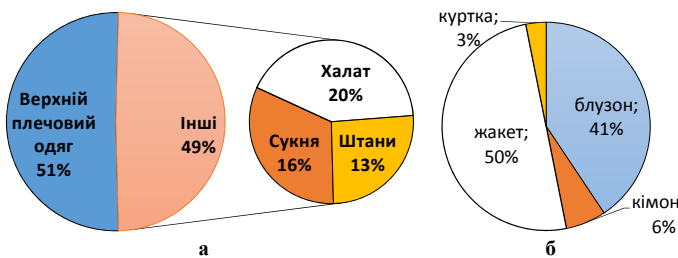


Рис. 1. Аналіз жіночого медичного одягу:
а) види одягу; б) різновиди верхнього плечового одягу

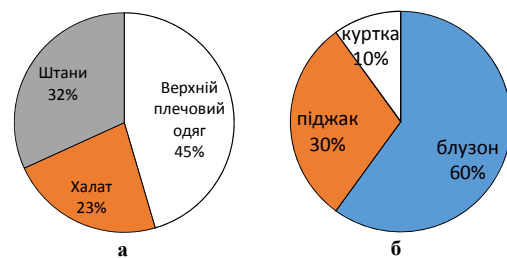


Рис. 2. Аналіз чоловічого медичного одягу:
а) види одягу; б) різновиди верхнього плечового одягу

Для виділення основних конструктивно-композиційних ознак та ключових емоційних атрибутів медичного одягу, які доцільно розглядати при пошуку конструктивного прототипу, використано категоріальний аналіз головних компонент. Такий аналіз дозволяє графічно відобразити взаємозв'язок між характеристиками одягу, які призводять до формування окремих кластерів зображень виробів.

За міру подібності між об'єктами (виробами медичного одягу) прийнято евклідову відстань. Обраний метод, який оптимізує відстані між об'єктами, рекомендується використовувати у випадках, коли першочерговий інтерес складає різниця або подібність між об'єктами. Для розрахунку евклідової відстані та зменшення розмірності даних методом головних компонент кожне зображення представлено кодом (табл. 1).

Таблиця 1

Розшифрування коду виробів медичного одягу (фрагмент) [21]

Код	Силует	Код	Рукав	Код	Форма
1	Прилеглий	1	Вшивний довгий	1	Прямокутник
2	Напівприлеглий	2	Вшивний, довжиною до ліктя	2	Трапеція (розширена донизу)
3	Прямий	3	Вшивний, короткий
...

В основу коду покладено числові позначення окремих конструктивно-композиційних рішень (ОККР), доцільність та достатність яких обґрунтована у [16] для формування структури баз даних зображень одягу з наступним їх використанням у процесах глибокого навчання машин. В коді використано 13 розрядів: силует (S), довжина (L), форма (F), гудзики (TF), застібка (Fs), кокетка (Y), кишені (P), капюшон (H), оздоблення (T), комір (C), членування (Ss), крій (Cut), вид виробу (Gt). Обробка даних виконана за допомогою засобів пакету PASW Statistics. Ознаки, які не характерні для медичного одягу, позначаються однаковим числовим позначенням, що відповідає характеристиці «Відсутні», і ігноруються системою при обробці даних, як такі, що мають нульовий розмах варіювання (ознака H – капюшон).

Така структура коду забезпечує можливість поступового наповнення попередньо сформованої бази зображень побутового одягу, які знайдені засобами пошукових сервісів Google Search [16]. Очевидно, що при формуванні загальної бази, кожне зображення в ній повинне бути позначене додатковою міткою, що вказує на призначення одягу: в даному випадку – це мітка «медичний одяг».

Емоційне враження, яке створюють моделі медичного одягу, визначено на основі спеціально розроблених біполярних шкал семантичного диференціалу, що лежать в основі методів Kansei-інженерії. Таким чином, кожне зображення представлено кодом, в основу якого покладено середні значення коефіцієнтів семантичного диференціалу, і який носить назву психографічного профілю виробу. Довжина

коду визначається попередніми дослідженнями, що викладені у [7, 16], і складається із шести пар Kansei слів: SA – симетрія-асиметрія одягу, BS – характеристики кольору, CS – повсякденний-святковий одяг, TN – характеристики тканини, FM – фольклорний-сучасний одяг, TdTu – форма одягу.

Кожне зображення медичного одягу оцінено за допомогою оцінних коефіцієнтів у біполярних шкалах, визначених вербальними антонімами Kansei слів з кожного кінця спеціально розробленої авторами [19] шкали. Кожна шкала має сім градацій, які виражаються чисельно (-3, -2, -1, 0, +1, +2, +3) або вербально (сильно, середньо, слабо, ніяк, слабо, середньо, сильно). Для адекватності обробки даних за допомогою інструментарію пакету PASW Statistics усі числові позначення перетворені наступним чином: -3→1; -2→2; -1→3; 0→4; +1→5; +2→6; +3→7.

Таким чином, кожна модель медичного одягу, зображення якої належить базі даних, представлена у вигляді двох кодів: один із них відображає конструктивно-композиційні ознаки виробу, а інший – емоційне враження, яке він справляє на споживача. Категоріальний аналіз головних компонент був застосований окремо до кожного із кодів. Для досліджень використано дані про жіночий медичний одяг, оскільки він більш різноманітний і складає значну частку в розглянутому асортименті.

Як видно з рис. 3 та рис. 4 найбільш вагомими компонентами при визначенні розмірностей (табл. 2, табл. 3) спричиняють значні відмінності як у візуальному сприйнятті виробів (на рис. 3 помітно по два окремих кластери зображень в одній і тій самій їх вихідній сукупності), так і в їх конструктивному устрої (на рис. 4 також помітний чіткий поділ на кластери).

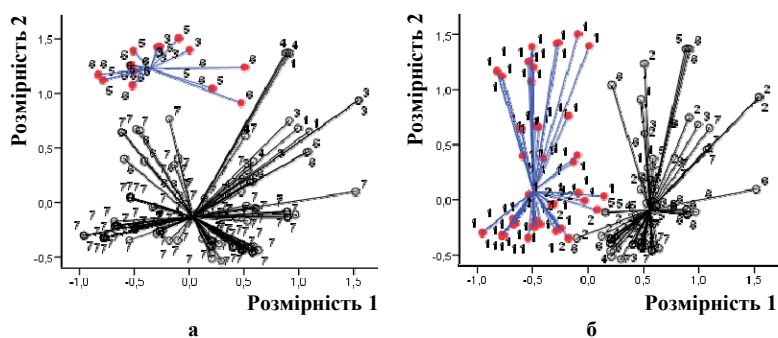


Рис. 3. Результати категоріального аналізу головних компонент: а) FM; б) BS

Таблиця 2

Навантаження компонент (враження)

Розмірність	TdTu	BS	FM	TN	SA	CS
1	0,808	1,459	-0,230	1,472	0,967	-0,256
2	0,235	-0,414	-1,631	-0,162	0,711	1,607

Таблиця 3

Навантаження компонент (ОККР)

Розмірність	Fs	T	Cut	TF	F	C	P	L	Ss	Y	S
1	-0,852	0,431	1,361	1,220	1,494	1,150	0,512	-1,107	-1,080	-0,118	0,724
2	1,308	-0,677	0,234	-1,037	0,466	0,094	1,320	0,892	-0,744	1,269	1,664

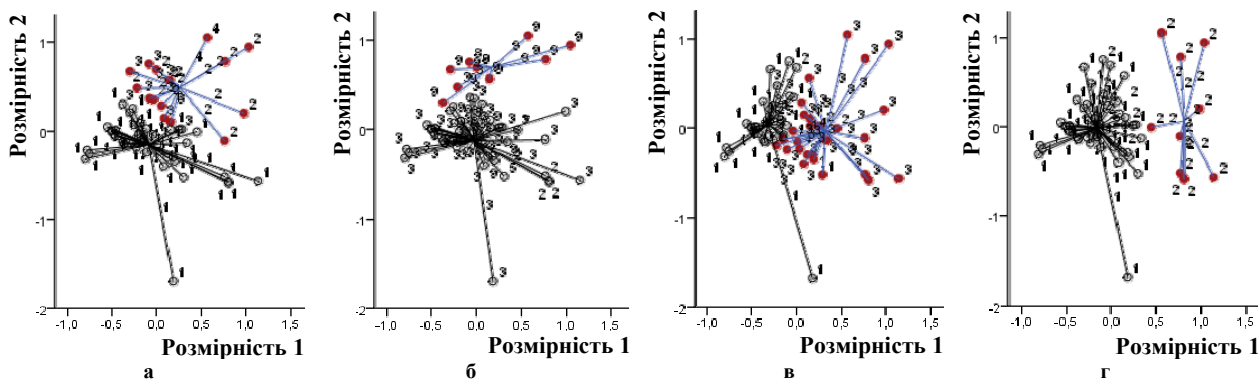


Рис. 4. Результати категоріального аналізу головних компонент: а) S; б) P; в) Cut; г) F

Отже, результати категоріального аналізу головних компонент підтверджують доцільність маркування зображень медичного одягу мітками, які відображають ОККР, оскільки це дозволяє виділити відмінності в їх зовнішньому вигляді. Окрім того, доцільним є також паралельне застосування ключових емоційних атрибутів зображень виробів медичного одягу, оскільки категоріальний аналіз виявив, що їх сприйняття визначається не лише кольором, як вважалося раніше. Сформована таким чином бази даних медичного одягу представлена на рис. 5.

№ мод.	Зображення мед. одягу	Силует	Довжина	Форма	Гудзики	Застібка	К	№ мод.	Зображення мед. одягу	CS	FM	TdTu	TN	BS	SA
3		Напівприлеглий	Нижче лінії стегон	Прямокутник	Відсутні	Відсутня	Ф пр зг	3		-1	3	2	3	2	-2
4		Напівприлеглий	До лінії стегон	Прямокутник	Відсутні	Відсутня	Ф пр зг	4		-1	3	2	1	-3	-2
5		Напівприлеглий	До лінії стегон	Прямокутник	Відсутні	Відсутня	Ф пр зг	5		-1	-1	2	3	-2	-2
6		Прилеглий	До лінії стегон	Трапеція	Відсутні	Відсутня	Ф пр зг	6		-3	3	-2	3	2	-2

Рис. 5. Фрагмент бази даних медичного одягу

Коди є інформацією, що необхідна для застосування експертної системи гнучкої переорієнтації швейного виробництва (розроблена і описана у [20]) при пошуку конструктивного прототипу при проектуванні медичного одягу на швейному підприємстві, що виробляє вироби побутового призначення. Конструктивний прототип визначається мінімальним значенням розрахованої евклідової відстані, що обрана за міру подібності між наявним видом виробу побутового призначення та проєктованим виробом медичного одягу:

$$\rho(X(t), Xq)_n = \sqrt{\sum_{i=1}^5 (F_{X(t)i} - F_{qni})^2} \tag{1}$$

де $X(t)$ – різновид виробу жіночого медичного одягу;
 Xq – різновид виробу жіночого плечового одягу з умовним номером q; (з бази даних експертної системи гнучкої переорієнтації швейного виробництва [20]);
 $F_{X(t)1}, \dots, F_{X(t)5}$ – характеристики конструктивно-композиційних рішень різновиду виробу жіночого медичного одягу, що проєктується;
 F_{q1}, \dots, F_{q5} – характеристики конструктивно-композиційних рішень різновиду виробу жіночого медичного одягу з умовним номером q (з бази даних експертної системи гнучкої переорієнтації швейного виробництва [20]);
 n – кількість альтернатив жіночого плечового одягу (з бази даних експертної системи гнучкої переорієнтації швейного виробництва [20]).

Висновки

Вперше метод семантичного диференціалу був використаний для дослідження сприйняття медичного одягу українського медичного персоналу. Це дозволило сформувати базу даних зображень медичного одягу з урахуванням враження про одяг, а також його окремих композиційно-конструктивних рішень.

Сформована база зображень медичного одягу дозволяє підготувати вхідні дані для застосування глибокого навчання в проєктуванні одягу, зокрема, медичного. Результати виконаного категоріального аналізу свідчать про доцільність формування таких баз, в яких кожне зображення буде позначене цілим рядом міток, які відповідають ОККР виробів та їх ключовим емоційним атрибутам. При чому, окремою міткою до кожного зображення повинна бути мітка, що позначає призначення виробу, в даному випадку, – «медичний одяг». Структура бази даних обов’язково повинна включати індикатори кластерів, які були виявлені в результаті категоріального аналізу головних компонент.

Література

1. Крюкова С. В. Формування вимог до одягу для медичного персоналу / С. В. Крюкова, С. М. Березенко // Наукові розробки молоді на сучасному етапі : тези доповідей XVI Всеукраїнської наукової конференції молодих вчених та студентів (27-28 квітня 2017 р., Київ). – К. : КНУТД, 2017. – Т. 1 : Сучасні матеріали і технології виробництва виробів широкого вжитку та спеціального призначення. – С. 9-10.
2. Щуцька Г. В. Особливості розробки виробів медичного призначення з заданими вологотрансферними властивостями : монографія / Г. В. Щуцька, Н. П. Супрун ; Київ. нац. ун-т технологій та дизайну. – Київ : КНУТД, 2018. – 250 с.
3. Галик І. С. Використання нанотехнологій для виробництва медичного текстилю / І. С. Галик,

- Б. Д. Семак // Вісник Київського національного університету технологій і дизайну. – 2014. – № 3. – С. 176–186.
4. Супрун Н. П. Основні аспекти розробки сучасного шпитального одягу / Н. П. Супрун // Вісник Київського національного університету технологій і дизайну. – 2017. – № 4 (112). – С. 124–129.
5. Zwolińska M. Impact of the medical clothing on the thermal stress of surgeons / M. Zwolińska, A. Bogdan // *Applied Ergonomics*. – 2012. – Vol. 43. – Is. 6. – P. 1096–1104.
6. Gupta D. Functional clothing – Definition and classification / Deepti Gupta // *Indian Journal of Fibre & Textile Research*. – 2011. – Vol. 36 (4). – P. 321–326.
7. Garment Selection and Color Classification [Electronic resource] / C. Grana, M. Manfredi, S. Calderara, R. Cucchiara. – 2015. – URL : <http://imabelab.ing.unimore.it/imabelab2015/researchactivity.asp?idAttivita=18>.
8. Bengio Y. Deep Learning / Y. Bengio, Y. LeCun, G. Hinton // *Nature*. – 2015. – № 521. – P. 436–444.
9. Firman T. Designing Apparel with Neural Style Transfer [Electronic resource] / T. Firman, V. Getmanskyi. – 2016. – URL : <http://labs.eleks.com/2016/09/designing-apparel-neural-style-transfer.html>.
10. Romaniuk O. O. Fashion and Technology: How Deep Learning Can Create an Added Value in Retail [Electronic resource] / O. Romaniuk. – 2017. – URL : <http://labs.eleks.com/2017/05/fashion-technology-deep-learning-can-create-added-value-retail.html>.
11. Deep Learning for Fast and Accurate Fashion Item Detection [Electronic resource] / E. Smirnov, A. Kulinkin, K. Ivanova, M. Pogrebnyak. – 2016. – URL : https://kddfashion2016.mybluemix.net/kddfashion_finalSubmissions/Deep%20Learning%20for%20Fast%20and%20Accurate%20Fashion%20Item%20Detection.pdf.
12. Computer vision: recognition of clothing in pictures with help of mobile app / Blog of Anetika Company / Habrahabr [Electronic resource]. – 2014. – URL : <https://habrahabr.ru/company/anetika/blog/241343/>.
13. Snap Fashion – Shop Fashion in a Snap [Electronic resource]. – 2017. – URL : <https://www.snapfashion.co.uk/>.
14. Asap54 | Fashion Search | Fashion Price Comparison [Electronic resource]. – URL : <https://www.asap54.com/>.
15. Bogoliubov L. Take pictures of clothes: clothing search based on its image | App Tractor [Electronic resource] / L. Bogoliubov. – 2016. – URL : <http://apptractor.ru/info/news/snimite-odezhdu-poiskodezhdyi-pofotografii.html>.
16. Zakharkevich O. Defining the main features of clothing to apply deep learning in apparel design / O. Zakharkevich, A. Selezneva, S. Kuleshova, A. Slavinskaya, J. Vovk, G. Shvets // *Vlakna a Textil*. – 2018. – № 4. – P. 103–109.
17. Власюк Н. Комп'ютерне розпізнавання видів одягу за їх зображеннями / Н. Власюк, О.В. Захаркевич, Ю. Дзюба // Ресурсозберігаючі технології легкої, текстильної і харчової промисловості : тези доповідей Всеукраїнської науково-практичної Інтернет-конференції молодих вчених та студентів, 16-17 листопада 2017 р. – Хмельницький : ХНУ, 2017. – С. 71-72.
18. Sarafan – Clothing search based on photo [Electronic resource]. – URL : <https://getsarafan.com/>.
19. Kuleshova S. G. Development of expert system based on Kansei Engineering to support clothing design process / S. G. Kuleshova, O. V. Zakharkevich, J. V. Koshevko, & O. A. Ditkovska // *Vlakna a Textil*. – 2017. – № 3. – P. 30–41.
20. Zakharkevich O. V. Expert system to select the fabrics for transformable garments / O. V. Zakharkevich, T. Zhylenko, Y. Koshevko, S. Kuleshova, O. Ditkovska, G. Shvets // *Vlakna a Textil*. – 2018. – № 2. – P. 105–112.
21. Zakharkevich O. Forming the database of medical clothing / O. Zakharkevich, Elsayed A. Elnashar (Египт), A. Selesnyova, S. Kuleshova // Збірник матеріалів II Міжнародної наукової конференції текстильних та фешн технологій Kyiv Tex&Fashion, м. Київ, 1-2 листопада 2018 року. – Київ : КНУТД, 2018. – С. 70-71.

References

1. Kriukova S. V. Formuvannya vymoh do odiahu dla medychnoho personalu / S. V. Kriukova, S. M. Bereznenko // *Naukovi rozrobky molodi na suchasnomu etapi : tezy dopovidei XVI Vseukrainskoi naukovo konferentsii molodykh vchenykh ta studentiv (27-28 kvitnia 2017 r., Kyiv)*. – K. : KNUVD, 2017. – Т. 1 : Suchasni materialy i tekhnologii vyrobnytstva vyrobiv shyrokooho vzytku ta spetsialnoho pryznachennia. – S. 9-10.
2. Shchutska H. V. Osoblyvosti rozrobky vyrobiv medychnoho pryznachennia z zadanymy volohottransferynymy vlastyvostiamy : monohrafiia / H. V. Shchutska, N. P. Suprun ; Kyiv. nats. un-t tekhnologii ta dyzainu. – Kyiv : KNUVD, 2018. – 250 s.
3. Halyk I. S. Vykorystannia nanotekhnologii dlia vyrobnytstva medychnoho tekstyliu / I. S. Halyk, B. D. Semak // *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnologii i dyzainu*. – 2014. – № 3. – S. 176–186.
4. Супрун Н. П. Основні аспекти розробки сучасного шпитального одягу / Н. П. Супрун // *Вісник Київського національного університету технологій і дизайну*. – 2017. – № 4 (112). – С. 124–129.
5. Zwolińska M. Impact of the medical clothing on the thermal stress of surgeons / M. Zwolińska, A. Bogdan // *Applied Ergonomics*. – 2012. – Vol. 43. – Is. 6. – P. 1096–1104.
6. Gupta D. Functional clothing – Definition and classification / Deepti Gupta // *Indian Journal of Fibre & Textile Research*. – 2011. – Vol. 36 (4). – P. 321–326.
7. Garment Selection and Color Classification [Electronic resource] / C. Grana, M. Manfredi, S. Calderara, R. Cucchiara. – 2015. – URL : <http://imabelab.ing.unimore.it/imabelab2015/researchactivity.asp?idAttivita=18>.
8. Bengio Y. Deep Learning / Y. Bengio, Y. LeCun, G. Hinton // *Nature*. – 2015. – № 521. – P. 436–444.
9. Firman T. Designing Apparel with Neural Style Transfer [Electronic resource] / T. Firman, V. Getmanskyi. – 2016. – URL : <http://labs.eleks.com/2016/09/designing-apparel-neural-style-transfer.html>.

10. Romaniuk O. O. Fashion and Technology: How Deep Learning Can Create an Added Value in Retail [Electronic resource] / O. Romaniuk. – 2017. – URL : <http://labs.eleks.com/2017/05/fashion-technology-deep-learning-can-create-added-value-retail.html>.
11. Deep Learning for Fast and Accurate Fashion Item Detection [Electronic resource] / E. Smirnov, A. Kulinkin, K. Ivanova, M. Pogrebnyak. – 2016. – URL : https://kddfashion2016.mybluemix.net/kddfashion_finalSubmissions/Deep%20Learning%20for%20Fast%20and%20Accurate%20Fashion%20Item%20Detection.pdf.
12. Computer vision: recognition of clothing in pictures with help of mobile app / Blog of Anetika Company / Habrahabr [Electronic resource]. – 2014. – URL : <https://habrahabr.ru/company/anetika/blog/241343/>.
13. Snap Fashion – Shop Fashion in a Snap [Electronic resource]. – 2017. – URL : <https://www.snapfashion.co.uk/>.
14. Asap54 | Fashion Search | Fashion Price Comparison [Electronic resource]. – URL : <https://www.asap54.com/>.
15. Bogoliubov L. Take pictures of clothes: clothing search based on its image | App Tractor [Electronic resource] / L. Bogoliubov. – 2016. – URL : <http://apptractor.ru/info/news/snimate-odezhdu-poiskodezhdy-po-fotografii.html>.
16. Zakharkevich O. Defining the main features of clothing to apply deep learning in apparel design / O. Zakharkevich, A. Selezneva, S. Kuleshova, A. Slavinskaya, J. Vovk, G. Shvets // *Vlakna a Textil*. – 2018. – № 4. – R. 103–109.
17. Vlasiuk N. Kompiuterne rozpoznavannia vydiv odiahu za yikh zobrazhenniamy / N. Vlasiuk, O.V. Zakharkevych, Yu. Dziuba // *Resursozberihaiuchi tekhnolohii lehkoi, tekstylnoi i kharchovoi promyslovosti : tezy dopovidei Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi Internet-konferentsii molodykh vchenykh ta studentiv*, 16-17 lystopada 2017 r. – Khmelnytskyi : KhNU, 2017. – S. 71-72.
18. Sarafan – Clothing search based on photo [Electronic resource]. – URL : <https://getsarafan.com/>.
19. Kuleshova S. G. Development of expert system based on Kansei Engineering to support clothing design process / S. G. Kuleshova, O. V. Zakharkevich, J. V. Koshevko, & O. A. Ditkovska // *Vlakna a Textil*. – 2017. – № 3. – P. 30–41.
20. Zakharkevich O. V. Expert system to select the fabrics for transformable garments / O. V. Zakharkevich, T. Zhylenko, Y. Koshevko, S. Kuleshova, O. Ditkovska, G. Shvets // *Vlakna a Textil*. – 2018. – № 2. – R. 105–112.
21. Zakharkevich O. Forming the database of medical clothing / O. Zakharkevich, Elsayed A. Elnashar (Egypt), A. Selesnyova, S. Kuleshova // *Zbirnyk materialiv II Mizhnarodnoi naukovo konferentsii tekstylnykh ta feshn tekhnolohii Kyiv Tex&Fashion*, m. Kyiv, 1-2 lystopada 2018 roku. – Kyiv : KNUTD, 2018. – S. 70-71.

Рецензія/Peer review : 23.05.2019 р.

Надрукована/Printed : 23.07.2019 р.

Рецензент: д.т.н., проф. А.Л. Славінська

О.М. ДОМБРОВСЬКА, В.В. МИЦА
Хмельницький національний університет

ПЕРЕДПРОЕКТНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ФОРМЕНОГО ОДЯГУ КУХАРІВ ДЛЯ ЗАКЛАДІВ РЕСТОРАННОГО ГОСПОДАРСТВА

На основі виконаного аналізу відтворено ретроспективу форменого одягу кухарів для закладів ресторанного господарства. Виявлено, що вказаний вид одягу не зазнав значних змін. Основні зміни стосуються дизайну одягу, виробництва тканин з використанням нано-технологій, передпроектних досліджень із застосуванням нових систем і програм.

Ключові слова: заклад ресторанного господарства, санітарні вимоги, формений одяг кухаря, варіанти уніформи.

OKSANA MYKOLAYIVNA DOMBROVSKA, VIKTORIYA VASYLIVNA MYTSA
Khmelnitsky National University

PRE-PROJECT RESEARCH OF SHAPE FOR CLOTHES IN RESTAURANT ECONOMY

Restaurant establishments pay attention not only to safety and sanitation provided by the issuance of special clothing to the kitchen staff, but also to the aesthetic component - uniforms that must be provided by the owner of the restaurant facility where the food will be sold. Now the approach to the appearance of employees has changed. Each institution tries to introduce something in the general concept of uniformed employees. On the basis of the performed analysis of chefs clothes, a retrospective of chefs' uniforms for restaurant establishments is reproduced. It was found that this type of clothing has not undergone significant changes. Major changes concern the design of clothing, the production of fabrics using nano-technology, feasibility studies using new systems and programs. Studies have been made to transform the creative design of chefs' uniforms in accordance with the needs of society and the related transformations in the field of catering and the production of modern uniforms.

Keywords: restaurant establishment, sanitary requirements, cook's uniform, uniforms.

Постановка проблеми

Громадське харчування – це сфера виробничо-торговельної діяльності, в якій виробляють і продають продукцію власного виробництва та товари, як правило, призначені для споживання на місці, з організацією дозвілля або без нього [1].

Заклад громадського харчування – це організаційно-структурна статистична одиниця у сфері громадського харчування, яка виробляє, доготовляє та продає кулінарну продукцію, булочки, борошняні кондитерські вироби та інші товари. Не так давно заклади громадського харчування перейменовано на новомодні заклади ресторанного господарства. Тепер бари, кафе, закусочні, буфети і навіть їдальні вважаються закладами ресторанного господарства в цілому [1].

В закладах ресторанного господарства приділяється увага не тільки безпеці і санітарії, що забезпечується видачею спеціального одягу працівникам кухні, але і естетичною складовою – форменим одягом. Адже саме такий одяг підкреслює фірмовий стиль закладу і є запорукою приємного враження споживачів від роботи закладу.

Власник об'єкта ресторанного господарства, в якому реалізовуватимуться продовольчі товари, зобов'язаний забезпечити кожного працівника форменим чи іншим одягом, що відповідає санітарним вимогам (п. 9 Правил № 185 [2]).

Сьогодні формений одяг – це необхідний атрибут будь-якого поважаючого себе кафе чи ресторану. Без нього ми не уявляємо собі співробітника сфери громадського харчування. Багато років тому працівники цієї сфери були одягнені однаково в усіх закладах та у всіх містах. Зараз змінився підхід до зовнішнього вигляду співробітників. Кожен заклад намагається внести щось своє у загальне поняття уніформи співробітників. Така уніформа повинна бути виготовлена з тканини, яка може багато разів пратися та прасуватися та не втрачати свого зовнішнього вигляду. Тому дослідження художньо-конструкторського вирішення одягу для працівників закладів ресторанного господарства сьогодні є актуальним.

Аналіз останніх джерел

Фундаментальні аспекти розвитку ресторанної справи України знайшли своє відображення у працях таких науковців, як А. Усіна, Т. Кононенко, Н. Полстяна, І. Хваліна, О. Іванік, Г. Мунін, А. Зміюв. Тенденції розвитку ресторанного господарства досліджувались багатьма вченими, зокрема, висвітлені у наукових та науково-методичних працях І. Волкової, О. Завадинської, Л. Коцюби, М. Мальської, М. Пересічного, у галузевих періодичних виданнях і публікаціях інтернет, але про сучасні тенденції розвитку одягу для працівників цієї сфери практично відсутні наукові розробки. Тому, враховуючи обмеженість робіт наукового характеру з цього питання, виникла нагальна потреба у дослідженні розвитку такого виду одягу.

Метою роботи є дослідження трансформації художньо-конструктивного вирішення форменого одягу поварів у відповідності до потреб суспільства і пов'язаними з цим перетвореннями в сфері громадського харчування та виробництва сучасного форменого одягу.

Виклад основного матеріалу

Сучасний формений одяг повара став розвиватися з XVIII ст., який склався з куртки, штанів,

ковпака і фартуха. На перший план стали висуватись такі вимоги, як зручність, практичність, якість і безпека.

Білим кухарський одяг став лише в XIX столітті у ікухаря імператора Наполеона Марі-Антуану Карем. Для початку сірі тканини замінили білими, щоб продемонструвати оточуючим чистоту на кухні. Це нововведення виявилось доречним. Європа, яку в той час потрясає різними невідомими захворюваннями, підхопила ініціативу чистоти на кухні. Білий колір символізував чистоту, відсутність усіякої зарази і т.п. [3].

Якщо згадати, що кухня, як і раніше, є тим місцем, де легко забруднитися, посадивши на одяг купу плям різного походження, а фартух закриває лише нижню частину тіла, то треба було придумати щось таке, що дозволяло б куртці довше залишатися чистою. Так куртка стала зі зміщеною застібкою: щоб її можна було легко застібнути на іншу сторону в разі потрапляння на неї плям. Виготовлялася така куртка з подвійного шару бавовни, який був покликаний захистити кухаря від високих температур або випадкового попадання гарячої страви. З появою пластмаси гудзики куртки почали обтягувати тканиною, щоб уникнути контакту полімеру з гарячим кухонним приладдям.

А от штани свій колір з плином часу змінили. Спочатку вони були сірими, а потім стали білими, в дрібну чорно-білу клітинку. На такій тканині менше видно сліди пролітої рідини і плями жиру.

Фартух, що є неодмінним атрибутом кухарської уніформи, питань про своє походження не викликає: він покликаний захищати одяг кухарів від харчових плям і жиру.

Що стосується хустки на шиї у шеф-кухаря, то спочатку вона мала чисто утилітарні функції. Така хустка служила для витирання поту, оскільки на кухні було дуже спекотно. Зараз її носять більше з естетичних міркувань як декоративний елемент [4].

На сьогоднішній день чітко регламентованого асортименту не виділено. У результаті асортиментної еволюції класичний варіант одягу для кухара включав в себе штани, кітель (простору куртку), захисні рукавиці-прихватки, фартух, головний убір. В якості останнього можуть виступати кепі, бандана, косинка або традиційний гофрований кухарський ковпак.

Однак, такий одяг може носити як буденний, так і урочистий характер (бути призначеним для виступів на конкурсах). Якщо кулінар працює на очах у публіки, то його уніформа перестає бути тільки робочим костюмом. В цьому випадку кухарський одяг може бути оброблений, наприклад, декоративною фурнітурою або кантом.

Формений одяг для працівників може бути різної комплектації в залежності від статі працівника та особливостей закладу. У деяких ресторанах офіціантам виготовляють класичні костюми або фраки, інші ресторани воліють включати в комплект фартухи, часто їх одягають в одяг корпоративних кольорів. Такі співробітники можуть вигідно відрізнитися від співробітників інших закладів.

Одяг для офіціантів повинен бути виконаний в оригінальному стилі, а співробітники повинні відрізнитися від відвідувачів. Раніше при пошитті форменого одягу використовувалися світлі тони – білий або пастельні. Зараз одяг для працівників закладів харчування шиють відповідно до бажань власників. Так, в піцеріях співробітників одягають у сорочки й штани (спідниці) корпоративних кольорів. Часто комплекти доповнюють головними уборами та аксесуарами або використовують одноразові. Для ресторанів національної кухні застосовують національні костюми, адаптовані для використання на роботі.

Саме громадське харчування відноситься до особливо чистих виробництв, тому одяг для працівників даної галузі відносять до санітарного. Формений одяг для кухарів, офіціантів і шеф-кухаря повинен відповідати специфіці роботи. А саме, для працівників харчової промисловості діє ДНАОП 1.8.10-3.07-73. Норми санітарного одягу та санітарного взуття для робітників наскрізних професій та молодшого обслуговуючого персоналу підприємств харчової промисловості.

Згідно з даними правилами, одяг для кухарів повинен не тільки захищати співробітників, але і охороняти продукти харчування від забруднення. Від дотримання кухарів особистої гігієни залежить, в кінцевому результаті, як якість готової продукції, так і здоров'я людей, які користуються їхніми послугами. Тому одні з основних задач одягу для працівників закладів ресторанного господарства покликані захищати продукти харчування від потенційного "забруднення" самим робітником.

Санітарні вимоги до одягу кухарів НАОП 1.8.10-3.07-73 полягають в наступному: одяг повинен виготовлятися з бавовняної тканини, легко піддаватися дезінфекції, білого або світлого кольорів. Він повинен регулярно проходити дезінфекцію і пропрасовуватися після прання гарячою праскою.

Кухарі зобов'язані змінювати санітарний одяг в міру його забруднення (як мінімум – кожні 2 дні), а також обов'язково перед безпосередньою роздачею готової їжі. Кухар зобов'язаний прикривати голову спеціальною косинкою або ж ковпаком, щоб уникнути випадкового потрапляння волосся в їжу. Головний убір одягається перед одяганням халата, туніки або куртки.

Кухарське взуття повинне бути на не ковзкій підшві, із закритою п'ятою, легко митися.

Забороняється:

- носити під час роботи будь-які прикраси – намиста, кільця, кліпси, щоб виключити їх попадання в їжу;
- носити в технологічному одязі гострі колючі предмети;
- залишати своє робоче місце в технологічному одязі, в тому числі відвідувати в ньому санвузол для персоналу;

- зберігати санітарний одяг разом з предметами верхнього одягу;
- заколювати предмети санітарного одягу шпильками, брошками, голками.

Одяг кухарів повинен добре прикривати особистий одяг працівника і бути максимально зручним.

Зберігають санітарний одяг в спеціальній шафі, періодично цю шафу також миють і дезінфікують.

Одяг повинен витримувати багаторазове прання у відповідності з рекомендаціями. Неприпустимо здійснювати самостійне прання спецодягу співробітниками в домашніх умовах.

Можуть бути використані тканини з додатковим антимікробним захистом, з нитками і волокнами з вмістом хлориду срібла.

Таким чином, при проектуванні форменого одягу необхідно дотримуватися як функціональних, так і ергономічних та естетичних вимог.

Традиційний образ кухаря білий костюм і шапочка, однак сьогодні, допускаються різні експерименти співвідношень кольору та дизайну. Можна вибирати також із різних видів тканини, які зможуть вигідно підкреслити фірмовий одяг кулінарного фахівця. Як видно, одяг для працівників закладів харчування випускається в різних варіаціях кольору і фасонів.

Кухарські плечові вироби можуть бути як з центральною застібкою, так і зі зміщеною, або ж взагалі без ґудзиків. Крій кухарського одягу також може варіюватись: короткий або довгий рукав, кокетка на пілочці чи спинці (рис. 1). Все залежить від індивідуальних побажань клієнта, дизайнерських переваг і дрес-коду, встановленого закладом.

В окремих закладах ресторанного господарства існує строгий дрес-код для працівників кухні – кухарі повинні носити тільки чорно-білі штани. В інших закладах керівники дотримуються більш неформального підходу до вибору уніформи для персоналу і віддають перевагу більш яскравим кольорам, принтам і моделям. Тоді в якості нижньої половини уніформи можуть виступати зручні мішкваті штани, або стрейчеві штани або джинси. Такий підхід до уніформи активізує творчість працівників, крім того в ньому зручніше працювати і простіше пересуватися по кухні. Деякі власники пропонують своїм співробітникам ще більш неформальні варіанти робочої уніформи – джинсові або поліестрові сорочки з комірцями [3–5].



Рис. 1. Варіанти одягу для працівників закладів харчування

Довгий або закритий з усіх боків фартух вже встигли оцінити багато кухарів та офіціантів. Хоча він і не є традиційним в уніформі кухарів, він хороший захисник від небажаних плям. Важливим атрибутом кухарського одягу також є кухарський ковпак. Оригінальний ковпак – не тільки традиційний інструмент для визначення ієрархії на кухні, але і виконує важливу функцію – не дає волосся кухаря потрапити в їжу. Останнім часом кухарі часто використовують замість ковпаків кепки, які виконують ту ж саму функцію, що і ковпак.

Для того, щоб надати кухарському одягу більш яскравого і завершеного вигляду, часто використовують вишивку. Вишивка логотипу, зображення, фірмової символіки або назви підприємства, стає додатковим рекламним інструментом, а також прикрашає виріб і робить його по істині унікальним.

Таким чином, асортимент сучасного одягу для працівників закладів харчування дуже широкий. Тому, крім виконання своєї основної функції – захисту працівника від різних особливостей їх роботи, сучасний одяг для працівників закладів харчування повинен бути зручним, модним та виготовлятися з відповідних високоякісних матеріалів.

Висновки

В результаті виконаних досліджень стало можливим відтворити ретроспективу форменого одягу для закладів ресторанного господарства. Це дозволило зробити висновок, що даний вид одягу не зазнав значних змін. Основні зміни стосуються дизайну одягу, виробництва тканин з використанням нанотехнологій, передпроектних досліджень із застосуванням нових систем і програм.

Література

1. Вимоги санітарного законодавства для закладів громадського харчування [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.victoriya.ua/njvina/vymohy-sanitarnoho-zakonodavstva-dlya-zakladiv-hromadskoho-harchuvannya.html>.
2. Про затвердження Правил роботи закладів (підприємств) ресторанного господарства [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/ru/z0680-02>
3. История поварской одежды. Ее появление и назначение [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://profforma.com.ua/first_blog/istorija-kuharskij-odjagu-jiji-pojava-i-priznachennja
4. Поварская одежда [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://forma-odezhda.ru/encyclopedia/povarskaya-odezhda/>
5. Одяг для кухаря [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://med-plast.com.ua/ua/produkcija/shvejnoe_proizvodstvo/specodezda/povarskaya_odezda/

References

1. Vymohy sanitarnoho zakonodavstva dlia zakladiv hromadskoho kharchuvannia [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <https://www.victoriya.ua/njvina/vymohy-sanitarnoho-zakonodavstva-dlya-zakladiv-hromadskoho-harchuvannya.html>.
2. Pro zatverdzhennia Pravyt roboty zakladiv (pidpriemstv) restorannoho hospodarstva [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/ru/z0680-02>
3. Istoriya povarskoj odezhdy. Ee poyavlenie i naznachenie [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa : https://profforma.com.ua/first_blog/istorija-kuharskij-odjagu-jiji-pojava-i-priznachennja
4. Povarskaya odezhda [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa : <https://forma-odezhda.ru/encyclopedia/povarskaya-odezhda/>
5. Odiah dlia kukharia [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : http://med-plast.com.ua/ua/produkcija/shvejnoe_proizvodstvo/specodezda/povarskaya_odezda/

Рецензія/Peer review : 20.05.2019 р.

Надрукована/Printed : 23.07.2019 р.

Рецензент: д.т.н., проф. А.Л. Славінська

Л. В. КРАСНЮК, О. М. ТРОЯН, О. О. ЮЗІЮК
Хмельницький національний університет

ПРОЕКТУВАННЯ ОДЯГУ З РУКАВОМ ПОКРОЮ РЕГЛАН З ПІДВИЩЕНИМ РІВНЕМ СТАТИЧНОЇ ВІДПОВІДНОСТІ

Удосконалено розрахунково-графічну методику побудови конструкції виробу із рукавом покромю реглан, що забезпечує високу статичну відповідність одягу формі та розмірам тіла людини. Запропоновано використовувати додаткові виміри фігури людини «Радіус кривизни плеча» та «Кут нахилу плечового схилу» під час побудови конструкції одягу з рукавом покромю реглан, що дозволяє з більшою точністю відтворити в конструкції форму плечового поясу фігури. Розроблено оригінальне художньо-конструкторське рішення жіночого демісезонного пальта з рукавом покромю реглан з високим рівнем статичної відповідності.

Ключові слова: рукав покромю реглан, статична відповідність конструкції.

L.V. KRASNYUK, O.M. TROYAN, O.O. YUZIUK
Khmelnytskyi National University

DESIGNING CLOTHING WITH RAGLAN SLEEVES OF ENHANCED FITTING QUALITY

The main object of the study is to obtain the raglan sleeve construction of enhanced fitting quality by using improved method of its drafting. The method consists of the calculation of garment pieces sizes and subsequent graphic operations. It is suggested to use additional body measurements such as "Radius of shoulder curvature" and "Shoulder slope angle" in order to construct a raglan sleeve, which allows reproducing the shoulder shape of the human body with a greater accuracy. An original design of the raglan coat was developed. The construction of the raglan sleeves was performed by using developed method. Experts assessed the fitting quality of the coat. The level of the fitting quality meets the quality standard requirements and is considered by experts as high. Thus, developed design of the coat was put into practice as a central model in the author's collection of clothing by motto "The planet of people", the performance of which was highly estimated by experts on the several national contests of young clothing designers.

Keywords: raglan sleeve, fitting quality of a garment.

Вступ

В сучасних умовах ринкової економіки для виходу вітчизняної продукції на світовий ринок необхідно забезпечувати конкурентоспроможність виробів шляхом підвищення їх якості. Сьогодні розробка швейних виробів з новими споживчими якостями досить часто обумовлена використанням нових матеріалів та нових технологій, що, в свою чергу, викликає появу нових напрямків і течій в дизайн-проектванні [1]. Особливе місце серед усього різноманіття швейних виробів займає одяг з рукавом покромю реглан, особливо жіночий одяг пальтового асортименту. Особливістю рукава покромю реглан є незамкнута лінія пройми, яка проходить від підпахвової впадини до шиї, тобто рукав викроюється разом з плечовою частиною пілочки і спинки виробу. Рукав покромю реглан має істотні переваги, які вирізняють його з-поміж інших покромю рукавів, а саме міцність з'єднання рукава з виробом, різноманітність конфігурації лінії пройми. Однак, така конфігурація рукава має ряд недоліків: складнощі при розкроюванні, неекономічність розкладки, можливість розтягнення пройми та окату, оскільки зазвичай лінія реглану знаходиться під кутом до нитки основи.

Актуальність досліджень та постановка мети

Однією із проблем, що виникають при розв'язанні конструкторських задач у процесі проектування виробів з рукавом покромю реглан, є забезпечення якісної посадки виробу на фігурі людини. Важливими показниками якості посадки для виробів з рукавом покромю реглан є відповідність конфігурації верхнього контуру рукава формі плеча людини і баланс виробу, тобто статична відповідність.

Задачі формалізації і уніфікації процесу проектування одягу з рукавами похідних покромю розв'язувались у роботах Гніденко А. В. і Процик К. Л. [2, 3]. Графічні методику побудови конструкцій одягу удосконалювались у дослідженнях Масалової В. А. і Славінської А. Л. [4, 5]. Удосконаленням розрахунково-графічних методик займалися дослідники Гніденко А. В. і Сидорчук Д. Н. [2, 6]. Зокрема Сидорчук Д. Н. запропонувала методику побудови одношовного рукава покромю реглан окремо від пройми виробу. Новизна способу, запропонованого Гніденко А. В., полягає у побудові передньої частини рукава на основі ліктьової. Беззаперечний вклад у методологію проектування рукавів покромю реглан внесли наукові дослідження і розробки, виконані Шершньовою Л. П., Мешковою Є. В. та Аміровою Є. К. [7–9]. Відомі патенти на винаходи [10–13] вітчизняних та зарубіжних дослідників, які мають за мету покращення якості шаблонів рукава реглан, що в кінцевому підсумку забезпечить виробу високу якість посадки.

Однак, відомі на сьогодні методику побудови конструкції плечових швейних виробів із рукавом реглан використовують для оформлення верхнього контуру рукава лекальні криві, які не завжди точно відображають природню форму плеча і руки і, як наслідок, у такому одязі виникають дефекти посадки. Таким чином актуальною є проблема удосконалення процесу проектування верхнього жіночого одягу з рукавом покромю реглан шляхом використання додаткових вимірів фігури, що дозволять відтворити в конструкції одягу форму плечового поясу фігури людини і забезпечити високу статичну відповідність виробу.

Виклад основного матеріалу дослідження

Сучасні методики конструювання одягу базуються на вимірюваннях тіла людини, одержаних відповідно до вимог державних і галузевих стандартів. У відповідності до мети роботи, для підвищення рівня статичної відповідності конструкції жіночого плечового одягу покрою реглан запропоновано застосовувати додаткові розмірні ознаки фігури людини: «Кут нахилу плечового схилю» – α_n та «Радіус кривизни плеча» – R_n . Доцільність використання цих вимірів фігури для побудови конструкції жіночого одягу з рукавом покрою реглан обґрунтовано в роботах [14, 15].

Додаткова розмірна ознака α_n визначає кут між горизонталлю, проведеною від точки основи ший і лінією плеча, а додаткова розмірна ознака R_n з'єднує соскову точку із плечовою, яка знаходиться на дузі, що описує форму плеча. Дані виміри є проєкційними, тому авторами запропоновано вимірювати їх безконтактним фотограмметричним способом.

Відомо, що дані виміри (α_n та R_n) не входять до переліку розмірних ознак, включених у антропометричні розмірні стандарти, тому були проведені дослідження з встановлення взаємозв'язку між запропонованими вимірами і стандартними розмірними ознаками фігури людини для подальшого їх використання при побудові конструкції жіночого пальта з рукавом покрою реглан. Для встановлення характеру залежностей між запропонованими додатковими вимірами α_n і R_n та стандартними розмірними ознаками були проведені антропометричні дослідження 50 фігур жінок молодшої вікової групи та визначені коефіцієнти кореляції у середовищі програми MSExcel (табл. 1).

Таблиця 1

Коефіцієнти кореляції між вимірами досліджуваних фігур

Розмірні ознаки	P	$O_{г3}$	$O_{г4}$	O_6	$Ш_{п}$	$B_г$	$B_{пкп}$	$B_{пк}$	α_n	R_n
P	1,0000									
$O_{г3}$	0,5312	1,0000								
$O_{г4}$	0,3198	0,8733	1,0000							
O_6	0,4843	0,8133	0,8284	1,0000						
$Ш_{п}$	0,3282	0,5126	0,5053	0,5723	1,0000					
$B_г$	0,5702	0,5907	0,4780	0,5988	0,2136	1,0000				
$B_{пкп}$	0,6149	0,4664	0,3732	0,5337	0,2070	0,8626	1,0000			
$B_{пк}$	0,7011	0,5852	0,3880	0,5023	0,2649	0,4755	0,5034	1,0000		
α_n	-0,0333	-0,1832	-0,1174	-0,1322	0,0001	-0,0679	-0,1059	-0,5909	1,0000	
R_n	0,2771	0,3754	0,3640	0,4186	0,5900	0,1120	0,0460	0,0162	0,3943	1,0000

Результати дослідження показують наявність кореляційного зв'язку між вимірами R_n та «Ширина плечового схилю» ($Ш_{п}$) – 0,5900, «Обхват стегон» (O_6) – 0,4186 та виміром α_n – 0,3942. Також вимір α_n має кореляцію із виміром «Висота плеча коса» ($B_{пк}$) – 0,5909. Таким чином, спостерігається кореляційний зв'язок середнього ступеня між розглянутими вимірами, але його недостатньо для визначення поліноміальних або лінійних залежностей.

Для визначення більш тісних залежностей досліджувану вибірку доцільно поділити на групи за виміром «Обхват грудей третій» ($O_{г3}$) для визначення кореляції між вимірами R_n та $Ш_{п}$, а також між виміром R_n і α_n . Доцільність такого поділу обумовлюється наявністю кореляції між $O_{г3}$ та R_n (0,3754) і $Ш_{п}$ (0,5126). Для уточнення кореляційного зв'язку між вимірами α_n та $B_{пк}$ доцільно поділити вибірку на групи за зростаючими, оскільки вимір $B_{пк}$ має досить високий коефіцієнт кореляції із виміром «Зріст» (P) – 0,7011.

Таким чином, дослідну вибірку було поділено на 5 груп за виміром $O_{г3}$ (80, 84, 88, 92, 96) та на 4 групи за виміром P (152 – 158, 164, 170, 176 – 182). У межах кожної з груп визначено коефіцієнти кореляції між вимірами досліджуваних фігур. За результатами експериментальних досліджень побудовані графіки залежності R_n від $Ш_{п}$, R_n від α_n (рис. 1, 2) та α_n від $B_{пк}$ (рис. 3, 4).

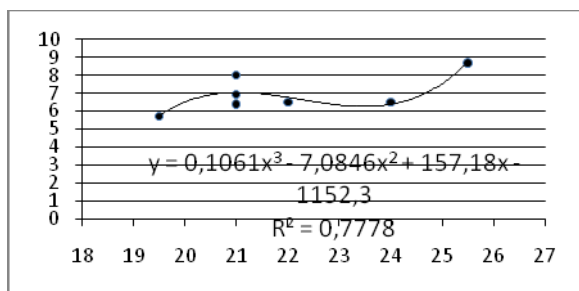


Рис. 1. Графік залежності радіуса кривизни плеча від кута нахилу плечового схилю для фігур з $O_{г3} = 80$ см

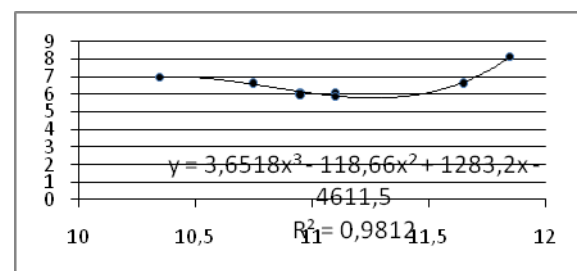
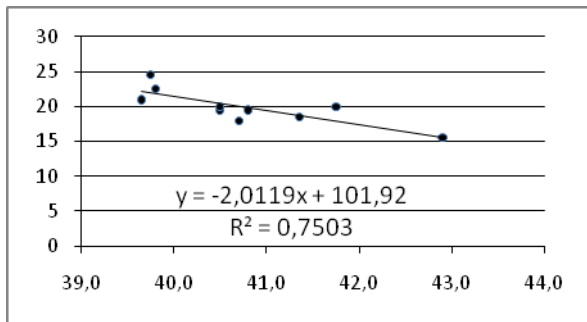
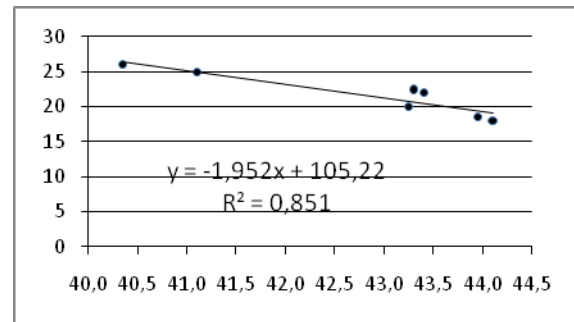


Рис. 2. Графік залежності радіуса кривизни плеча від ширини плечового схилю для фігур з $O_{г3} = 84$ см

Рис. 3. Графік залежності кута нахилу плечового схилю від висоти плеча косої з $P = 170$ смРис. 4. Графік залежності кута нахилу плечового схилю від висоти плеча косої з $P = 176-182$ см

За результатами експериментальних досліджень встановлені лінійні залежності додаткового виміру α_n та стандартного $B_{пк}$ для різних зростів (табл. 2), а також поліноміальні залежності додаткового виміру R_n від стандартного виміру $Ш_n$ для різних розмірів (табл. 3).

Таблиця 2

Визначення залежності виміру α_n від виміру $B_{пк}$ для різних зростів

Зріст, см	Рівняння залежності
152–158	$-2,7214x + 127,90$
164	$-3,0469x + 144,57$
170	$-2,0119x + 101,92$
176–182	$-1,9520x + 105,22$

Таблиця 3

Визначення залежності виміру R_n від виміру $Ш_n$ для різних розмірів

Обхват грудей третій, см	Рівняння залежності
80	$0,667x^3 - 21,667x^2 + 234,61x - 840,12$
84	$3,6518x^3 - 118,66x^2 + 1283,2x - 4611,5$
88	$1,1817x^3 - 41,982x^2 + 496,8x - 1951,2$
92	$-1,7612x^3 + 66,119x^2 - 825,37x + 3432,9$
96	$-0,7582x^3 + 26,419x^2 - 305,14x + 1176,4$

З урахуванням отриманих результатів, авторами запропонована удосконалена графічно-розрахункова методика побудови конструкції одягу з рукавом покрою реглан [9]. Ця методика полягає в тому, що при побудові базової конструкції пальта жіночого за методикою ЄМКО РЕВ використовують додаткові виміри фігури і відповідні графічні прийоми побудови.

Так, при побудові базової конструкції пілочки та спинки задають додаткову розмірну ознаку – «Кут нахилу плечового схилю» (α_n), а при побудові базової конструкції ліктьової частини рукава задають додаткову розмірну ознаку – «Радіус кривизни плеча» (R_n), що дозволяє на етапі побудови конструкції виробу врахувати форму плечового поясу фігури. Визначення величини виміру α_n здійснюють за групою зростів в залежності від виміру $B_{пк}$ (табл. 2), а величину виміру R_n визначають для груп розмірів в залежності від ширини плечового схилю $Ш_n$ (табл. 3).

Оцінка проведеної роботи з удосконалення процесу проектування верхнього жіночого одягу із рукавом покрою реглан включає в себе розробку художньо-конструкторського рішення та виготовлення моделі виробу з урахуванням результатів виконаних досліджень.

Авторський ескіз жіночого демісезонного пальта з рукавом покрою реглан представлено на рис. 5, базова конструкція жіночого пальта з рукавом покрою реглан, побудована за удосконаленою методикою, наведена на рис. 6, а зовнішній вигляд готового виробу в поєднанні з аксесуарами на – рис. 7.

Оцінка проведеного дослідження з удосконалення процесу проектування верхнього жіночого одягу із рукавом покрою реглан включає в себе розробку художньо-конструкторського рішення та виготовлення моделі виробу з урахуванням результатів виконаних досліджень. Оцінка якості посадки розробленої моделі дозволить дати об'єктивну оцінку проектним рішенням.

Оцінку якості посадки розробленої моделі жіночого пальта з рукавом покрою реглан, виконано за методикою МТЛП шляхом визначення рівня статичної відповідності виробу за допомогою анкетного опитування [16]. Експертами вступили спеціалістів швейної галузі, яким запропоновано оцінити модель жіночого пальта за одиничними показниками статичної відповідності. Рівень статичної відповідності розробленої моделі пальта визначено шляхом розрахунку комплексного показника статичної відповідності виробу, показав розроблена модель жіночого пальта характеризується високим рівнем статичної відповідності ($P_{ст}=4,8$) і відноситься до виробів з хорошою якістю посадки.

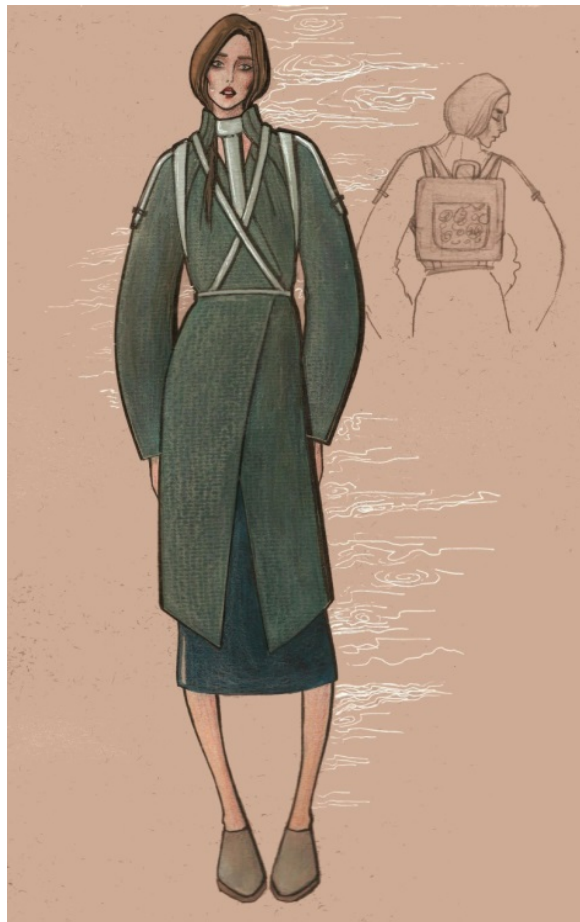


Рис. 5. Ескіз моделі жіночого пальта з рукавом покрою реглан

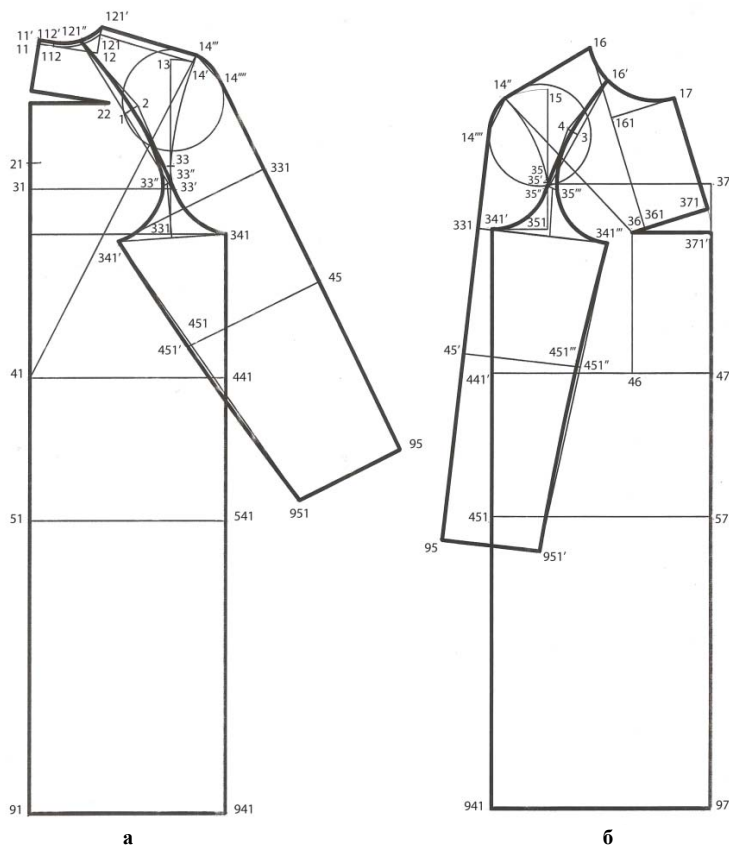


Рис. 6. Базова конструкція (БК) жіночого пальта з рукавом покрою реглан:
а) БК спинки та задньої частини рукава, б) БК пілочки та передньої частини рукава



Рис. 7. Зовнішній вигляд пальта жіночого побудованого за удосконаленою методикою

Дана модель пальто розроблена як центральна модель авторської колекції жіночого одягу під девізом «Планета людей» (рис. 8). Художньо-композиційне вирішення цієї колекції має за мету образно-асоціативними методами висвітлити складні питання дуалізму, конфлікту та взаємодії різних аспектів людської психіки. Фундаментальна основа колекції ґрунтується на постулаті фрейдистської філософії про протистояння інстинктів життя і смерті, а також на ідеї триєдності сутності жінки в схемі «мати-любов-смерть», що відповідає образам матері, подруги і руйнівниці. Внутрішнє життя жінки, як і її діяльність в соціумі, складається з суперечливих процесів, які одночасно сприяють становленню особистості, а також тих, які її руйнують. Самостворення і саморуйнування характеризують дії індивіда щодо самого себе та навколишнього світу. Концептуальний задум колекції «Планета людей» акцентовано в центральній моделі, яка вміщує в собі поєднання ідей мілітаризму і пацифізму в одному жіночому образі. Жіночність та м'якість овалного напівприлеглого силуету пальта з рукавом реглан одночасно і протиставляються і поєднуються з мілітаризованими аксесуарами (шкіряна портупея з металевою фурнітурою, рюкзак, черевики).



Рис. 8. Авторська колекція жіночого одягу «Планета людей» (автори В. Юзюк, О. Юзюк)

Висновки

Розроблено удосконалену методику побудови базової конструкції жіночого пальта з рукавом покрою реглан шляхом використання додаткових вимірів фігури людини «Кут нахилу плечового схилю» та

«Радіус кривизни плеча». Запропонована методика забезпечує відповідність конфігурації верхнього контуру рукава формі плеча фігури людини, що дозволяє з високою точністю відтворити в конструкції одягу форму плечового поясу фігури людини.

З урахуванням результатів досліджень розроблено художньо-конструкторське рішення жіночого пальта з рукавом покрою реглан, яке у складі авторської колекції одягу «Планета людей» пройшло апробацію на конкурсі молодих дизайнерів SABOTAGE-2015, що проходив у рамках міжнародного проекту Lviv Fashion Week у м. Львові, де колекція посіла III місце. Також колекція стала переможцем XXIII Всеукраїнського конкурсу молодих дизайнерів одягу «Барви Поділля-2016» у м. Хмельницькому.

Література

1. Вергунова Н. С. Предметный дизайн. Правомочность термина / Н. С. Вергунова, С. В. Вергунов // Art and Design. – 2018. – №4. – С. 30–39. – DOI:10.30857/2617-0272.2018.4.3.
2. Гниденко А. В. Формализация и алгоритмизация процесса проектирования женской одежды с рукавами сложных кроев : автореф. дис. канд. техн. наук : 05.19.04 – «Технология швейных изделий» / А. В. Гниденко. – Иваново, 2008. – 29 с.
3. Процик К. Л. Розробка технології проектування базових конструкцій одягу похідних кроїв на основі принципів трансформації : автореферат дис. канд. техн. наук : 05.19.04 – «Технологія швейних виробів» / К. Л. Процик – Київ : КНУТД, 2004. – 25 с.
4. Пат. RU 2423898 РФ, МПК А41Н 3/00. Способ проектирования конструкций изделий с рукавом кроя реглан / В. А. Масалова ; правообладатель : Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Московский государственный университет дизайна и технологии (МГУДТ) ; заявл. 05.09.2008 ; опубл. 20.07.2011.
5. Славінська А. Л. Удосконалення графічного методу проектування типізованої конструкції жіночих виробів крою реглан / А. Л. Славінська, О. О. Кісіль // Наукові розробки молоді на сучасному етапі : тези доп. конф. молодих вчен. та студ. ін-ту технологій, дизайну та сервісу за результатами н.-д. роботи за 2009-2010 рр. – Хмельницький : ХНУ, 2010. – С. 65-66.
6. Пат. RU 2438538 РФ, МПК А41Н 3/00. Способ построения шаблона рукава реглан / Д. Н. Сидорчук ; правообладатель : Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Амурский государственный университет" ; заявл. 15.10.2010 ; опубл. 10.01.2012.
7. Шершнева Л. П. Конструирование одежды: Теория и практика : учебное пособие / Л. П. Шершнева, Л. В. Ларькина. – М. : Инфа-М, 2006. – 288 с.
8. Мешкова Е. В. Конструирование одежды : учеб. пособие / Е. В. Мешкова. – М. : Издательство Оникс, 2006. – 176 с.
9. Амирова Э. К. Конструирование одежды : учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / Э. К. Амирова, О. В. Сакулина, Б. С. Сакулин, А. Т. Труханова. – М. : Мастерство, 2002. – 496 с.
10. Пат. CN 102488343A China, МПК А41D 27/10, А41Н 3/00. Fit raglan sleeve model design and manufacturing method ; заявл. 31.12.2011 ; опубл. 13.06.2012.
11. Пат. UA 87775 Україна, МПК А41Н 3/00. Спосіб побудови конструкції плечового одягу з рукавом покрою реглан ; заявл. 15.04.2013 ; опубл. 25.02.2014, Бюл. № 4.
12. Пат. RU 2225152 РФ, МПК А41Н 3/00. Способ построения шаблона одежды кроя реглан / Н. Н. Логинова, Е. Н. Саблина, В. Е. Кузьмичева, Г. И Сурикова ; заявл. 29.07.2002 ; опубл. 10.03.2004.
13. Пат. RU 2311860 РФ, МПК А41Н 3/00. Способ построения шаблона рукава реглан / В. Е. Кузьмичев, И. Б. Цыбенко, А. В. Гниденко ; заявл. 20.10.2005 ; опубл. 10.12.2007.
14. Пат. UA 110852 Україна, МПК А41Н 3/00. Спосіб побудови шаблона плечового одягу з рукавом покрою реглан / Л. В. Краснюк, О. О. Юзюк, О. М. Троян ; заявл. 4.04.2016 ; опубл. 25.10.2016, Бюл. № 20.
15. Ергономічне проектування одягу різного призначення : монографія / Л. В. Краснюк, О. М. Троян, О. М. Луцевська, Ю. Б. Кокоячук, О. Й. Янцаловський. – Хмельницький : ХНУ, 2017. – 177 с.
16. Краснюк Л. В. Ергономічні дослідження рівня статичної відповідності одягу із рукавом покрою реглан / Л. В. Краснюк, О. О. Юзюк // Збірник тез доповідей Всеукраїнської науково-практичної Інтернет-конференції молодих вчених та студентів "Ресурсозберігаючі технології легкої, текстильної і харчової промисловості", 23-24 жовтня 2015 р., Хмельницький. – С. 10-11.

References

1. Vergunova N. S. Predmetnyj dizajn. Pravomochnost termina / N. S. Vergunova, S. V. Vergunov // Art and Design. – 2018. – №4. – С. 30–39. – DOI:10.30857/2617-0272.2018.4.3.
2. Gnidenko A. V. Formalizaciya i algoritimizaciya processa proektirovaniya zhenskoy odezhdy s rukavami slozhnykh pokroev : avtoref. dis. kand. tehn. nauk : 05.19.04 – «Tehnologiya shvejnykh izdelij» / A. V. Gnidenko. – Ivanovo, 2008. – 29 s.
3. Protsyk K. L. Rozrobka tekhnolohii proektuvannia bazovykh konstruktssii odiahu pokhidnykh pokroiv na osnovi pryntsyziv transformatsii : avtoreferat dys. kand. tekhn. nauk : 05.19.04 – «Tekhnolohiia shveinykh vyrobiv» / K. L. Protsyk – Kyiv : KNUVD, 2004. – 25 s.
4. Pat. RU 2423898 RF, MPK A41H 3/00. Sposob proektirovaniya konstrukcij izdelij s rukavom pokroya reglan / V. A. Masalova ; pravoobladatel : Gosudarstvennoe obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego professionalnogo obrazovaniya Moskovskij gosudarstvennyj universitet dizajna i tehnologii (MGUDT) ; zayavl. 05.09.2008 ; opubl. 20.07.2011.

5. Slavinska A. L. Udoshkonalennia hrafichnogo metodu proektuvannia typizovanoi konstruktssii zhinochykh vyrobiv kroiu rehlan / A. L. Slavinska, O. O. Kislil // Naukovi rozrobky molodi na suchasnomu etapi : tezy dop. konf. molodykh vchen. ta stud. in.-tu tekhnolohii, dyzainu ta servisu za rezultatamy n.-d. roboty za 2009-2010 rr. – Khmelnytskyi : KhNU, 2010. – S. 65-66.
6. Pat. RU 2438538 RF, MPK A41H 3/00. Sposob postroeniya shablona rukava reglan / D. N. Sidorchuk ; pravoobladatel : Gosudarstvennoe obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshogo professionalnogo obrazovaniya "Amurskij gosudarstvennyj universitet" ; zayavl. 15.10.2010 ; opubl. 10.01.2012.
7. Shershneva L. P. Konstruirovaniye odezhdyy: Teoriya i praktika : uchebnoe posobie / L. P. Shershneva, L. V. Larkina. – M. : Infa-M, 2006. – 288 s.
8. Meshkova E. V. Konstruirovaniye odezhdyy : ucheb. posobie / E. V. Meshkova. – M. : Izdatelstvo Oniks, 2006. – 176 s.
9. Amirova E. K. Konstruirovaniye odezhdyy : uchebnik dlya stud. uchrezhdenij sred. prof. obrazovaniya / E. K. Amirova, O. V. Sakulina, B. S. Sakulin, A. T. Truhanova. – M. : Masterstvo, 2002. – 496 s.
10. Pat. CN 102488343A China, MPK A41D 27/10, A41H 3/00. Fit raglan sleeve model design and manufacturing method ; zaiavl. 31.12.2011 ; opubl. 13.06.2012.
11. Pat. UA 87775 Ukraina, MPK A41H 3/00. Sposib pobudovy konstruktssii plechovoho odiahu z rukavom pokroiu rehlan ; zaiavl. 15.04.2013 ; opubl. 25.02.2014, Biul. № 4.
12. Pat. RU 2225152 RF, MPK A41H 3/00. Sposob postroeniya shablona odezhdyy pokroya reglan / N. N. Loginova, E. N. Sablina, V. E. Kuzmicheva, G. I. Surikova ; zayavl. 29.07.2002 ; opubl. 10.03.2004.
13. Pat. RU 2311860 RF, MPK A41H 3/00. Sposob postroeniya shablona rukava rehlan / V. E. Kuzmychev, Y. B. Tsybenko, A. V. Hnydenko ; zaiavl. 20.10.2005 ; opubl. 10.12.2007.
14. Pat. UA 110852 Ukraina, MPK A41H 3/00. Sposib pobudovy shablona plechovoho odiahu z rukavom pokroiu rehlan / L. V. Krasniuk, O. O. Yuziuk, O. M. Troian ; zaiavl. 4.04.2016 ; opubl. 25.10.2016, Biul. № 20.
15. Erhonomichne proektuvannia odiahu riznogo pryznachennia : monohrafiia / L. V. Krasniuk, O. M. Troian, O. M. Lushchevska, Yu. B. Kokoichuk, O. Y. Yantsalovskiy. – Khmelnytskyi : KhNU, 2017. – 177 s.
16. Krasniuk L. V. Erhonomichni doslidzhennia rivnia statychnoi vidpovidnosti odiahu iz rukavom pokroiu rehlan / L. V. Krasniuk, O. O. Yuziuk // Zbirnyk tez dopovidei Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi Internet-konferentsii molodykh vchenykh ta studentiv "Resursozberihaiuchi tekhnolohii lehkoj, tekstylnoi i kharchovoi promyslovosti", 23-24 zhovtnia 2015 r., Khmelnytskyi. – S. 10-11.

Рецензія/Peer review : 21.05.2019 р.

Надрукована/Printed : 23.07.2019 р.
Рецензент: д.т.н., проф. О.В. Захаркевич

А.Л. СЛАВІНСЬКА, О.П. СИРОТЕНКО, Т.В. ПАШКО
Хмельницький національний університет

ФОРМУВАННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ УНІВЕРСАЛЬНОЇ КОНСТРУКЦІЇ ШТАНІВ НА ОСНОВІ АНТРОПОМЕТРИЧНОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ КОНСТРУКТИВНИХ ЗОН

Розроблено спосіб визначення антропометричної бази даних спільного розміру молодіжної вікової групи для побудови універсальної конструкції штанів. Розроблено алгоритм визначення величини переміщень основних конструктивних точок в автоматизованому режимі за принципом градації. Запропоновано технологію масштабування уніфікованих конструктивних зон в системі «розмірні ознаки – універсальна конструкція».

Ключові слова: універсальна конструкція, штани, антропометрична база, статеві-вікова група, основні конструктивні точки, трансформація, конструктивна зона, величина переміщень, масштабування.

A.L. SLAVINSKA, O.P. SYROTENKO, T.V. PASHKO
Khmelnyskyi National University

FORMATION OF PROPERTIES OF THE UNIVERSAL STRUCTURE OF TROUSERS BASED ON ANTHROPOMETRIC TRANSFORMATION OF CONSTRUCTIVE ZONES

In order to construct a universal pants design a method of forming an anthropometric database of shared size for people of youth age group is developed. The method of unification of constructive zones of anthropometric planes in forming of a universal construction of trousers is developed. An analytical method of determining the anthropometric database of a typical figure as an invariant size of sex-age groups is proposed. The study of the magnitude of displacements of the main constructive points in the system of coordinates of the gradation of the samples according to the methodology of the «EMKO REV». The algorithm of application of displacement magnitudes of the main design points in the automated mode based on the principle of grading technique is developed. The technology of scaling the design of the main components is proposed on the basis of the table of coefficients of scaling of constructive zones in the system "Dimensional features - universal construction".

Key words: universal construction, trousers, anthropometric base, sex-age group, basic constructive points, transformation, constructive zone, displacement size, scaling.

Постановка задачі

Незалежно від статі і віку штани типової конструкції мають середні, бічні і крокові шви та поділ на передні і задні частини, що відповідає структурним елементам сітки антропометричних площин та рівням конструктивних поясів. Трансформація рівнів конструктивних поясів визначає морфологічну властивість об'єкта змінювати свої просторові характеристики і тим самим видозмінювати функцію, що призводить до формування нових якостей функціональності штанів. Конфігурація профілю штанів повторює абрис ноги людини. Співрозмірність на тазовій ділянці та в зоні контакту на ділянці, дотичній до поверхні литкового м'язу, визначають зручність штанів в динаміці при виконанні різних рухів. Лінія талії класичних штанів розташована на 2–5 см нижче антропометричного рівня лінії талії, лінія низу вище від рівня підлоги, передній згин відхиляється вперед, задній згин дотичний заднику взуття. Такі ергономічні вимоги визначають не лише поділ на три основні зони: тазова, середня і нижня, але і координати основних конструктивних точок контуру деталі, які підпорядковані величинам розмірних ознак. Відсутність регламентації величин переміщень конструктивних точок в межах однакового розміру не забезпечує ідентифікацію параметрів конструктивних зон для побудови універсальної конструкції.

Актуальність розробки універсальної конструкції визначає однотипність функціонального поєднання конструктивних зон в деталях штанів, що суттєво скорочує терміни конструкторсько-технологічної підготовки виробництва і відповідає вимогам сучасного споживача до зовнішнього вигляду штанів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

В результаті аналізу структури розрахункових формул методики ЄМКО РЕВ в побудові конструкції штанів виявлено, що сукупність розмірних ознак і однотипність як розрахункових, так і графічних прийомів, незалежно від віку і статі, підпорядковані коефіцієнту градації за ведучою розмірною ознакою – обхват грудей третій [1, 2]. Взаємозв'язок розмірної мінливості і величини заднього балансу конструкції штанів підтверджено дослідженнями [3], якими встановлена величина мінливості 0,15 см в параметричному ряді величин заднього балансу, для поєднання конструкції тазової ділянки чоловічих і жіночих штанів.

Аналітичне обґрунтування універсальної конструкції жіночої спідниці і штанів [4] реалізоване в практичному застосуванні графічних прийомів афінного перетворення координат конструктивних точок [5]. Спрощена процедура параметричного перетворення шаблонів конструкції прямої спідниці в конструкцію штанів [6] містить 4 проектні операції перерозподілу ширин передньої і задньої частини (зона 1, тазової ділянки), 11 проектних операцій передньої частини штанів, 7 проектних операцій задньої частини штанів. Однак рецептурний характер цієї методики не відповідає закономірностям, виявленим в дослідженнях [4, 5]. Рекомендації щодо попереднього формування конструкції задньої частини штанів як для чоловіків, так і для хлопчиків вимагають перевірки припущень щодо додаткових членувань на ділянках середнього і крокового

швів для визначення величин технологічних параметрів операцій формування в процесах волого-теплової обробки [7].

Структурна систематизація конструктивних поясів в схемах членування деталей виробу-трансформера плечового виробу [8, 9] підтверджує наявність морфологічних ознак забезпечення функціональних властивостей конструктивних зон деталей виробу. Однак підпорядкованість елементів перенесення ліній конструктивних поясів у відносінах геометричної подібності не розглянута.

Отже, існують об'єктивні причини пов'язані з характеристикою конструктивних зон поясного виробу до координації дій в адаптації принципів трансформації евристичних прийомів графічної побудови універсальної конструкції штанів в різних САПР одягу.

Мета і завдання дослідження

Мета – забезпечення універсальності застосування модулів конструктивних зон типової конструкції штанів в розробці групової проектної документації.

Завдання – аналітично обґрунтувати антропометричну базу даних для визначення інваріантного розміру умовної типової фігури; виконати дослідження комплексного креслення онови конструкції штанів за статево-віковою ознакою; проаналізувати мінливість відхилень координат основних конструктивних точок для уніфікації контурів конструктивних зон; розробити рекомендації з масштабування основних деталей штанів в системі «розмірні ознаки – основа конструкції».

Виклад основного матеріалу

Аналітичне дослідження процесу розробки універсальної конструкції штанів в ланцюгу перетворення розмірних ознак в конструктивні зони модулів типової конструкції виробу спрямоване на ідентифікацію параметрів ознак в етапах використання відповідної бази даних [9]. Принципова схема структурного аналізу класифікаційних ознак конструкції штанів містить рівні: конструктивна категорія (рис. 1, а), об'єми конструктивних поясів (рис. 1, б), схема членувань на конструктивні зони (рис. 1, в).

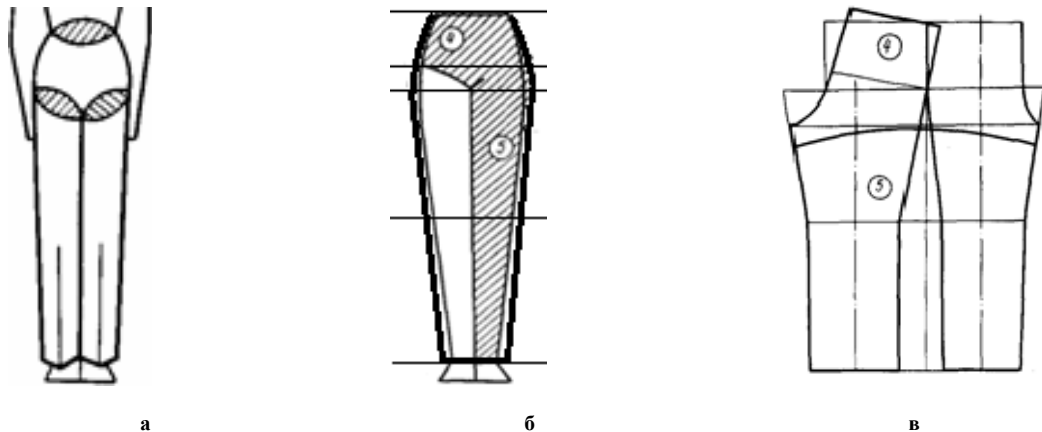


Рис. 1. Класифікація конструкцій штанів

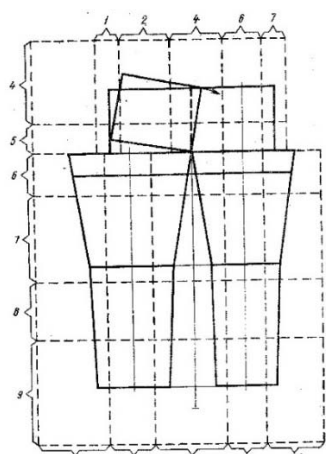


Рис. 2. Сітка антропометричних площин

Конструктивні зони сітки антропометричних площин є однаковими для утворення модулів конструктивних зон КЗ в конструкціях, побудованих за ЄМКО РЕВ, незалежно від статево-вікових груп: модуль тазової ділянки – 5КЗ, модуль середньої ділянки – 4КЗ, модуль нижньої ділянки – 2КЗ (рис. 2).

Межі конструктивних зон в сітці антропометричних площин визначають лінії: вертикальні – 1, 2, 4, 6, 7, 8; горизонтальні – 4, 5, 6, 7, 8, 9. Система позначень конструктивних точок і відрізків відповідає перетинам горизонтальних і вертикальних ліній антропометричних площин, за якими виконані обмірювання фігури в розмірних стандартах. Для однозначного напрямку пошуку універсальної базової конструкції штанів сформовано типологічний ряд середніх значень розмірних ознак для типової фігури 158-84 з урахуванням статі і вікових груп: 1 – ОСТ 17-326-81 (жінки); 2 – ОСТ 17-916-89 (дівчата-підлітки); 3 – ОСТ 17-325-86 (чоловіки); 4 – ГОСТ 17917-86 (хлопчики-підлітки).

Ідентифікація антропометричної бази, в якій використано 14 основних і 5 контрольних розмірних ознак, для дослідження конструкції штанів наведена в табл. 1.

Для дослідження відхилень координат основних конструктивних точок, побудованих в Auto CAD трьох основ конструкцій (рис. 3, 4), виконане суміщення конструкцій задньої і передньої частини штанів з дотриманням правил проходження вихідних осей для градації штанів: задня частина – т. 52, горизонталь – лінія стегон /51-54/, вертикаль – лінія згину /52-72/, передня частина – т. 56; горизонталь – лінія стегон /54'-57/, вертикаль – лінія згину /56-76/.

Таблиця 1

Розмірні ознаки типових фігур 158-84 за принципом об'єднання статевих-вікових груп

№ з/п	Умовне позначення розмірних ознак	Стать				Умовна типова фігура, см
		Жінки		Чоловіки		
		Величина розмірних ознак, см				
		1	2	3	4	5
1	T1	158	158	158	158	158
2	T7	98,4	99,5	97,1	99	98,5
3	T8	90,5	91,0	90,5	91,5	90,86
4	T9	43,5	44,5	42,5	45,1	43,9
5	T12	70,5	71,8	70,4	72,6	71,3
6	T15	44,4	44,2	44,3	43,4	44,1
7	T16	42	42	42	42	42,0
8	T18	64,6	63	78,0	66	67,15
9	T19	92	91,6	92,4	91,5	91,9
10	T21	52,1	52,6	48,1	49,2	50,5
11	T22	33,9	35,2	34,3	34,2	34,4
12	T25	101,2	101,4	97,9	100	100,1
13	T26	99,2	100,9	97,6	99,9	99,4
14	T27	73,5	74,3	72,6	74,8	73,8
15	T46	9,3	9,9	10,0	9,25	9,6
16	T51	30,5	30,9	32,0	3,25	31,5
17	T23	32,9	33,4	33,3	33,3	33,2
18	T49	26,1	-	24,0	-	25,1
19	T50	35,1	-	35,1	-	35,1

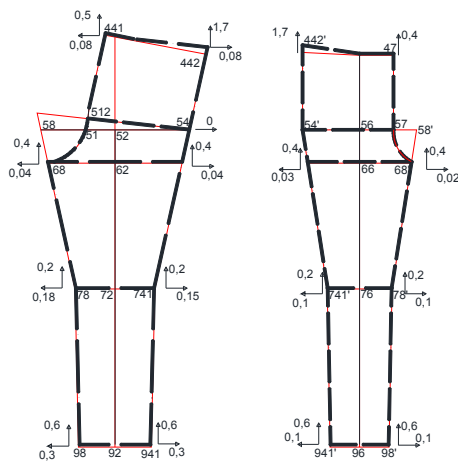


Рис. 3. Креслення конструкції штанів на типову фігуру:
 - - - - жіноча; _____ умовна

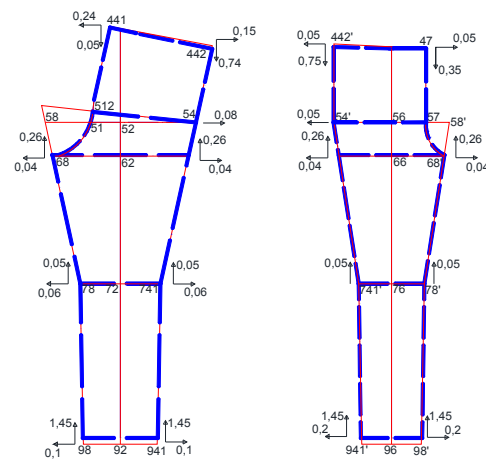


Рис. 4. Креслення конструкції штанів на типову фігуру:
 - - - - чоловіча; _____ умовна

Дослідження універсальної конструкції інваріантного розміру виконане способом масштабування. За центр масштабування обрана нульова точка вихідної вертикальної осі лінії низу. Коефіцієнти масштабування визначені окремо для напрямку масштабування вздовж осей X і Y і розраховані як середні арифметичні величини приростів Δx_i , Δy_i розмірних ознак (РО) і Δx_j , Δy_j конструктивних точок основи конструкції (ОК) C_{i0} (табл. 2).

В дослідженні використані розраховані величини дисперсії відхилень Δx , Δy : x_1 , y_1 – типова інформація РО, ОК; x_2 , y_2 – умовна інформація РО, ОК.

Таблиця 2

Матриця коефіцієнтів масштабування основи конструкції штанів

Центр масштабування	Напрямок масштабування	Коефіцієнт масштабування			
		K_{x_1}	K_{x_2}	K_{y_1}	K_{y_2}
РО – О точка – лінія підлоги	жінки-дівчата	1,11	1,02	1,08	0,73
	чоловіки-хлопчики	1,02	1,02	1,21	0,52
ОК – C_{i0} 0 точка – лінія низу	універсальна-жіноча	1,05	1,11	1,02	1,02
	універсальна-чоловіча	1,03	1,05	1,01	1,11

Відхилення приростів Δ у розмірних ознаках висоти коліна і висоти підсідничної складки пояснює доцільність окремих досліджень модулів середньої і нижньої ділянок конструкції штанів.

Аналіз величин переміщень модуля тазової ділянки підтверджує поліваріантність жорсткого повороту середнього шва, на величині обхвату талії в розрахунках заднього балансу, що виявлено дослідженнями [3]. Нормалізований параметричний ряд заднього балансу наступний: Бз.ун – 5,5; 5,35; 5,2; 5,05; 4,9 і зберігає приріст 0,15 см. Перевірка співрозмірності макетів універсальної конструкції і конструкції жіночих штанів підтвердила достатній рівень якості – 4,5 бали.

Висновки

Проведеними дослідженнями аналітично підтверджена еквівалентність перетворень розмірних ознак інваріантної типової фігури в систему основних конструктивних відрізків основи універсальної конструкції штанів в сітці антропометричних площин.

Підтверджена доцільність окремого нашарування універсальної конструкції за статевою ознакою для дослідження відхилень конструктивних поясів талії, стегон, підсідничної складки, коліна і щиколотки у визначенні конструктивних зон в уніфікованих координатах основних конструктивних точок.

Доведене припущення про можливість застосування способу масштабування в перевірці інваріантності розміру фігури в системі прибавок і допусків до основи універсальної конструкції.

Література

1. Единая методика конструирования одежды СЭВ (ЕМКО СЭВ). Теоретические основы. Том 1. – Москва : ЦНИИТЭИлегпром, 1988. – 164 с.
2. Швець Г.С. Антропометрична модифікація графічної поверхні тазової частини манекена та суміжні розміри і повноти типових фігур / Г. С. Швець // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2009. – № 4. – С. 160–163.
3. Славінська А. Л. Дослідження динамічної комфортності конструкції штанів / А. Л. Славінська, Т. В. Пашко // Міжнародна наук.-прак. конференція «Ресурсозберігаючі технології легкої, текстильної і харчової промисловості», 15-16 листопада / Хмельницький національний університет. – 2018. – С. 17-18.
4. Славінська А.Л. Аналітичне обґрунтування універсальної конструкції жіночої спідниці і штанів / А.Л. Славінська, Ю.В. Вовк // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2010. – № 2. – С. 267–270.
5. Славинская А. Л. Формирование преобразования интерактивной конструкции прямой юбки в конструкцию классических брюк / А. Л. Славинская, Ю. В. Вовк // Молодой ученый. – 2013. – № 10. – С. 198–200.
6. Мартынова А. И. Конструктивное моделирование одежды: учебное пособие для вузов / А. И. Мартынова, Е. Г. Андреева. – М. : МГАЛП, 1999. – 216 с.
7. Захаркевич О. В. Обґрунтування вибору факторів впливу на сегментацію виробів-трансформерів / О. В. Захаркевич // Легка промисловість. – 2013. – № 1. – С. 50–51.
8. Славінська А. Л. Технологічний аспект багатofункціональності експлуатації виробу-трансформера / А. Л. Славінська, О. П. Сиротенко, Ю. В. Кошевка // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2019. – № 1. – С. 53–62.
9. Славінська А. Л. Застосування методу розмірного аналізу для типізації конструкції чоловічих штанів / А. Л. Славінська, С. С. Матвійчук // Науковий вісник Мукачівського технологічного інституту. – 2007. – № 4. – С. 63–82.
10. Славінська А. Л. Методологія типізації лекал деталей швейних виробів / А. Л. Славінська // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2011. – № 2. – С. 75–82.

References

1. Edinaya metodika konstruirovaniya odezhdyy SEV (EMKO SEV). Teoreticheskie osnovy. Tom 1. – Moskva : CNIITEIlegprom, 1988. – 164 s.
2. Shvets H.S. Antropometrychna modyfikatsiia hrafichnoi poverkhni tazovoi chastyny manekena ha sumizhni rozmyry i povnoty typovykh fihur / H. S. Shvets // Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences. – 2009. – № 4. – S. 160–163.
3. Slavinska A. L. Doslidzhennia dynamichnoi komfortnosti konstruktssii shtaniv / A. L. Slavinska, T. V. Pashko // Mizhnarodna nauk.-prak. konferentsiia «Resursozberihaiuchi tekhnolohii lehkoi, tekstylnoi i kharchovoi promyslovosti», 15-16 lystopada / Khmelnytskyi natsionalnyi universytet. – 2018. – S. 17-18.
4. Slavinska A.L. Analitychne obhruntuvannia universalnoi konstruktssii zhinochoi spidnytsi i shtaniv / A.L. Slavinska, Yu.V. Vovk // Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences. – 2010. – № 2. – S. 267–270.
5. Slavinskaya A. L. Formirovanie preobrazovaniya interaktivnoy konstruktsii pryamoj yubki v konstruktsiyu klassicheskikh bryuk / A. L. Slavinskaya, Yu. V. Vovk // Molodoy uchenyj. – 2013. – № 10. – S. 198–200.
6. Martynova A. I. Konstruktivnoe modelirovanie odezhdyy: uchebnoe posobie dlya vuzov / A. I. Martynova, E. G. Andreeva. – M. : MGALP, 1999. – 216 s.
7. Zakharkevych O. V. Obgruntuvannia vyboru faktoriv vplyvu na sehmentatsiyu vyrobiv-transformeriv / O. V. Zakharkevych // Lehka promyslovist. – 2013. – № 1. – S. 50–51.
8. Slavinska A. L. Tekhnolohichnyi aspekt bahatofunktsionalnosti ekspluatatsii vyrobu-transformera / A. L. Slavinska, O. P. Syrotenko, Yu. V. Kosheva // Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences. – 2019. – № 1. – S. 53–62.
9. Slavinska A. L. Zastosuvannia metodu rozmirnoho analizu dlia typizatsii konstruktssii cholovichykh shtaniv / A. L. Slavinska, S. S. Matviichuk // Naukovyi visnyk Mukachivskoho tekhnolohichnoho instytutu. – 2007. – № 4. – S. 63–82.
10. Slavinska A. L. Metodolohiia typizatsii lekal detalei shveinykh vyrobiv / A. L. Slavinska // Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences. – 2011. – № 2. – S. 75–82.

О.А. ДІТКОВСЬКА
Хмельницький національний університет

АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД РИНКУ ДИТЯЧОГО ЗИМОВОГО ОДЯГУ ВІДОМИХ БРЕНДІВ

В статті проаналізовано сучасний асортимент дитячого зимового одягу від відомих закордонних брендів та українських виробників. Аналітичний огляд здійснено за критеріями: широта асортименту, орієнтація на ринок збуту, ціна, цільова аудиторія, спрямованість колекцій, характеристика застосовуваних матеріалів та розвиток інновацій в даному напрямку. Встановлено позицію виробників на ринку України за ціновою політикою в трьох категоріях: висока, середня і низька вартість товару.

Ключові слова: бренди одягу, зимовий дитячий одяг, теплозахисний одяг, матеріали для утепленого одягу, цінова політика.

O. A. DITKOVSKA
Khmelnitskyi National University

ANALYTICAL OVERVIEW OF THE WINTER CHILDREN'S CLOTHING FROM KNOWN BRANDS

The modern market of children's winter clothes is widely represented by clothes both domestic manufacturers and well-known foreign brands, which are often available online through online stores and intermediaries. The most popular brands of winter clothing from the countries of Finland, Canada, Estonia, Sweden, Poland, Russia, and the USA are represented in the Ukrainian market. The aim of the work was to compare the current range of children's winter clothing from well-known foreign brands and Ukrainian manufacturers. The analytical review is carried out according to the criteria: breadth of assortment, orientation to the market of sales, price, target audience, orientation of collections, characterization of materials, and development of innovations. It has been established that winter clothes for children vary greatly in terms of quality, properties of materials and fabrics, design solutions and manufacturing technology, and prices. Clothing of foreign brands is of higher quality; however, it is much more expensive. At the same time, new Ukrainian brands of children's winter clothes appear on the market, which constitute a worthy competition. The results of the study show an alternative to the children's clothing market and allow a buyer to make a choice.

Key words: clothes brands, winter children's clothing, heat-protective clothing, insulation clothing materials, pricing policy.

Постановка проблеми

В асортименті випуску швейних виробів, велика увага приділяється виробництву дитячого одягу. При цьому, особливої актуальності набувають питання розширення асортименту дитячого одягу, що володіє високим рівнем комфортності і дизайну.

Діти це особлива цільова аудиторія, отже і вимоги, що висуваються до дитячого одягу – специфічні. Діти молодшого віку надзвичайно чутливі до погодних умов, тому правильно підібраний одяг – важливий фактор у збереженні здоров'я і гарного настрою, особливо у зимовий період часу. Дитячий одяг для холодної пори року підбирається батьками з особливою ретельністю, адже йому доведеться захищати дитину в різних погодних умовах: під час дощу, вітру, снігу або морозу.

Сучасний ринок дитячого зимового одягу широко представлений одягом як вітчизняних виробників, так і відомих закордонних брендів, які часто можна придбати он-лайн через Інтернет-магазини та інші ресурси. Найбільше на ринку України представлено відомі бренди зимового одягу із країн Фінляндії, Канади, Естонії, Швеції, Польщі, Росії, а також США. Відповідно представлена категорія одягу значно відрізняється за якістю, ціновою політикою, властивостями пакету матеріалів, конструктивними рішеннями та технологією виготовлення. Тому актуальними є питання аналізу кон'юнктури сучасного ринку дитячого зимового одягу, а також виявлення тенденції розвитку інноваційних технологій в розробці та застосуванні утеплювальних матеріалів для одягу даної категорії.

Аналіз останніх досліджень чи публікацій

Удосконалення процесу проектування дитячого теплозахисного одягу можливо на основі оптимізації пакету матеріалів і композиційної побудови одягу, пов'язаної з особливостями психофізіологічного і морфологічного розвитку дитини. Різносторонніми аспектами процесу проектування дитячого одягу в різні роки займалися значна кількість російських науковців: Козлова Є.В., Шершньова Л.П., Бескоровайна Г.П., Куренова С.В., Мацієвська Ю.А., Вілкова М.Р. та багато інших.

Серед останніх публікацій українських науковців відомими є роботи Васильєвої І.В. і Колосніченко О.В., що зосереджені на вирішенні питань з удосконалення дизайн-проектування дитячого одягу, в тому числі і шкільної форми для дітей молодшого шкільного віку на основі принципів трансформації. Велика кількість публікацій Пашкевич К.Л. присвячені впровадженню сучасних композиційно-проектних технологій дизайну в процесі формування гардеробу дитячого одягу, цікавими є дослідження Омельченко Г.В. з розробки дитячого багатофункціонального одягу із захисними елементами для занять спортом тощо.

Питаннями безпеки одягу для здоров'я дитячого організму, що формується та інтенсивно росте, також глибоко займаються науковці медичної галузі. Зокрема Платонова А.Г. в своїх роботах досліджує гігієнічні властивості різних видів дитячого одягу, та обґрунтувала створення вітчизняної гігієнічної

класифікації дитячого одягу. Зокрема в роботі [1] наведено результати анкетування батьків дітей від 1 до 17 років про фактори вибору одягу для дітей та способи їх купівлі. Встановлено, що більше 54% респондентів купує одяг своїм дітям частіше ніж 4 рази на рік, батьки дітей 1–6 років купують одяг переважно в гіпермаркетах (близько 38%), в магазинах дитячих товарів (в середньому 45%) та в Інтернет-магазинах (близько 49%), при цьому більше 50% батьків дітей від 7 до 17 років купують одяг на ринках. Щодо факторів, то пріоритетними вважаються одні й ті самі, однак їх вагомість дещо змінюється при виборі одягу в різних вікових групах. Так, батьки дітей 1...3 років на перше місце поставили якість товару (100%), друге – безпеку здоров'я (80,65%), третє – склад тканини (74,19%). Для батьків дітей вікових груп 4...6 років та 11...14 років пріоритетність факторів наступна: зовнішній вигляд моделі (97,37% і 94,60% відповідно), якість (94,74% і 89,19%), безпека для здоров'я (86,85% і 89,19%). Респонденти, що мають дітей 7...10 років, на перше рангове місце ставлять якість одягу, далі – зовнішній вигляд та безпеку для здоров'я. Уподобання дитини першочергово враховують батьки дітей від 15 до 17 років (96,67%), далі якість та зовнішній вигляд моделі.

При проектуванні теплозахисного одягу питання гарантування якості та безпеки здоров'я в першу чергу пов'язане з правильним вибором пакету матеріалів. Дослідженнями теплофізичних показників сучасних теплоізоляційних матеріалів для одягу та систематизацією існуючої інформаційної бази широко займаються науковці Донченко С.В., Омельченко Г.В., Колосніченко М.В., Привала В.О. та багато інших. Проте питання формування оптимального пакету матеріалів для забезпечення теплозахисних властивостей саме дитячого одягу досі не вирішені, як не існує чітких рекомендацій щодо використання тих чи інших видів утеплювачів при виготовленні одягу для дітей конкретних вікових груп. Також в Україні мало дослідженим є напрямок розробки оптимальних технологічних режимів для виготовлення багатошарового теплозахисного одягу, в тому числі і в застосуванні методів проклеювання швів в одязі з новітніх термоматеріалів, що широко застосовується при виготовленні дитячого зимового одягу відомих зарубіжних брендів, і тим самим забезпечує відмінну якість їх товарів.

Тому **метою роботи** стало дослідження і упорядкування асортиментного різноманіття сучасного дитячого зимового одягу шляхом проведення аналітичного огляду ринку та визначення факторів, що впливають на якість аналогічних товарів різних виробників.

Виклад основного матеріалу

Відомо, що проблема проектування сучасного дитячого утепленого одягу має вирішуватися комплексно: пакет застосовуваних матеріалів, конструкція, фурнітура та особливості виконання повинні повністю відповідати поставленим завданням і специфіці сезону, а художньо-композиційне вирішення моделей, сучасний дизайн, стиль та зовнішнє оформлення мають задовольняти естетичні потреби маленьких модників та їх батьків, забезпечувати психоемоційний комфорт.

Вище зазначалося, що на ринку України широко представлено зимовий дитячий одяг від відомих брендів із країн Фінляндії, Канади, Естонії, Швеції, Польщі, Росії та США. Для упорядкування відомостей з мережі Інтернет та інших відкритих ресурсів, а також можливості проведення порівняльного аналізу асортименту товарів різних фірм-виробників, було виділено окремі критерії пошуку інформації: широта асортименту, орієнтація на ринок збуту, ціновий сегмент відповідно до купівельної спроможності українських родин, віковий сегмент та напрями розробок сезонних колекцій та модних ліній дитячого одягу, та найважливіший фактор – характеристика застосовуваних матеріалів та розвиток інновацій в даному напрямку.

В рейтингу найбільш відомих високоякісних виробників дитячого одягу, що займають лідируючі положення в експорті своєї продукції на перших позиціях розміщуються виробники із скандинавських країн, і це не дивно, враховуючи складні кліматичні умови, температури та тривалість зимового періоду часу в північних широтах. Крім того країни Фінляндії, Канади, Естонії чи Швеції широко відомі своїми гірськолижними курортами, високим рівнем розвитку гірськолижного спорту і туризму. Відповідно все більше брендів зі світовим ім'ям займаються виготовленням багатофункціонального одягу для катання на лижах і сноубордах, а розвиток сучасних технологій з кожним роком робить його більш досконалим, практичним та комфортним під час рухів.

Серед найпопулярніших виробників зимового дитячого одягу для активного відпочинку першу п'ятірку в рейтингу 2019 року посідають відомі бренди ReimaTec і Lassie (Фінляндія), бренд Gusti (Канада), марка Nurra (Естонія) та Didriksons (Швеція) [2].

Reima (Фінляндія) – заснована у 1939 році, стала розробляти верхній дитячий одяг з початку 1950-х років. Цільова аудиторія Reima – діти від народження до 12 років. Бренд орієнтований на переважно внутрішній ринок і має високу цінову політику. Асортимент різноманітний, включає зимові комбінезони, напівкомбінезони, демісезонні куртки, плащі та костюми, а також рукавиці, рукавички, головні убори, одяг з флісу, білизна і взуття. Особливості: одяг Reima відрізняється багатошаровістю, при цьому тепло забезпечується не громіздкими утеплювачами, а декількома шарами одягу, які можна змінювати і комбінувати залежно від змін погоди. Стандартні комплекти «зима» включають білизну, проміжний костюм і верхній одяг, а повітря, що циркулює між шарами, забезпечує потрібне тепло. Це дуже практично, одяг стає універсальним, досить одного комплекту на весь рік [3–5].

Всі моделі високої якості і підходять для прогулянок навіть у найлютіші морози. Секрет у використанні спеціально розробленого матеріалу Reimatec, що виконує функції захисного шару; має

унікальну «дихаючу» структуру, яка зігріває, але не створює парникового ефекту, високі вітрозахисні і вологовідштовхуючі властивості. Для суворої зимової погоди виробник реалізує лінію одягу Tec з мембраною, в інших моделях тканина верху – кордура. Відмінні риси одягу Reima та переваги: обробка швів спеціальними речовинами, що захищають комплекти весна-осінь від промокання; містять світловідбиваючі деталі; капюшони і манжети мають фіксатори і можуть відстібтатися, регулюючи тепловіддачу; штани і зимові комбінезони не мають внутрішніх швів, що підвищує зносостійкість; рукавички, рукавиці оснащені антибактеріальною термодинамічною підкладкою X-Static. Недоліки: розміри більше заявлених на 5–8 см, висока ціна.

Lassie – ця марка є похідною холдингу Reima і відома споживачам як "бюджетна Reima". Демісезонний і зимовий одяг розроблено відповідно до кліматичні реалії Росії та України, тому користується тут особливою популярністю. Цільова аудиторія Lassie – діти від народження до 10 років. Колекції випускаються у двох лініях: діти (на зрости 62–110 см) і підлітки (на зрости 80–140 см). Виробництво орієнтоване на експорт із середньою ціною політикою. Асортимент: весняно-осінні і зимові комбінезони, напівкомбінезони, пальто, куртки, штани, а також шарфики, рукавички, шапки, конверти для новонароджених, взуття представлено непромокальними черевиками, чобітьми, напівчеревиками.

Особливості: весь одяг Lassie виготовляється з мембранної тканини, чий верхній шар містить просочення або тонку пористу плівку і володіє водовідштовхувальними властивостями, при цьому повітря і пара можуть виходити, тобто, виводиться зайва вода і піт, що виникає від активних рухів дитини. Одяг виготовляють з 4 видів тканини: грязевідштовхувальний і водонепроникний мембранний матеріал Lassietec відрізняється підвищеною зносостійкістю; щільна тканина Supratech має тонке сітчасте тефлонове покриття і використовується в місцях, що вимагають підвищеної міцності і зносостійкості; Supertwill – особливо міцна тканина для верхнього одягу з атласною структурою, що захищає від вітру, вологи; з матеріалу Suprafil виготовляється зимовий одяг, пристосований до морозів. Переваги: одяг характеризується високою зносостійкістю, відрізняється підвищеними захисними властивостями, комфортом і міцністю, як і в моделях Reima в одязі проклеєні основні шви, є світловідбиваючі елементи, відстібні капюшони, спеціальні кріплення на штанах для фіксації їх до взуття, яскраві принти, проте цінова політика більш доступна [2–5].

Gusti (Канада) – заснований у 1986 році, спеціалізується на виробництві максимально міцного і функціонального спортивного зимового одягу для суворого клімату, відрізняється унікальним європейським стилем і доступною вартістю. Бренд працює на внутрішній ринок і експорт. Модельний ряд Gusti розділений на 6 вікових груп, від новонароджених до підлітків 14 років. Асортимент: демісезонний та зимовий верхній одяг, головні убори, рукавички, взуття. Продукція представлена у двох модних лініях: колекція Gusti Boutique включає в комплект шарф чи манішку-нагрудник, шапку і рукавиці (краги), виконані в одному стилі з комбінезоном, колекція X-Trem створена для рухливих ігор на свіжому повітрі і активних заняттях спортом за екстремальних температур (до -35°C).

Характеристика матеріалів: тканина верху – поліестер 100%, мембрана 2000 мм (X-Trem) і 5000 мм (Boutique). Завдяки спеціальному поліуретановому покриттю зсередини не промокає навіть при сильній волозі, дихає. Наповнювач: тонковолокнистий поліестеровий наповнювач Teck Polifill втримує тепло при температурі -35°C . Polyfill – складається з різних комбінацій безлічі найтонших волокон (fine-denier волокон), що мають унікальні теплозахисні властивості при малій товщині, гіпоалергенний, двостороннє полімерне покриття виключає "звалювання" і "збивання в грудку", що дозволяє по різному комбінувати в пакеті матеріалів і робить виріб придатним для великої кількості прань. Щільність наповнювача в цільних комбінезонах, куртках і пальто – 280 г/м^2 , в напівкомбінезонах – 230 г/м^2 для лінії Boutique, і $230\text{--}180\text{ г/м}^2$ для лінії X-Trem. Підкладка: на тубубі виконана з флісу Coolquick, що має не тільки найвищі теплоізоляційні властивості, але сприяє швидкому відведенню водяної пари до зовнішнього шару (мембрани), підкладка на рукавах і штанинах з нейлону. Відмінні риси одягу Gusti та переваги: яскравий дизайн, гіпоалергенні матеріали; наявні вітрозахисні планки; на куртці є снігозахисна спідниця, що перешкоджає попаданню холодного повітря і снігу всередину; по низу рукава є внутрішні вовняні манжети ширина яких регулюється; напівкомбінезон має додаткові накладки на ділянках сідниць, на колінах і по низу штанин із тканини Cordura, що має дуже високу зносостійкість; одяг не втрачає якості від машинного прання. Недоліки: збільшена ширина горловини розрахована на додаткове утеплення ший шарфом чи манішкою; об'ємний верх, відсутність проклеєних швів [3–5].

Hurra – відомий бренд, що виробляє дитячий одяг за сучасними технологіями, європейського рівня якості, стильного виконання, комфортний і практичний в експлуатації, високої вартості. Виробництво засноване в Естонії, але ведеться під патронажем фінських дизайнерів. Цільова аудиторія Hurra – діти від народження до 17 років. Асортимент представлений в 4 категоріях: Casual, Tec, Sport, Accessories та складається з демісезонного і зимового верхнього одягу, головних уборів, краг і рукавичок. Моделі розробляється для трьох вікових груп: малюки (зріст 62–92 см); діти (98–134 см); підлітки (140–176 см) з урахуванням потреб і смаків дітей різних років. Всі колекції Hurra діляться за напрямками: одяг для спорту та ігор; зимовий одяг для сноуборда; комплекти «зима» для катання на санках і ковзанах. Моделі кожного напрямку відрізняються стилем, особливостями конструкції, деталями, об'єднує їх багатство фарб, сміливість дизайнерських рішень, підвищена комфортність і тепло.

Матеріали виготовлення мають високі показники водостійкості, вітрозахисту і повітропроникності, зокрема тканина Soft Shell добре пропускає повітря, не вбирає воду і сніг. Запатентований утеплювач

HuppaTherm має структуру мікрОВОЛОКОН, що перешкоджає проникненню холодного повітря всередину, а водночас утримуючи тепло між волокнами забезпечує високу теплоізоляцію. Одяг з HuppaTherm 200 г призначений для температур від -5°C до -15°C морозу; наповнювач в 300 г зберігає тепло за температур -10 – 25°C морозу. Відмінні риси одягу Huppa: додаткове проклеювання головних швів та укріплення спеціальними стрічками від промокання, велика кількість оздоблення, світло відбивних елементів у вигляді аплікацій, застібок, зав'язок, покликаних підвищити безпеку перебування дитини на вулиці, відстійні капюшони, підкладка з бавовни і флісу, гіпоалергенні матеріали та відповідність екологічним сертифікатам ЄС.

Didriksons (Швеція) – бренд з багатою історією та всесвітнім визнанням, цінується за комфорт, безпеку і високу функціональність своїх товарів. Бренд працює на внутрішній ринок і експорт в середньому ціновому сегменті. Цільова аудиторія – діти від 9 міс. до 17 років зі зростом 70...170 см. Випускає дві дитячі лінії – Junior і Kid's collection: у першій одяг для підлітків, а друга – для дітей молодшого віку, в якій велика увага приділена різним трансформуванням, що дозволяє одягу «рости» з дитиною. Асортимент: демісезонний, зимовий верхній одяг, головні убори, рукавички, гумові чоботи. Особливості – застосовується принцип багат шаровості: колекції "зима" містять куртки і жилети з флісу, які можуть грати роль верхнього одягу або пристібатися при низьких температурах, додаткове тепло створить термобілизна [3, 4].

Характеристика матеріалів: застосовуються мембранні тканини, інноваційні вітро- і водонепроникні матеріали, що здатні "дихати". Продукція з позначкою StormSystem призначена для складних кліматичних умов, в цих виробках шви пропаяні або проклеєні, застібки захищені клапанами. Переваги: моделі виконані в сучасному стилі яскравих кольорів, обладнані кишеньками, застілками для закріплення різних медіа-пристроїв; передбачені трансформації і зміна розміру (за рахунок розпуску спеціальної складки на підкладці); наявність внутрішніх курток чи жилеток дають можливість легко роздягнутися в приміщенні; є проклеєні шви, еластичні манжети, а також є петля для ступні. Недоліки: невідповідність розмірам.

Популярними і відомими є естонський дует – бренди **Lenne i Kerry**, що виготовляють продукцію на одній фабриці ще з 1991 року. При цьому Lenne випускають одяг тільки для внутрішнього ринку Естонії, а Kerry йде на експорт, тому можливі відмінності у крої, кількості утеплювача і яскравих принтах. Крім того, бренд Kerry розробляє колекцію "Люкс", що відрізняється дизайном, натуральністю хутра на капюшонах і більш високою вартістю. Бренд продається в Україні, Росії, Фінляндії, Латвії, Ісландії. Цільова аудиторія – діти від народження до 12 років. Асортимент включає всі основні предмети демісезонного і зимового гардеробу верхнього одягу, а також куртки, комбінезони, штани, шапки, краги, гумові чоботи та інше. Вся продукція ділиться на комплекти весна-осінь і зимові (від $+5$ до -25°C). Щорічно розробляється близько 250 різних моделей.

Матеріали для дитячого одягу Lenne і Kerry підбираються з урахуванням погодних умов скандинавських країн і Росії. Спеціально розроблена для умов півночі тканина Finalyson action є водо- і вітростійкою, відштовхує бруд, має оптимальний повітрообмін, залишається м'якою при -200°C . У деяких моделях для підсилювальних накладок використовується спеціальна надміцна тканина Cordura. Застосовується бельгійський утеплювач Isosoft – найтонший, стійкий до деформації, має високі теплозахисні властивості (витримує температуру до -25°C). Також використовують матеріал Aqua Control – синтетичну мембранну тканину, яку розміщують між підкладкою і зовнішнім шаром: володіє міцністю, високою волого- і вітростійкістю. Моделі з мембраною часто не мають швів або їх кількість є мінімальною, що забезпечує додатковий захист. Особливості: етикетки одягу завжди містять інформацію про кількість утеплювача, що полегшує вибір моделі для конкретних погодних умов: для теплого міжсезоння достатньо 40 – 70 г/м^2 утеплювача Isosoft; на холодну осінь чи теплу зиму 100 – 150 г/м^2 ; для холодної зими (нижче $+3^{\circ}\text{C}$ до -25°C) достатньо 200 – 300 г/м^2 . Переваги: одяг високої якості виготовлення, легкий і зручний, підкладка з флісу, не вимагає багат шаровості одягання, має оригінальний дизайн і яскраві принти, легко чиститься і допускає машинне прання, має світловідбиваючі елементи. Недоліки: висока ціна [3, 4].

Відомі канадські бренди Deux par Deux і Napo також є затребуваними на ринку дитячого зимового одягу України.

Бренд **Deux par Deux** – розробляє, створює і поставляє на модні ринки світу унікальні колекції модного та стильного дитячого одягу, що відрізняється високою якістю, дуже красивим зовнішнім виглядом і продуманістю кожної моделі. Виробництво налагоджено в Китаї. Бренд орієнтований на внутрішній ринок і експорт, та має високу вартість. Цільова аудиторія – діти від народження до 16 років. Асортимент: демісезонний і зимовий верхній одяг (пальта, комплекти), головні убори, рукавички, дитячий трикотаж.

Матеріали, барвники, склад тканини і фурнітури на моделях відмінної якості та безпечні для дітей. Дитячий трикотаж має три типи складу: бавовна 100%, бавовна з добавкою спандексу і матеріал з бамбуку, що має ряд унікальних властивостей. В ході виготовлення верхнього одягу використовують матеріал з покриттям Teflon DuPont, яке запобігає потраплянню бруду і вологи в структуру тканини. Передбачено вставки з Cordura на колінах, ліктях, сидницях і нижньому краю куртки. Утеплювач – Polifill. Фурнітура відомої фірми «УКК». Комплекти "зима" виготовляють на флісовій підкладці. Одяг дуже теплий на температуру до -25°C – 30°C без використання термобілизни. Особливості і переваги: відстійний капюшон; має різні утяжки, що регулюють об'єм і розмір одягу; верхня частина напівкомбінезону виготовляється із флісу; куртки мають внутрішню спідничку на еластичній резинці, що застібається кнопками; зимові комбінезони мають високі коміри, флісову підкладку, а також доповнені манішкою і шарфом [2–5].

Nano (Канада) – найкраща якість, гарний смак і почуття стилю. Продукція бренду не поступається виробам кращих світових виробників, відповідаючи всім стандартам якості. Бренд орієнтований на внутрішній ринок і експорт, цінова категорія: середня і висока. Цільова аудиторія – діти від 1 до 10 років. Асортимент: зимовий, демісезонний верхній одяг, літній одяг, головні убори, рукавички. Продукція представлена у двох модних лінійках: перша для дітей від 12 місяців до 2 років, де увага приділена комфорту, безпеки малюка і підбору гіпоалергенних матеріалів; друга – речі для дітей віком 2...10 років.

Для виробництва дитячого одягу часто застосовуються новітні технологічні розробки, використовуються тільки найкращі матеріали як натуральні, так і штучні. Перевірені часом технології від DuPont, такі як Teflon – спеціальне покриття верхньої тканини і використання тканини Cordura в місцях особливого зносу роблять верхній одяг дуже стійким до екстремальних ігор, а догляд за виробом легшим. Підкладка – фліс. Кількість утеплювача Polyfil в зимовому одязі: в куртці – 270 г, в напівкомбінезоні або штанах – 240 г); у весняному одязі в куртці – 60 г, в штанах немає. Температурний режим: "зима" від -5°С до -30°С; "весна" від +5°С тепла [3–5].

Звичайно в роботі розглянуто далеко не всі популярні закордонні бренди дитячого зимового одягу. Проте варто відзначити, що в останні роки в Україні з'являється все більше вітчизняних виробників зокрема і верхнього зимового одягу, що вже встигли стати популярними в межах країни, а деякі успішно експортують свою продукцію в Європу. Для проведення аналізу обрано українські бренди, що найчастіше представлені в Інтернет-магазинах, та мають досвід успішної роботи не менше 6 років, зокрема: ТМ Бембі (м. Хмельницький), ТМ BabyLine (м. Київ), ТМ «Одягайко» (м. Рівне, м. Миколаїв), ТМ "Модний карапуз" (м. Харків), ТМ ZALEXA (м. Харків), ТМ "Garden baby" (м. Київ), ТМ «DC kids» (м. Тернопіль).

ТМ Бембі (Bembi) – ведучий український виробник дитячого одягу з найширшим асортиментом – понад 400 моделей в 9 групах, виготовляє одяг від білизни до верхнього одягу з перших днів життя дитини і до 7 років. На ринку з 1998 року. Одяг під брендом «Бембі» користується заслуженою любов'ю і популярністю не тільки в Україні, але і в Росії, Білорусі, Молдові. Товари сертифіковані в Україні та Митному Союзі. Під час виготовлення використовуються якісні екологічні фарби та безпечні матеріали, що мають сертифікат Oeko-Tex® Standard 100, фурнітура – безнікелева. Під час пошиття зимового одягу використовують спеціальний матеріал – Comfort Cold і утеплювач німецького виробництва «Freudenberg», який відрізняється винятковим теплозахистом, відновлюваністю форми (навіть після регулярного прання) та європейською якістю. Зимовий одяг розраховано на морози до -20° С. Двічі на рік ТМ Bembi випускає нові ексклюзивні колекції "Осінь і зима" і "Весна і літо". Цінова категорія фірми «Бембі»: висока і середня [6].

Компанія «**Baby Line**» заснована у 2004 році і вже надійно закріпилася на вітчизняному ринку товарів для дітей в сегменті дитячий верхнього одягу, відома не тільки в Україні, але і в Росії. Одяг від «Baby Line» відповідає кращим європейським стандартам якості, незважаючи на те, що з 2008 року виробничі потужності фірми перенесені в Китай. Бренд відрізняється широким розмаїттям своєї продукції, гнучкою, відмінно продуманою ціною політикою і приємною палітрою кольорів. У 2015 році «Baby Line» випускає лінію Термолін зимового та весняного дитячого одягу, використовуючи яскравий дизайн принтів, нанесених на мембранну тканину з високими показниками водостійкості і терморегуляції. Весь одяг проходить ретельний технологічний контроль на фабриці і має всі необхідні сертифікати і гігієнічні висновки. Компанія «Baby Line» займається виготовленням повного спектру дитячого одягу ТМ Кроша, Libellule, Xstreet. Цінова категорія продукції «Baby Line»: середня [7].

ТМ «Одягайко» (ПП "Фірма МІС") – виробник модного та практичного одягу для дітей і підлітків від 1 до 14 років. Сьогодні випускає до 300 моделей в рік. Для виготовлення одягу використовуються лише якісні і натуральні матеріали, що відповідають вимогам українських і європейських стандартів, що підтверджено висновком державної експертизи. ТМ «Одягайко» виготовляє верхній одяг: куртки демісезонні та зимові; плащі; шуби зі штучного хутра; штани та напівкомбінезони на флісовій підкладці; утеплені комбінезони; сарафани; спідниці; штани; шорти; бриджі. З 2008 року випускається лінія виробів із джинсових тканин. Моделі ТМ «Одягайко» відповідають вітчизняним розмірним стандартам. Бренд орієнтовано на внутрішній ринок. Цінова категорія: середня і низька [8].

ТМ "Модний карапуз" – український виробник дитячого одягу, що вже 12 років спеціалізується на виробництві верхнього дитячого одягу, головних уборах, трикотажних виробів для дітей від народження до 5 років. Продукція проходить кілька етапів контролю якості, якість продукції підтверджена сертифікатами державного зразка, безпека і відповідність стандартам якості наших товарів відзначені Міністерством охорони здоров'я та Державним центром сертифікації та контролю якості продукції. Зимовий асортимент широко представлений зимовими конвертами, комбінезонами для дітей до 2 років і комплектами. Комбінезони виготовляють на овчині, холофайбері та утеплювачі Poly Tex (для морозів до -25°С) [9].

ТМ "Garden baby" заснований у 2013 році, але вже відомий в Україні виробник дитячого одягу, особливо для новонароджених. Проте щорічно виробництво розширюється, асортимент продукції налічує речі для новонароджених з трикотажу, а також демісезонний і зимовий одяг для дітей від 1 до 10 років. Бренд використовує тільки якісні тканини і фурнітуру виробництва Німеччини та Польщі. Якість товарів підтверджена сертифікатами "Oeko-tex standard 100", "Дружній для людини", "Безпека для дітей", "Безпека для немовлят". Зимові комбінезони для немовлят виготовляють з водо- і вітронепроникної плащової тканини з утеплювачем з штучного пуху 200 г/м і підкладкою з флісу, такий одяг розраховано на температурний режим до -20°С. Зимові комплекти для дітей від року виготовляють з мембранної тканини з

водостійким напиленням в 5000 мм, з утеплювачем термолофт 150–200 і підкладкою з флісу на ділянці тулуба, що зберігає тепло дитини при температурах 0...-25°C. Бренд орієнтовано на внутрішній ринок. Особливості: модний дизайн, капюшон відстібається, внизу штанів є силіконовий захист від снігу, присутні світло відбивні елементи, низька ціна за гарної якості [10].

Компанія «DC kids» – перспективна молода компанія на ринку верхнього одягу з 2013 року. За час існування випустили 5 колекцій зимового та демісезонного верхнього одягу. В колекціях дотримуються модних тенденцій та використовують тільки якісні комплектуючі. Зимова колекція 2017-2018 пошита з нових тканин з PV мембраною, що дозволяє верхньому одягу бути водонепроникним та водночас «дихати» і забезпечує правильну терморегуляцію тіла. Відгуки про якість продукції лише позитивні, ціни – нижче середнього [11].

З метою порівняти вартість на готовий утеплений дитячий одяг від різних виробників та визначити рейтинг найбільш і найменш дороговартісних, в таблиці 1 зведено дані співвідношення цін (на прикладі окремих видів одягу) за даними українських інтернет-магазинів. Враховуючи, що аналіз цін проводився у період сезонних скидок на товари колекцій "осінь-зима", а ціни на одяг одного бренду в різних магазинах значно відрізняються, то для забезпечення об'єктивності даних ціни вказано з розмахом від мінімального до максимального значення.

Таблиця 1

Ціни на окремі види утепленого дитячого одягу різних виробників

Ціна * за видом одягу, \$	Бренд	Рівень цін	Reima	Lassie	Gusti	Huppa	Didriksons	Deux par Deux	Nano	Бембі	Baby Line	Одягайко	Модний карапуз	Garden baby	DC kids
			min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min
Комбінезон-трансформер, розмір 74–80		min	54	48	80	80	97	82	75	27,7	51,6	26,8	32	52,5	26,8
		max	70,5	89,5	139	124	122	147	117	77	86,3	63	58	76,6	32,7
Суцільний зимовий комбінезон, розмір 104		min	50	65	-	104	95	151	-	-	-	-	-	-	-
		max	114	102	-	148	138	184	-	-	-	-	-	-	-
Зимовий комплект, розмір 104		min	142	89	87	99	60	89,5	47,8	34	69,7	29	42	61,5	44
		max	175	116	149	160	84	215	67	81	89,5	46	58	87	66
Зимова куртка, розмір 134		min	81	78	95,5	60	65	140	60	52,5	50,7	33	31	42,6	28,3
		max	133	108	129	146	95	166	82	60	88,3	47	63	68	45,5
Демісезонна куртка, розмір 134		min	60	48	47,6	56	50	-	45	15,5	43,3	11,6	20	23	24,7
		max	95	84	64	103	78	-	60	35	72	24	30	26,5	30

Примітка * – ціна вказана в доларах США за курсом НБУ на 16.07.2019 за даними Інтернет-магазинів

Варто відмітити, що в асортименті товарів українських виробників, а також Gusti і Nano відсутній такий вид одягу, як суцільний зимовий комбінезон для дітей від 2 до 7 років, натомість перевага віддається комплектам із куртки і напівкомбінезону. Так само, серед товарів бренду "Deux par Deux" неможливо знайти окремо демісезонну куртку для дітей віком від 7 до 10 років, альтернативно для даної категорії пропонується велика кількість модних моделей плащів і пальто для дівчаток, і комплектів (куртка і штани) для хлопчиків.

Дані таблиці 1 дозволяють встановити позицію виробників на ринку України за ціновою політикою в трьох категоріях: висока, середня і низька вартість товару. Аналіз показує, що до першої категорії з високою вартістю товару входять закордонні бренди "Deux par Deux", "Huppa" і "Reima", а до категорії з низькою вартістю товарів належать українські бренди: "Одягайко", "DC kids" і "Модний карапуз". Решту представлених брендів дитячого одягу можна віднести до категорії товарів середньої вартості.

Висновки

Проведений аналітичний огляд ринку дитячого зимового одягу дозволяє зробити порівняльний аналіз якості продукції. Встановлено, що зимовий одяг для дітей значно відрізняється за якістю, властивостями матеріалів і тканин, конструктивними рішеннями та технологією виготовлення, а також ціновою політикою. Звичайно одяг від закордонних брендів відрізняється вищою якістю, є значно дорожчим і не завжди доступний для більшості українських споживачів (особливо коли в родині є декілька маленьких дітей). З іншого боку, тепер практично у всіх є можливість придбання брендівих товарів за доступними цінами, адже відомі бренди і просто інтернет-магазини одягу часто влаштовують сезонні розпродажі та акції. Водночас все більшу конкуренцію світовим брендам одягу складають вітчизняні виробники, які намагаються дотягнути рівня якості закордонних колег, впроваджують у виробництво новітні технології та матеріали та є більш доступними за ціною. Таким чином, ринок дитячого зимового одягу в Україні є дуже різноманітним, а у виборі товару завжди є альтернатива.

Література

1. Платонова А. Г. Визначення основних факторів, що впливають на вибір дитячого одягу батьками, та тривалість використання кожного шару одягу протягом доби [Електронний ресурс] / А. Г. Платонова, Н. Я. Яцковська, К. С. Шкарбан, Г. М. Саєнко // Довкілля та здоров'я. – 2017. – № 4 (84). – С. 73–77. – Режим доступу : <https://cyberleninka.ru/article/n/viznachennya-osnovnih-faktoriv-scho-vplivayut-na-vibir-dityachogo-odyagu-batkami-ta-trivalist-vikoristannya-kozhnogo-sharu-odyagu>
2. 15 лучших фирм детских комбинезонов – рейтинг 2019 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://markakachestva.ru/best-brands/1470-luchshie-firmy-destkih-kombinezonov.html#name1>
3. Обзор лучших брендов демисезонной и зимней детской одежды: Карапуз PRO [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://karapuzpro.ru/detskie-tovary/detskaya-odezhda/obzor-luchshix-brendov-demisezonnoj-i-zimnej-detskoj-odezhdy.html>
4. Обзор самых популярных брендов верхней детской одежды: Зимняя детская одежда из Финляндии [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.babyblog.ru/community/post/perambulator/3181557>
5. Mozaika: брендовая детская одежда. Бренды [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://mozaika.kiev.ua/brands.html>
6. Официальный Интернет-магазин ТМ "БЕМБИ" [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://shop.bembi.ua/catalog-sale.html>
7. Baby Line, Бэйби Лайн: Relook. Каталог брендов [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.relook.ru/brand/Baby-Line.html>
8. Одягайко: Одяг для вашої родини [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://odyagayko.mk.ua/index.php>
9. Детские товары от производителя Модный карапуз: Avtopups : интернет магазин детских товаров. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://avtopups.com.ua/vender/modnyj_karapuz
10. Интернет магазин детской брендовой одежды Garden baby [Электронный ресурс]. – Режим доступу : <https://gardenbaby.com.ua>
11. DC kids: дитячий одяг від українського виробника [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://dckids.com.ua>

References

1. Platonova A. H. Vyznachennia osnovnykh faktoriv, shcho vplyvaiut na vybir dytiachoho odiahu batkamy, ta tryvalist vykorystannia kozhnoho sharu odiahu protiahom doby [Elektronnyi resurs] / A. H. Platonova, N. Ya. Yatskovska, K. S. Shkarban, H. M. Saienko // Dovkillia ta zdorovia. – 2017. – № 4 (84). – S. 73–77. – Rezhym dostupu : <https://cyberleninka.ru/article/n/viznachennya-osnovnih-faktoriv-scho-vplivayut-na-vibir-dityachogo-odyagu-batkami-ta-trivalist-vikoristannya-kozhnogo-sharu-odyagu>
2. 15 luchshih firm detskih kombinezonov – rejting 2019 [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa : <http://markakachestva.ru/best-brands/1470-luchshie-firmy-destkih-kombinezonov.html#name1>
3. Obzor luchshih brendov demisezonnoj i zimnej detskoj odezhdy: Karapuz PRO [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa : <http://karapuzpro.ru/detskie-tovary/detskaya-odezhda/obzor-luchshix-brendov-demisezonnoj-i-zimnej-detskoj-odezhdy.html>
4. Obzor samyh populyarnyh brendov verhnej detskoj odezhdy: Zimnyaya detskaya odezhda iz Finlyandii [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa : <https://www.babyblog.ru/community/post/perambulator/3181557>
5. Mozaika: brendovaya detskaya odezhda. Brendy [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa : <http://mozaika.kiev.ua/brands.html>
6. Oficialnyj Internet-magazin TM "BEMBI" [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa : <http://shop.bembi.ua/catalog-sale.html>
7. Baby Line, Bejbi Lajn: Relook. Katalog brendov [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa : <https://www.relook.ru/brand/Baby-Line.html>
8. Odiahaiko: Odiah dlia vashoi rodiny [Elektronnyj resurs]. – Rezhym dostupa : <http://odyagayko.mk.ua/index.php>
9. Detskie tovary ot proizvoditelya Modnyj karapuz: Avtopups : internet magazin detskih tovarov. [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa : http://avtopups.com.ua/vender/modnyj_karapuz
10. Internet magazin detskoj brendovoj odezhdy Garden baby [Elektronnij resurs]. – Rezhim dostupu : <https://gardenbaby.com.ua>
11. DC kids: dytiachyi odiah vid ukrainskoho vyrobnyka [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <https://dckids.com.ua>

Рецензія/Peer review : 24.05.2019 р.

Надрукована/Printed : 23.07.2019 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Захаркевич О.В.

ВПЛИВ РІДИННО-АКТИВНОГО СЕРЕДОВИЩА НА ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

У статті розглянуто проблеми, пов'язані з наданням вовняним тканинам об'ємної форми, а саме їх здатність до формування. Автором проведено дослідження властивостей текстильних матеріалів в умовах різного середовища формування. В результаті експерименту визначено залежність величини повної абсолютної деформації текстильних матеріалів від середовища формування. У результаті аналізу експериментальних досліджень визначено раціональне середовище формування для обраних тканин.

Ключові слова: фізико-механічні властивості, формування, раціональні параметри, об'ємна форма, вовняні тканини.

M. O. KUSHCHEVSKYI, J. V. KOSHEVKO

Khmelnitskyi National University

THE INVESTIGATION OF RATIONAL PARAMETERS OF THE FORMING PROCESS OF WOOL FABRICS USING SPATIAL VIBRATION

The article deals with the problems associated with giving wool fabrics a volumetric shape, namely their ability to mold. The author researches the properties of textile materials in the conditions of different medium of formation. As a result of the experiment, the dependence of the total absolute deformation of the textile materials on the forming medium is determined. As a result of the analysis of the experimental studies, a rational formation medium for the selected tissues was determined. The influence of liquid-active agent and solution of polyvinyl alcohol of different concentration on the physical-mechanical properties of coat tissues was investigated. The obtained results confirm the ability and feasibility of using of the proposed working agent on the operations of forming and form-fixing and the possibility of complex technology of these operations. Forming and molding operations with using of a fluid-active agent were made within the temperature range of 60–80°C, which significantly saves energy costs.

Keywords: physical-mechanical properties, formation, rational parameters, bulk form, woollen fabrics.

Вступ

Тілобудова людини представляє собою складну просторову форму. Такі форми необхідно покрити готовим виробом. Можливість покриття таких поверхонь значною мірою залежить від формувальної здатності текстильних матеріалів, що формуються. Формування, в свою чергу, може виконуватися шляхом механічного, фізико-механічного і фізико-хімічного впливу на напівфабрикат [1]. Відповідно до цього в практиці широке застосування знайшли три методи формотворення: конструктивний, шляхом впливу на «грубу структуру» та «тонку структуру» швейних матеріалів. З метою зменшення матеріальних витрат та підвищення продуктивності праці необхідно досягати об'ємних форм шляхом волого-теплової обробки (ВТО), тобто конструктивний метод звести до мінімуму. Так, на кафедрі ТКШВ Хмельницького національного університету запропоновано, на прикладі головних уборів з тканих матеріалів, трикотажу, досягати об'ємної форми. Технологію виготовлення такої складної форми пропонується виконувати шляхом ВТО, тобто впливу на «тонку» та «грубу» структуру матеріалу. Розроблено спосіб, на якому ґрунтується технологія формотворення об'ємних форм, де як робоче середовище використовується рідина [2].

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Формотворення методом впливу на «грубу» та «тонку» структуру матеріалу виконується з допомогою способів формування, в основу досягнення яких покладено різну фізичну сутність і відповідно обладнання, яке їх реалізує. Величина та напрям дії силового поля залежить від матеріалу, що деформується (формується), параметрів робочих середовищ, умов їхньої подачі, конструкції формуютьчих органів та механізмів взаємодії в системі «робочий орган – тканина» [2].

В умовах впливу на матеріал робочого середовища (пари, нагрітого повітря) відбувається послаблення і навіть розрив окремих хімічних зв'язків, та наступне їх утворення на етапі стабілізації форми. Зміна властивостей полімерних матеріалів у процесі ВТО відбувається під впливом вологи, тепла та формуючих навантажень. В ході використання класичної технології ВТО застосовують досить високі температури, що потребують значних енергетичних витрат і часто призводять до погіршення якості тканин, що обробляються.

Серед операцій ВТО значне місце в технологічному процесі виготовлення деталей та готових виробів займають операції формування. Кінцевою операцією формування об'ємних форм є створення стійкої форми на весь період експлуатації виробу за умови, що ця форма буде постійно протистояти дії навколишніх факторів: механічних деформацій, пранню, хімічному чищенню тощо. Стійкість форми значною мірою залежить від способу формування та додатково створених у процесі формування зовнішніх зв'язків.

У першому випадку ця задача розв'язується за рахунок використання різних способів формування. Формування деталей швейних виробів виконується методами, в основу яких покладено статичне чи динамічне навантаження деформування тканини. Статичне навантаження забезпечує отримання просторової

форми в основному за рахунок зміни лінійних розмірів волокон, ниток, тканини в цілому і частково зі зміною сітчастих кутів. Це пов'язано з малою активністю «грубої» структури матеріалу тому, що остання затиснута між двома поверхнями: підошвою праски і прасувальним столом, між нижньою та верхньою подушками преса. Деформації отримані таким способом характеризуються значними релаксаційними процесами, тому що вони утворені за рахунок зміни лінійних розмірів волокон, ниток і тканини та часткової зміни сітчастого кута.

Серед альтернативних шляхів пошуку способів формування головне місце займають динамічні методи. Динамічні методи впливу на полімерні матеріали в силу своєї природи активізують «грубу» структуру матеріалу та забезпечують сприятливі умови отримання просторової форми деталей одягу за малих навантажень [2]. Ефективність технологій, які ґрунтуються на динамічних методах формування, забезпечує утворення форми за рахунок зміни сітчастих кутів при мінімальній зміні лінійних розмірів тканини. Незалежно від способу отримання форми деталей одягу, в подальшому її потрібно закріпити шляхом нанесенням клейових суспензій з метою утворення нових зовнішніх зв'язків.

У результаті пошуку [4] нового ефективного способу формування складних об'ємних форм було запропоновано в процесі ВТО використовувати рідинно-активне середовище (РАС). В якості середовища використовувалась технічна вода, але можливе використання розчинів апретів [5]. Активне середовище тому, що виконує функції пластифікатора, теплоносія та динамічного навантаження. Відповідно створюються умови для розробки комплексної технології формування та формозакріплення деталей швейних виробів в рідинно-активному середовищі.

Мета і завдання дослідження

Оскільки створення форми здійснюється у РАС комплексно поєднуючи операції формування та формозакріплення, то необхідно підтвердити, що в даному середовищі можливо здійснити процес формування з наступним формозакріпленням деталей швейних виробів.

Виклад основного матеріалу

Відповідно до мети, для здійснення даних досліджень необхідно розглянути деформаційну поведінку матеріалу, визначити повну абсолютну деформацію та її складові, дослідити релаксаційні процеси, які відбуваються в матеріалі. Дослідження проведено на напіввовняній пальтовій тканині удосконаленим методом стійки з можливістю занурення зразка матеріалу в середовище формування [6].

Враховуючи особливості середовища формування, вибрано розчинні у воді клеї: полівініловий спирт (ПВС), полівінілбутираль (ПВБ), полівінілформаль (ПВФ). Попередньо проаналізовано вплив розчинів на основні фізико-механічні властивості матеріалів: розривальне навантаження та видовження, незминальність, жорсткість, стійкість до тертя, гігроскопічність, водопоглинання, маса проби. Згідно з [7] для подальших досліджень вибрано розчин ПВС концентрацій 2,4,6%.

Методика визначення повної абсолютної деформації та її складових є стандартною [6]. Результати досліджень показують, що відсоток повної абсолютної деформації в розчині клею значно збільшується в порівнянні з технічною водою на 12, 13, та 15% відповідно по нитці основи. Подальше збільшення концентрації клею в розчині забезпечує зростання повної деформації. Розчин клею має більшу в'язкість ніж вода і зменшує коефіцієнт тертя між волокнами та нитками, що підтверджує думку автора про те, що робоче середовище пластифікує матеріал. Тобто розчин клею потрапляє в місце перетину ниток різних систем і тим самим зменшує коефіцієнт тертя між ними, покращує деформаційні властивості тканини в цілому. Діаграма зміни повної абсолютної деформації в досліджуваних середовищах для пальтової тканини представлена на рис. 1.

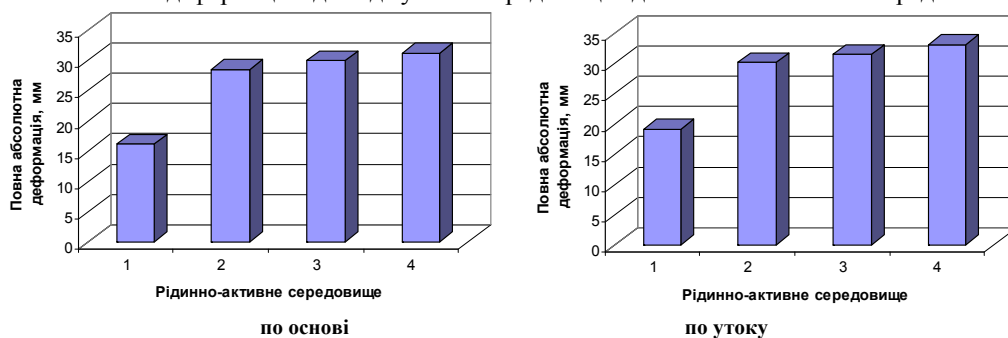


Рис. 1. Гістограма зміни повної абсолютної деформації досліджуваного матеріалу в рідинно-активних середовищах (середовище 1–4 відповідно таблиці 1)

Для процесів формування вартою уваги є залишкова, тобто пластична, деформація, яка забезпечує стійкість в часі отриманих деформацій. Зміна середовища потребує вивчення складових повної деформації, що дозволить вибрати оптимальний склад РАС для формування. Аналогічно дослідженням [2] проведено вивчення складових повної деформації тканини пальтової групи в середовищі розчину ПВС 2, 4, 6%, які представлені на рис. 2.

З гістограм видно, що частка пластичної деформації в розчині ПВС зростає на 10–12% в порівнянні з технічною водою. Ріст пластичної частки деформації вказує на те, що в даному середовищі проба текстильного матеріалу набуває деформацій більш стійких аніж у технічній воді.

Складові частини повної деформації досліджуваного матеріалу

Назва матеріалу	Рідинно-активне середовище	Повна абсолютна деформація, ϵ , мм	Складові повної деформації, мм (%)		
			пружна $\epsilon_{пр} (\Delta\epsilon_{пр})$	еластична $\epsilon_{ел} (\Delta\epsilon_{ел})$	пластична $\epsilon_{пл} (\Delta\epsilon_{пл})$
Тканина пальтова	нитка основи	1 - Тех. Вода	3,6 (22,2)	3,65 (22,5)	8,95 (55,2)
		2 - ПВС 2%	6,3(22,1)	4,0(14,03)	18,2(63,8)
		3 - ПВС 4%	6,5(21,7)	2,8(9,36)	20,6(68,8)
		4 - ПВС 6%	7,1(22,7)	1,3(4,1)	22,8(73,07)
	нитка утку	1 - Тех. Вода	5,0 (26,1)	4,3 (22,5)	9,8 (51,3)
		2 - ПВС 2%	7,5(24,9)	2,2(7,3)	20,4(67,7)
		3 - ПВС 4%	6,1(19,36)	2,0(6,34)	23,4(74,28)
		4 - ПВС 6%	5,7(17,2)	1,3(4,0)	26,1(78,85)

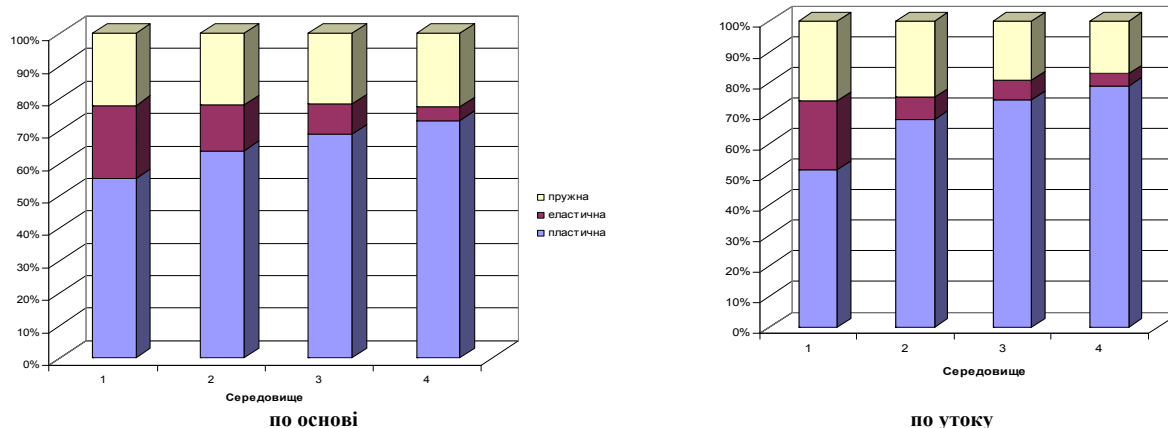


Рис. 2. Складові повної деформації досліджуваного матеріалу в рідинно-активних середовищах (середовище 1–4 відповідно таблиці 1)

Визначивши повну абсолютну деформацію та її складові необхідно дослідити релаксаційні процеси, які можуть бути спричинені РАС. Методика визначення релаксаційних процесів є стандартною [6]. Отримані результати рис. 3 показують, що запропоноване робоче середовище значно покращує повну деформацію і при цьому клей, який є в розчині, фіксує новоутворені зв'язки на молекулярному рівні і тим самим зменшує релаксацію в порівнянні з технічною водою.

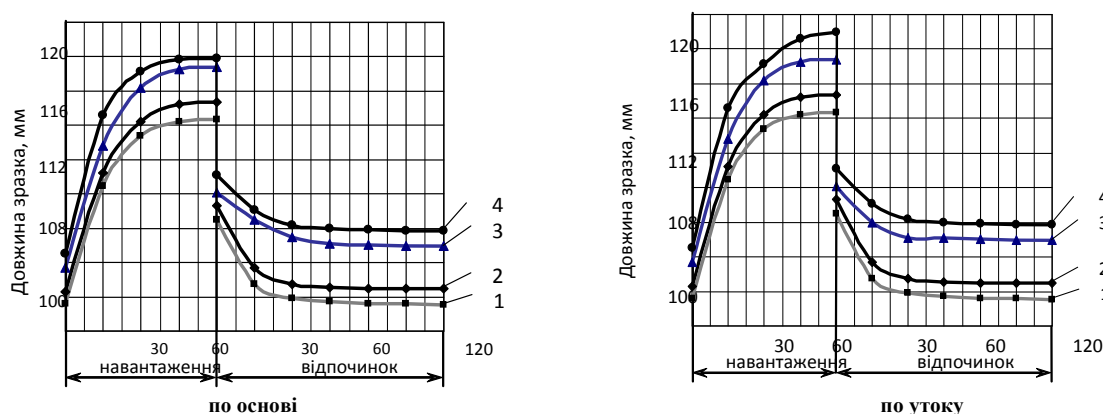


Рис. 3. Релаксаційні процеси досліджуваного матеріалу в адсорбційно-активних середовищах (середовище 1–4 відповідно таблиці 1)

Оскільки формування та формозакріплення може здійснюватися комплексно, то відповідно скорочуються трудові затрати, даний процес дає можливість скоротити енергетичні витрати також. За класичною технологією ВТО температурні межі складають 110–160°C [7]. Даний процес формування дає можливість знизити температурне поле до 80°C. Тому виконано дослідження температурних меж, в яких можлива реалізація процесу.

Графічна залежність рис. 4 показує, що формування з одночасним формозакріпленням може бути виконане при 60–80°C. Фіксація отриманої форми – сушіння – залежно від способу також може бути проведена в межах таких температур.

Отримані результати підтверджують теоретичне припущення автора, що в запропонованому середовищі можливо комплексно здійснювати процес формування та формозакріплення.

Висновки

Досліджено вплив рідинно-активного середовища і розчину полівінілового спирту різної концентрації на фізико-механічні властивості пальтових тканин. Отримані результати підтверджують можливість і доцільність використання запропонованого робочого середовища на операціях формування та формозакріплення і можливості комплексної технології вказаних операцій. Операції формування та формозакріплення з використанням рідинно-активного середовища виконано в межах температур 60–80°C, що суттєво економить енергетичні витрати.

The influence of liquid-active agent and solution of polyvinyl alcohol of different concentration on the physico-mechanical properties of coat tissues was investigated. The obtained results confirm the ability and feasibility of using of the proposed working agent on the operations of forming and form-fixing and the possibility of complex technology of these operations. Forming and molding operations with using of a fluid-active agent were made within the temperature range of 60–80°C, which significantly saves energy costs.

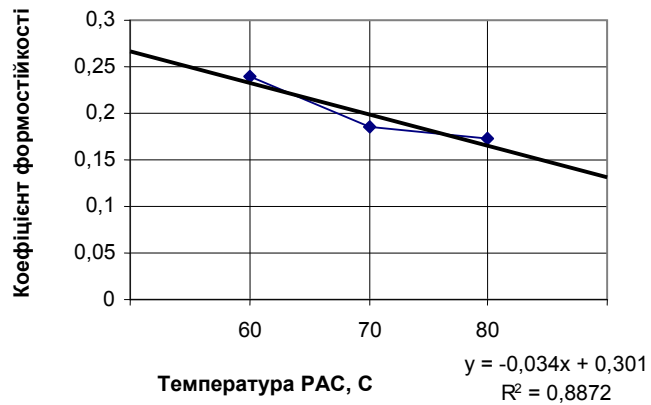


Рис. 4. Залежність коефіцієнту формостійкості від температури робочого середовища

Література

1. Смирнова Н.А. Влияние вида переплетения льносодержащих тканей на их способность к формообразованию / Н.А. Смирнова // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 1997. – № 3. – С. 12–14.
2. Березненко М.П. Нетрадиційні методи формування та формозакріплення деталей одягу / В.В. Корзун, В.О. Слободянюк, С.М. Березненко // Легка промисловість. – 1994. – № 3. – С. 29–30.
3. Куцевський М.О. Дослідження фізичної сутності способу формування текстильних матеріалів / М.О. Куцевський, М.П. Березненко // Вісник Технологічного університету Поділля. – 2003. – № 5. – С. 100–105.
4. Буханцова Л.В. Механізм гідродинамічного формування деталей швейних виробів / Л.В. Буханцова // Вісник Хмельницького національного університету. – 2010. – № 5. – С. 19–24.
5. Кошево Ю.В. Розробка обладнання для реалізації процесу формування та закріплення форми головок головних уборів з тканин / Ю.В. Кошево, М.О. Куцевський, Д.В. Прибега // Вісник Хмельницького національного університету. – 2012. – № 5. – С. 83–87.
6. Войтюк М.В. Універсальна установка для реалізації процесу формування технологією «змінних тисків» / М.В. Войтюк, М.О. Куцевський, І.О. Сідлецький, Ю.В. Кошево // Вісник Хмельницького національного університету. – 2013. – № 5. – С. 43–52.
7. Адлер Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. – М. : Наука, 1976. – 279 с.

References

1. Smirnova N.A. Vliyanie vida perepleteniya lnosoderzhashih tkanej na ih sposobnost k formoobrazovaniyu / N.A. Smirnova // Izvestiya vuzov. Tehnologiya tekstilnoj promyshlennosti. – 1997. – № 3. – S. 12–14.
2. Bereznenko M.P. Netradytsiini metody formuvannia ta formozakriplennia detalei odiahu / V.V. Korzun, V.O. Slobodianiuk, S.M. Bereznenko // Lehka promyslovist. – 1994. – № 3. – S. 29–30.
3. Kushchevskiy M.O. Doslidzhennia fizychnoi sutnosti sposobu formuvannia tekstylnykh materialiv / M.O. Kushchevskiy, M.P. Bereznenko // Visnyk Tekhnolohichnoho universytetu Podillia. – 2003. – № 5. – S. 100–105.
4. Bukhantsova L.V. Mekhanizm hidrodinamichnoho formuvannia detalei shveinykh vyrobiv / L.V. Bukhantsova // Herald of Khmelnytskyi National University. – 2010. – № 5. – S. 19–24.
5. Koshevko Yu.V. Rozrobka obladnannia dlia realizatsii protsesu formuvannia ta zakriplennia formy holovok holovnykh uboriv z tkanyn / Yu.V. Koshevko, M.O. Kushchevskiy, D.V. Prybeha // Herald of Khmelnytskyi National University. – 2012. – № 5. – S. 83–87.
6. Voitiuk M.V. Universalna ustanovka dlia realizatsii protsesu formuvannia tekhnolohiiieu «zminnykh tysktiv» / M.V. Voitiuk, M.O. Kushchevskiy, I.O. Sidletskiy, Yu.V. Koshevko // Herald of Khmelnytskyi National University. – 2013. – № 5. – S. 43–52.
7. Adler Yu.P. Planirovanie eksperimenta pri poiske optimalnyh uslovij / Yu.P. Adler, E.V. Markova, Yu.V. Granovskij. – M. : Nauka, 1976. – 279 s.

Рецензія/Peer review : 25.05.2019 р.

Надрукована/Printed : 23.07.2019 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

ВЛАСТИВОСТІ ТРИКОТАЖНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ КОМПРЕСІЙНИХ ВИРОБІВ

Необхідний тиск на тіло людини забезпечується такими властивостями полотна як розтяжність та пружність, а також конструктивними особливостями самих виробів: розмірами та формою. Переважна більшість досліджень еластичних матеріалів стосується визначення їх деформаційних властивостей за діаграмами розтягування, а також при випробуваннях за циклом навантаження - розвантаження - релаксація. Метою роботи є дослідження параметрів структури та властивостей осново'язаного еластичного полотна утокового переплетення, яке вироблено на машині 18 класу з поліефірних ниток з прокладанням еластомерних ниток у якості повздовжнього утоку за рапортом 2:1. Дане полотно призначене для застосування у якості тасьм бандажних виробів реабілітаційного та профілактичного призначення. Вміст еластомерної нитки в трикотажі варіювали ступенем її попереднього видовження перед входом до зони в'язання за рахунок зміни співвідношення швидкостей обертання ниткоподаючих валів, яке в даному дослідженні варіювали кількістю зубців ведучої та веденої шестерен в зоні подачі. В результаті спланованого експерименту попереднє видовження еластомерної нитки становило від 280 до 395 %, що призвело до варіювання вмісту еластомеру в межах 52÷45 та 42÷36 % у полотні з поперечним утком лінійної густини 33,4 та 66,8 текс відповідно. У результаті аналізу результатів дослідження параметрів структури та властивостей осново'язаного еластичного полотна встановлено, що лінійна густина нитки поперечного утоку впливає на товщину, щільність по вертикалі та поверхневу густину трикотажу, в той час як попереднє видовження еластомерної нитки перед входом до зони в'язання має суттєвий вплив на переважну більшість досліджуваних властивостей, зокрема повну деформацію вздовж петельних стовпчиків та її швидкооборотну складову.

Ключові слова: еластичний трикотаж, осново'язаний трикотаж, утокове переплетення, компресійні вироби, параметри структури, розтяжність.

O. KYZYMCHUK, L. MELNYK, M. GUSAR, A. LATYSHOVA

Kyiv National University of Technologies and Design

THE PROPERTIES OF KNITTED MATERIALS FOR COMPRESSION GARMENT

The necessary pressure of compress garment on the human body is provided by such fabrics properties as elongation and elasticity, as well as the structural features of the product themselves: size and shape. The studies majority of elastic materials relate to the determination of their deformation properties by tensile diagrams, as well as by tests on the load - unload - relaxation cycle. The purpose of the study is to investigate the structure's parameters and properties of the elastic warp knitted fabric of filling interlooping. All samples of elastic fabric have been produced on 18 gauge machine from polyester yarns with elastomeric filaments as a longitudinal weft which in-layed according to 2: 1 repeat. This elastic fabric is intended for use as supporting products for rehabilitation and prophylactic purposes. The content of the elastomeric yarn in the knitted material is varied by the degree of its pre-elongation before the knitting zone, which in this study have been changed by the teeth number of the drive and driven gears in the feed area. As a result of the planned experiment, the pre-elongation of the elastomeric filament was from 280 to 395%, which resulted in variation of the elastomer content within 52 ÷ 45 and 42 ÷ 36% in the fabrics with a weft inserted yarn of 33.4 and 66.8 tex respectively. As a result of the analysis of the structure's parameters and properties of the elastic warp knitted fabric, it is established that the linear density of the weft yarn influences the thickness, the vertical density and the surface density of the fabric, while the pre-elongation of the elastomer yarn has significant influence on the majority of the investigated properties, including full deformation wale wise and its elastic component.

Keywords: elastic material, warp knitted fabric, filling interlooping, compression garment, structure's parameters, stretchability.

Стан проблеми

Компресійні трикотажні вироби призначені для забезпечення дозованого тиску на ділянку тіла людини. Вироби цієї групи є ефективними функціональними засобами як лікування, так і профілактики ряду захворювань: варикозного розширення вен, наслідків опіків, післяопераційних і посттравматичних набряків [1]. При проектуванні трикотажних виробів компресійного призначення повинно бути забезпечено виконання ряду вимог [2]:

- збереження початкового стану виробів і забезпечення заданого рівня компресії при їх експлуатації;
- гарантія комфортності виробів для споживачів упродовж усього періоду застосування;
- опір напруженням, які виникають у виробках при їх активному використанні.

Високоякісний компресійний виріб це виріб, який здатний зберігати заданий рівень компресії упродовж усього регламентованого періоду експлуатації. Необхідний тиск на тіло людини забезпечується такими властивостями полотна як розтяжність та пружність, а також конструктивними особливостями самих виробів: розмірами та формою. Висока залишкова деформація, значна зміна лінійних розмірів після прання впливають на розміри виробу та структуру трикотажного полотна, що негативно позначається на компресійних властивостях виробів в процесі їх експлуатації.

При експлуатації виробів, які щільно облягають тіло людини та створюють компресійний ефект, високорозтяжний (еластичний) матеріал повторює контури тіла людини та накопичує залишкові деформації в найбільш опуклих місцях. Таким чином, на відміну від статичного навантаження, зі зростанням ступеня розтягування матеріалу відбувається збільшення частки залишкових деформацій на окремих ділянках компресійного одягу та зміна структури матеріалу, що призводить до зміни його властивостей та погіршення зовнішнього вигляду виробу. Тому основним фактором зміни форми і розмірів одягу, зокрема компресійного, є накопичення циклічної залишкової деформації та зміна щільності трикотажу внаслідок зміни товщини полотна [3].

Вивченням характеристик механічних властивостей трикотажних полотен займаються вчені по всьому світові [4–6], що підтверджує велику зацікавленість до проблеми та її актуальність. Результати подібних досліджень можуть використовуватися при конструюванні деталей одягу, його виготовленні, розробці нових матеріалів з поліпшеними властивостями [7].

Так, при виготовленні виробу, який щільно облягає тіло, з високорозтяжних матеріалів деталі викроюються меншого розміру, ніж з матеріалів звичайної розтяжності. При цьому дотримується вимога збереження умов для нормального кровообігу та інших фізіологічних процесів в організмі людини. Гранично допустима величина тиску на тіло людини не повинна перевищувати 1330-2000 Па [3]. В той же час, на ділянці щільного облягання тиск виробу на тіло прямо пропорційний напрузі (σ), що виникає в полотні при розтягуванні, і обернено пропорційний радіусу кривизни (R) контуру поперечного перерізу виробу. Таким чином, при однаковому навантаженні тиск на тіло полотен, які мають різну розтяжність, різний [8].

Тиск, який створює виріб на тіло, є основним показником призначення компресійних трикотажних виробів, який залежить від навантажень, що виникають при розтягуванні трикотажу упродовж експлуатації виробу. Так при дослідженні тиску, який створює еластичний основов'язаний трикотаж на тіло людини встановлено його залежність від параметрів в'язання та умов експлуатації виробу [9]. В результаті реалізації двофакторного експерименту виявлено, що тиск полотна на тіло людини залежить від попереднього видовження еластомерної нитки, а також від видовження полотна та діаметру кривизни поверхні охоплення.

Проектування компресійних виробів зазвичай ґрунтується на аналізі експериментальних залежностей розподіленого навантаження (або напруги) трикотажу від відносної деформації, одержуваних, як правило, при постійній швидкості наростання деформації (діаграм розтягування) [10]. Отже, переважна більшість досліджень еластичних матеріалів стосується визначення їх деформаційних властивостей за діаграмами розтягування, а також при випробуваннях за циклом навантаження – розвантаження – релаксація.

Однак під час експлуатації компресійного виробу тиск на тіло не постійний, а зменшується поступово до деякого рівноважного значення. Автори [11] пропонують прогнозувати деформаційні властивості трикотажного полотна на підставі узагальненої механічної моделі Максвелла, яка характеризується двома середніми термінами релаксації і дозволяє достовірно моделювати процеси релаксації напружень, а також режим розтягування з постійною швидкістю наростання відносного подовження трикотажу для компресійних медичних виробів. Це дозволяє прогнозувати залежність рівноважної складової напруги від деформації. Запропонований метод ідентифікації параметрів механічної моделі передбачає наявність лише однієї кривої релаксації напружень у часі спостереження, порівнянням з часом закінчення уповільнених процесів релаксації напруги, що дозволяє істотно скоротити час випробувань.

Здебільшого деформаційні властивості текстильних матеріалів визначають на підставі одноциклових досліджень за циклом навантаження – розвантаження – релаксація [12]. В результаті отримують показники повної деформації трикотажу при навантаженнях, які менші за розривні, та її складових, а також частки швидкооборотної, повільнооборотної та залишкової деформації в повній. Існує декілька методів визначення деформаційних характеристик текстильних матеріалів, які відрізняються тривалістю та умовами проведення досліджень. Аналіз стандартних методик дослідження деформаційних характеристик еластичного полотна [13] дозволив сформулювати рекомендації щодо ефективності використання кожної з них.

Постановка завдання

Метою роботи є дослідження властивостей основов'язаного еластичного полотна, яке вироблено на основов'язальній тамбурній машині ТСН 18 класу і призначене для застосування у якості тасьм бандажних виробів реабілітаційного та профілактичного призначення.

Об'єкт дослідження. Ґрунтовим переплетенням досліджуваних полотен є ланцюжок, для якого використано поліефірну нитку лінійної густини 16,7 текс. Еластомерну нитку діаметром 0,8 мм вводять в структуру трикотажу як подовжній уток. Для зменшення поверхневої густини трикотажу та витрат еластомерної нитки її прокладають за рапортом 2:1. Для поперечного утоку застосовують поліефірні нитки 16,7 текс, які прокладають в 2 або 4 складень з обох боків полотна для забезпечення поєднання окремих ланцюжків в полотно та надійного перекриття еластомерної нитки в структурі.

Параметри структури та властивості трикотажного полотна, яке містить в структурі еластомерну нитку, залежить, перш за все, від її вмісту, яке можна регулювати як рапортом прокладання, так і ступенем попереднього видовження перед входом до зони в'язання. Попереднє видовження еластомерним ниткам на основов'язальних машинах обраного типу забезпечують співвідношенням швидкості обертання ниткоподаючих валів, яке в даному дослідженні варіювали кількістю зубців шестерен в зоні подачі: ведучої z_1 – 27, 29, 31 та веденої z_2 – 21, 23, 25, в результаті чого отримано 14 варіантів еластичного трикотажу (табл. 1). Інші технологічні умови в'язання (кількість ниток у заправці, натяг ґрунтової та поперечних утокових ниток, сила відтягування полотна) залишалися сталими.

Методи дослідження. Після в'язання усі полотна приведено в умовно-рівноважений стан шляхом відпарювання та відлежування упродовж 24 годин. Параметри структури полотна визначено відповідно до ГОСТ 8845 – 87 (поверхнева густина), ГОСТ 8846 – 87 (кількість петельних стовпчиків та рядів) та ДСТУ ISO 5084 – 2004 (товщина). Дослідження показників розтяжності проводили на релаксометрії стійка відповідно до ГОСТ 16218.9-89 при навантаженні 25 Н, яке обрано за кількістю та діаметром еластомерних ниток в зразку.

Кількість петельних рядів у 100 мм трикотажу є показником, який визначає щільність трикотажу по вертикалі і зворотно залежить від висоти петельного ряду, а отже від довжини повздовжньої еластомерної нитки, яка припадає на одну петлю ланцюжка, що підтверджують отримані графічні залежності (рис. 1.в). Показник зростає зі збільшенням попереднього видовження еластомерної нитки і є більшим у варіантах

полотна, в якому як поперечний уток використано поліефірну нитку лінійною густиною 33,4 текс.

Таблиця 1

Характеристика дослідних зразків трикотажу

№ з/п	Технологічні умови		Попереднє видовження еластомерної нитки, ε , %	Вміст еластомеру в полотні, E , %	
	лінійна густина поперечного утоку	кількість зубців шестерні			
		ведучої z_1			веденої z_2
1	33,4 текс	27	21	280	51.4
2	33,4 текс	27	23	300	49,0
3	33,4 текс	27	25	330	47.4
4	33,4 текс	29	23	330	47.7
5	33,4 текс	29	25	365	45.4
6	33,4 текс	31	23	360	45.3
7	33,4 текс	31	25	395	44.7
8	66,8 текс	27	21	280	41.5
9	66,8 текс	27	23	300	39.8
10	66,8 текс	27	25	330	37.6
11	66,8 текс	29	23	330	38.2
12	66,8 текс	29	25	365	35.8
13	66,8 текс	31	23	360	36.5
14	66,8 текс	31	25	395	36.5

Результати експериментальних досліджень

Результати аналізу сировинного складу еластичних основов'язаних полотен показали (табл. 1), що збільшення попереднього видовження еластомерної нитки, яку використовують як повздовжній уток, від 280 до 395 % призводить до зменшення її вмісту в полотні на 5÷7 %. Це можна пояснити зростанням щільності трикотажу внаслідок релаксації високорозтяжної нитки в структурі полотна. Залежності вмісту еластомерної нитки в трикотажі (E) від його попереднього видовження (ε) перед зоною в'язання може бути описано наступними рівняннями:

для трикотажу з поперечним утком 33,4 текс ($R^2 = 0,94$)

$$E = 67,0 - 0,06 \varepsilon, \% \quad (1)$$

для трикотажу з поперечним утком 66,8 текс ($R^2 = 0,85$)

$$E = 54,1 - 0,05 \varepsilon, \% \quad (2)$$

Результати дослідження параметрів структури еластичного основов'язаного трикотажу, які відображають середні значення 10 паралельних вимірів, наведено у таблиці 2, а відповідні графічні залежності – на рис. 1. Отримані дані показують, що для трикотажного полотна усіх досліджуваних варіантів стабільними є два взаємозалежних параметри: кількість петельних стовпчиків у 100 мм, яка дорівнює 80, та довжина поперечної утокової нитки, яка припадає на 1 петлю і становить у середньому 1,36 мм. Ці показники залежать, головним чином, від голкового кроку, тобто від класу основов'язальної машини, а так як усі зразки вироблено на тому самому обладнанні, то і показник незмінний. Товщина трикотажного полотна є функцією кількості та діаметру ниток, які її утворюють. Отже, в межах проведених досліджень вона залежить лише від лінійної густини (33,4 текс або 66,8 текс) поперечної утокової нитки і становить у середньому 1,35 мм та 1,41 мм відповідно.

Отримані результати показують, що попереднє видовження еластомерної нитки суттєво впливає як на її довжину, яка припадає на одну петлю ланцюжка (рис. 1.а), так і на довжину нитки в петлі ланцюжка (рис. 1.б). Зі зростанням попереднього видовження від 280 до 395 % довжина еластомерної нитки, яка припадає на одну петлю в структурі, зменшується на 10 % незалежно від лінійної густини поперечного утоку. Слід зазначити, що даний параметр у варіантів трикотажу з поперечною утоковою ниткою лінійної густини 33,4 текс на 10 % менший, ніж відповідних варіантів з поперечною утоковою ниткою лінійної густини 66,8 текс. Зростання вхідного параметру призводить, також, до зменшення довжини нитки в петлі ґрунтового переплетення ланцюжок, що можна пояснити зміною напружень в зоні відтягування полотна, адже сила відтягування трикотажу є визначальним параметром довжини нитки в петлі ґрунту на даному типі обладнання. При цьому тенденція більш виражена у трикотажу з поперечним утком 33,4 текс, у якого в межах досліду значення параметру зменшується на 10 %, в той час як при використанні поперечного утоку 66,8 текс – лише на 5 %. Слід зазначити, що при попередньому видовженні еластомера на 280 % довжина нитки в петлі ланцюжка обох варіантів утоку практично однакова, а при видовженні на 395 % відрізняється майже на 10 %. Дані результати можна пояснити збільшенням площі контакту між поперечним утком і еластомерними нитками, внаслідок чого зростають сили тертя, що впливає на ступінь релаксації еластомеру в структурі трикотажу.

Поверхнева густина полотна визначає матеріалоемність трикотажу та вагу кінцевого виробу з нього. Результати проведених досліджень показують (рис. 1.г), що поверхнева густина трикотажу досліджуваних варіантів зростає на 10 % при використанні нитки поперечного утоку подвосної лінійної густини та на 7 % зі збільшенням попереднього видовження еластомерної нитки, що є наслідком, головним чином, збільшення щільності трикотажу по вертикалі. В результаті аналітичної обробки експериментальних даних встановлено аналітичну залежність поверхневої густини еластичного основов'язаного трикотажу від відсоткового вмісту

еластомерної нитки, яка з високою точністю ($R^2 = 0,97$) відображає встановлену тенденцію:

$$m_s = 1148,4 - 9,9 E, \text{ г/м}^2 \quad (3)$$

Таблиця 2

Параметри структури еластичного основ'язаного трикотажу

№ з/п	Вміст еластомер у в полотні, E, %	Кількість у 100 мм петельних		Довжина нитки в петлі, мм			Товщина, M, мм	Поверхнева густина, m_s , г/м ²
		стовпчиків $N_{ст}$	рядів N_p	ланцюжка l_n	поперечного утоку, l_y	повздожнього утоку, l_e		
1	51.4	80	213	5,79	1,36	0,48	1.34	650.4
2	49,0	80	228	5,80	1,36	0,45	1.33	666.4
3	47.4	80	242	5,77	1,36	0,43	1.37	672.8
4	47.7	80	244	5,57	1,36	0,42	1.34	673.6
5	45.4	80	259	5,73	1,37	0,41	1.35	685.2
6	45.3	80	264	5,51	1,37	0,39	1.37	702.4
7	44.7	80	271	5,28	1,36	0,37	1.35	710.8
8	41.5	80	200	5,86	1,36	0,53	1.40	733.2
9	39.8	80	213	5,92	1,36	0,50	1.40	755.6
10	37.6	80	215	5,64	1,36	0,47	1.40	769.6
11	38.2	80	216	5,68	1,35	0,46	1.45	776.0
12	35.8	80	226	5,66	1,36	0,45	1.41	779.6
13	36.5	80	228	5,58	1,35	0,44	1.41	798.8
14	36.5	80	232	5,66	1,36	0,43	1.40	800.4

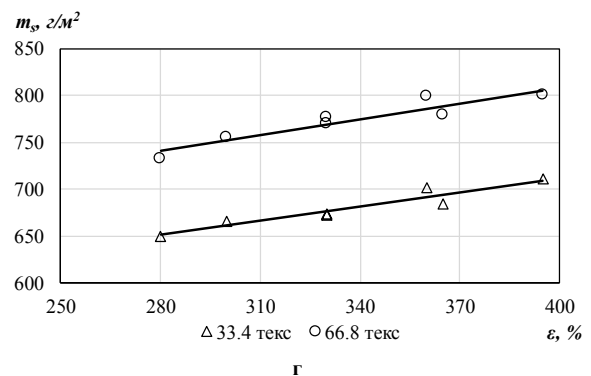
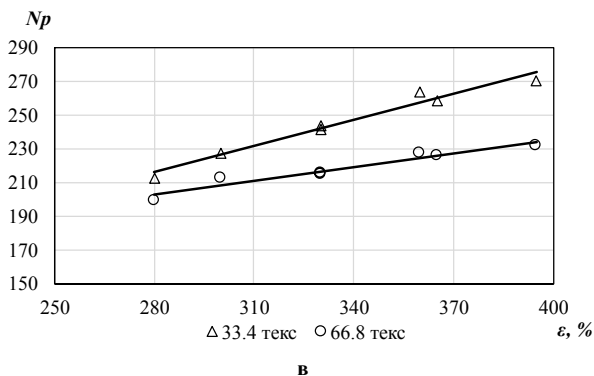
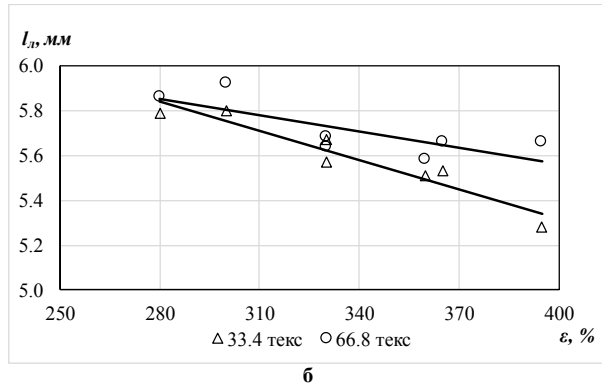
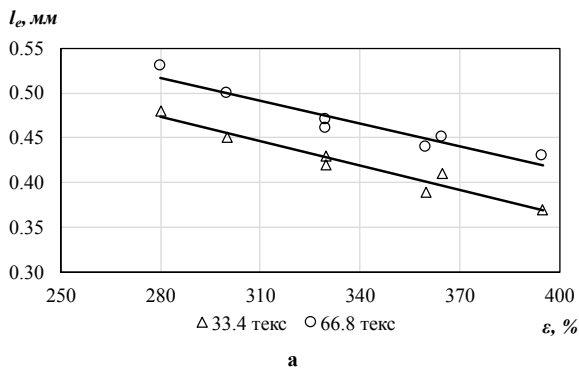


Рис. 1. Залежність параметрів структури від попереднього видовження еластомерної нитки ε: а) довжина еластомерної нитки на 1 петлю ланцюжка; б) довжина нитки в петлі ланцюжка; в) кількість петельних рядів у 100 мм; г) поверхнева густина полотна

В межах проведеного дослідження збільшення вмісту еластомерної нитки в полотні на 15 % призвело до зменшення поверхневої густини трикотажу на 125 г, що становить майже 20 %.

Дослідження деформації трикотажу проводили при розтягуванні полотна вздовж петельних стовпчиків – у напрямку прокладання еластомерної нитки. Для кожного з варіантів проведено по три паралельних досліди. Отримані діаграми зміни довжини зразків у часі показали гарну збіжність результатів, що підтверджує їх достовірність. Середні результати розрахунків повної деформації та її складових наведено у таблиці 3, а графічні зображення залежностей – на рис. 2.

В результаті проведених досліджень встановлено, що повна деформація еластичного основ'язаного трикотажу при розтягуванні уздовж петельних стовпчиків (в напрямку прокладання еластомерної нитки) становить від 120 % до 145 %, що дозволяє використовувати їх у бандажних та інших медичних виробах лікувально-профілактичного призначення. Повна деформація досліджуваних варіантів трикотажу прямопропорційно залежить від попереднього видовження еластомерної нитки і практично не

залежить від лінійної густини поперечної утокової нитки (рис. 2.а). Найбільшу частку (0,85÷0,90) у повній становить швидкооборотна складова (рис. 2.б), значення якої також зростає зі збільшенням рівня попереднього видовження еластомерної нитки.

Таблиця 3

Деформаційні характеристики еластичного основов'язаного трикотажу

№ з/п	Вміст еластомеру в полотні, E , %	Повна деформація, ε_n , %	Складові деформації, %			Частки складових у повній		
			швидкооборотна, ε_1	повільнооборотна, ε_2	залишкова, ε_3	Δ_1	Δ_2	Δ_3
1	51.4	119,3	102,0	14,0	3,3	0,85	0,12	0,03
2	49,0	128,3	111,7	14,3	2,3	0,87	0,11	0,02
3	47.4	127,7	111,0	15,0	1,7	0,87	0,12	0,01
4	47.7	128,0	111,3	14,3	2,3	0,87	0,11	0,02
5	45.4	130,7	114,3	14,7	1,7	0,88	0,11	0,01
6	45.3	128,7	111,3	15,0	2,3	0,87	0,11	0,02
7	44.7	143,0	125,3	14,7	3,0	0,88	0,10	0,02
8	41.5	124,0	105,7	15,7	2,7	0,85	0,13	0,02
9	39.8	134,3	117,7	14,3	2,3	0,88	0,10	0,02
10	37.6	138,3	120,7	15,0	2,7	0,87	0,11	0,02
11	38.2	128,0	112,7	15,0	0,3	0,88	0,12	0,00
12	35.8	138,0	122,7	14,3	1,0	0,89	0,10	0,01
13	36.5	133,0	118,0	14,0	1,0	0,89	0,10	0,01
14	36.5	137,0	122,0	13,7	1,3	0,89	0,10	0,01

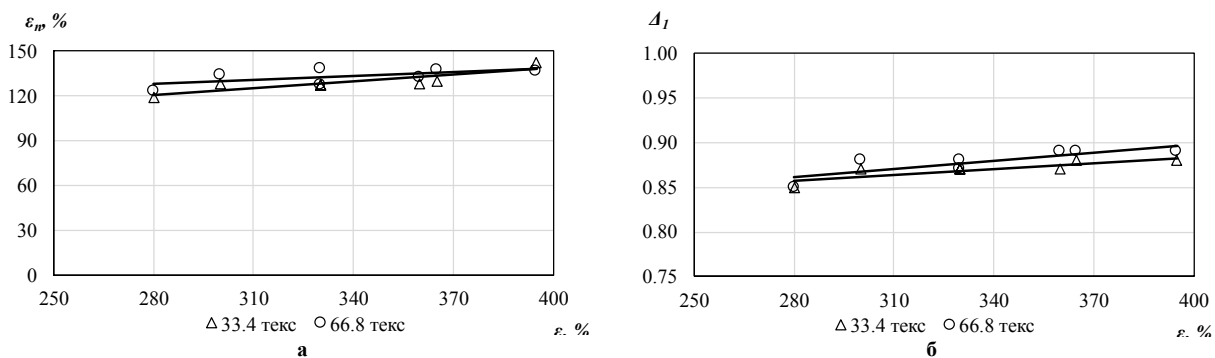


Рис. 2. Залежність деформаційних показників від попереднього видовження еластомерної нитки ε : а) повна деформація; б) частка швидкооборотної складової

Слід зазначити, що залишкова деформація еластичного основов'язаного трикотажу досліджуваних варіантів становить 0,5÷3,5 %. В межах експерименту не встановлено впливу вхідних параметрів на значення залишкової деформації, яка є незначною, а тому не впливатиме на якість лікувально-профілактичних виробів, для виготовлення яких розроблено даний еластичний трикотаж.

Висновки

У результаті аналізу результатів дослідження властивостей основов'язаного еластичного полотна утокового переплетення, яке вироблено на машині 18 класу з поліефірних ниток з прокладанням еластомерної нитки в якості повздовжнього утоку за рапортом 2:1, встановлено наступне:

- лінійна густина нитки поперечного утоку впливає на товщину, щільність по вертикалі та поверхневу густину трикотажу, а також в меншому ступені, на довжину нитки в петлі ґрунтового переплетення ланцюжків;

- попереднє видовження еластомерної нитки перед входом до зони в'язання має суттєвий вплив на переважну більшість досліджуваних властивостей: збільшення видовження з 280 % до 395 % призводить до збільшення кількості петельних рядів у 100 мм на 15÷20 %, поверхневої густини – на 7÷10 %; повної деформації вздовж петельних стовпчиків – на 25 % та зменшення вмісту еластомерної нитки в полотні – на 5÷7 %; довжини нитки в петлі ґрунтового переплетення ланцюжок та довжини еластомерної нитки, яка припадає на одну петлю ланцюжка, – на 10 %.

Література

1. Liu Rong. A critical review on compression textiles for compression therapy: Textile-based compression interventions for chronic venous insufficiency / Rong Liu, Xia Guo, Terence T Lao and Trevor Little // Textile Research Journal – 2017. – Vol. 87(9). – P. 1121–1141.
2. Маринкина М. А. К вопросу учета стабильности нагрузки, оказываемой компрессионными изделиями в процессе эксплуатации / М. А. Маринкина, Л. Л. Чагина, С. Е. Проталинский, М. С. Богатырева // Известия ВУЗов. Технология текстильной промышленности. – 2015. – № 5 (359). – С. 118–123.

3. Максудов Н. Б. Анализ деформационных свойств высокоэластичных трикотажных полотен для проектирования спортивной одежды / Н. Б. Максудов, Ф. У. Нигматова, Ж. К. Юлдашев, Р. Р. Абдувалиев // *Universum: технические науки* : электрон. научн. журн. – 2018. – № 9 (54).
4. Sular V. Cyclic deformation properties of knitted sportswear fabric by different test methods / V. Sular, A. Okur and E. Ozcelik // *Industria Textila*. – 2017. – Vol. 68(3). – P. 176–185.
5. Kyzymchuk O. Stretch properties of elastic knitted fabric with pillar stitch / O. Kyzymchuk, L. Melnyk // *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*. – 2018. – Vol. 13, No. 4, October-December. – P. 1–10.
6. Maqsood M. Comparison of compression properties of stretchable knitted fabrics and bi-stretch woven fabrics for compression garments / M. Maqsood, Y. Nawab, J. Umar, M. Umair & K. Shaker // *The Journal of The Textile Institute* – 2017. – Vol. 108 (4). – P. 522–527.
7. Надежная Н. Л. Разработка конструкции трикотажного компрессионного рукава медицинского назначения / Н. Л. Надежная, А. В. Чарковский, Н. Г. Луд, Е. А. Шляхтунов // *Вестник Витебского государственного технологического университета*. – 2014. – Вып. 27. – С. 53–61.
8. Мязина Ю.С. Особенности деформации трикотажных полотен при технологических и эксплуатационных воздействиях. / Ю. С. Мязина // *Известия ВУЗов. Технология текстильной промышленности*. – 2008. – № 2. – С. 28–32.
9. Кизимчук О. П. Дослідження тиску еластичного основ'язаного трикотажу / О. П. Кизимчук, Л. М. Мельник, О. А. Богунова // *Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки*. – 2019. – № 2 (271). – С. 85-90. – DOI 10.31891/2307-5732-2019-271-2-85-88
10. Maklewska E. Modelling and designing of knitted products used in compressive therapy / E. Maklewska, A. Nawrocki, J. Ledwoń, K. Kowalski // *Fibres and Text. East. Eur.* – 2006. – Vol. 14, № 5. – P. 111–113.
11. Надёжная Н. Л. Прогнозирование деформационных свойств трикотажа для компрессионных изделий / Н. Л. Надёжная, А. А. Кузнецов, А. В. Чарковский // *Вестник Витебского государственного технологического университета*. – 2013. – № 24. – С. 48–54.
12. Gorjanc D. The prediction of elastic behavior of fabric from stretch yarn / D. Gorjanc, S. Pracek // *Industria Textila*. – 2016. – Vol. 3. – P. 157–163.
13. Кизимчук О. П. Порівняння методів визначення розтяжності еластичного трикотажу / О. П. Кизимчук, Л. М. Мельник, А. В. Токовенко, С. А. Обухевич // *Індустрія моди. Fashion Industry*. – 2019. – № 1. – С. 48–54.
14. Kyzymchuk O. Influence of technological parameters on the basis weight of elasticized fabric / O. Kyzymchuk, L. Melnyk, V. Liakhova, I. Hubar // *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Серія Технічні науки*. – 2017. – № 3 (110). – С. 83–90.

References

1. Rong Liu, Xia Guo, Terence T Lao and Trevor Little. A critical review on compression textiles for compression therapy: Textile-based compression interventions for chronic venous insufficiency. *Textile Research Journal*. 2017. Vol. 87(9). pp. 1121–1141.
2. M. Marinkina, L. Chagina, C. Protalinskiy, M. Bogatyriava. To the Question of Accounting for the Stability of the Load which is Provided by Compressive Clothes During Exploitation. *Proceeding of HEI. Textile Industry Technology*. 2015. Vol. 5 (359). pp. 118–123. [In Russian].
3. N. Maksudov, F. Nigmatova, Zh. Yuldashev, R. Abduvaliev. Analysis of the Deformation Properties of High-Elast Knitwear Garments for Designing Sports Clothes. *Universum: Technical Science: online scientific journal*. 2018. Vol. 9 (54). [In Russian].
4. V. Sular, A. Okur and E. Ozcelik Cyclic deformation properties of knitted sportswear fabric by different test methods. *Industria Textila*. 2017. Vol. 68(3). pp. 176–185.
5. O. Kyzymchuk, L. Melnyk. Stretch properties of elastic knitted fabric with pillar stitch. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*. 2018. Vol. 13, No. 4, October-December. pp. 1–10.
6. M. Maqsood, Y. Nawab, J. Umar, M. Umair & K. Shaker Comparison of compression properties of stretchable knitted fabrics and bi-stretch woven fabrics for compression garments. *The Journal of The Textile Institute*. 2017. Vol. 108 (4). pp. 522–527.
7. N. Nadezhnaya, A. Charkovskiy, N. Lud, E. Shliakhtunov. Development of the design of a knitted compression sleeve for medical use. *Vestnik of Vitebsk State Technological University*. 2014. Vol. 27. pp. 53–61. [In Russian].
8. U. Myazina. Features of the deformation of knitted fabrics under technological and operational influences. *Proceeding of HEI. Textile Industry Technology*. 2008. Vol. 2. pp. 28–32. [In Russian].
9. O. Kyzymchuk, L. Melnyk, O. Bogunova. Investigation of Pressure of Elastic warp knitted fabric. *Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Science*. 2019. Vol. 2 (271). pp. 85–90. DOI 10.31891/2307-5732-2019-271-2-85-88. [In Ukrainian].
10. E. Maklewska, A. Nawrocki, J. Ledwoń, K. Kowalski. Modelling and designing of knitted products used in compressive therapy. *Fibres and Text. East. Eur.* 2006. Vol. 14, № 5. pp. 111–113.
11. N. Nadezhnaya, A. Kuznetsov, A. Charkovskiy. Prediction of the deformation properties of knitwear for compression products. *Vestnik of Vitebsk State Technological University*. 2013. Vol. 24. pp. 48–54. [In Russian].
12. D. Gorjanc, S. Pracek. The prediction of elastic behavior of fabric from stretch yarn. *Industria Textila*. 2016. Vol. 3. pp. 157–163.
13. O. Kyzymchuk, L. Melnyk, A. Tokovenko, S. Obukhevych. The Methods Comparison for Determining the Extensibility of Elastic knitted material. *Fashion Industry*. 2019. Vol. 1. pp. 48–54. [In Ukrainian].
14. O. Kyzymchuk, L. Melnyk, V. Liakhova, I. Hubar. Influence of technological parameters on the basis weight of elasticized fabric. *Vistnyk KNUVD. Technical Science*. 2017. Vol. 3 (110). pp. 83–90.

Рецензія/Peer review : 01.06.2019 р.

Надрукована/Printed : 23.07.2019 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Н. П. Супрун

О.В. ПАХОЛЮК

Луцький національний технічний університет

Г.О. ПУШКАР, І.С. ГАЛИК, Б.Д. СЕМАК

Львівський торговельно-економічний університет

ПРОБЛЕМИ ФОРМУВАННЯ ТА ОЦІНЮВАННЯ БІОСТІЙКОСТІ ТЕКСТИЛЬНИХ ЦЕЛЮЛОЗОВІСНИХ МАТЕРІАЛІВ

Як свідчить аналіз літературних джерел [1–3], а також результати багаторічних власних досліджень [4–8], проблеми формування та оцінювання біостійкості текстильних целюлозовмісних матеріалів і виробів включають наступні ключові напрями, які вимагають поглиблених комплексних досліджень фахівців різного профілю (хіміків, фізиків, біологів, матеріалознавців, товарознавців, технологів хімічного та текстильного виробництва, ринкознавців та інших). В даній роботі ми обмежилися формуванням та обґрунтуванням сучасних напрямків формування заданої біостійкості текстильних целюлозовмісних матеріалів і виробів одягового, технічного та спеціального призначення. При цьому основний акцент зроблено на першочергове вирішення наступних завдань: узагальнення інформації про видовий склад целюлозоруйнуючих мікроорганізмів, які є безпосередньо відповідальними за біодеструкцію текстильних целюлозовмісних матеріалів і виробів різного цільового призначення; аналогічна інформація повинна бути вивчена та узагальнена про наявність в названих матеріалах і виробках патогенних для людини мікроорганізмів; класифікація та характеристика властивостей різноманітних типів антимікробних препаратів текстильного призначення, які є найбільш поширеними та перспективними на сучасному вітчизняному ринку; класифікація і характеристика сучасних способів антимікробного оброблення текстильних целюлозовмісних матеріалів і виробів різного цільового призначення.

Ключові слова: патогенні для людини мікроорганізми, целюлозоруйнуючі мікроорганізми, текстильні матеріали, текстильні вироби, біостійкість, засоби захисту текстилю від мікробіологічних пошкоджень.

E.V. PAKHOLIUK

Lutsk National Technical University

G.O. PUSHKAR, I.S. GALYK, B.D. SEMAK

Lviv Trade and Economical University

PROBLEMS OF FORMATION AND ASSESSMENT OF THE BIOSTABILITY OF TEXTILE CELLULOSE-CONTAINING MATERIALS

According to the analysis of literary sources [1–3], as well as the results of many years of own research [4–8], the problems of forming and evaluating the bio-stability of textile cellulose-containing materials and articles include the following key areas that require in-depth comprehensive studies of specialists of different profiles (chemists, physicists, biologists, material scientists, commodity scientists, chemical and textile technologists, market scientists, and others). In this paper, we have limited ourselves to the formation and justification of modern trends in the formation of a given bio-stability of textile cellulose-containing materials and articles of clothing, technical and special purpose. The main focus is on the priority of the following tasks: generalization of information on the species composition of cellulose microorganisms, which are directly responsible for the biodegradation of textile cellulose-containing materials and products for various purposes; similar information should be studied and generalized about the presence in these materials and products of pathogens for humans; classification and characterization of the properties of various types of antimicrobial textile products, which are the most common and promising in the modern domestic market; classification and characterization of modern methods of antimicrobial treatment of textile cellulose-containing materials and products for various purposes.

Keywords: microorganisms, pathogens for humans, cellulose-destroying microorganisms, textile materials, textile products, bio-stability, textile protection against microbiological damage.

Постановка проблеми у загальному вигляді

Як відомо, необхідність усестороннього вивчення проблем формування та оцінювання біостійкості текстильних целюлозовмісних матеріалів і виробів диктується низкою причин, а саме:

- вагомістю даного чинника у загальному зношенні багатьох видів целюлозовмісних матеріалів і виробів (для деяких з них вона досягає 50%);
- мікробіологічна деструкція інших видів текстильних матеріалів і виробів є складовою частиною їх атмосферної і термічної деструкції;
- стійкістю до целюлозоруйнуючих мікроорганізмів (особливо ґрунтових) визначають терміни експлуатації геотекстильних та дренажних текстильних матеріалів;
- домінуючу роль відіграє мікробіологічна деструкція у термінах експлуатації чехольно-наметових та пакувальних матеріалів різного цільового призначення;
- особливого захисту від мікробіологічного пошкодження вимагають ті види текстильних одягових, пакувальних, чехольно-наметових целюлозовмісних матеріалів, експлуатація яких відбувається в умовах субтропічного та тропічного клімату;
- поглиблених і більш детальних досліджень вимагає окреме вивчення впливу видового складу патогенних мікроорганізмів на текстильних матеріалах і виробках (особливо медичного призначення) та пошуку для захисту від них більш ефективних антимікробних препаратів;
- більш детального вивчення вимагають також науково-обґрунтована класифікація та характеристика властивостей сучасного асортименту антимікробних препаратів текстильного призначення;

- існує нагальна потреба економічного обґрунтування використання антимікробних препаратів для захисту текстильних матеріалів різного цільового призначення від мікробіологічної деструкції.

Цілком зрозуміло, що результати вивчення піднятих питань повинні бути описані не тільки в монографічних і періодичних виданнях, але й у відповідних навчальних виданнях (підручниках і навчальних посібниках) для потреб навчального процесу університетів сфери легкої промисловості та торгівлі України.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Для прикладу в даній статті розглянемо деякі роботи, пов'язані із формуванням і оцінюванням біостійкості текстильних матеріалів і виробів різного цільового призначення, акцентуючи основну увагу на оцінку значимості їх мікробіологічних пошкоджень.

В роботі [1] автором вперше сформульовані та обґрунтовані загальні вимоги до якості основних видів антимікробного одягу майбутнього (профілактично-лікувального, фізіотерапевтичного, одяг із максимальною комфортністю та надійністю в експлуатації). Особлива нині увага до зручності та комфортності ставиться до одягу спортивного, дитячого та одягу спеціального призначення. При цьому серед функціональних, ергономічних, естетичних і гігієнічних показників такого одягу особливої актуальності набуває його біостійкість.

В роботі [2] дана загальна характеристика чинників, які визначають біостійкість текстильних матеріалів і виробів різного цільового призначення.

Дана класифікація і характеристика волоконоруйнуючих мікроорганізмів. Описано механізм мікробіологічної деструкції текстильних одягових матеріалів і виробів. Сформульовані та обґрунтовані вимоги до антимікробних препаратів текстильного призначення.

Авторами роботи [3] розроблено нові типи обробних біоцидних препаратів широкого спектру дії. Серед цих препаратів найбільш поширеними виявилися: ЕТС – етилтіосульфат, МТС – метилтіосульфат і АТС – алілтіосульфат. Обґрунтовані рецептурно-технологічні режими використання названих препаратів у різних галузях промисловості. Дана характеристика властивостей названих препаратів та обґрунтовані сфери їх найбільш перспективного використання.

Авторами роботи [4] обґрунтована доцільність широкого застосування для заключного оброблення текстильних целюлозовмісних одягових матеріалів деяких поліфункціональних кремнійорганічних обробних препаратів, здатних надавати цим матеріалам декілька корисних ефектів (бажаний антимікробний ефект, високу водоопірність), а також сприяти підвищенню зносостійкості та формостійкості. Обґрунтовано рецептурно-технологічні режими використання названих препаратів із врахуванням їх цільового призначення, будови та волокнистого складу. Вивчено також чинники, які визначають довговічність досягнутих на текстильних матеріалах ефектів в результаті поверхневої модифікації силіконовими препаратами.

В роботі [5] розглянуті основні чинники формування та оцінювання екологічної безпечності та біостійкості целюлозовмісних сорочково-платтяних одягових та пакувальних тканин. Обґрунтовано доцільність їх поверхневої модифікації різними типами біоцидних і поліфункціональних кремнійорганічних та карбомольних обробних препаратів текстильного призначення. Вивчена можливість і доцільність екологізації асортименту целюлозовмісних текстильних матеріалів та підвищення їх біостійкості та атмосферостійкості. Сформульовані теоретико-методологічні засади оптимізації асортименту та підвищення якості текстильних матеріалів, поверхнево модифікованих різними обробними препаратами.

Авторами роботи [6] розкрито роль різних типів обробних препаратів текстильного призначення у формуванні та оцінюванні гігієнічності, екологічної безпечності, біостійкості та атмосферостійкості текстильних одягових матеріалів різного способу виробництва, будови та волокнистого складу. Вивчена можливість використання сучасних нанотехнологій для заключного оброблення текстильних матеріалів різного цільового призначення та волокнистого складу. Суттєва увага приділена обґрунтуванню доцільності використання нанотехнологій для формування необхідної біостійкості та екологічної безпечності одягових текстильних матеріалів.

Авторами роботи [7] дана порівняльна характеристика властивостей одягових целюлозовмісних матеріалів (бавовняних і віскозних сорочково-платтяних тканин), модифікованих традиційними та поліфункціональними кремнійорганічними та фторорганічними препаратами. Вивчена роль названих препаратів у формуванні зносостійкості, гігієнічності та екологічної безпечності названих тканин.

Авторами роботи [8] обґрунтована доцільність проведення більш глибоких товарознавчих і матеріалознавчих досліджень, пов'язаних із пошуком більш ефективних засобів захисту текстилю різного цільового призначення від пошкоджень волоконоруйнуючими мікроорганізмами. При цьому основну увагу приділено обґрунтованому вибору тих обробних антимікробних препаратів, які одночасно захищають текстильні матеріали і вироби (особливо одягового призначення) від шкідливої дії волоконоруйнуючих і патогенних для людини мікроорганізмів. Доведена доцільність використання для цього різних типів поліфункціональних кремнійорганічних препаратів, здатних надавати текстильним матеріалам декілька корисних ефектів (високу та стабільну біостійкість, необхідну водоопірність, бажану екологічну безпечність).

Формулювання цілей статті

Мета роботи: поглиблення і продовження досліджень, пов'язаних із пошуком більш ефективних засобів захисту текстильних матеріалів від мікробіологічних пошкоджень і ув'язкою результатів цих досліджень із навчальними програмами профільних дисциплін, які включені в навчальні плани відповідних університетів під час підготовки фахівців для сфери торгівлі та легкої промисловості.

В даній роботі ми обґрунтуємо доцільність більш широкого використання поліфункціональних силіконових препаратів для оброблення текстильних целюлозовмісних матеріалів і виробів різного цільового призначення. Як показав аналіз наведених літературних джерел [1–8] названі препарати дозволяють отримати на модифікованих ними текстильних матеріалах декілька корисних ефектів, а саме:

- високу та стабільну стійкість до целюлозоруйнучих мікроорганізмів;
- підвищену водоопірність та атмосферостійкість;
- бажану екологічну безпечність;
- ці препарати економічно виправдані та зручні у промисловому використанні.

Виклад основного матеріалу дослідження

Об'єктами досліджень підчас вирішення поставлених питань служили різні за призначенням (сорочкові, платтяні, плащові, курткові) та волокнистим складом (бавовняні і віскозні) тканини. Оцінка впливу обраних типів силіконових препаратів для оброблення досліджуваних тканин на їх біостійкість наведена в табл. 1-2.

Таблиця 1

Вплив оброблення бавовняної (поплін) і віскозної (полотно) сорочково-платтяних тканин на їх біостійкість

№ з/п	Назва препарату	Концентрація препарату у просочувальній ванні, г/л	Чисельність целюлозоруйнучих мікроорганізмів, тис./1 г абсолютно сухої тканини			
			бавовняної		віскозної	
			гриби	бактерії	гриби	бактерії
1	Дистильована вода	-	4,00	1,88	2,97	1,85
2	50-відсоткова емульсія смоли МБ-2	60	2,25	1,50	1,20	0,27
3	35-відсоткова емульсія ПНЗ	60	2,0	1,05	1,90	0,35
4	50-відсоткова емульсія ГКР-94	60	0,50	0,25	0,40	0,20
5	Емульсія КЕ-37-18	60	1,65	0,57	1,70	0,70
6	Карбамол ЦЕС	200	2,20	1,0	2,65	1,25

Аналіз даних табл. 1 дозволяє зробити наступні висновки:

- бавовняні сорочково-платтяні тканини містять у своєму складі значно більшу кількість (чисельність) целюлозоруйнучих мікроорганізмів, ніж віскозні (особливо ця різниця помітна на прикладі целюлозоруйнучих грибів);
- це свідчить про те, що бавовняне вибілене волокно виявилось для названих мікроорганізмів, кращою споживною сировиною, ніж віскозне;
- оброблення досліджуваних тканин за рец. 2–6 веде до суттєвого зниження на цих тканинах чисельності целюлозоруйнучих мікроорганізмів (особливо грибів), що підтверджує доцільність використання цих поліфункціональних препаратів для надання цим тканинам декілька корисних ефектів – біостійкості, атмосферостійкості, екологічної безпечності та інших. При цьому найкращим виявився препарат ГКР-94 (рец. 4).

З метою обґрунтування доцільності більш широкого використання поліфункціональних силіконових препаратів для захисту одягових целюлозовмісних матеріалів від деструктивної дії целюлозоруйнучих мікроорганізмів представлялася доцільність вивчити довговічність отриманих на основі цих препаратів ефектів до дії найбільш ймовірних чинників зношування цих матеріалів. Оскільки целюлозовмісні тканини сорочково-платтяного літнього асортименту переважно зношуються під комплексною дією світлопогоди та повторного прання, то саме ці чинники були взяті нами для моделювання зношування досліджуваних тканин. Отримані результати досліджень для прикладу наведені в табл. 2.

Аналіз даних табл. 2 дозволяє зробити наступні узагальнюючі висновки:

1. Вибір світлопогоди та повторного прання для моделювання умов експлуатації гідрофобізованих силіконовими препаратами і їх композиціями плащових, курткових і інших видів одягових текстильних матеріалів обумовлено тим, що саме ці чинники є найбільш вагомими в зношуванні названої групи одягових матеріалів і одягу [5].
2. Поверхнева модифікація бавовняних одягових тканин композиціями кремнійорганічних препаратів (табл. 2) обумовлює суттєве зниження на них загальної чисельності мікроорганізмів та чисельності целюлозоруйнучих мікроорганізмів. При цьому виявлено вибіркоче та неоднозначне гальмування обробними препаратами життєдіяльності різних фізіологічних груп мікроорганізмів.
3. Встановлено, що тривала дія на досліджувані гідрофобізовані силіконовими препаратами бавовняні одягові тканини світлопогоди та прання веде до суттєвого зниження досягнутого на цих тканинах ефектів біодіювності та водоопірності, величина яких обумовлена особливостями рецептурного складу обраних препаратів. При цьому варто враховувати і ту обставину, що тривала дія світлопогоди і прання сприяють суттєвому збільшенню чисельності мікроорганізмів на тканині ще до її гідрофобізації.

Вплив світлопогоди та прання гідрофобізованих бавовняних тканин на стійкість їх антимікробного ефекту

№ рецепту	Назва препарату	Концентрація препаратів у просочувальній ванні, г/л	Чисельність мікроорганізмів (тис./1 г абсолютно сухої тканини)								
			загальна чисельність мікроорганізмів			в тому числі					
						грибів			бактерій		
			у вихідній тканині	після 15-ти разового прання	після 3-х місяців дії світлопогоди	у вихідній тканині	після 15-ти разового прання	після 3-х місяців дії світлопогоди	у вихідній тканині	після 15-ти разового прання	після 3-х місяців дії світлопогоди
1	Дистильована вода	-	<u>17,85*</u> 5,80	<u>23,50</u> 12,45	<u>45,50</u> 16,25	<u>12,00</u> 4,00	<u>16,40</u> 8,95	<u>30,50</u> 10,10	<u>5,85</u> 1,80	<u>7,10</u> 3,50	<u>15,00</u> 6,15
2	50-відсоткова емульсія смоли МБ-2	60	<u>3,37</u>	<u>9,58</u>	<u>15,45</u>	<u>2,50</u>	<u>6,18</u>	<u>11,20</u>	<u>0,87</u>	<u>3,40</u>	<u>4,25</u>
	Препарат ЕСНК Латекс А-1	60	1,05	3,17	5,30	0,70	2,10	3,80	0,35	1,07	1,50
3	50-відсоткова емульсія ГКР-94	60	<u>2,90</u>	<u>8,30</u>	<u>16,00</u>	<u>2,10</u>	<u>5,50</u>	<u>10,50</u>	<u>0,80</u>	<u>2,80</u>	<u>5,50</u>
	Препарат АМСР-3 ZnOCl ₂	30 6	0,75	4,23	6,76	0,50	3,20	4,61	0,25	1,03	2,15
4	Емульсія KE-37-18	60	<u>5,10</u>	<u>12,50</u>	<u>25,67</u>	<u>4,00</u>	<u>8,75</u>	<u>19,45</u>	<u>1,10</u>	<u>3,75</u>	<u>6,20</u>
	CuSO ₄	3	2,92	7,91	10,75	1,65	5,70	7,0	0,57	2,21	3,75

Примітка. *В чисельниках умовних дробів наведена загальна чисельність мікроорганізмів, а у знаменниках – целюлозоруйнучих.

Як свідчить аналіз літературних джерел [1–8] та результати експериментальних досліджень, антимікробна обробка текстильних матеріалів одягового призначення суттєво змінює різні властивості цих матеріалів, які характеризують не тільки їх біостійкість, але й гігієнічність, екологічну безпечність і зносостійкість в цілому.

На жаль, механізм мікробіологічної деструкції текстильних матеріалів і виробів ще недостатньо вивчений. Подальшого вдосконалення вимагають і сучасні обробні препарати, які використовуються для захисту текстилю від мікробіологічної деструкції. Не дивлячись на значимість і вагомість біостійкості текстильних матеріалів у визначенні термінів їх зношування багатьох груп текстильних виробів (одягового та спеціального призначення) дані питання ще недостатньо описані в підручниках із текстильного матеріалознавства та товарознавства, а також хімічної технології волокнистих матеріалів для потреб університетів і легкої промисловості та сфери торгівлі України. Більше того, ми не знаходимо компетентності для фахівців різного профілю із включенням цих питань в навчальних програмах із окремих профільних дисциплін, ні в окремих освітніх стандартах для підготовки фахівців товарознавчо-комерційного профілю.

Наскільки виправдано включати названі компетентності в навчальний процес в університетах сфери торгівлі та легкої промисловості України фахівців товарознавчо-комерційного профілю може лужити такий приклад, взятий із практики роботи вітчизняного товарного комплексу «Текстиль-одяг» [9, 10]. Нами встановлено [10], що фахівці товарознавчо-комерційного профілю даного комплексу, окрім необхідних професійних функціональних і товарних компетентностей, яке їм забезпечує вивчення в університетах курсів організації торгівлі і текстильного матеріалознавства та товарознавства, обов'язково повинні володіти і такими професійними компетентностями:

- знання видового складу волокноруйнучих мікроорганізмів, із якими пов'язано вміння оцінювати терміни експлуатації текстильних матеріалів і виробів різного цільового призначення;
- знання видового складу наявних на текстильних матеріалах та одязі патогенних для людини мікроорганізмів, з якими пов'язана гігієнічність і безпечність цих матеріалів і виробів;
- знання класифікації, характеристики асортименту та властивостей антимікробних препаратів, здатних пригнічувати життєдіяльність названих фізіологічних груп мікроорганізмів, а також гальмувати їх розвиток на текстильних матеріалах та одязі.

Перераховані види професійних компетентностей для фахівців товарознавчо-комерційного профілю повинні бути описані у сучасних підручниках і навчальних посібниках із технології текстильного виробництва, текстильного матеріалознавства та товарознавства, а також з технічної мікробіології.

Висновки

Обґрунтована доцільність більш глибоких досліджень біостійкості та гігієнічності текстильних одягових матеріалів та виробів і потребою використання для цих цілей більш широкого асортименту різних за хімічною будовою класичних і поліфункціональних обробних препаратів.

Сформульовано перелік ключових професійних компетентностей фахівців товарознавчо-

комерційного профілю сфери торгівлі та легкої промисловості України, пов'язаних зі знанням видового складу волоконоруйнуючих й особливо целюлозоруйнуючих і патогенних для людини мікроорганізмів, а також сучасного асортименту і властивостей антимікробних препаратів для активного гальмування розвитку названих видів мікроорганізмів на текстильних матеріалах і виробх різного цільового призначення.

Вважаємо за доцільне включити перелік названих компетентностей у відповідні навчальні програми профільюючих дисциплін університетів, а також у зміст відповідних освітніх стандартів, за якими ведеться підготовка фахівців товарознавчо-комерційного профілю для потреб торгівлі та легкої промисловості України.

Література

1. Високотехнологічні, конкурентоспроможні і екологічно-орієнтовані волокнисті матеріали і виробы з них / [П. А. Глубіш, В. М. Ірклей, Ю. А. Клейнер та ін.]. – К. : Арістей, 2007. – 264 с.
2. Пехташева Е. Л. Биоповреждения непродовольственных товаров : учебник / под ред. А. Н. Неверова. – 2-е издание перераб. и доп. – М. : Дашков и К, 2015. – 332 с.
3. Швец В. В. Антимікробна активність композицій на основі тіосульфатів і біогенних поверхнево-активних речовин щодо фітопатогенів / В. В. Швец, О. В. Карпенко, І. В. Карпенко, В. П. Новіков, В. І. Лубенець // Проблеми біології та біотехнології. Наукові вісті НТУУ «КПІ». – 2017. – № 3. – С. 89–94.
4. Семак Б. Д. Износостойкость тканей с отделкой силиконами / Б. Д. Семак. – М. : Легкая индустрия, 1977. – 192 с.
5. Галик І. С. Екологічна безпека та біостійкість текстильних матеріалів / І. С. Галик, О. Б. Концевич., Б. Д. Семак. – Львів : Видавництво ЛКА, 2006. – 232 с.
6. 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.
7. Галик І. С. Пошук ефективних способів захисту текстилю від дії шкідливих мікроорганізмів / І. С. Галик, Б. Д. Семак, З. М. Семак // Вісник Львівської комерційної академії. Серія товарознавча. – 2014. – Випуск 14. – С. 6–10.
8. Пахолук О. В. Використання деяких поліфункціональних обробних препаратів для захисту текстильних целюлозовмісних матеріалів від мікробіологічних пошкоджень / О. В. Пахолук, Г. О. Пушкар, І. С. Галик, Б. Д. Семак // Вісник Хмельницького національного університету. – 2019. – № 1. – С. 100–104.
9. Галик І. С. Компетентнісний підхід – основа професійної підготовки товарознавців у вищих навчальних закладах / І. С. Галик, Б. Д. Семак // Вісник Львівського торговельно-економічного університету. – 2017. – Випуск 18. – С. 16–21.
10. Ніколайчук Л. Г. Використання компетентнісного підходу для вдосконалення у закладах вищої освіти підготовки фахівців товарознавчого профілю для торгівлі та легкої промисловості України / Л. Г. Ніколайчук, І. С. Галик, Б. Д. Семак // Вісник Львівського торговельно-економічного університету. – 2018. – Випуск 21. – С. 95–105.

References

1. Vysokotekhnolohichni, konkurentospromozhni i ekolohichno-orientovani voloknysti materialy i vyroby z nykh / P. A. Hlubish, V. M. Irklei, Yu. A. Kleiner ta in. – K. : Aristei, 2007. – 264 s.
2. Pehatasheva E. L. Biopovrezhdeniya neprodovolstvennykh tovarov : uchebnik / pod red. A. N. Neverova. – 2-e izdanie prerab. i dop. – M. : Dashkov i K, 2015. – 332 s.
3. Shvets V. V. Antymikrobnna aktyvnist kompozysii na osnovi tiosulfativ i bioghennykh poverkhnevo-aktyvnykh rehovyn shchodo fitopatoheniv / V. V. Shvets, O. V. Karpenko, I. V. Karpenko, V. P. Novikov, V. I. Lubenets // Problemy biolohii ta biotekhnolohii. Naukovi visti NTUU «KPI». – 2017. – № 3. – S. 89–94.
4. Semak B. D. Iznosostojkost tkanej s otdelkoj silikonami / B. D. Semak. – M. : Legkaya industriya, 1977. – 192 s.
5. Halyk I. S. Ekolohichna bezpeka ta biostiikist tekstylnykh materialiv / I. S. Halyk, O. B. Kontsevych., B. D. Semak. – Lviv : Vydavnytstvo LKA, 2006. – 232 s.
6. Halyk I. S. Problemy formuvannia ta otsiniuvannia ekolohichnoi bezpechnosti tekstyliu : monohrafiia / I. S. Halyk, B. D. Semak. – Lviv : Vydavnytstvo Lvivskoi komertsii noi akademii, 2014. – 488 s.
7. Halyk I. S. Poshuk efektyvnykh sposobiv zakhystu tekstyliu vid dii shkidlyvykh mikroorhanizmv / I. S. Halyk, B. D. Semak, Z. M. Semak // Visnyk Lvivskoi komertsii noi akademii. Seriiia tovaroznavcha. – 2014. – Vypusk 14. – S. 6–10.
8. Pakholiuk O. V. Vykorystannia deiakykh polifunktsionalnykh obrobnykh preparativ dlia zakhystu tekstylnykh tseliulozovmisnykh materialiv vid mikrobiolohichnykh poshkodzen / O. V. Pakholiuk, H. O. Pushkar, I. S. Halyk, B. D. Semak // Herald of Khmelnytskyi National University. – 2019. – № 1. – S. 100–104.
9. Halyk I. S. Kompetentnisnyi pidkhdid – osnova profesiinoi pidhotovky tovaroznavtsiv u vyshchykh navchalnykh zakladakh / I. S. Halyk, B. D. Semak // Visnyk Lvivskoho torhovelno-ekonomichnoho universytetu. – 2017. – Vypusk 18. – S. 16–21.
10. Nikolaichuk L. H. Vykorystannia kompetentnisnoho pidkhdodu dlia vdoskonalennia u zakladakh vyshchoi osvity pidhotovky fakhiivtsiv tovaroznavchoho profiliiu dlia torhivli ta lehkoj promyslovosti Ukrainy / L. H. Nikolaichuk, I. S. Halyk, B. D. Semak // Visnyk Lvivskoho torhovelno-ekonomichnoho universytetu. – 2018. – Vypusk 21. – S. 95–105.

Рецензія/Peer review : 16.06.2019 р.

Надрукована/Printed : 23.07.2019 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Байдакова Л. І.

Т.А. НАДОПТА, І.Т. СОЛТИК, О.А. МИХАЙЛОВСЬКА
Хмельницький національний університет

ПРИНЦИПИ АНАЛІТИЧНОГО ПРОЕКТУВАННЯ БАЗОВОЇ ОСНОВИ ДЕТАЛЕЙ ВЕРХУ ВЗУТТЯ

У статті наведено принципи формування аналітичної моделі базової основи, що є першоосновою створення теорії проектування деталей верху взуття. Запропоновано загальні положення, які дозволили змодельувати абрис базової основи з врахуванням основних анатомічних точок стопи та основ нарисної геометрії, які є першоосновою для побудови алгоритму визначення параметрів сплайнових кривих. Запропоновано поняття «базова основа», яка є комплексом варіантних рішень для проектування деталей верху взуття. Базова основа є вихідним елементом для подальшого проектування деталей верху взуття відповідно до художньо-конструктивного рішення взуття та забезпечує відтворення анатомо-морфологічних властивостей стопи. Це сприяє проектуванню раціональних конструкцій взуття.

Ключові слова: взуття, стопа, деталі верху взуття, аналітична модель, базова основа, сплайнові криві.

T.A. NADOPTA, I.T. SOLTYK, O.A. MYKHAILOVSKA
Khmelnytsky National University

PRINCIPLES OF ANALYTICAL DESIGN OF THE BASIC BASE OF SHOES

The article describes the principles of forming an analytical model of the base framework, which is the basis for the creation of the theory of designing parts of the upper shoes. The general provisions are offered, which allowed to model the outlines of the base basis taking into account the basic anatomical points of the foot and the basics of the descriptive geometry, which are the basic basis for the construction of the algorithm for determining the parameters of spline curves. The article presents the principles of forming an analytical model of the underlying basis, which is the basis of the creation of the theory of designing parts of the top of the footwear. General provisions were proposed that allowed to simulate the bases of the abyss taking into account the main anatomical points of the foot and the fundamentals of the writing geometry, which are the basis for constructing the algorithm for determining the parameters of the spline curves. The concept "base base" is proposed, which is a complex of variant solutions for designing details of the top of the footwear. The base is an initial element for further design of the details of the top of the shoes in accordance with the artistic design of the shoes and provides reproduction of the anatomical and morphological properties of the foot. It contributes to the design of rational shoe designs modules that will allow to automate the design of shoes for schoolchildren, including all stages of the details uppers design. The developed method allows to obtain the data of the foot measurement with certain deviations from the standard parameters. Then automatically based on our analytical apparatus, which is introduced into the relevant software, calculate and cross out the base, and the details of the poem shoes are developed on an analytically designed basis, taking into account the anatomical properties of the feet.

Keywords: shoes, foot, details shoe uppers, analytical model, basic basis, spline curves.

Постановка проблеми

Ефективність вітчизняного взуттєвого підприємства залежить в значній мірі від конкурентоздатності виробів. Це можливо за рахунок впровадження у виробництво нових товарів, використання оригінальних конструкторських і технологічних рішень. Зокрема, автоматизація багатьох дій пов'язаних з процесами проектування та виробництва взуття. При цьому необхідно не забувати про те, що конструкція взуття має бути раціональною, тобто форми та розміри виробу повинні відповідати стопі споживача [1]. Це все дасть можливість створити конкурентоздатний асортимент взуття та покращити якість взуттєвих виробів, скоротити час його виготовлення, а в результаті і собівартість взуття.

Тому, важливим напрямком підвищення ефективності роботи взуттєвих підприємств є розробка власних систем автоматизованого проектування взуття. Це, в першу чергу, вимагає попередньої розробки їх науково-аналітичної основи з урахуванням сучасних інноваційних тенденцій, які опираються на анатомічні особливості стоп. Одним з ключових моментів виготовлення такого взуття є якомога точніше врахування анатомічних характеристик стоп на всіх етапах проектування, визначення пріоритетного композиційно-конструктивного рішення моделі, застосування сучасного високотехнологічного обладнання, забезпечення якості продукції [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Основою для отримання креслень деталей верху взуття (ДВВ) є плоска розгортка бокової поверхні взуттєвої колодки. Існують різні типи отримання умовної розгортки колодки, що відрізняються конфігурацією та методом отримання, тому для кожного виду та конструкції взуття існують певні типи оптимальних умовних розгорнень. Але оскільки поверхня колодки має складну просторову форму, то виникає складність її відтворення на площині.

Методи отримання умовної розгортки колодки (УРК) можна розділити на графічні та графо-аналітичні. До найбільш застосованих графічних відносяться такі способи отримання УРК: спрощений шаблонний, шаблонний (Апанасенко В.П., Рослик Г.І., Тонковід Л.А.) та метод зліпка; метод «жорстка оболонка» та італійський (комбінований) метод [3].

Окремо слід відзначити один із сучасних методів, який за своєю суттю є модифікованим графічним методом [4]. Сутність методу полягає в тому, що на поверхні колодки відзначають геодезичні лінії із зовнішньої й внутрішньої сторін колодки, від найбільш виступаючої точки носка до найбільш виступаючої

точки п'яти. При цьому геодезичні лінії повинні проходити через точки, що відповідають центрам пучків і перебувають на відстані однієї третини від ребра сліду колодки до середини гребеня по лінії пучків. Перпендикулярно геодезичним лініям наносять поперечні допоміжні лінії, одержуючи в такий спосіб сітку конструктивних ліній. Потім поверхню складного геометричного тіла колодки розбивають на ділянки по екстремальних перетинах: найбільш широке місце п'яти, середина стопи, зовнішній пучок, внутрішній пучок і умовно апроксимують ці ділянки простими геометричними тілами обертання. Перша ділянка – від найбільш виступаючої точки п'яти до найбільш широкого місця п'яти апроксимується двома усіченими конусами, складеними разом більшими основами й циліндром, розміщеним над ними. Наступні ділянки апроксимують відповідно циліндром, усіченим конусом, циліндром і сферою. Отриману сітку конструктивних ліній і суму зчленованих гранями геометричних тіл обертання розпластують на площині щодо геодезичних ліній. Розпластана сітка конструктивних ліній дає плоский шаблон умовного розгорнення поверхні колодки. У місцях стикування розгорнень геометричних тіл обертання фіксують недолік або надлишок площі (нахлестування або розбіжність площ окремих розгорток, обумовлених їхньою формою). Заміряючи основні характеристики апроксимуючих тіл обертання (радіуси, твірні, висоти), обчислюють значення коректування за формулами, отриманими з використанням законів геометрії, і відзначають отримані величини на плоскому шаблоні умовного розгорнення бічної поверхні колодки. Певною мірою ця методика суттєво ускладнена в порівнянні з описаними вище методами, більш перспективна в сенсі подальшого використання САПР тієї чи іншої ступені складності, тому її слід розглядати як перехідну. З цим методом перегукується пропозиція моделювати складні фігури при розкрій плоских матеріалів шляхом комбінування простими, що свідчить про появу деякої тенденції в методології розгортання просторових фігур в площинну форму – моделювання їх комплексом окремих складових [5]. Спосіб дозволяє істотно спростити технологію розмітки й скоротити число шаблонів за рахунок використання набору простих геометричних фігур, виконаних у вигляді контурів, котрі розкладають на плоскому матеріалі й окреслюють кінцевий зовнішній або внутрішній контур, причому зовнішній контур окреслюють при підході до контуру ззовні, а внутрішній - при підході до контуру зсередини. Спосіб передбачає при необхідності зчитування, запам'ятовування й перетворення із заданим масштабним коефіцієнтом з наступним розкладанням контурів на плоскому матеріалі і їхнє окреслення.

Також слід окремо відзначити, що закордонні розробники програмного забезпечення для автоматизованого проектування взуття не надають докладну інформацію про аналітичну основу та методи, які застосовуються для реалізації.

Зокрема авторами [6] розроблено програму проектування ДВВ, на основі такого універсального програмного пакета як AutoCAD. Дана програма проектування типових конструкцій взуття базується на основі копіювально-графічної системи, де за основу беруться відскановані розгортки різних взуттєвих колодок. Розроблено методику проектування дитячої колодки та конструктивної основи верху взуття в середовищі Delcam [7]. На теперішній час також нерідко застосовують такі програмні продукти, зокрема 3d studio MAX, CorelDraw, ACCОЛЬ, Аско-2д [8]. Але основним недоліком перелічених вище програмних продуктів є те, що необхідно вручну отримувати умовну розгортку бокової поверхні колодки. Однак, цих недоліків можна було б уникнути, якщо розробити такий програмний продукт, котрий давав би можливість уникнути етапу ручного введення вихідної інформації для проектування деталей верху взуття.

Формулювання мети дослідження

Метою дослідження є розробка аналітичних основ виробів складної форми, зокрема базової основи деталей верху взуття, для систем автоматизованого проектування, що дозволить швидше, точніше, простіше і економніше виконувати проектування виробів індустрії моди.

Викладення основного матеріалу

Точність застосування моделей, котрі задовольняють необхідні геометричні характеристики та властивості, перш за все залежить від обґрунтованого вибору цих моделей та об'єкту, що необхідно описати.

Одним із важливих моментів процесу проектування є одержання раціональних конфігурацій деталей взуття з огляду на будову стопи, її зміни форми і розмірів у процесі ходіння, розрахунок раціональних припусків на товщину внутрішніх і проміжних деталей. Тому необхідно розробити такий метод отримання вихідного елемента для подальшого проектування, який задовольняв би ці вимоги та забезпечував проектування якісного взуття.

Основним елементом процесу проектування взуття є взуттєва колодка, яка є оснасткою для виготовлення виробу. Її форма змінюється залежно від необхідного фасону, повноти, розміру та висоти каблука. Антропометричні дані про форму і розміри стопи з урахуванням її фізіології і біомеханіки необхідно перетворити в параметри колодки і на їх основі визначити абрис криволінійних її поверхонь.

При побудові програмних модулів для автоматизованого проектування деталей верху взуття (ДВВ) необхідно застосовувати методи інтегрування вихідних параметрів у реальні абриси деталей взуття. Більшість закордонних автоматизованих систем проектування взуття розроблялося без урахування можливості їх реалізації на вітчизняних взуттєвих підприємствах. Оскільки реалізація процесу проектування ДВВ вимагає істотних витрат, то закордонні САПР взуття практично непридатні для розв'язання вітчизняних задач моделювання в реальному часі. Використання методів, що мають високий порядок точності, пов'язане також із значними труднощами розробки автоматизованого процесу.

Тому для розробки програмних модулів автоматизованого геометричного опису колодки потрібно

обґрунтовано розробити точну модель з дотриманням цілого комплексу умов. Ця модель повинна містити в собі інформацію про характеристики поверхні, акцентуючи увагу на основних анатомічних точках стопи, розрахунок технологічного обладнання, оскільки це суттєво впливає на якість взуття в подальшому.

Основа для подальшого проектування ДВВ може бути отримана:

- експериментально, шляхом зняття розгортки безпосередньо з колодки;
- геометрично, шляхом побудови за відповідною методикою контурів основи або окремих її складових;
- теоретично, шляхом формування прототипу як геометричного місця множини точок або сітчастого каркасу, призначення та аналітичного опису конфігурації системи характерних перерізів, розгортання в площину профільної кривої перерізу прототипу серединною площиною, яка служить віссю побудови, фіксації на осі точок характерних перерізів, відкладання на променях від цих точок довжини твірних характерних перерізів [9]. Для цього необхідний точний аналітичний опис характерних перерізів. На жаль, цей шлях поки що у вітчизняній науці не має прийнятного апаратного рішення.

На практиці найчастіше використовуються перші два методи, які відзначаються низькою продуктивністю і невисокою точністю.

З огляду на зазначене, розроблена модель, яка дозволяє отримати контури основи, з використанням емпіричних зв'язків між результатами антропометричних досліджень стоп, прототипом взуття та базовою основою ДВВ.

Таким чином, базова основа ДВВ є початковою геометричною структурою для подальшого проектування ДВВ шляхом розділення її на окремі об'єкти відповідно до художньо-конструктивного рішення взуття та анатомо-морфологічних властивостей стопи. В конструкції взуття, базова основа деталей верху взуття – плоска фігура, яку складають ДВВ без припусків на з'єднання, обробку країв, затягування тощо.

В геометричній моделі прототипу, базова основа – це сукупність абрисів, що враховують анатомо-морфологічні властивості стопи і яким дається аналітичний опис як функції основних параметрів взуття:

$$M = F(K_D, H_K, r_N, W, Nn), \tag{1}$$

де F – система функціональних залежностей певного виду та послідовної підпорядкованості.

K_D – коефіцієнт носкової частини;

H_K – висота каблука;

r_N – радіус заокруглення носкової частини;

W – повнота;

Nn – довжина стопи.

Таким чином, створюється можливість прямого переходу від результатів обміру стопи до автоматизованої побудови контурів базової основи ДВВ.

Тобто, базова основа ДВВ – це комплекс варіантних рішень для проектування ДВВ, який обумовлений правильним співвідношенням форми й розмірів стопи з внутрішнім взуттєвим простором, що враховує довжину стопи, висоту каблука, повноту, тип та форму носкової частини та зміну при цьому положення розміщень основних характерних точок стопи, що мають вплив на подальшу форму контурів деталей, швів, проміжних деталей, декоративних прикрас тощо.

Отже, базова основа ДВВ дозволяє вирішити проблему раціонального членування деталей на основі анатомічних характеристик стопи та суттєво підвищити якість і споживчі властивості взуття.

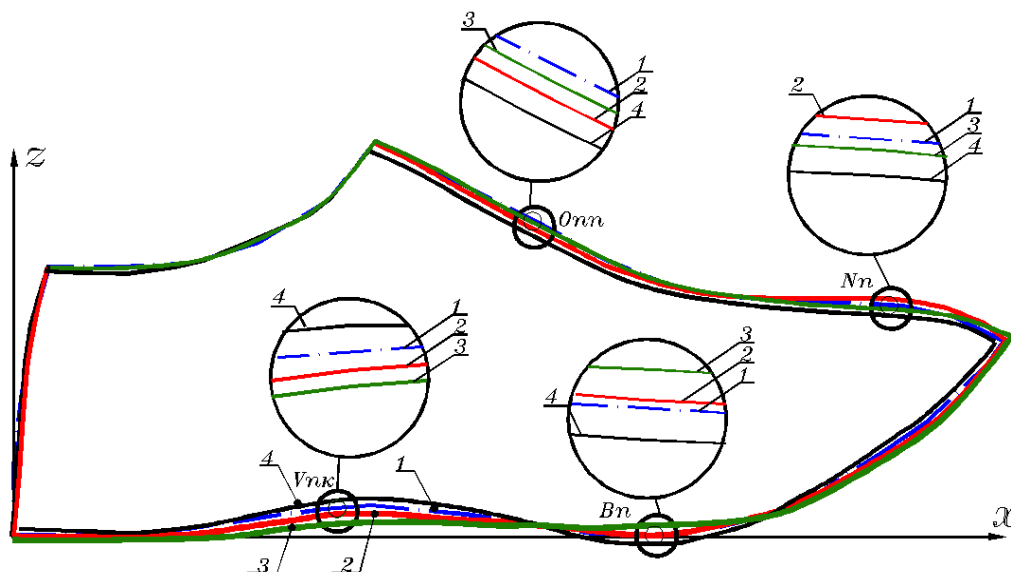


Рис. 1. Порівняння розгорток та базової основи (жіноча статеві-вікова група), отриманих методами: 1 – зліпка; 2 – з використанням аналітичної моделі; 3 – комбінованим; 4 – спрощеним шаблонним

На основі запропонованої моделі отримано базові основи для чоловічої та жіночої статеві-вікових груп. На рис. 1 та 2 наведено порівняння одержання розгорток традиційними ручними методами з базовою основою, підгрунтя якої становить аналітична модель. В якості основного зразка вибрано розгортку отримані методом зліпка, оскільки саме застосування цього методу забезпечує найбільш точне відтворення поверхні колодки, а для порівняння – спрощений шаблонний метод та комбінований, які найчастіше використовують в практиці проектування взуття. При порівнянні розгортки суміщали в найбільш випуклій точці п'ятової частини і в носковій частині. Порівняння розгорток проводили в критичних місцях з врахуванням положення основних анатомічних точок (відросток п'ятої плеснової кістки V_{nk} , внутрішній пучок B_n , довжина стопи N_n , обхват прямого підйому O_{nn}).

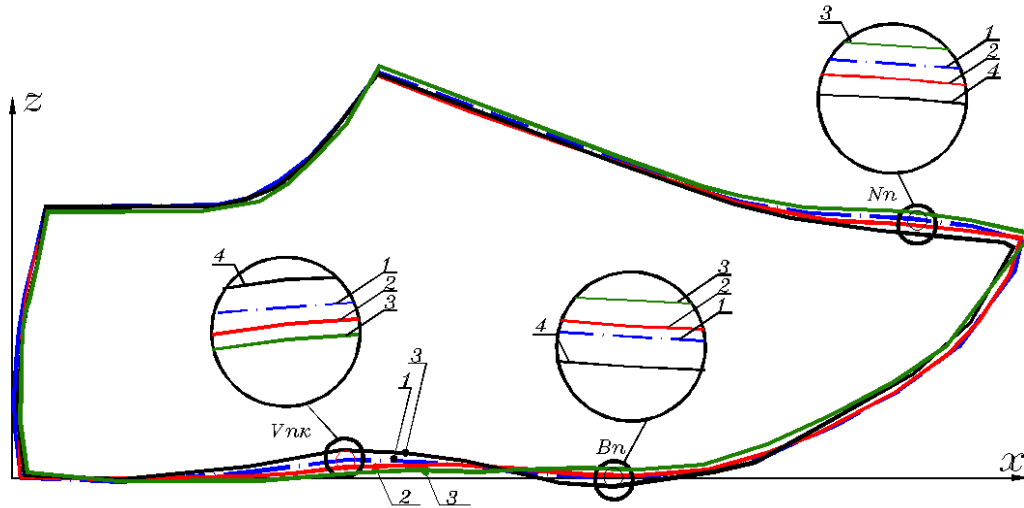


Рис. 2. Порівняння розгорток та базової основи (чоловіча статево-вікова група) отриманих методами: 1 – зліпка; 2 – з використанням аналітичної моделі; 3 – комбінованим; 4 – спрощеним шаблонним

В таблицях 1, 2 наведені абсолютні значення відхилень розгорток в критичних місцях від основного зразка, які свідчать про прийнятну точність емпіричної методики проектування базової основи.

Таблиця 1

Значення відхилень розгорток від основного зразка (чоловіча статево-вікова група)

Критичні точки порівняння	Висота каблука H_k	Припуск носкової частини K_D	Методи одержання розгорток		
			З використанням запропонованої моделі	Комбінований	Спрощений шаблонний
1	2	3	4	5	6
Відросток п'ятої плеснової кістки V_{nk}	$H_k=10$	$K_D=1,02$	1,82	3,59	4,18
		$K_D=1,07$	1,94	3,17	4,63
		$K_D=1,13$	2,02	3,84	4,89
	$H_k=20$	$K_D=1,02$	1,92	3,26	4,75
		$K_D=1,07$	2,08	3,91	4,74
		$K_D=1,13$	2,25	4,11	5,02
Внутрішній пучок B_n	$H_k=10$	$K_D=1,02$	1,69	4,23	4,95
		$K_D=1,07$	1,81	4,45	5,82
		$K_D=1,13$	1,89	4,56	5,87
	$H_k=20$	$K_D=1,02$	1,82	4,43	4,98
		$K_D=1,07$	1,98	4,59	5,22
		$K_D=1,13$	2,11	4,73	5,36
Довжина стопи N_n	$H_k=10$	$K_D=1,02$	2,06	3,16	4,29
		$K_D=1,07$	2,14	3,38	4,57
		$K_D=1,13$	2,47	3,65	4,67
	$H_k=20$	$K_D=1,02$	2,13	3,47	4,36
		$K_D=1,07$	2,39	3,71	4,74
		$K_D=1,13$	2,51	3,85	4,85

Таблиця 2

Значення відхилень розгортки від основного зразка (жіноча статеві-вікова група)

Критичні точки порівняння	Висота каблука H_k	Припуск носкової частини K_D	Методи одержання розгортки		
			З використанням запропонованої моделі	Комбінований	Спрощений шаблонний
1	2	3	4	5	6
Відросток п'ятої плеснової кістки V_{nk}	$H_k=20$	$K_D=1,02$	1,74	1,89	4,38
		$K_D=1,07$	1,92	2,02	4,56
		$K_D=1,13$	2,05	2,43	4,79
	$H_k=40$	$K_D=1,02$	1,97	1,86	4,29
		$K_D=1,07$	2,22	2,13	4,22
		$K_D=1,13$	2,46	2,18	4,38
	$H_k=60$	$K_D=1,02$	1,97	2,01	4,78
		$K_D=1,07$	2,41	2,18	4,9
		$K_D=1,13$	2,76	2,19	4,98
Внутрішній пучок V_n	$H_k=20$	$K_D=1,02$	0	2,50	3,00
		$K_D=1,07$	0	2,71	3,06
		$K_D=1,13$	0	2,81	3,18
	$H_k=40$	$K_D=1,02$	0	2,62	2,98
		$K_D=1,07$	0	2,83	3,06
		$K_D=1,13$	0	2,94	3,15
	$H_k=60$	$K_D=1,02$	0	2,63	3,18
		$K_D=1,07$	0	2,85	3,24
		$K_D=1,13$	0	2,98	3,36
Довжина стопи N_n	$H_k=20$	$K_D=1,02$	1,82	1,39	3,05
		$K_D=1,07$	1,86	1,26	3,06
		$K_D=1,13$	1,93	1,56	3,45
	$H_k=40$	$K_D=1,02$	1,92	1,51	3,41
		$K_D=1,07$	2,03	1,74	3,52
		$K_D=1,13$	2,12	1,89	3,65
	$H_k=60$	$K_D=1,02$	2,18	2,14	4,13
		$K_D=1,07$	2,21	2,26	4,29
		$K_D=1,13$	2,56	2,41	4,59
Обхват прямого підйому O_{nn}	$H_k=20$	$K_D=1,02$	1,21	1,92	4,56
		$K_D=1,07$	1,24	1,98	4,61
		$K_D=1,13$	1,45	2,03	4,82
	$H_k=40$	$K_D=1,02$	1,36	1,85	4,63
		$K_D=1,07$	1,57	2,01	4,71
		$K_D=1,13$	1,59	2,12	4,79
	$H_k=60$	$K_D=1,02$	1,41	2,01	4,74
		$K_D=1,07$	1,62	2,22	4,98
		$K_D=1,13$	1,69	2,36	5,01

Таким чином запропонована методика забезпечує високу точність побудови базової основи (БО) ДВВ при незрівнянно більшій продуктивності. Тому запропоноване удосконалення процесу проектування ДВВ може використовуватися в реальній практиці виготовлення взуття. Важливим при цьому є те, що дана методика дозволяє отримувати дані обміру стопи з певними відхиленнями від стандартних параметрів, далі автоматично на основі представленого вище аналітичного апарату, який вводиться у відповідне програмне забезпечення (у тому числі – універсального призначення), розрахувати та викреслити БО і вже ДВВ проектують на аналітично розробленій базовій основі з врахуванням анатомо-морфологічних властивостей стоп та художнього рішення конструкції.

Висновки

Проведено апробацію емпіричної методики проектування БО ДВВ, результати якої вказують на найменше відхилення від основного зразка в порівнянні з іншими методиками (відхилення базової основи в межах 0... 2,8 мм; комбінованого методу – 1,2...4,8 мм; спрощеного шаблонного – 2,8...5,8 мм), що свідчить про прийнятну точність емпіричної методики проектування базової основи.

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. Загальні критерії якості взуттєвих виробів для дітей-школярів / Т.А. Надопта, А.Б. Домбровський, О.В. Скідан // Вісник Хмельницького національного університету. – 2014. – № 1. – С. 244–249.
3. Коновал В. П. Універсальний довідник взуттєвика: навчальний посібник / В. П. Коновал, С. С. Гаркавенко, Л. Т. Свістуніна. – Київ : Лібра, 2005. – 720 с.
4. Бояров М. С. Обмер и воспроизведение поверхности колодки бесконтактным методом / М. С. Бояров, А. А. Лаптев, С. В. Родэ // Кожевенно-обувная промышленность. – 2008. – № 1. – С. 42-43.
5. Павлова С.В. Разработка системного комплекса средств геометрического моделирования для САПР изделий индустрии моды / С.В. Павлова // Естественные и технические науки. – 2008. – № 2 (34)/ – С. 430–433.
6. Чертенко Л.П. Розробка способу проектування колодок для комфортного взуття з використанням 3d сапр та прогресивного обладнання / Л.П. Чертенко, В.П. Кернеш, С.С. Гаркавенко // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. – 2017. – № 5 (114). – С. 143–152.
7. Жукова Л. Т. Комплексные решения компании «Delcam» для проектирования и изготовления обуви / Л.Т. Жукова, С. В. Жукова // Дизайн. Материалы. Технология. – 2008. – № 2. – С. 56–60.
8. Щербань В. Ю. Математические модели в САПР оборудования и технологических процессов легкой и текстильной промышленности / Щербань В. Ю., Волков О. М., Щербань Ю. Ю. – К. : КНУТД, – С. 175–279.
9. Шарипова Е.И. Автоматизация проектирования внутренней формы обуви : дис. ... канд. техн. наук : 05.19.06 / Шарипова, Елена Игоревна. – М., 2002. – 195 с.

References

1. Nadopta T.A. Rozrobka metodu proektuvannia detalei verkhу vztuttia na osnovi analitychnoi modeli prototypu : dys. ... kand. tekhn. nauk : 05.18.18 / Nadopta Tetiana Anatoliivna. – Khmelnytskyi, 2013. – 214 s.
2. Nadopta T.A. Zahalni kryterii yakosti vztutievkyh vyrobiv dlia ditei-shkoliariv / T.A. Nadopta, A.B. Dombrovskiy, O.V. Skidan // Herald of Khmelnytskyi National University. – 2014. – № 1. – S. 244–249.
3. Konoval V. P. Universalnyi dovidnyk vztutievkyka: navchalnyi posibnyk / V. P. Konoval, S. S. Harkavenko, L. T. Svistunova. – Kyiv : Libra, 2005. – 720 s.
4. Boyarov M. S. Obmer i vosproizvedenie poverhnosti kolodki beskontaktnym metodom / M. S. Boyarov, A. A. Laptev, S. V. Rode // Kozhevenno-obuvnaya promyshlennost. – 2008. – № 1. – S. 42-43.
5. Pavlova S.V. Razrabotka sistemnogo kompleksa sredstv geometricheskogo modelirovaniya dlya SAPR izdelij industrii mody / S.V. Pavlova // Estestvennye i tehnicheckie nauki. – 2008. – № 2 (34)/ – S. 430–433.
6. Chertenko L.P. Rozrobka sposobu proektuvannia kolodok dlia komfortnoho vztuttia z vykorystanniam 3d saпр ta prohresyvnoho obladnannia / L.P. Chertenko, V.P. Kernesh, S.S. Harkavenko // Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnolohii ta dizainu. – 2017. – № 5 (114). – S. 143–152.
7. Zhukova L. T. Kompleksnye resheniya kompanii «Delcam» dlya proektirovaniya i izgotovleniya obuvi / L.T. Zhukova, S. V. Zhukova // Dizajn. Materialy. Tehnologiya. – 2008. – № 2. – S. 56–60.
8. Sherban V. Yu. Matematicheskie modeli v SAPR oborudovaniya i tehnologicheskikh processov legkoj i tekstilnoj promyshlennosti / Sherban V. Yu., Volkov O. M., Sherban Yu. Yu. – K. : KNUVD, – S. 175–279.
9. Sharipova E.I. Avtomatizaciya proektirovaniya vnutrennej formy obuvi : dis. ... kand. tehn. nauk : 05.19.06 / Sharipova, Elena Igorevna. – M., 2002. – 195 s.

Рецензія/Peer review : 12.06.2019 р.

Надрукована/Printed : 23.07.2019 р.

Рецензент: к. т. н., проф. Домбровський А.Б.

ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ПРОГРЕСИВНИХ 3D ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ПРОЕКТУВАННЯ ВЗУТТЯ ЗА ІНДИВІДУАЛЬНИМ ЗАМОВЛЕННЯМ

Стаття присвячена вивченню можливості використання результатів 3d сканування стопи для проектування колодки за індивідуальним замовленням в середовищі графічних САПР. Такий прогресивний метод проектування колодки вимагає нового підходу до процесу перетворення антропометричної інформації в параметри взуттєвої колодки з урахуванням фасону колодки та особливостей взуття. Запропонований алгоритм процесу проектування передбачає використання в якості вихідної інформації цифрового 3d скану стопи, плантограми та результатів ручного обміру. На прикладі кількох замовників було продемонстровано різницю між теоретично розрахованими параметрами проектованої колодки та реальними параметрами апробованої колодки. Особливо відчутна така різниця в ділянці пучків, що ускладнює використання цифрового скану стопи для проектування колодки. Таким чином, результати роботи свідчать про необхідність подальшого вдосконалення способів проектування колодки з використанням сучасних САПР та спеціального обладнання для забезпечення впровадження їх у виробництво взуття за індивідуальним замовленням.

Ключові слова: колодка, стопа, 3d сканування, антропометричні вимірювання, графічні САПР.

LYPSKYI TYMOFIY

Kyiv National University of Technologies and Design

RESEARCH OF USING POSSIBILITIES OF PROGRESSIVE 3D TECHNOLOGIES FOR TAILOR-MADE SHOE DESIGN

The article is sanctified to the study of possibility of using the foot 3d scan results for tailor-made shoe lasts designing in the special graphic CAD. Such a progressive method of shoe last designing requires a new approach to the process of transforming of anthropometric information into the shoe last parameters, taking into account the shape of the last and features of the shoe. The offered algorithm of designing process envisages using as initial information of digital foot 3d scan, foot print and results of hand measurement. On the example of a few customers a difference was shown between the parameters of the theoretical designed shoe last and real parameters of the approved last. Such difference is especially perceptible in the ball area, that complicates the use of 3d scan copy of foot for shoe last designing. Thus, experiment results testify to the necessity of further perfection of methods of shoe last design with the use of modern CAD\CAM systems and special equipment for providing of introduction of them in a tailor-made shoe production.

Key words: shoe last, foot, 3d scanning, anthropometric measurements, graphic CAD.

Постановка проблеми

Сучасний темп зміни модних тенденцій та розвитку нових технологій змушує виробників взуття переглядати організаційну структуру виробничого процесу з метою підвищення мобільності та конкурентоспроможності, що досягається багатьма факторами, серед яких важливе місце займає широкий асортиментний модельний ряд та можливість швидкої зміни моделей. Це є особливо важливим в умовах виробництва взуття класу де-люкс, що виготовляється в єдиному екземплярі або малих серіях. Виготовлення взуття за індивідуальним замовленням представляє собою особливий формат організації виробничого процесу, коли кожна пара взуття має оригінальний ексклюзивний дизайн та враховує параметри стопи замовника, а також вимоги, що він висуває. Серед причин, які змушують споживачів замовляти індивідуальне взуття, можна сформулювати наступні:

- Нестандартні параметри стопи замовника (великий або малий розмір, широка або вузька повнота тощо).
- Наявність деформацій або патологічних відхилень (потребують ортопедичного або профілактичного взуття).
- Бажання мати оригінальну та унікальну пару взуття індивідуального дизайну.
- Необхідність врахування певних антропометричних, ергономічних, функціональних та інших вимог до моделі (вимог до конструкції верху, форми низу, структури матеріалу, колірної гами тощо).

Аналіз останніх джерел

Одним з основних показників якості ексклюзивного взуття є його зручність, яка найбільшою мірою залежить від правильного проектування взуттєвої колодки [1, 2]. Неправильно сконструйоване взуття, що виготовляється на нераціональних колодках – основна причина розвитку патологій стоп.

Основою для проектування колодки слугує стопа замовника: її форма та параметри, для отримання яких проводяться антропометричні дослідження. На підготовчому етапі антропометричних досліджень вибираються методи отримання інформації. З безлічі традиційних методів в даний час найбільшого поширення набули метричний, плантографічний, метод гіпсування, отримання перетинів за допомогою контурографів, фотограмметричний, рентгенографічний та ін. [2, 3].

Метричний метод вимірювань передбачає визначення на стопі розмірів трьох видів: лінійних (довжина, ширина, висота), об'ємних (обхвати) і кутових.

Плантаграфічний метод полягає в отриманні відбитка стопи, його візуальною оцінкою і проведенні графіко-розрахункового аналізу.

Гіпсування стопи передбачає отримання її гіпсового зліпка. З гіпсового зліпка при необхідності можна знімати параметри метричним методом вимірювань, розрізаючи зліпок отримують інформацію про форму і розміри перетинів стопи.

Профілювання контурографом також дозволяє отримати аналогову інформацію про перерізи стопи.

Фотограмметричний метод дає можливість визначити розміри і форму об'єкта на плоскому фотографічному зображенні. Рентгенологічний метод дає повну картину анатомічного (скелетного) будови стопи.

Таким чином, існує широкий спектр пристроїв і приладів для здійснення антропометричних досліджень – від простих механічних до оптико-електронних. Стопа є складним геометричним тілом, тому механічні прилади не дають можливості точного виміру її параметрів, а також повного збігу повторних замірів. З цієї точки зору більш перспективні оптичні та оптико-електронні методи, які дозволяють одночасно отримувати точні вимірювання всіх необхідних параметрів. Найбільш прогресивними та сучасними є безконтактні способи антропометричних досліджень за допомогою спеціалізованих 3d сканерів, які дають вичерпну інформацію про параметри, плантограму сліду та просторову форму стопи [4]. Такі методи найбільш точні, досить швидкі в реалізації, та надають інформацію в цифровому форматі, сумісному з сучасними прогресивними системами автоматизованого проектування та обладнанням для прототипування, що зрештою дає можливість автоматизації проектних етапів виробництва.

Виклад основного матеріалу

Виготовлення взуття за індивідуальним замовленням має свої особливості виробництва та виконання етапів конструкторської підготовки виробництва, в тому числі і антропометричних досліджень стопи клієнта. Той чи інший спосіб отримання вихідної інформації для проектування колодки залежить від призначення взуття, особливостей стопи замовника, його бюджету, способу виготовлення взуттєвої колодки та особливостей проведення інших етапів супутніх проектних робіт.

Індивідуальна колодка за параметрами стопи замовника може бути виготовлена такими способами:

- Гіпсуванням стопи (рис. 1).
- Коригуванням підібраної типової колодки з наявного асортименту (рис. 2).
- Виготовленням нової форми із пластикової або дерев'яної заготовки ручним випилюванням.
- Виготовленням нової форми із заготовки фрезеруванням на верстаті з ЧПК (рис. 3).



Рис. 1. Виготовлення колодки за допомогою гіпсування стопи

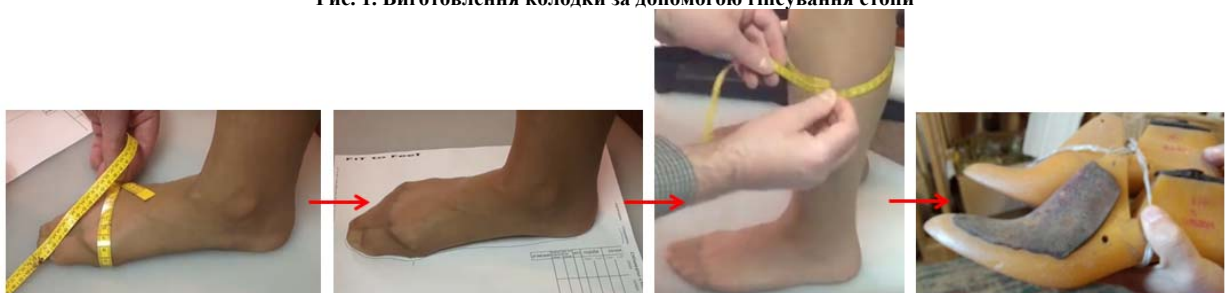


Рис. 2. Виготовлення колодки шляхом коригування її форморозмірів у відповідності до параметрів стопи

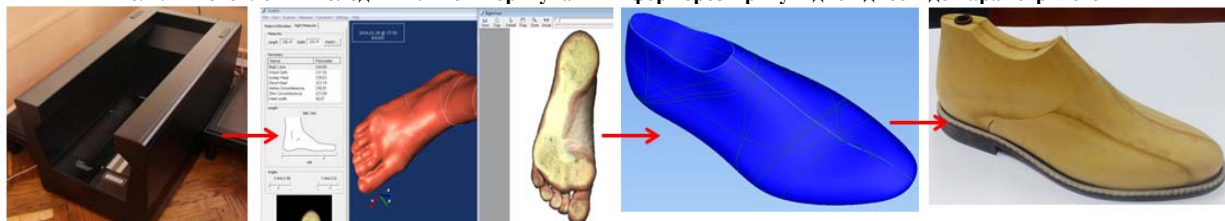


Рис. 3. Виготовлення нової форми колодки за допомогою автоматизованого способу проектування з використанням сучасних 3d технологій

Гіпсування стопи використовується для виготовлення ортопедичного взуття для людей з патологіями або деформаціями стоп. Однак такий спосіб дає в результаті гіпсову колодку, яка є дуже крихка та не дозволяє повноцінно проводити обтяжно-затяжні процеси виробництва шкіряного взуття. Така

колодка практично не враховує технологічні та естетичні вимоги та не підходить для виготовлення модельного та повсякденного взуття. Коригування підібраної типової колодки з наявного асортименту виконується за допомогою набивання на поверхню колодки спеціальних накладок в залежності від місця розташування та ступеню відхилень стопи замовника від типових параметрів стопи даного розміру. Такий спосіб вимагає дуже високої кваліфікації майстра та не забезпечує високої точності проектування. Крім того, при редагуванні пари колодок важко досягти абсолютної ідентичності форми лівої та правої півпар. Фактично жоден з цих двох способів створення колодок не дає можливостей для дизайну принципово нової оригінальної форми колодки. Виготовлення колодки нового дизайну можливе тільки на основі пластикової або дерев'яної заготовки шляхом випилювання за допомогою столярних інструментів або фрезерування на верстаті з числовим програмним керуванням. Ручне випилювання колодки – процес дуже важкий та тривалий, вимагає від майстра високої кваліфікації, значного практичного досвіду та майже унікальних навичок, адже майстер працює і як художник-скульптор, і як лікар-ортопед, і як столяр. Такий спосіб виробництва колодки застосовується італійськими майстрами на деяких колодочних підприємствах для виготовлення окремих еталонів з підвищеними естетичними вимогами, що далі слугують базою для розробки серії колодок. Такий спосіб не підходить для виготовлення взуття за індивідуальним замовленням, де необхідно виготовляти нову пару колодок для кожного клієнта.

Великі перспективи представляє виготовлення нової форми із заготовки фрезеруванням на верстаті з ЧПК. Такий спосіб повністю відповідає сучасним вимогам мобільності та ефективності виробництва в автоматизованому форматі, він не має обмежень щодо асортименту, параметрів, форм або фасонів колодок, дозволяє досягти високої продуктивності процесу в тому числі за рахунок цифрового формату збереження бази даних, при якому легко можна створювати нові форми колодок на основі існуючих.

Такий спосіб виготовлення взуттєвої колодки передбачає проектування її поверхні в середовищі спеціалізованих графічних САПР з подальшою підготовкою інформації для передачі на верстат з ЧПК [5]. Найбільшу ефективність процесу проектування-виготовлення колодки за індивідуальним замовленням можна досягти саме за такого способу при використанні високопродуктивного сучасного способу отримання базової антропометричної інформації за допомогою спеціалізованого 3d сканера. Однак такий метод виготовлення колодки вимагає нового підходу до процесу проектування її параметрів та форми.

В даній роботі проведено аналіз можливості використання автоматизованого способу проектування колодок з використанням результатів 3d сканування стопи для виготовлення взуття за індивідуальним замовленням. В якості вихідної інформації використовується сканована 3d копія стопи, розмірні параметри та плантограма досліджуваної стопи, які автоматично отримуються в процесі 3d сканування. Параметри основної частини колодки розраховуються з урахуванням біомеханічних та фізіологічних особливостей стопи, технологічних вимог, а також таких факторів як призначення (модельне, повсякденне, профілактичне, ортопедичне тощо) та тип взуття (туфлі, черевики, чобітки та ін.). Вимоги дизайну впливають в основному на пластику ліній та форму носкової частини колодки.

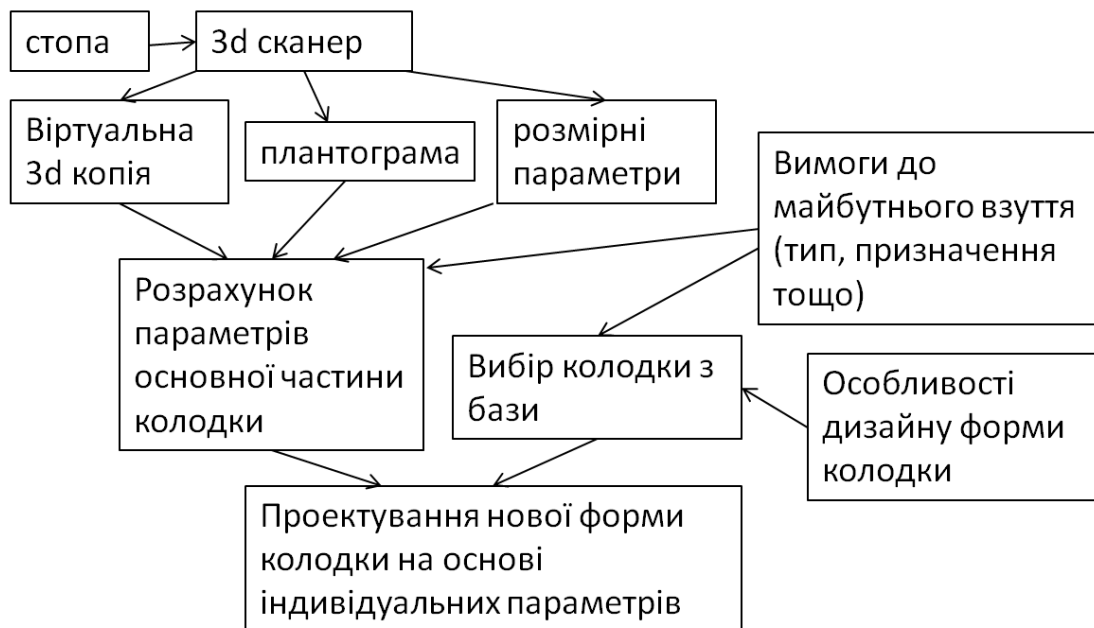


Рис. 4. Схема процесу проектування форми колодки на основі результатів 3d сканування стопи

Для обмірювання параметрів стопи клієнта в сфері виготовлення взуття за індивідуальним замовленням досі традиційно використовують ручні контактні способи отримання інформації: стопомір, вимірювальна стрічка, плантограма тощо. Метою дослідження було порівняння результатів контактних антропометричних вимірювань з сучасними безконтактними за допомогою 3d сканера для подальшого використання при виготовленні індивідуальних колодок.

Стопа замовника в ході роботи обмірялася вручну та сканувалася сканером inFoot 3d. Результати дослідження представлені в табл. 1.

Таблиця 1

Порівняння розмірів стопи замовників, отриманих різними методами дослідження

Параметри стопи, мм.		1	2	3	4	5	6	7	8
Довжина	Ручним вимірюванням	255	244.5	242	233	248	248	283	288
	по сканованій 3d копії	254.2	242.9	240.3	232.7	246	246.4	282.2	288.0
Відхилення Δ , мм		0.8	1.6	0.7	0.3	2.0	1.6	0.8	0.0
Обхват через внутрішній та зовнішній пучок	Ручним вимірюванням	235	221	254	220	250	220	258	281
	по сканованій 3d копії	243.7	229.5	261.3	232.0	262.5	233.0	266.5	293.2
Відхилення Δ , мм		-8.3	-8.5	-7.3	-12.0	-12.5	-13.0	-8.5	-12.2
Обхват по внутрішньому пучку	Ручним вимірюванням	228.5	220	248	216	248	218	250	268
	по сканованій 3d копії	231.8	227.2	252.8	222.4	257.0	226.1	256.2	274.8
Відхилення Δ , мм		-3.3	-7.2	-4.8	-6.4	-9.0	-8.1	-6.2	-6.8
Обхват по середині стопи	Ручним вимірюванням	225	222	241	220	246	216	264	290
	по сканованій 3d копії	225.6	228.2	243.3	219.5	248.6	218.0	268.7	296.7
Відхилення Δ , мм		-0.6	-6.2	-2.3	0.5	-2.6	-2.0	-4.7	-6.7
Обхват косоного підйому довгого	Ручним вимірюванням	335	333	345	314	356	330	390	390
	по сканованій 3d копії	330.7	332.1	343.6	315.6	354.2	333.0	393.8	388.0
Відхилення Δ , мм		4.3	0.9	1.4	-1.6	1.8	3.0	-3.8	2.0
Ширина стопи в пучках (по габариту)	Ручним вимірюванням	98	94	108	98	106	98	107	119
	по сканованій 3d копії	96.7	93.7	108.5	95.7	104.8	97.2	106.0	119.8
Відхилення Δ , мм		1.3	0.3	-0.5	2.3	1.2	0.8	1.0	-0.2
Ширина стопи через внутрішній-зовнішній пучки по відбитку	Ручним вимірюванням	89	86	100	85	96	86	97	106
	по сканованій 3d копії	92.0	87.1	101.8	87.3	98.2	87.5	100.2	109.3
Відхилення Δ , мм		-3.0	-1.1	-0.8	-2.3	-2.2	-1.5	-3.2	-3.3
Ширина стопи на рівні середини п'ятки по габариту	Ручним вимірюванням	67	68	69	61	71	67	75	77
	по сканованій 3d копії	65.4	66.4	68.8	60.1	69.4	65.1	72.4	76.5
Відхилення Δ , мм		1.6	1.6	0.2	0.9	1.6	1.9	2.6	0.5
Ширина стопи на рівні середини п'ятки по відбитку	Ручним вимірюванням	43	51	52	40	50	50	58	56
	по сканованій 3d копії	47.0	53.7	54.3	44.3	53.8	53.3	61.5	58.7
Відхилення Δ , мм		-4.0	-2.7	-2.3	-4.3	-3.8	-3.3	-3.5	-2.7

Порівняння результатів свідчить про значну різницю у вимірюваннях. Особливо велика різниця спостерігається в обхватних параметрах. Це можна пояснити трьома причинами:

- різна точність вимірювань;
- технологія ручних контактних обмірів вимірювальною стрічкою передбачає деяке стискання

м'яких тканин стопи, чого не спостерігається при безконтактних обмірах;

- відхилення в розташуванні поперечних перерізів, на рівні яких здійснюється вимірювання обхватного параметру.

Далі на основі отриманих результатів антропометричного дослідження вираховувалися теоретичні параметри майбутньої колодки для одного із замовників з урахуванням факторів біомеханіки, фізіології, згідно з рекомендаціями знаних вчених [6, 1], а також естетичних та технологічних вимог.

Розраховані параметри колодки було порівняно з фактичними розмірами реальної колодки замовника, яка була апробована раніше для виготовлення пари взуття та отримала схвальні відгуки щодо опірності та зручності. Колодка жіноча має фасон 8182 та призначена для виготовлення закритого взуття весняно-літнього сезону (туфлі, напівчеревики, ботильони тощо). Для дослідження та порівняння параметрів колодку було відскановано за допомогою 3d сканера InFoot 3d.

Таблиця 2

Порівняння теоретичних та реальних параметрів колодки з параметрами стопи замовника

Параметри, мм.	Стопа	Колодка віртуальна з теоретично обґрунтованими параметрами		Колодка реальна апробована	
		Розмір, мм	Відхилення від розміру стопи, Δ , мм	Розмір, мм	Відхилення від розміру стопи, Δ , мм
Довжина, мм	246	265	19	265	19
Обхват через внутрішній та зовнішній пучок, мм	262.5	261	-1.5	248	-14.5
Обхват по внутрішньому пучку, мм	257.0	252	-5.0	250	-7.0
Обхват по середині стопи, мм	248.6	249	0.4	250	1.4
Обхват косоного підйому, мм	354.2	359	4.8	359	4.8
Ширина в пучках по габариту, мм	104.8	99	-5.8	95	-9.8
Ширина в пучках по сліду, мм	98.2	97	-1.2	94	-4.2
Ширина на рівні середини п'ятки по габариту, мм	69.4	67	-2.4	66	-3.4
Ширина на рівні середини п'ятки по сліду, мм	53.8	59.5	5.7	59	5.2

З таблиці видно, що найбільші відхилення також спостерігаються в пучковій ділянці колодки: параметри реальної колодки значно вужчі за теоретичні. Як свідчить багаторічний практичний досвід виробників взуття за індивідуальним замовленням, таке зменшення периметрів пучкової частини колодки порівняно з антропометричними розмірами дійсно часто має місце та пояснюється звичкою споживачів носити вузьке взуття, яке має більш естетичний вигляд та витончений силует. Подібне часткове ігнорування раціональних та комфортних параметрів внутрішньої форми взуття може бути виправдане фізіологічними особливостями здорової стопи дорослої людини, які включають припустиме стиснення стопи матеріалами взуття. Особливо виражений цей ефект у модельному вишуканому взутті, яке не висуває жорстких вимог зручності та комфортності.

Порівнявши скановані 3d копії стопи та апробованої колодки, бачимо значну різницю не тільки за параметрами, але і за формою, що треба враховувати в ході подальшої розробки внутрішньої форми взуття.

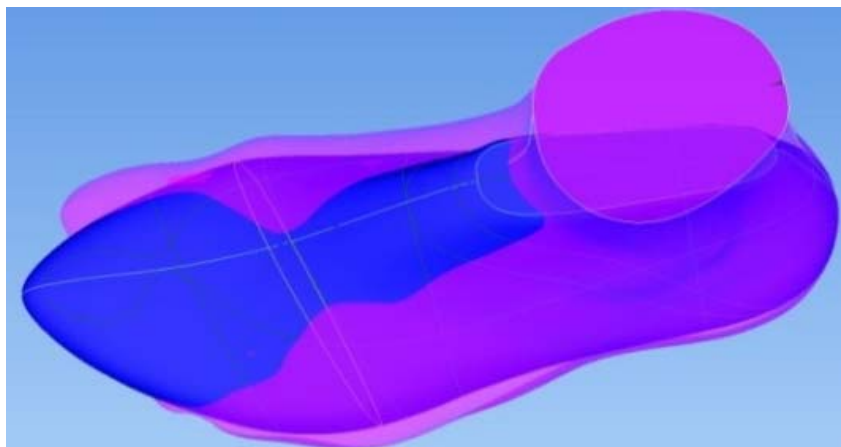


Рис. 4. Порівняння сканованої 3 d форми стопи та колодки

Висновки

Результати проведених досліджень дозволяють стверджувати про необхідність подальшого вдосконалення методів проектування взуттєвої колодки за індивідуальним замовленням для впровадження у виробництво з використанням сучасних прогресивних технологій та автоматизованого обладнання.

Література

1. Чертенко Л.П. Особенности проектирования рациональной формы обувной колодки с применением САПР / Л.П. Чертенко, В.П. Коновал // Метрология, стандартизация и сертификация изделий сервиса: теория и практика. Шахты : международный сборник научных трудов. – 2007. – С. 97–100.
2. Ченцова К.И. Стопа и рациональная обувь / Ченцова К.И. – М. : Легкая индустрия, 1974. – 216 с.
3. Фукин В.А. Развитие теории и методологии проектирования внутренней формы обуви / Фукин В.А., Буй В.Х. – Москва, 2015. – 410 с.
4. Witana C.P., Xiong S., Zhao J. and Goonetilleke R.S. Foot measurements from three-dimensional scans: A comparison and evaluation of different method // International Journal of Industrial Ergonomics, 36, 2006 – P. 789–807.
5. Орловський Б.В. CALS-технології об'єктно-орієнтованого проектування і виготовлення взуття на засадах програмного комплексу DelCAM CRISPIN / Б. В. Орловський // Вісник КНУТД. – 2012. – № 1. – С. 22–33.
6. Лыба В.П. Расчетный метод преобразования формо-размеров стопы в параметры рациональной внутренней формы обуви / В.П. Лыба, В.А. Фукин // Кожевенно-обувная промышленность. – М., 1987. – № 12. – С. 41–42.

References

1. Chertenko L.P. Osobennosti proektirovaniya racionalnoj formy обувной колодки s primeneniem SAPR / L.P. Chertenko, V.P. Konoval // Metrologiya, standartizatsiya i sertifikatsiya izdelij servisa: teoriya i praktika. Shahty : mezhdunarodnyj sbornik nauchnyh trudov. – 2007. – S. 97–100.
2. Chencova K.I. Stopa i racionalnaya obuv / Chencova K.I. – M. : Legkaya industriya, 1974. – 216 s.
3. Fukin V.A. Razvitie teorii i metodologii proektirovaniya vnutrennej formy obuvi / Fukin V.A., Buj V.H. – Moskva, 2015. – 410 s.
4. Witana C.P., Xiong S., Zhao J. and Goonetilleke R.S. Foot measurements from three-dimensional scans: A comparison and evaluation of different method // International Journal of Industrial Ergonomics, 36, 2006 – R. 789–807.
5. Orlovskiy B.V. CALS-tekhnologii ob'ektno-orientovanoho proektuvannia i vyhotovlennia vzuttia na zasadakh programnoho kompleksu DelCAM CRISPIN / B. V. Orlovskiy // Visnyk KNUTD. – 2012. – № 1. – S. 22–33.
6. Lyba V.P. Raschetnyj metod preobrazovaniya formo-razmerov stopy v parametry racionalnoj vnutrennej formy obuvi / V.P. Lyba, V.A. Fukin // Kozhevenno-obuvnaya promyshlennost. – M., 1987. – № 12. – S. 41–42.

Рецензія/Peer review : 9.06.2019 р.

Надрукована/Printed : 23.07.2019 р.
Рецензент: д.т.н., проф. В.І. Чупринка

СУЧАСНІ ТРЕНДИ ВДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСІВ РІДИННОГО ОЗДОБЛЕННЯ ШКІРИ

Робота є продовженням раніше виконаних досліджень фізико-хімічних процесів виготовлення натуральної шкіри з використанням сучасних хімічних реагентів, спрямованих на зниження матеріаломісткості оброблення, підвищення якості готової продукції, екологізацію виробництва. Проведено аналіз, порівняння та систематизацію новітніх розробок щодо вдосконалення додублювання, наповнювання та жирування – найважливіших процесів рідинного оздоблення, які після дублення найбільшою мірою впливають на формування структури, технологічні та функціонально-споживчі властивості шкіри.

Ключові слова: шкіра, рідинне оздоблення, додублювання, наповнювання, жирування, матеріали.

N.V. PERVAIA, O.A. ANDREYEVA, I. I. LOSHKAREVA

Kyiv National University of Technologies and Design

MODERN TRENDS OF IMPROVEMENT OF LEATHER LIQUID FINISHING PROCESSES

The domestic leather industry is experiencing a substantial need for raw materials supplied to the industry enterprises in insufficient quantities and not always of the required quality. The more rational use of raw materials contributes to the search for additional technological opportunities in the processing of animal skins into genuine leather. The improvement of existing technologies, as well as the creation of new innovative technologies, is impossible without the use of effective chemical materials that can ensure the competitiveness of finished products while minimizing the environmental impact. This work is a continuation of previously performed studies of physicochemical liquid leather finishing processes using modern chemical reagents aimed at reducing the material consumption of processing, improving the quality of finished products, greening production. The analysis, comparison and systematization of the latest developments to improve retanning, filling and fatliquoring are the most important processes of liquid finishing, which, after tanning, have the greatest influence on the formation of leather structure, technological and functional-consumer properties. It is established that the majority of modern developments in the field of skin deepening, filling and greasing are devoted to the search, creation and research of chemical materials for carrying out these processes, with further adjusting of technological parameters by the use of new materials, studying the influence of processing conditions on the structure and properties of semi-finished and finished products, and also environmental ecology. Promising retanning-filling reagents include polymeric compounds based on acrylic and maleic acids, tannins with low formaldehyde content, and industrial waste modification products. Improvement in the process of fatliquoring is associated with the use of new generation substances of synthetic and natural origin or in general with the change of technological scheme, for example, by the use of pre-fatliquoring thermostable enzymes. The results of the work will be used to create a resource-saving technology for the production of shoe upper leather with predictable properties.

Key words: leather, liquid finishing, retanning, filling, fatliquoring, materials

Постановка проблеми

Кінцевим продуктом шкіряного виробництва є натуральна шкіра, отже, весь технологічний цикл її виробництва є не чим іншим, як перетворенням шкірного покриву тварин на цей продукт. Унікальні характеристики натуральної шкіри роблять її ідеальною для виготовлення найрізноманітніших виробів. Особливо важливий вплив на фізико-механічні, гігієнічні та інші властивості шкіри має рідинне оздоблення, до якого належать фарбувально-жирувальні процеси та операції, призначені для додаткового після дублення формування структури дерми, надання їй необхідних фізико-механічних властивостей та зовнішнього вигляду. Склад та послідовність виконання окремих етапів рідинного оздоблення неоднакові і залежать від виду та призначення вироблюваної шкіри. Процеси додублювання, наповнювання і жирування є тими процесами рідинного оздоблення, які після оброблення дубильними сполуками найбільш суттєво змінюють характеристики шкіряних виробів [1–3]. Порівняно з технологіями виробництва хромових шкір для верху взуття, прийнятими у країнах СНД, значна частина сучасних іноземних технологій передбачає підвищену витрату та розширений асортимент хімічних матеріалів для процесів рідинного оздоблення, у тому числі додублювання, наповнювання та жирування. І хоча впровадження таких технологій супроводжується поліпшенням використання сировини, зростає вірогідність зниження окремих показників шкіри й не завжди обґрунтованої витрати реагентів. Результати аналізу матеріалоемності рідинного оздоблення шкір для верху взуття вітчизняних підприємств і деяких іноземних фірм на підставі зіставлення витрати сировини та хімічних матеріалів свідчать про необхідність розробки менш матеріалоемних, тобто ресурсощадних технологій цієї відповідальної стадії шкіряного виробництва [4].

Аналіз останніх джерел

Сучасне виробництво натуральної шкіри передбачає проведення багатьох технологічних процесів з використанням широкого асортименту хімічних матеріалів. Це обумовлено потребою у створенні високоякісної продукції з гарними експлуатаційними, естетичними, гігієнічними та споживчими властивостями [5]. Ефективність додублювання та наповнювання шкіри тісно пов'язана з глибиною дифузії матеріалів всередину дерми та з наповнюванням останньої. Поширеним реагентом для додублювання-наповнювання є акрилова смола. Але, оскільки її вміст у шкірі не можна оцінити візуально або кількісно, використання реагенту залежить від досвіду шкіряників. Виходячи з цього, у якості моделі флуоресцентних акрилових смол групою китайських вчених синтезовано 5-амінофлуоресцеїнмічену поліакрилову кислоту AF-РАА шляхом реакції фазового перенесення та очищення за допомогою гель-фільтрації. При застосуванні

AF-РАА для подвоєння-наповнювання встановили, що нову смолу можна добре візуалізувати і кількісно визначати у шкірі за допомогою флуоресцентної мікроскопії та програмного забезпечення Image J. Поліпшенню дифузії та фіксації акрилової смоли у дермі сприяють слабкість та менш компактне укладання колагенових волокон, підвищення кількості смоли, сумісне подвоєння з деякими іншими аніонними подвоєючими агентами [6]. Іншою групою китайських вчених у складі Jin L., Wang Y. та Zhu D. досліджено вплив на фізичні властивості шкіри ще одного нового подвоєючого матеріалу – амфотерного акрилового сополімеру, одержаного шляхом вільно радикальної сополімеризації. Експериментально доведено, що подвоєння цим продуктом на відміну від відомого полімеру може поліпшити такі важливі властивості шкіри як м'якість, міцність та забарвлення [7].

З кожним днем зростають ризики для здоров'я людей, пов'язані з використанням виробів з натуральної шкіри, яку виготовили з екологічно небезпечних хімічних матеріалів. Екомаркована шкіра та виготовлені з неї вироби мають великий попит у розвинених країнах. Ось чому концепція екомаркування змушує фахівців шукати шляхи розробки екологічно безпечних продуктів. Одним з ймовірних канцерогенів для людини вважається формальдегід. З урахуванням цього, у роботі [8] зроблено спробу отримати безформальдегідну шкіру шляхом використання синтанів без вмісту формальдегіду. Авторами порівняно три синтани (смола, акрил та білок), які не містять формальдегід, і два синтани, які містять формальдегід. Проведено випробування з визначення оптимальної витрати реагентів, необхідної для забезпечення належних властивостей шкіри. На підставі органолептичної оцінки, результатів випробування міцності та деяких інших характеристик шкіри виявлено, що її бажані властивості забезпечуються при витраті безформальдегідних синтанів на рівні 8, 10 та 12 %. Передбачено тісний взаємозв'язок між природою синтанів та їх здатністю надавати шкірі певних властивостей. Так, наприклад, ароматичні синтани зі збільшенням витрати мають тенденцію знижувати міцність та м'якість шкіри. Зв'язок між витратою синтанів та наповнюванням шкіри підтверджено результатами скануючої електронної мікроскопії. Експериментально встановлено, що оброблена безформальдегідними синтанами шкіра не містить вільний формальдегід, тобто не створює загрози здоров'ю споживача.

Властивості готової шкіри суттєво залежать від хімічної природи та будови застосованих матеріалів. Особливо це помітно на стадії жирування при використанні реагентів різного походження, оскільки кожен з них по-різному впливає на шкіряний напівфабрикат. Для досягнення комплексу бажаних властивостей та показників готової шкіри іноді застосовують суміші жирів [9]. У роботі [10] наведено результати порівняльного аналізу сульфатованого тригліцериду у якості стандартного жиру і трьох різних типів жирувальних матеріалів: сульфатованого риб'ячого жиру, акрилового полімеру з жирувальною здатністю і сульфатованого ефіру фосфорної кислоти, а також їх суміші із загальною вмістом активної речовини 10 %. Після оброблення зазначеними жирами напівфабрикату Vet блу товщиною 1,4 мм, одержаного зі шкіри ялівки за відомою методикою, оцінювали властивості шкіри (ступінь м'якості, маса, товщина, компактність у вигляді співвідношення між збільшенням товщини і ступенем м'якості, інтенсивність забарвлення, міцність на розрив, опір розриву) та кількість екстрагованого і леткого жиру. Було встановлено, що реагент на базі сульфатованих ефірів фосфорної кислоти забезпечує найкращу м'якість та фізичну стійкість шкіри. Жирувальний полімер сприяє одержанню шкіри з найменшою масою, найбільшою товщиною і компактністю, найнижчій кількості екстрагованих і летких жирових речовин. Сульфатований риб'ячий жир дає найбільш високу інтенсивність забарвлення шкіри і є самим м'яким реагентом з низькою леткістю речовин. Суміш трьох жирів не створює ніякого синергетичного ефекту.

Метою роботи є аналіз новітніх розробок з удосконалення процесів рідинного оздоблення натуральної шкіри. Виходячи з того, що на даній стадії шкіряного виробництва найбільший вплив на формування структури, технологічні та функціонально-споживчі властивості дерми мають процеси подвоєння, наповнювання та жирування, поставлено завдання шляхом огляду, порівняння та систематизації новітніх досліджень у галузі зазначених процесів визначити основні тренди їх вдосконалення у напряму більш раціонального використання сировинно-матеріальних ресурсів, зменшення забруднення навколишнього середовища.

Виклад основного матеріалу

Сучасні розробки у галузі подвоєння та наповнювання шкіри. Призначення процесу подвоєння полягає у додатковому формуванні структури дерми, підвищенні її термостійкості, спорідненості з барвниками, міцності та стійкості до дії окиснювачів, а також в ущільненні лицьової поверхні. Процес наповнювання є одним із засобів вирівнювання властивостей натуральних шкір на топографічних ділянках та поліпшення їх якості. Слід зазначити, що хімічна природа призначених для проведення цих процесів реагентів обумовлює не лише властивості шкіри, а й активно впливає на дифузію і зв'язування барвників, жирувальних речовин, якість покривного фарбування. Для подвоєння та наповнювання використовують різноманітні органічні та неорганічні сполуки: синтани, таніди, полімерні матеріали тощо. Оскільки деякі з них мають одночасно наповнювальну і подвоєвальну здатність, чіткого розмежування між цими процесами немає [1, 3].

У представленій авторами роботі [11] нові подвоєючі матеріали синтезовано на базі акрилової кислоти як первинного мономера та восьми інших акрилатних мономерів (МАА-метилакрилової кислоти, ЕА-етилакрилату, ВА-бутилакрилату, VAc-вінілацетату, МА-метилакрилату, АМ-акриламиду, ІА-ітаконової кислоти, НЕА-2-гідроксиетилакрилату) у якості простих ефірів. Одержані реагенти використали для подвоєння шкіряного напівфабрикату, після чого дослідили еластичність одержаної шкіри. Проведений експеримент показав, що м'які сомомери ВА та ЕА роблять більший внесок в еластичність шкіри, ніж інші сомомери.

За участі Zou X., Wu H. та Ye Q. синтезовано рідкий додублюючий агент PMMF на базі гідрофільних мономерів моноалкілмалеату FME та октадецилметакрилату MAO, гідрофобного мономера метакрилової кислоти MAA в присутності ініціатора персульфату амонію шляхом кополімеризації краплі води через вільно радикальні емульсії [12]. Структуру PMMF досліджували за допомогою інфрачервоної спектроскопії з Фур'є-перетворенням (FTIR). Вплив умов синтезу на властивості нового продукту вивчали за допомогою повного факторного експерименту. За оптимальних умов синтезу /температура 85 °С; масова частка персульфату амонію 5 % (у розрахунку на загальну масу мономерів); мольне співвідношення гідрофільних мономерів та MAA становить 1:1,5, FME та MAO – 3:2, додеканола та гексадекана у вигляді жирних спиртів з довгим ланцюгом та FME – 1:1; час краплеутворення активного мономера 1,5 год/ одержаний продукт виявив здатність до емульгування, а коефіцієнт пропускання світла 1-відсоткової водної емульсії PMMF становив 54,4 %. Використання нового реагенту для додублювання хромової шкіри з овчини надало їй суттєвої м'якості та водонепроникності.

Для покращення функціональних властивостей шкіри на практиці використовуються комбінації різних типів додублюючих реагентів, тому важливо зрозуміти індивідуальний вплив кожного з них на якість шкіри. Робота [13] була спрямована на визначення індивідуального впливу різної (4, 8 і 16 %) кількості фенолформальдегідної смоли, мелаїноформальдегідної смоли, акрилової смоли та біополімеру на фізичні властивості шкіри. Експериментально встановлено, що на міцність суттєво впливає підвищення кількості додублюючих реагентів понад 8 %, при цьому найбільший серед реагентів вплив має фенолформальдегідна смола. Мелаїноформальдегідна смола та біополімер впливають переважно на область пол. І якщо фенолформальдегідна смола покращує вихід по товщині, то щільність та вихід по площі поліпшуються з підвищенням кількості мелаїноформальдегідної смоли. Біополімер сприяє вирівнюванню лицьового шару шкіри. Здатність покращувати її гриф однакова для всіх реагентів. Через неоднорідну природу шкірної матриці не можна зробити змістовний висновок щодо результатів пористості, оскільки звичайний триразовий метод вимірювання є недостатнім для остаточної інтерпретації результатів, одержаних за допомогою порометрії капілярного потоку.

У спільній публікації індійських та ефіопських вчених [14] розглянуто синтез додублюючого агента з органічних речовин, які присутні в утвореному у паперовій та целюлозній промисловості чорному лузі. Органічні речовини спочатку екстрагували розчинником, потім виокремлювали у вигляді кислотних, не кислотних та органічних сполук, що не розкладаються. Кислотні та не кислотні органічні сполуки сульфували і додатково конденсували з формальдегідом для одержання продукту, ідеального для застосування. Для досягнення розміру частинок на рівні розмірів промислових синтанів моделювали реакції сульфування-конденсації. Продукти, конденсовані на базі кислотних та не кислотних компонентів, використовували замість відомих синтанів при додублюванні-наповнюванні. Одержані шкіри мали відтінок білого кольору та більш високу механічну міцність порівняно зі шкірами, одержаними з використанням комерційного фенольного синтану. Результати дослідження показали, що завдяки інноваційному процесу чорний луг можна перетворити на ефективний реагент для рідинного оздоблення шкіри, який може замінити фенол – продукт з високими кон'юнктурними коливаннями.

Важливу роль у виробництві шкіри відіграють аміносмоли завдяки здатності забезпечувати необхідний ефект наповнювання та фарбування. Проте, традиційно отримана аміносмола зазвичай містить вільний формальдегід, вміст якого у шкіряних виробках строго регламентований. Як зазначено вище, з підвищенням обізнаності про потенційні проблеми здоров'я людини через наявність формальдегіду на світовому ринку зростає попит на шкіри без формальдегіду. Авторами [15] синтезовано аміносмолу без формальдегіду внаслідок використання у якості конденсуючого реагенту гліюксалу. Встановлено оптимальні умови синтезу: молярне співвідношення мелаїну до гліюксалу 1:6, температура реакції 333 °К, тривалість три години. Експерименти з додублювання шкіри в присутності нового реагенту показали покращені або рівні характеристики (наповненість, м'якість, міцність, зовнішній вигляд) дослідних шкір порівняно зі шкірами, додубленими відомою аміносмолою.

Метою дослідження [16] було створити нову систему додублювання шкіри альдегідами, яка здатна поліпшити фізико-механічні властивості шкіри та зменшити вміст формальдегіду у ній. До складу системи включено нешкідливі для людини поліакрилової кислоти та поліуретанову поверхнево-активну речовину. Проаналізовано волокнисту структуру та фізико-механічні властивості дерми, обробленої цією системою; вивчено вплив деяких факторів на фізико-механічні властивості шкіри. Встановлено, що запропонована система виявляє кращий ефект додублювання. Ступінь зниження вмісту формальдегіду у шкірі становить 30,0 % і його можна довести до 39,3 %. Ефективність нової системи додублювання вказує на її корисність для створення екологічно чистого виробництва натуральної шкіри.

Робота [17] присвячена послідовному приготуванню аніонно-сульфованого мелаїноформальдегідного конденсату SMFC на водній основі з дуже низьким вмістом вільного формальдегіду. Структура олігомерного SMFC підтверджена за допомогою інфрачервоної (FTIR) та ультрафіолетової (UV) спектроскопії. Молекулярну масу конденсатів визначали шляхом гель-проникної хроматографії (GPC). Для оцінювання додублюючої здатності одержаних олігомерів напівфабрикат хромового дублення обробляли SMFC при різній витраті останнього (1, 2 та 3 % у розрахунку від маси голини). Крім додублювання, шкіру піддавали процесам фарбування та жирування за традиційною технологією. Результати дослідження показали покращення поглинання барвників й те, що обробленій SMFC шкірі притаманні щільність, м'якість та наповненість. Проте, найбільш важливим аспектом синтезованого продукту є дуже низький вміст у шкірі вільного формальдегіду (< 10 ppm).

Щорічно у шкіряній промисловості утворюється велика кількість білоквмісних відходів. Останнім часом у літературі описані різні способи вилучення білків. Однак, визначена за результатами спектрального аналізу середня молекулярна маса таких білків є надто низькою для досягнення ефекту додублювання. З урахуванням викладеного, у Бразилії запропоновано екологічно чистий спосіб модифікації білка різними дубильними речовинами [18]. Одержані у такий спосіб продукти використали під час експерименту з додублювання шкіри. За контрольовані показники обрали молекулярну масу застосованих дубильних речовин й такі характеристики шкіри як щільність, щільність лицьового шару, фізико-механічна стійкість та забарвлення, а також показник біохімічного споживання кисню (БСК) для стічних вод. Отримані результати підтвердили доцільність використання гідролізованого білка у поєднанні з глутаровим альдегідом для додублювання-наповнювання, яка виявилась у високій якості готової шкіри.

Новий додублюючий реагент – водорозчинний поліуретановий препарат на основі колагену – одержано полімеризацією з використанням ізоферондисоціанату, політетраметилефіргліколю, 1,4-бутандіолу, диметілопропіонової кислоти і триетиламіну. Для модифікації поліуретану під час синтезу додавали порошок колагену. Результати дослідження за методами інфрачервоної спектроскопії з Фур'є-перетворенням (FTIR) та визначення розмірів частинок показали, що одержаний продукт має рівномірний розподіл частинок за розмірами, при цьому середній розмір частинок становить 70 нм. Крім того, після використання синтезованого реагенту для додублювання шкіри виявили, що він виявляє не лише хороший наповнювальний ефект, особливо в області пол, а й сприяє підвищенню температури усадки, міцності на розрив та опору розриву [19].

У КНУТД під керівництвом Андреевої О. А. всебічно досліджено вітчизняні колагенвмісні препарати, одержані за технологією ТОВ «Томіг» з голинних відходів шкіряного виробництва [20, 21]. З урахуванням низки позитивних властивостей (нетоксичності, екологічності, особливого амінокислотного складу, спорідненості з колагеном та багатьма хімічними матеріалами), проведено виробничі випробування з наповнювання хромових шкір для верху взуття зі шкур ВРХ подрібненим препаратом замість дефіцитних, дорогавартісних іноземних органічних дубителів. У порівнянні з контрольними дослідні шкіри виявилися більш міцними та наповненими, з кращими розкрійними властивостями та більш високою сортністю. Результати роботи рекомендовано впровадити у виробництво, це забезпечить економічний ефект за рахунок зменшення матеріальних витрат та покращення якості готової продукції.

Серйозна загроза шкіряного виробництва для екології навколишнього середовища виникає і через утворення на підприємствах галузі значної кількості хромової стружки. Тому впровадження «чистих» технологій та переробка цих відходів має життєво важливе значення. На думку авторів [22], колагеновий гідролізат більш економічно й чисто одержувати зі стружки, хімічно модифікованої, наприклад, акриловими мономерами у вигляді акрилової кислоти, акриламід, н-бутилакрилату та акрилонітрилу. За результатами нінгідринової реакції, FTIR та DSC акрилові мономери взаємодіють з колагеном з утворенням ковалентних зв'язків; це поліпшує термостабільність гідролізату колагену. Дослідження можливості використання під час додублювання білоквмісного реагента, модифікованого акриловими мономерами, виявило його здатність до підвищення фіксації сполук хрому в дермі, селективного наповнювання та покращення органолептичних властивостей шкіряного напівфабрикату.

Способи одержання багатьох синтанів базуються на підвищенні молекулярної маси низькомолекулярних ароматичних/аліфатичних мономерів шляхом реакцій додаткової полімеризації та конденсації. Недоліком реакції конденсації є використання канцерогенного формальдегіду. З урахуванням цієї проблеми синтезовано меламін-синтан на основі алюмінію, який не містить формальдегід, стабільний до рН 4,5 і має частинки з розміром 450-700 нм. Після додублювання новим синтаном одержано шкіру, що порівняно з контрольною має такі чудові органолептичні властивості, як наповненість, щільність лицьової поверхні, і такі гарні фізичні характеристики, як високі показники міцності при розриві та подовження [23].

Робота польських вчених [24] присвячена випробуванню шкіряного матеріалу Краст, для додублювання якого використали мінеральні, синтетичні та рослинні дубильні речовини, а також альдегіди. Поглинання, десорбцію та проникність водяної пари автори вивчали за двома незалежними методами: стандартним та UTH Radom. Також визначали м'якість, температуру усадки та водостійкість Красту. Результати випробувань показали, що гігієнічні властивості шкіри значною мірою залежать від виду застосованих додублюючих реагентів. Виявлено кореляцію між проникністю водяної пари і температурою усадки Красту, відповідність останнього вимогам стандарту.

Васардіт А. із співавторами [25] проаналізував три типи гумінових кислот – неплавких аморфних, темнозабарвлених речовин, що входять до складу органічної маси торфу, бурого вугілля та ґрунту, які порівняли за вмістом функціональних груп, здатних до взаємодії з білковими речовинами шкіри. За хімічною будовою ці сполуки належать до високомолекулярних, переважно ароматичних, оксикарбонових кислот. Встановлено тотожність структури гумінових кислот зі структурою рослинних танідів, визначено можливість їх використання у якості дубильних або додублюючих реагентів.

Новітні ідеї у напрямку удосконалення жирування. Суть даного процесу полягає у введенні в дерму жирувальних речовин, які, адсорбуючись на поверхні структурних елементів і розташовуючись між ними, поділяють їх і надають дермі гнучкості, м'якості та гідрофобності. Одночасно ці реагенти збільшують взаємне ковзання структурних елементів, полегшуючи їх орієнтацію під впливом деформуючих зусиль. В результаті дерма набуває підвищеної міцності та пластичності. Досягнення ефекту жирування залежить від його способу та інтенсивності і особливо від виду та властивостей застосовуваних матеріалів. Вибір і витрата останніх залежать від виду сировини, призначення готової продукції та способу дублення [1, 3].

У [26] повідомляється про низку таких сучасних матеріалів фірми Stahl's як Salem PE – засіб для жирування на основі складного ефіру фосфору; Salem HSP – синтетичний жир; Salem LCN – лецитинвмісний жир, Corilene CP-MF – засіб для м'якшення та додублювання шкір. Зазначено високу ефективність цих матеріалів щодо виготовлення м'яких і світлостійких шкір.

Фахівцями фірми «TFL» розроблено новий аніонний продукт Coripol ALF на основі лецитину для жирування м'яких шкір. Продукт, який містить у своєму складі синтетичні та природні жирувальні речовини, має низьку в'язкість, гарну стійкість, підвищені показники термо- та світлостійкості [27].

У хімічному концерні «BASF» (Німеччина) розроблено лінію сучасних матеріалів для жирування шкір, у тому числі продукти Lipoderm Licker 1C та Lipamin Licker NO. До переваг першого продукту, одержаного на основі риб'ячого жиру, можна віднести здатність до утворення стійкої емульсії і надання шкірі міцності, м'якості, еластичності, наповненості та шовковистості. Lipamin Licker NO, який має густу пастоподібну консистенцію білого кольору, характеризується здатністю до розведення у холодній воді з одержанням стійких емульсій. Оскільки препарат стійкий до дії світла та не забарвлює шкіру, його можна застосовувати у виробництві білих та світлих шкір мінерального, рослинного та синтетичного методів дублення. У випадку рослинного дублення Lipamin Licker NO жирує лише поверхню напівфабрикату, що забезпечує гнучкість та еластичність шкіри. У випадку суміщеного дублення-жирування мінеральними дубителями Lipamin Licker NO забезпечує належне жирування напівфабрикату та надає поверхні стійкості до стирання в присутності незначної кількості води [28].

Ще однією фірмою з Німеччини – «Lanxess» – створено універсальний препарат на базі поліамідної карбонової кислоти, який можна використовувати у виробництві всіх видів шкір. До явних переваг препарату слід віднести прискорення процесу жирування, а також надання шкірі підвищеної стійкості до дії тепла та світла [29].

У роботі Мокроусової О. Р. [30] розглянуто підвищення енергоефективності післядубильних технологій шляхом суміщення процесів наповнювання та емульсійного жирування за наявності матеріалів поліфункціональної дії у вигляді жирувально-мінеральних композицій. Ефективність використання таких композицій значною мірою обумовлена їх агрегативною стійкістю, яка суттєво залежить від розміру, форми та заряду мінеральних частинок. Автором запропоновано отримання агрегативно стійких аніонних мінеральних дисперсій шляхом впливу лужних пептизаторів для підвищення дисперсності частинок мінералу та вирівнювання його поверхневого електричного заряду. Отримано жирувально-мінеральну композицію ЖМК, що включає суміш природних жирів та олій (соняшникова олія; риб'ячий жир; яловичий жир, одержаний з жировмісних відходів шкіряного виробництва). Розроблено технологію емульсійного жирування, що передбачає оброблення шкіряного напівфабрикату ЖМК при рідинному коефіцієнті 1,0, температурі 55 °С. Для шкір кольорових та нефарбованих допускається проведення жирування у новому робочому розчині, для шкір чорного кольору – у відпрацьованому фарбувальному. Витрата ЖМК – 7,0 % від маси струганого напівфабрикату (у перерахунку на 100 %-вий жир). Через 50 хв жирування в барабан вводять мурашину кислоту у кількості 0,5 % від маси струганого напівфабрикату у вигляді 10-відсоткового розчину і продовжують оброблення ще протягом 20 хв. Потім проводять промивання, фарбування та ще одне промивання.

Для одержання еластичної, м'якої шкіри пропонується обробляти шкіряний напівфабрикат жирувальним складом, що містить талеве та мінеральне масла, емульгатор, хлоровані парафіни і жирні кислоти рослинного походження при такому співвідношенні компонентів, мас. %: талеве масло – 9-10; мінеральне масло – 31-32; емульгатор – 7-8; хлоровані парафіни – 18-22; жирні кислоти – 31-32. Завдяки присутності жирних кислот шкіра набуває м'якості та еластичності, а взаємодія парафінів з колагеном покращує її фізичні та механічні показники [31].

Для виробництва м'якої еластичної шкіри до жирувальних складів можна включати рицинову олію. За результатами експериментальних досліджень [32] показники питомої ваги, заломлення, кислотного, йодного числа та числа омилення цілком відповідають технічним вимогам.

Групою вчених з Бангладеш досліджено можливість оброблення шкіряного напівфабрикату композицією на основі олій з насіння каранджі (*Pongamia pinnata L.*), до складу якої входить унікальний флаванолід каранджі. Композицію готували шляхом сульфатування олій з додаванням гідроксиду натрію для забезпечення рН 5,0. Після жирування напівфабрикату козлини одержали шкіри з гарними фізико-механічними властивостями [33].

Позитивно впливає на властивості шкіряного напівфабрикату і жирування емульсією на основі модифікованої пальмової олії, яку попередньо аминують диетаноламіном в присутності метоксиду натрію, модифікують силіконовим маслом, що містить кінцеві гідроксильні групи, а потім етерифікують maleїновим ангідридом; одержаний продукт додатково обробляють бісульфітом натрію. Після емульсійного жирування з використанням цього препарату готові шкіри для одягу мали хорошу еластичність та наповненість [34].

Завданням винаходу [35] є розробка поліпшеного способу жирування шкір тварин. Поставлене завдання вирішується тим, що на шкіру декілька (два-п'ять) разів напилюють масло, жир або полімер, потім шкіру обробляють у стиснутому газі, причому кількість нанесених на шкіру речовин становить менш ніж 20 %, переважно менше ніж 15 %, особливо переважно менше ніж 10 % (у розрахунку від маси шкіри), причому шкіру обробляють за допомогою стиснутого діоксиду вуглецю при тиску 20–70 бар і температурі нижче 25 °С. Оброблення виконують до тих пір, поки маса шкіри не стане, що найменше, на 1 % менше від її початкової маси. Реагенти для жирування вибирають з наступної групи речовин: оксипропильовані жирні спирти та поліпропіленгліколь, а також їх суміші, етоксилати та пропоксилати жирних амінів, полігідроксильні сполуки, складні ефіри, похідні сахарів, складні сорбітанові ефіри, алкілполіглікозиди, гліцериди, силікони, парафін, прості поліефіри і фторвмісні сполуки. Завдяки зменшенню злипання молекул

цих речовини шкіра стає більша еластичною і тягучою. Це означає безпосередню перевагу щодо рентабельності для виробників шкіри та підвищену цінність для її споживачів.

Згідно з винаходом [36] для виготовлення якісної шкіри перед жируванням слід передбачити додублювання-наповнювання рослинними, синтетичними та акриловими дубителями при температурі 30–35 °С. Сам процес жирування доцільно проводити при температурі 60–65 °С з використанням композиції, до складу якої входять, %: природний жир (олія соняшникова або риб'ячий жир) – 1,7–2,0; кислота мурашина (85-відсоткова) – 2,0–2,5; алкен-малеїновий полімер (100-відсотковий) – 4,0–4,5. Для фіксації реагентів у два прийоми вводяться алюмокалієві галуни при витраті 0,3–0,4 % з додатковим використанням форміату натрію у кількості 0,3–0,4 %.

Для отримання еластичної шкіри з великим виходом по площі у винаході [37] пропонується змінити технологічний процес: після нейтралізації проводити спочатку м'якшення ферментами з додаванням 0,5–0,7 % жирувального препарату, а вже потім жирування та наповнювання напівфабрикату органічними дубителями. При використанні меншої кількості жиру не досягається рівномірний розподіл дубителів у структурі, що призводить до утворення жорсткої шкіри з невеликим виходом по площі. Надмірна кількість жиру знижує ефективність дії ферментів.

Висновки

Аналіз науково-технічної і патентної літератури свідчить про те, що більшість сучасних розробок у сфері додублювання, наповнювання та жирування як найважливіших процесів рідинного оздоблення шкіри присвячена пошуку, створенню та дослідженню хімічних матеріалів для проведення цих процесів з подальшим коригуванням технологічних параметрів шляхом використання нових матеріалів, вивчення впливу умов оброблення на структуру та властивості напівфабрикату і готової продукції, екологію навколишнього середовища. До перспективних реагентів для додублювання-наповнювання можна віднести полімерні сполуки, одержані на базі акрилової та малеїнової кислот, синтани з низьким вмістом формальдегіду, а також продукти модифікації промислових відходів. Удосконалення процесу жирування пов'язане з використанням більш ефективних речовин як синтетичного, так і природного походження в індивідуальному порядку та у вигляді композицій (сумішей), або взагалі зі зміною технологічної схеми, наприклад, шляхом застосування перед жируванням термостабільних ферментів.

Результати проведеного дослідження будуть використані при розробці ресурсощадної технології виробництва шкіри для верху взуття з прогнозованими властивостями.

Література

1. Основи створення сучасних технологій виробництва шкіри та хутра : монографія / [Горбачов А. А., Кернер С. М., Андрєєва О. А., Орлова О. Д.]. – К. : КНУТД, 2007. – 190 с.
2. Palop R. Influence of Retanning and Fatliquoring Processes on the Characteristics of Goatskins / R. Palop, A. M. Manich, A. Marsal // Journal of the American Leather Chemists Association. – 2006. – Vol. 101(11). – P. 399–407.
3. Островская А. В. Химия и технология кожи меха: Теоретические основы : [учеб. пособ.] / Островская А. В., Абдуллин И. Ш., Литфуллина Г. Г. – М. : Изд. Юрайт, 2017. – 162 с.
4. Андрєєва О. А. Визначення необхідності розробки ресурсозберігаючих технологій рідинного оздоблювання шкір / О. А. Андрєєва // Легка промисловість. – 2005. – № 1. – С. 49–50.
5. Первая Н. В. Дослідження фізико-хімічних і технологічних властивостей сучасних препаратів для жирування шкіряного напівфабрикату / Н. В. Первая, О. А., Андрєєва, А. В. Ніконова [та ін.] // Легка промисловість. – 2018. – № 3. – С. 54–58.
6. Yunhang Zeng Visualization and Quantification of Penetration / Mass Transfer of Acrylic Resin Retanning Agent in Leather using Florescent-Tracing Technique / Yunhang Zeng, Ying Song, Jing Li // Journal of the American Leather Chemists Association. – 2016. – Vol. 111(11). – P. 398–405.
7. Jin L. Effect of an amphoteric acrylic retanning agent on the physical properties of the resultant leather / L. Jin, Y. Wang, D. Zhu // Advanced Materials Research. – 2011. – Vol. 284-286. – P. 1925–1928.
8. Development of formaldehyde-free leathers in perspective of retanning: Part 1. Benchmarking for the evolution of a single syntan system / P. Thanikaivelan, C. R. Mohan, S. Saravanabhavan // Journal of the American Leather Chemists Association. – 2007. – Vol. 102(10). – P. 306–314.
9. Лисенко Н. В. Товарознавча оцінка шкір із гідрофобною обробкою для взуття спеціального призначення : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.18.08 «Товарознавство непродовольчих товарів» / Н. В. Лисенко. – Львів, 2015. – 21 с.
10. The influence of the fatliquor on the physico-chemical properties of leather [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.leathermag.com/news/newsthe-influence-of-the-fatliquor-on-the-physico-chemical-properties-of-leather>
11. Jianzhong M. Elasticity studies on leather retanned with various types of acrylic polymers / M. Jianzhong, L. Hua // Journal of the American Leather Chemists Association. – 2008. – Vol. 103(11). – P. 363–369.
12. Zou X. Synthesis and properties of maleic acid monoester-methacrylate-methacrylic acid terpolymer as retanning fat-liquor agent / X. Zou, H. Wu, Q. Ye // Shiyong Huagong (Petrochemical Technology). – 2009. – Vol. 38(12). – P. 1327–1330.
13. Sathish M. Deciphering the role of individual retanning agents on physical properties of leathers /

- M. Sathish, B. Subramanian, J. R. Rao // Journal of the American Leather Chemists Association. – 2019. – 114(3). – P. 94–102.
14. Mohan Vedhanayagam Value added leather auxiliaries from paper and pulp industry waste / Mohan Vedhanayagam, Tewodros Kassa Teddy, Kalarical Janardhanan Sreeram // Journal of the American Leather Chemists Association. – 2015. – Vol. 110(9). – P. 295–301.
15. Xie H. Melamine glyoxal resin as a retanning agent – Preparation and application / Xie H., Sun Q., Liao X. // Journal of the Society of Leather Technologists and Chemists. – 2014. – Vol. 98(1) – P. 17–22.
16. Sun X. Desirable retanning system for aldehyde-tanned leather to reduce the formaldehyde content and improve the physical-mechanical properties / Sun X., Jin Y., Lai S. // Journal of Cleaner Production. – 2018. – Vol. 175. – P. 199–206.
17. Jaisankar S. N. Water-based anionic sulfonated melamine formaldehyde condensate oligomer as retanning agent for leather processing / Jaisankar S. N., Gupta S., Lakshminarayana Y. // Journal of the Society of Leather Technologists and Chemists. – 2010. – Vol. 105(9). – P. 289–296.
18. Gutterres M. Leather retanning with hydrolysed protein / M. Gutterres, I. V. da Silva // Journal of the American Leather Chemists Association. – 2010. – Vol. 105(6). – P. 195–202.
19. Li C. Preparation and application of collagen-based water borne polyurethane retanning agent / Li C., Taotao Q., Li X. // Journal of the Society of Leather Technologists and Chemists. – 2017. – Vol. 101(3). – P. 149–154.
20. Терза М. М. Дослідження препаратів колагену / М. М. Терза, О. А. Андреева // Вісник Хмельницького національного університету. – 2011. – № 4. – С. 128–131.
21. Андреева О. А. Дослідження структури та властивостей біотехнологічного колагенвмісного препарату / О. А. Андреева, Л. А. Майстренко, А. В. Ніконова // Наукові праці НУХТ. – 2018. – Том 24(5). – С. 39–43.
22. Su D. Preparation of protein retanning agent by grafting modification of collagen hydrolysate extracted from chrome shavings / Su D., Wang K., Chen X. // 32nd Congress of the International Union of Leather Technologists and Chemist Societies, IULTCS-2013. – 2013. – P. 240.
23. Sathish M. Development of Aluminum-melamine Formulation for Retanning Application / Sathish M., Mohammad Jamal Azhar Z., Aravindhan R. // Journal of the American Leather Chemists Association. – 2016. – Vol. 111(2). – P. 44–52.
24. Zarlok J. Effect of the type of retanning on hygienic properties of crust leathers / J. Zarlok, M. Kowalska, K. Smiechowski // Journal of the Society of Leather Technologists and Chemists. – 2017. – Vol. 101(1). – P. 21–26.
25. Bacardit A. Determination of functional groups of humic derivatives as tanning-retanning agents / Bacardit A., Shendryk A., Morera J. M. // Journal of the Society of Leather Technologists and Chemists. – 2011. – Vol. 95(6). – P. 259–262.
26. New products unveiled at Stahl's new lab extension // Leather Int. – 2009. – Vol. 211. – P. 32.
27. New fatliquor for soft articles from TFL // World Leather. – 2011. – Vol. 24(2). – P. 6.
28. Pocket Book for the Leather Tehnologist [Електронний ресурс]. – Режим доступу :
29. <https://dokumen.tips/documents/pocket-book-for-the-leather-technologists.html>
30. Leather softening technology // IDC Leder und Haute Markt. – 2009. – № 1. – P. 38.
31. Мокроусова О. Р. Сучасні напрями енергозбереження в технологіях виробництва шкіри /
32. О. Р. Мокроусова // Вісник КНУТД. – 2013. – № 6. – С. 205–211.
33. Пат. 2206621 РФ, МПК С14С 9/02. Состав для жирования кож / Морозов Ю. Д., Евдокимова А. В., Ягафарова И. И. – № 2002121225/12 ; заявл. 05.08.02 ; опубл. 20.06.03, Бюл. № 12.
34. Tawfik H. M. Using characterization and synthesis of fatliquor from sudanese castor oil / H.M. Tawfik, Dr. G. A. Gasmelseed, Faki E. F. Mohammed // International Journal of Engineering Sciences & Research Technology. – 2017. – Vol. 6(2). – P. 11–16.
35. Fatliquor preparation from Karanja seed oil (*Pongamia pinnata* L.) and its application for leather processing / Arifur Hai Quadery, Md. Tushar Uddin, Md. Abdul Kashem Azad // Journal of Applied Chemistry. – 2015. – Vol. 8(1). – P. 54–58.
36. Wang C. Preparation of organosilicone modified palm oil fatliquor / C. Wang, S. Feng, J. Wu // Journal of the American Leather Chemists Association. – 2011. – Vol. 106(5). – P. 161–169.
37. Пат. 2401865 РФ, МПК С14С 9/02, С14 С 9/02, С 14 С 5/00, С14С 1/0. Способ жирования кож / Айслер Хельмут, Маркуссон Андерс, Андреассен Йозефине, Картхойзер Йоахим. – № 2008137588/12 ; заявл. 01.02.07 ; опубл. 27.03.10, Бюл. № 20.
38. Пат. 70418 Україна, МПК С14С 3/00. Спосіб емульсійного жирування-гідрофобізації шкіри / Ліщук В. І., Данилкович А. Г., Омельченко Н. В. – № u201113852 ; заявл. 24.11.11 ; опубл. 11.06.12, Бюл. № 11.
39. Пат. 115609 Україна, МПК С14С 1/06, 3/06. Спосіб оброблення шкіряного напівфабрикату хромового дублення / Данилкович А. Г. – № a2016 01466 ; заявл. 18.02.16 ; опубл. 27.11.17, Бюл. № 22.

References

1. Osnovy stvorennia suchasnykh tekhnolohii vyrobnytstva shkiry ta khutra : monohrafiia / [Horbachov A. A., Kerner S. M., Andreieva O. A., Orlova O. D.]. – К. : КНУТД, 2007. – 190 с.
2. Palop R. Influence of Retanning and Fatliquoring Processes on the Characteristics of Goatskins / R. Palop, A. M. Manich, A. Marsal // Journal of the American Leather Chemists Association. – 2006. – Vol. 101(11). – P. 399–407.

3. Ostrovskaia A. V. Khymiya y tekhnolohiya kozhy mekha: Teoretycheskiye osnovy : [ucheb. posob.] / Ostrovskaia A. V., Abdullin Y. Sh., Lytfullyna H. H. – M. : Yzd. Yurait, 2017. – 162 s.
4. Andreieva O. A. Vyznachennia neobkhdnosti rozrobky resursozberihaiuchykh tekhnolohii ridynnoho ozdoblivannia shkir / O.A. Andreieva // Lehka promyslovist. – 2005. – № 1. – S. 49–50.
5. Pervaia N. V. Doslidzhennia fizyko-khimichnykh i tekhnolohichnykh vlastyvosei suchasnykh preparativ dia zhyruvannia shkiranoho napivfabrykatu / N. V. Pervaia, O. A., Andreieva, A. V. Nikonova [ta in.] // Lehka promyslovist. – 2018. – № 3. – S. 54–58.
6. Yunhang Zeng Visualization and Quantification of Penetration / Mass Transfer of Acrylic Resin Retanning Agent in Leather using Florescent-Tracing Technique / Yunhang Zeng, Ying Song, Jing Li // Journal of the American Leather Chemists Association. – 2016. – Vol. 111(11). – R. 398–405.
7. Jin L. Effect of an amphoteric acrylic retanning agent on the physical properties of the resultant leather / L. Jin, Y. Wang, D. Zhu // Advanced Materials Research. – 2011. – Vol. 284-286. – R. 1925–1928.
8. Development of formaldehyde-free leathers in perspective of retanning: Part I. Benchmarking for the evolution of a single sytan system / P. Thanikaivelan, C. R. Mohan, S. Saravanabhavan // Journal of the American Leather Chemists Association. – 2007. – Vol. 102(10). – R. 306–314.
9. Lysenko N. V. Tovaroznavcha otsinka shkir iz hidrofobnoi obrobkoiu dia vzuttia spetsialnoho pryznachennia : avtoref. dys. na zdobuttia nauk. stupenia kand. tekhn. nauk : spets. 05.18.08 «Tovaroznavstvo neprodovolchykh tovariv» / N. V. Lysenko. – Lviv, 2015. – 21 s.
10. The influence of the fatliquor on the physico-chemical properties of leather [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <http://www.leathermag.com/news/newsthe-influence-of-the-fatliquor-on-the-physico-chemical-properties-of-leather>
11. Jianzhong M. Elasticity studies on leather retanned with various types of acrylic polymers / M. Jianzhong, L. Hua // Journal of the American Leather Chemists Association. – 2008. – Vol. 103(11). – R. 363–369.
12. Zou X. Synthesis and properties of maleic acid monoester-methacrylate-methacrylic acid terpolymer as retanning fat-liquor agent / X. Zou, H. Wu, Q. Ye // Shiyu Huagong (Petrochemical Technology). – 2009. – Vol. 38(12). – R. 1327–1330.
13. Sathish M. Deciphering the role of individual retanning agents on physical properties of leathers / M. Sathish, B. Subramanian, J. R. Rao // Journal of the American Leather Chemists Association. – 2019. – 114(3). – R. 94–102.
14. Mohan Vedhanayagam Value added leather auxiliaries from paper and pulp industry waste / Mohan Vedhanayagam, Tewodros Kassa Teddy, Kalarical Janardhanan Sreeram // Journal of the American Leather Chemists Association. – 2015. – Vol. 110(9). – R. 295–301.
15. Xie H. Melamine glyoxal resin as a retanning agent – Preparation and application / Xie H., Sun Q., Liao X. // Journal of the Society of Leather Technologists and Chemists. 2014. Vol. 98(1). P. 17–22.
16. Sun X. Desirable retanning system for aldehyde-tanned leather to reduce the formaldehyde content and improve the physical-mechanical properties / Sun X., Jin Y., Lai S. // Journal of Cleaner Production. – 2018. – Vol. 175. – R. 199–206.
17. Jaisankar S. N. Water-based anionic sulfonated melamine formaldehyde condensate oligomer as retanning agent for leather processing / Jaisankar S. N., Gupta S., Lakshminarayana Y. // Journal of the Society of Leather Technologists and Chemists. – 2010. – Vol. 105(9). – R. 289–296.
18. Gutterres M. Leather retanning with hydrolysed protein / M. Gutterres, I. V. da Silva // Journal of the American Leather Chemists Association. – 2010. – Vol. 105(6). – R. 195–202.
19. Li C. Preparation and application of collagen-based water borne polyurethane retanning agent / Li C., Taotao Q., Li X. // Journal of the Society of Leather Tecologists and Chemists. 2017. Vol. 101(3). P. 149–154.
20. Tehza M. M. Doslidzhennia preparativ kolahenu / M. M. Tehza, O. A. Andreieva // Herald of Khmelnytskyi National University. – 2011. – № 4. – S. 128–131.
21. Andreieva O. A. Doslidzhennia struktury ta vlastyvosei biotekhnolohichnoho kolahenvmisnoho preparatatu / O. A. Andreieva, L. A. Maistrenko, A. V. Nikonova // Naukovi pratsi NUKhT. – 2018. – Tom 24(5). – S. 39–43.
22. Su D. Preparation of protein retanning agent by grafting modification of collagen hydrolysate extracted from chrome shavings / Su D., Wang K., Chen X. // 32nd Congress of the International Union of Leather Technologists and Chemist Societies, IULTCS-2013. 2013. P. 240.
23. Sathish M. Development of Aluminum-melamine Formulation for Retanning Application / Sathish M., Mohammad Jamal Azhar Z., Aravindhan R. // Journal of the American Leather Chemists Association. 2016. Vol. 111(2). P. 44–52.
24. Zarlok J. Effect of the type of retanning on hygienic properties of crust leathers / J. Zarlok, M. Kowalska, K. Smiechowski // Journal of the Society of Leather Technologists and Chemists. 2017. Vol. 101(1) P. 21–26.
25. Bacardit A. Determination of functional groups of humic derivatives as tanning-retanning agents / Bacardit A., Shendryk A., Morera J. M. // Journal of the Society of Leather Technologists and Chemists. – 2011. – Vol. 95(6). – R. 259–262.
26. New products unveiled at Stahls new lab extension // Leather Int. – 2009. – Vol. 211. – P. 32.
27. New fatliquor for soft articles from TFL // World Leather. – 2011. – Vol. 24(2). – R. 6.
28. Pocket Book for the Leather Tehnologist [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu :
29. <https://dokumen.tips/documents/pocket-book-for-the-leather-technologists.html>
30. Leather softening technology // IDC Leder und Haute Markt. – 2009. – № 1. – P. 38.
31. Mokrousova O. R. Suchasni napriamy enerhozberezhennia v tekhnolohiakh vyrobnytstva shkiry /
32. O. R. Mokrousova // Visnyk KNUVD. – 2013. – № 6. – S. 205–211.
33. Pat. 2206621 RF, MPK S14S 9/02. Sostav dlia zhyrovannia kozh / Morozov Yu. D., Evdokymova A. V., Yahafarova Y. Y. – № 2002121225/12 ; zaiavl. 05.08.02 ; opubl. 20.06.03, Biul. № 12.
34. Tawfik H. M. Using characterization and synthesis of fatliquor from sudanese castor oil / H. M. Tawfik, Dr. G. A. Gasmelseed, Faki E. F. Mohammed // International Journal of Engineering Sciences & Research Technology. – 2017. – Vol. 6(2). – P. 11–16.
35. Fatliquor preparation from Karanja seed oil (Pongamia pinnata L.) and its application for leather processing / Ariful Hai Quadery, Md. Tushar Uddin, Md. Abdul Kashem Azad // Journal of Applied Chemistry. – 2015. – Vol. 8(1). – P. 54–58.
36. Wang C. Preparation of organosilicone modified palm oil fatliquor / C. Wang, S. Feng, J. Wu // Journal of the American Leather Chemists Association. – 2011. – Vol. 106(5). – P. 161–169.
37. Pat. 2401865 RF, MPK S14S 9/02, C14 C 9/02, C 14 C 5/00, C14C 1/0. Sposob zhyrovannia kozh / Aisler Khelmut, Markusson Anders, Andreassen Yozefyne, Kartkhozher Yoakhym. – № 2008137588/12 ; zaiavl. 01.02.07 ; opubl. 27.03.10, Biul. № 20.
38. Pat. 70418 Ukraina, MPK S14S 3/00. Sposib emulsiinoho zhyruvannia-hidrofobizatsii shkiry / Lishchuk V. I., Danylkovych A. H., Omelchenko N. V. – № u201113852 ; zaiavl. 24.11.11 ; opubl. 11.06.12, Biul. № 11.
39. Pat. 115609 Ukraina, MPK S14S 1/06, 3/06. Sposib obrobлення shkiranoho napivfabrykatu khromovoho dublennia / Danylkovych A. H. – № a2016 01466 ; zaiavl. 18.02.16 ; opubl. 27.11.17, Biul. № 22.

Рецензія/Peer review : 12.06.2019 р.

Надрукована/Printed : 23.07.2019 р.

Рецензент: : д.т.н., проф. Мокроусова О.Р.

ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ КОСМЕТИЧНИХ МИЙНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ВОЛОССЯ ПІД ЧАС ПРОВЕДЕННЯ СУДОВО-ТОВАРОЗНАВЧИХ ЕКСПЕРТИЗ

Метою статті є встановлення відповідності чинним нормативним документам реквізитів маркування, значень показників якості шампуню проти лупи. Аналіз реквізитів маркування показав, що на пакування шампуню нанесений повний обсяг інформації, що відповідає вимогам нормативних документів. Дослідження показників якості шампуню проти лупи відповідає вимогам ДСТУ.

Ключові слова: шампунь, косметичні мийні засоби, якість, маркування, органолептичні показники якості, піноутворювальна здатність

S. O. BUZYNA, I. O. SIDAK

Kharkiv scientific research forensic center of the ministry of internal affairs of Ukraine

RESEARCH OF QUALITY OF COSMETIC HAIR PRODUCTS AT THE PROCESS OF JUDICIAL COMMODITY EXPERTISE

The purpose of the article is to establish conformity with the current normative documents of the requisites of labelling, values of indicators of quality of shampoo against dandruff. The expertise of cosmetic products may be carried out in order to: determine the conformity of the quality of the goods with the applicable normative documents; assessing the competitiveness of goods; identification of the cause of the defect of cosmetic products due to violation of the rules of packaging, improper storage, transportation; establishment of counterfeit products. The analysis of the requisites of the marking has shown that on the shampoo package the full amount of information that meets the requirements is applied. The analysis of the details of labelling the shampoo showed that the ingredients with the highest index of safety in the classification have a small mass fraction in the composition, that is, the risk of allergic reactions, chemical burns, reduction or suppression of the main product odor, etc., is not high. At the beginning of the study, the appearance, colour, and smell of the shampoo were established. Organoleptic quality indicators of shampoo against dandruff meet the normative value. Carrying out world-wide researches during cosmetic expertise allowed to prevent the entry of domestic market products that are inadequate in quality or to prevent damage to the health of Ukrainian consumers. During the research, it was established that the details of the marking of shampoo are presented in full and meet the requirements. The measured pH of the shampoo against dandruff has an average value close to the acridermal. According to this indicator, as well as foam number, foam stability, and chloride content, this cosmetic detergent meets the requirements. Promising directions for further research are to establish the level of safety of dandruff shampoo.

Keywords: shampoo, cosmetic detergents, quality, labelling, organoleptic quality indices, foaming ability.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. Ринок косметики та засобів гігієни – один з найпрогресивніших. Незважаючи на економічну кризу, він продовжує розвиватися. Зараз його частка від загального прибутку всіх виробничих галузей України налічує менше 1 %. Проте, цей напрям має великі перспективи. Про це свідчать швидкі темпи розвитку світового ринку косметики та засобів гігієни. За даними американської аналітичної компанії «Research and Markets», ця індустрія має щорічний стабільний приріст у розмірі 6,4 %.

Одним із основних засобів по догляду за волоссям є шампунь і від правильності його вибору залежить не тільки краса, а й здоров'я волосся і людини в цілому.

За останні 10–15 років шампуні зазнали істотну еволюцію і в якісному, і у функціональному плані. Більша увага до дерматологічної м'якості, естетичного оформлення і косметичних аспектів спричинило певні зміни в поверхнево-активній основі, розширило набір кондиціонерів і біологічно активних компонентів.

Проте наразі на ринку зустрічається косметична продукція, яка, окрім того, що має на маркуванні недостовірну, неповну, неточну інформацію щодо складу та властивостей товару, не відповідає вимогам нормативної документації, що діє на території України. Такі товари відносять до фальсифікованих.

Проблеми встановлення справжності, ідентифікація, визначення рівня якості косметичних товарів є одними із основних завдань, що постають перед експертами-товарознавцями [1–4].

Аналіз останніх досліджень чи публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми і на які спирається автор. Фальсифікація продукції, недобросовісна конкуренція, недотримання договірних відносин усе частіше стають предметом розгляду господарських справ. Результати товарознавчих експертних досліджень, зокрема, споживчих властивостей продукції, товарів і сировини, використовуються у справах про захист прав споживачів, часто виникають випадки, що мають місце під час розподілу майна, відшкодування збитків, обігу недоброякісної продукції [5].

Продукція, яку виробляють підприємства, у тому числі і косметична, має свої конкретні властивості, які оцінюють за її якісними показниками [6]. З метою запобігання виробництва, потрапляння на ринок та реалізації косметичних товарів урядами багатьох країн, у тому і числі України, розроблені і прийняті відповідні нормативно-правові акти та нормативні документи, основним з яких є Державні санітарні правила і норми 2.2.9.027-99 «Санітарні правила і норми безпеки продукції парфумерно-косметичної промисловості» [7]. Окрім того, для шампунів, які є об'єктом даного дослідження, прийняті

такі нормативні документи: ДСТУ 3796:1998 Засоби піномийні. Технічні умови [8]; ДСТУ 4315:2004 Засоби косметичні для очищення шкіри та волосся. Загальні технічні умови [9], ГОСТ 28303-89. Изделия парфюмерно-косметические. Упаковка, маркировка, транспортирование и хранение [10]. Відповідно до даних нормативних документів, якість шампунів визначається за органолептичними, фізико-хімічними показниками та показниками безпеки.

Проте розвиток ринку супроводжується рядом нових, більш жорстких, вимог до якості косметичної продукції, її безпечності для здоров'я людини і навколишнього середовища [3, 6].

Наразі у країнах ЄС діє ряд вимог щодо якості і безпечності косметичної продукції на споживчому ринку, закріплених жорстким законодавством (прийнятий Європарламентом від 30.11.2009 р. Регламент № 1223/2009). В Україні оприлюднений проект подібного нормативного документу – Технічного регламенту на косметичну продукцію (Наказ № 686 Міністерства економічного розвитку і торгівлі), у якому викладені вимоги щодо безпечності косметичної продукції, обов'язків відповідальних осіб, ідентифікації в ланцюзі постачання, належної виробничої практики, оцінки безпечності, відбору проб та випробування косметичної продукції, обмеження для речовин та речовини, що класифіковані як СМР, маркування, доступ до інформації для громадськості, ринковий нагляд тощо. Відсутність цього нормативного документу уповільнює повноцінний розвиток косметичної галузі, контроль за якістю та безпечністю косметичної продукції тощо [11].

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Метою написання роботи є дослідження реквізитів маркування, основних показників якості шампуню проти лупи Schauma Schwarzkopf&Henkel anti-dandruff intensive. Для досягнення цієї мети були поставлені такі завдання:

- здійснити аналіз літературних джерел, нормативних документів з питань встановлення рівня якості шампунів;
- визначити об'єкт та обрати методи дослідження;
- дослідити реквізити маркування шампуню проти лупи Schauma Schwarzkopf&Henkel anti-dandruff intensive та встановити їх відповідність діючим нормативним документам;
- провести дослідження основних показників якості шампуню проти лупи Schauma Schwarzkopf&Henkel anti-dandruff intensive;
- сформулювати висновки.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів.

Одним із засобів запобігання недопущення неякісної продукції на ринок України є проведення експертизи. Відповідно до даних роботи [12], експертиза косметичних товарів може проводитися з метою визначення відповідності якості товарів діючим нормативним документам; оцінки конкурентоспроможності товарів; виявлення причини дефекту косметичних товарів через порушення правил пакування, неправильне зберігання, транспортування; встановлення фальсифікованої продукції.

Проведення досліджень потрібно розпочинати із аналізу товарної інформації. Залежно від призначення товарну інформацію поділяють на три види: основну; комерційну; споживчу [13] (табл. 1).

Таблиця 1



Характеристика товарної інформації

Назва	Характеристика	Реквізити
Основна	Основні відомості про товар, які мають вирішальне значення для ідентифікації і призначені для всіх суб'єктів ринкових відносин	Вид і найменування товару, його сорт, маса нетто, найменування підприємства-виготовлювача, дата випуску, термін зберігання або придатності
Комерційна	Відомості про товар, що доповнюють основну інформацію і призначені для виробників, постачальників і продавців, але малодоступні споживачеві	Дані про підприємства-посередники, нормативні документи про якість товарів, асортиментні номери продукції по ОКП, ТН ЗЕД тощо.
Споживча	Відомості про товар, призначені для створення споживчих переваг, що показують вигоди внаслідок застосування конкретного товару і націлені на споживачів	Відомості про найбільш привабливих споживчі властивості товарів: харчової цінності, складі, функціональне призначення, способи використання та експлуатації, безпеки, надійності тощо.

Маркування косметичної продукції є одним із факторів формування купівельного попиту, реквізити використовуються суб'єктами ринкових відносин для інформування споживачів про основні параметри товарів за допомогою різних форм товарної інформації (словесної, цифрової, образотворчої, символічної, штрихової) [13].

Як було встановлено, вимоги до маркування шампунів в Україні регламентують ДСТУ 4315:2004 [9] та ГОСТ 28303-89 [10]. Аналіз реквізитів маркування шампуню проти лупи Schauma Schwarzkopf&Henkel anti-dandruff intensive відповідно до вище зазначених нормативних документів наданий у таблиці 2.

**Аналіз реквізитів маркування шампуню проти лупи
Schauma Schwarzkopf&Henkel anti-dandruff intensive**

№	Назва реквізиту маркування	Характеристика реквізиту маркування	Відповідність НД
<i>Основна</i>			
1	Назва та призначення виробу	Шампунь intensive проти лупи для здорового на вигляд волосся без лупи	Відповідає
2	Назву виробника і його місцезнаходження (юридичну адресу) та місцезнаходження організації (адреса), що уповноважена виробником на прийняття претензій від споживачів	Шварцкопф&Хенкель Продакшен Юроп ГмбХ&Ко. КГ, Хенкельштрассе 67, 40589 Дюссельдорф, Німеччина Імпортер в Україні ТОВ «Хенкель Україна», вул. Саксаганського, 120, м. Київ, Україна, 01032	Відповідає
3	Товарний знак		Відповідає
4	Маса нетто, мл	400	Відповідає
5	Склад виробу	Aqua, Sodium Laureth Sulfate, Cocamidopropyl Betaine, Sodium chloride, PEG-7 Glyceryl Cocoate, Hydrolyzed Keratin, Glycine, Panthenol, Zinc pyrithione, Sodium benzoate, Citric acid, Hydrogenated Castor Oil, Parfum, Guar hydroxypropyltrimonium chloride, Sodium polynaphthalenesulfonate, Limonene, Linalool, Butylphenyl methylpropional, Propylene glycol	Відповідає
6	Умови зберігання	Зберігати при температурі 5-25 °С	Відповідає
7	Дата виготовлення (місяць, рік) та термін придатності, або «придатний до» (місяць, рік)	09.05.17 3 роки	Відповідає
8	Позначка нормативного документу, згідно з яким виготовлено виріб	–	Відповідає – допускається не наносити для імпоротної продукції
9	Інформація щодо сертифікації відповідно до законодавства країни, що реалізує виріб (Національний знак відповідності)		Відповідає
10	Позначка штрих-коду EAN	3838824208985	Відповідає
<i>Додаткова</i>			
11	Спосіб застосування	Масажуючи, нанесіть на вологе волосся, ретельно змийте	Відповідає
12	Особливі застережні заходи	Уникати потрапляння в очі	Відповідає

Аналіз реквізитів маркування показав, що на пакуванні шампуню Schauma Schwarzkopf&Henkel anti-dandruff intensive (Німеччина) нанесений повний обсяг інформації, що відповідає п. 2.1 ГОСТ 28303-89 [10].

Окрім реквізитів маркування, що регламентує ГОСТ 28303-89 [10], на етикетці нанесені й інші реквізити, аналіз яких наданий у таблиці 3 [14, 15].

Також, під час проведення дослідження на товарі виявлена штрихкодова позначка, яка свідчить про можливість отримання повної, доступної та достовірної інформації про деякі з найбільш істотні параметри продукції, що дає можливість однозначно ідентифікувати товар та його виробника або дистриб'ютора. Кожному виду виробу привласнюється свій номер. На упакуванні шампуню проти лупи Schauma Schwarzkopf&Henkel anti-dandruff intensive нанесений штриховий код (рис. 1).

Під час аналізу маркування був перевірений штриховий код, зазначений на пакуванні шампуню проти лупи Schauma Schwarzkopf&Henkel anti-dandruff intensive – 3838824208985. Перші три цифри (383) означають країну походження (країну-виробника) товару – Словенія. Остання цифра (5) – контрольна, використовується для перевірки правильності зчитування штрихів коду. Розрахована контрольна цифра співпадає з контрольною цифрою, зазначеною на упакуванні, що свідчить про те, що зразок шампуню проти лупи Schauma Schwarzkopf&Henkel anti-dandruff intensive виготовлено законно.

**Аналіз додаткових реквізитів маркування шампуню проти лупи
Schauma Schwarzkopf&Henkel anti-dandruff intensive**






№ з/п	Зображення реквізиту	Назва реквізиту	Характеристика реквізиту
1		Знаки термінів придатності продукції	Баночка з цифрами. Цей символ означає, яким буде термін, протягом якого ми зможемо користуватися косметичним засобом після того, як розкрили упаковку.
2		Е-марка (E-Mark)	Вказує, що середній обсяг або вага продукції суворо відповідають заявленому і всі права споживача дотримані, гарантує, що кількість засобу в упаковці ідеально відповідає заявленому, а надійна упаковка запобігає будь-яким змінам в розмірі вмісту (до відкриття).
3		Не смітити	Знак на упаковці закликає тримати країну в чистоті, викидати упаковку тільки в призначені для цього місця (в урну, в сміттєві ящики); можуть додатково наноситися написи, що закликають до чистоти, або слова подяки до тих, хто викидає використану упаковку
4		Трикутник з трьох стрілок – знак на виробках, виконаних з пластика, які можуть перероблятися промисловим шляхом	Цифра в середині трикутника і букви під ним визначають тип пластика, з якого виконано виріб. Флакон з-під шампуню виконаний із поліпропілену. Це доповнення вводиться для полегшення сортування відходів тари перед її переробкою.
5		Призначення пакування	Для іншої продукції



Рис. 1. Фотографічне зображення штрихового коду шампуню проти лупи Schauma Schwarzkopf&Henkel anti-dandruff intensive: 1 – код країни; 2 – код виробника; 3 – код товару; 4 – контрольна цифра; 5 – знак товару, що виготовлений за ліцензією

Зазначений на упакуванні штриховий код шампуню проти лупи Schauma Schwarzkopf&Henkel anti-dandruff intensive був перевірений на сайті meganavigator.com [16] (рис. 2).

Дані сайту meganavigator.com чітко вказують на те, що країною-виробником шампуню проти лупи Schauma Schwarzkopf&Henkel anti-dandruff intensive є Словенія. Проте на упакуванні даного косметичного компактного засобу зазначено, що виробник Schwarzkopf&Henkel Production GmbH&Co KG Henkelstrasse 67, 40589 Dusseldorf, Germania (Німеччина), що не збігається з кодом країни-виробника (383), вказаного на штрих-коді.

Вимоги до маркування шампунів в Україні регламентують ДСТУ 4315:2004 [9] та ГОСТ 28303-89 [10], в яких зазначається, що склад косметичного виробу наводиться у порядку зменшення масової частки інгредієнтів у рецептурі виробу. Чіткі вимоги щодо реквізитів маркування дають можливість споживачам орієнтуватися під час вибору необхідного товару та забезпечує необхідною, доступною, достатньою інформацією.

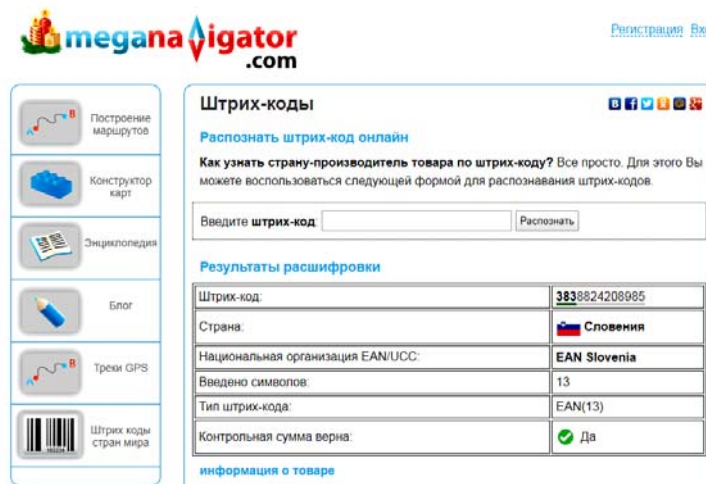


Рис. 2. Скріншот сторінки сайту meganavigator.com розшифрування штрихового коду шампуню проти лупи Schauma Schwarzkopf&Henkel anti-dandruff intensive

За характеристиками та дослідженнями експертів інгредієнти косметичних засобів можна умовно віднести до дев'яти класів за індексом безпеки для організму людини [17, 18]. Проаналізувавши склад шампуню проти лупи Schauma Schwarzkopf&Henkel anti-dandruff intensive, з'ясували, що інгредієнти, що використані для виробництва об'єкта, мають такі індекси безпеки:

- 1 – Aqua, Sodium chloride, Glycine, Hydrogenated Castor Oil, Panthenol, Guar hydroxypropyltrimonium chloride;
- 2 – Hydrolyzed keratin, Citric acid;
- 3 – Sodium laureth sulfate, Zinc pyrithione, Sodium benzoate, Propylene glycol;
- 4 – Cocamidopropyl Betaine, PEG-7 Glyceryl Cocoate, Parfum;
- 5 – Linalool;
- 6 – Limonene;
- 7 – Butylphenyl methylpropional.

Аналіз реквізитів маркування шампуню показав, що інгредієнти з найвищим індексом безпеки за класифікацією [18] мають невелику масову частку в складі, тобто ризик виникнення алергічних реакцій, хімічних опіків, зменшення або пригнічення основного запаху продукту тощо не високий. Згідно з The International Nomenclature of Cosmetic Ingredients, серед перелічених інгредієнтів немає жодного, що позиціонується за функціональним призначенням як засіб проти лупи. Серед решти інгредієнтів відсутні ті, що мають дуже високий індекс безпеки, однак споживачі для свідомого вибору повинні мати повну інформацію про характеристики кожної речовини, сполуки в складі [18].

Органолептичні показники якості шампуню проти лупи Schauma Schwarzkopf&Henkel anti-dandruff intensive досліджували відповідно ДСТУ 5009:2008 [19] та 4315:2004 [9]. На початку проведення дослідження були встановлені зовнішній вигляд, колір та запах шампуню. Для косметичних засобів важливо мати приємний або нейтральний запах. Результати проведених досліджень визначення органолептичних показників якості шампуню проти лупи Schauma Schwarzkopf&Henkel anti-dandruff intensive представлені в таблиці 4.

Таблиця 4

Результати дослідження органолептичних показників якості шампуню проти лупи Schauma Schwarzkopf&Henkel anti-dandruff intensive

Назва показника	Характеристика і норми		Відповідність НД
	за 4315:2004 [9]	вимірне значення	
1. Зовнішній вигляд	Однорідна однофазна або багатofазна рідина без сторонніх домішок. Допускається наявність перламутру	Однорідна однофазна маса, без сторонніх домішок	Відповідає
2. Колір	Повинен відповідати кольору виробу певної назви	Білий	Відповідає
3. Запах	Повинен відповідати запаху виробу певної назви	Приємний, свіжий, парфумований	Відповідає

Проведеними дослідженнями встановлено, що органолептичні показники якості шампуню проти лупи Schauma Schwarzkopf&Henkel anti-dandruff intensive відповідають нормативним значенням п. 5.3 ДСТУ 4315:2004 [9].

Як зазначено науковцями [12] фізико-хімічні показники є одними із найважливіших під час

проведення експертизи якості косметичних засобів.

Важливим фізико-хімічним показником шампунів є піноутворювальна здатність, оскільки для відокремлення від волосся й утримання часточок жиру і бруду косметичні засоби повинні характеризуватися якісною піною [20, 21]. Піноутворювальна здатність, а саме пінне число та стійкість піни визначали відповідно до ГОСТ 22567.1-77 Средства моющие синтетические. Метод определения пенообразующей способности [22].

На жаль, виробників косметичних засобів не зобов'язують вказувати значення рН на маркуванні свого товару. Для правильного збалансованого догляду за шкірою голови даний показник має дуже важливе значення. Тому, відповідно до методики ГОСТ 29188.2-91 [23], визначали водневий показник шампуню проти лупи Schauma Schwarzkopf&Henkel anti-dandruff intensive.

Масова частка хлоридів є одним із важливих фізико-хімічних показників якості шампунів. Його визначали за методикою, викладеною в ГОСТ 26878-86 [24].

Результати дослідження перерахованих вище показників надані у таблиці 5.

Таблиця 5

Результати визначення фізико-хімічних показників якості шампуню проти лупи Schauma Schwarzkopf&Henkel anti-dandruff intensive

Назва показника	Значення показника		Відповідність НД
	нормативне	виміряне	
Піноутворювальна здатність: пінне число, не менше ніж стійкість піни	145,0 0,8-1,0	156 1,0	Відповідає
Водневий показник (рН), од. рН	3,5-8,5	5,4	Відповідає
Масова частка хлоридів, не більше ніж, %	6,0	0,3	Відповідає

Отже, за фізико-хімічними показниками якості шампуню проти лупи Schauma Schwarzkopf&Henkel anti-dandruff intensive відповідає вимогам ДСТУ 4315:2004 [9].

Висновки. Проведення товарознавчих досліджень під час експертизи якості косметичних мийних засобів дозволяє запобігати надходженню на внутрішній ринок України продукції, що має неналежний рівень якості або фальсифікованої, тим самим запобігти нанесенню шкоди здоров'ю українських споживачів.

Під час проведення досліджень встановлено, що реквізити маркування шампуню проти лупи Schauma Schwarzkopf&Henkel anti-dandruff intensive надані у повному обсязі та відповідають вимогам ГОСТ 28303-89 [10]. Вимірний рівень рН шампуню проти лупи Schauma Schwarzkopf&Henkel anti-dandruff intensive має середнє значення, близьке до аквідермального. За цим показником, а також за показниками: пінне число, стійкість піни та вміст хлоридів, – даний косметичний мийний засіб відповідає вимогам ДСТУ 4315:2004 [9].

На нашу думку, перспективними напрямками подальших досліджень є встановлення рівня безпечності шампуню проти лупи Schauma Schwarzkopf&Henkel anti-dandruff intensive.

Література

1. Как выбрать полезный шампунь и на что обращать внимание? [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL : <http://modern-pharmacy.com.ua/kak-vy-brat-polezny-j-shampun-i-na-cto-obrashhat-vnimanie> (дата звернення 13.06.2019 р.).
2. Шампуни для м'ягкого волосся [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.matrixplus.ru/formula04.htm> (дата звернення 13.06.2019 р.).
3. Косметика и гигиена: Чего хочет рынок? [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://trademaster.ua/ryinki_nonfood/312460 (дата звернення 13.06.2019 р.).
4. Петрова І. А. Дослідження маркування при проведенні судово-товарознавчих експертиз / І. А. Петрова // Науковий вісник Дніпропетровського державного університету внутрішніх справ. – 2011. – № 3. – С. 296–308.
5. Експертизи у судочинстві України: Судова товарознавча експертиза [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://pidruchniki.com/74915/pravo/sudova_tovarovnavcha_ekspertiza (дата звернення 13.06.2019 р.).
6. Кордіяка Ю. М. Вдосконалення нормативно-технічного забезпечення випробувань та якості косметичних засобів : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.01.02 «Стандартизація, сертифікація та метрологічне забезпечення» / Ю. М. Кордіяка. – Львів, 2016. – 25 с. – Режим доступу : http://www.lp.edu.ua/sites/default/files/dissertation/2017/4753/aref_kordiiaka_y.m.pdf (дата звернення 13.06.2019 р.).
7. Державні санітарні правила і норми безпеки продукції парфумерно-косметичної промисловості (ДСанПіН) 2.2.9.027-99 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://regulation.gov.ua/documents/id238161>

(дата звернення 13.06.2019 р.).

8. Засоби піномийні. Технічні умови: ДСТУ 3796:1998. – [Чинний від 2004-03-01]. – К. : Держспоживстандарт України, 2004. – 14 с. – (Національний стандарт України).

9. Засоби косметичні для очищення шкіри та волосся. Загальні технічні умови : ДСТУ 4315:2004. – [Чинний від 2005-07-01]. – К. : Держспоживстандарт України, 2005. – 15 с. – (Національний стандарт України).

10. Изделия парфюмерно-косметические. Упаковка, маркировка, транспортирование и хранение : ГОСТ 28303-89. – М. : ИПК Издательство стандартов, 1990. – 6 с.

11. Вимоги до косметичної продукції в Україні змінять [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://csm.kiev.ua/index.php?option=com_content&view=article&id=3937:2017-06-22-06-30-06&catid=122:2015-09-15-07-01-23&lang=uk (дата звернення 13.06.2019 р.).

12. Вишнікіна О. В. Хімічна експертиза якості косметичних засобів, що імпортуються в Україну / О. В. Вишнікіна, О. А. Лихолат // Вісник Академії митної служби України. Серія: «Технічні науки». – 2009. – № 1. – С. 55–62.

13. Види і форми інформації [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://stud.com.ua/48437/marketing/vidi_formi_informatsiyi (дата звернення 13.06.2019 р.).

14. Загадочные значки и символы на упаковке косметической продукции [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.korolevpharm.ru/articles/297-zagadochnye-znachki-i-simvoly-na-upakovke-kosmeticheskoy-produktsii.html> (дата звернення 13.06.2019 р.).

15. Маркировка профессиональной косметики при фасовке и упаковке [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.korolevpharm.ru/articles/145-markirovka-professionalnoj-kosmetiki.html> (дата звернення 13.06.2019 р.).

16. Сайт Meganavigator [Електронний ресурс]. – Режим доступу : meganavigator.com (дата звернення 13.06.2019 р.).

17. Cosmetic Analysis [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.cosmeticanalysis.com/> (дата звернення 13.06.2019 р.).

18. Analyze Cosmetics [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://cosdna.com/> (дата звернення 13.06.2019 р.).

19. Вироби парфумерно-косметичні. Правила приймання, відбирання проб, методи органолептичних випробувань : ДСТУ 5009:2008. – [Чинний від 2009-01-01]. – К. : Держспоживстандарт України, 2009. – 7 с. – (Національний стандарт України).

20. Дослідження фізико-хімічних показників якості піномийних косметичних засобів [Електронний ресурс] / Пилипенко Т., Чигиринець О., Воробйова В., Єфімова В. – Режим доступу : http://journals.stu.cn.ua/technical_sciences_and_technology/article/view/77502/73229 (дата звернення 13.06.2019 р.).

21. Кордіяка Ю. Нормовані показники якості піномийних косметичних засобів, що забезпечують покращення їх реологічних властивостей / Ю. Кордіяка, М. Міхалева, Р. Байцар // Вимірювальна техніка та метрологія. – 2014. – № 75. – С. 107–110.

22. Средства моющие синтетические. Метод определения пенообразующей способности : ГОСТ 22567.1-77. – М. : ИПК Издательство стандартов, 1986. – 6 с.

23. Изделия косметические. Метод определения водородного показателя pH : ГОСТ 29188.2-91. – М. : Издательство стандартов, 1991. – 3 с.

24. Шампуни для ухода за волосами и для ванн. Метод определения содержания хлоридов : ГОСТ 26878-86 (СТ СЭВ 5186-86). – М. : Издательство стандартов, 1986. – 4 с.

References

1. Kak vybrat poleznyj shampun i na chto obrashat vnimanie? [Elektronnij resurs]. – Rezhim dostupu: URL : <http://modern-pharmacy.com.ua/kak-vy-brat-poleznyj-shampun-i-na-chto-obrashat-vnimanie> (data zvernennya 13.06.2019 r.).

2. Shampuni dlya mytya volos [Elektronnij resurs]. – Rezhim dostupu : <http://www.matrixplus.ru/formula04.htm> (data zvernennya 13.06.2019 r.).

3. Kosmetika i gigiena: Chego hochet rynek? [Elektronnij resurs]. – Rezhim dostupu : https://trademaster.ua/ryinki_nonfood/312460 (data zvernennya 13.06.2019 r.).

4. Petrova I. A. Doslidzhennia markuvannia pry provedenni sudovo-tovarovnavchykh ekspertyz / I. A. Petrova // Naukovyi visnyk Dnipropetrovskoho derzhavnoho universytetu vnutrishnikh sprav. – 2011. – № 3. – S. 296–308.

5. Ekspertyzy u sudochynstvi Ukrainy: Sudova tovaroznavcha ekspertyza [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : https://pidruchniki.com/74915/pravo/sudova_tovarovnavcha_ekspertiza (data zvernennia 13.06.2019 r.).

6. Kordiiaka Yu. M. Vdoskonalennia normatyvno-tekhnichnoho zabezpechennia vyprobuvan ta yakosti kosmetychnykh zasobiv : avtoref. dys. na zdobuttia nauk. stupenia kand. tekhn. nauk : spets. 05.01.02 «Standartyzatsiia, sertyfikatsiia ta metrolohichne zabezpechennia» / Yu. M. Kordiiaka. – Lviv, 2016. – 25 s. Rezhym dostupu : http://www.lp.edu.ua/sites/default/files/dissertation/2017/4753/aref_kordiiaka_y.m.pdf (data zvernennia 13.06.2019 r.).

7. Derzhavni sanitarni pravyla i normy bezpeky produktsii parfumerno-kosmetychnoi promyslovosti (DSanPiN) 2.2.9.027-99 [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <https://regulation.gov.ua/documents/id238161> (data zvernennia 13.06.2019 r.).

8. Zasoby pinomyini. Tekhnichni umovy: DSTU 3796:1998. – [Chynnyi vid 2004-03-01]. – K. : Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2004. – 14 s. – (Natsionalnyi standart Ukrainy).

9. Zasoby kosmetychni dlia ochyshchennia shkiry ta volossia. Zahalni tekhnichni umovy : DSTU 4315:2004. – [Chynnyi vid 2005-07-01]. – K. : Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2005. – 15 s. – (Natsionalnyi standart Ukrainy).

10. Izdeliya parfumerno-kosmeticheskie. Upakovka, markirovka, transportirovanie i hranenie : GOST 28303-89. – M. : IPK Izdatelstvo standartov, 1990. – 6 s.
11. Vymohy do kosmetychnoi produktsii v Ukraini zmiat [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : http://csm.kiev.ua/index.php?option=com_content&view=article&id=3937:2017-06-22-06-30-06&catid=122:2015-09-15-07-01-23&lang=uk (data zvernennia 13.06.2019 r.).
12. Vyshnikina O. V. Khimichna ekspertyza yakosti kosmetychnykh zasobiv, shcho importuiusia v Ukrainu / O. V. Vyshnikina, O. A. Lykholat // Visnyk Akademii mytnoi sluzhby Ukrainy. Seriya: «Tekhnichni nauky». – 2009. – № 1. – S. 55–62.
13. Vidy i formy informatsii [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : https://stud.com.ua/48437/marketing/vidi_formi_informatsiyi (data zvernennia 13.06.2019 r.).
14. Zagadochnye znachki i simvoly na upakovke kosmeticheskoy produktsii [Elektronnij resurs]. – Rezhym dostupu : <http://www.korolevpharm.ru/articles/297-zagadochnye-znachki-i-simvoly-na-upakovke-kosmeticheskoy-produktsii.html> (data zvernennia 13.06.2019 r.).
15. Markirovka professionalnoj kosmetiki pri fasovke i upakovke [Elektronnij resurs]. – Rezhym dostupu : <http://www.korolevpharm.ru/articles/145-markirovka-professionalnoj-kosmetiki.html> (data zvernennia 13.06.2019 r.).
16. Sajt Meganavigator [Elektronnij resurs]. – Rezhym dostupu : meganavigator.com (data zvernennia 13.06.2019 r.).
17. Cosmetic Analysis [Elektronnij resurs]. – Rezhym dostupu : <http://www.cosmeticanalysis.com/> (data zvernennia 13.06.2019 r.).
18. Analyze Cosmetics [Elektronnij resurs]. – Rezhym dostupu : <http://cosdna.com/> (data zvernennia 13.06.2019 r.).
19. Vyroby parfumerno-kosmetychni. Pravyla pryimannia, vidbyrannia prob, metody orhanoleptychnykh vyprobuvan : DSTU 5009:2008. – [Chynnyi vid 2009-01-01]. – K. : Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2009. – 7 s. – (Natsionalnyi standart Ukrainy).
20. Doslidzhennia fizyko-khimichnykh pokaznykiv yakosti pinomyinykh kosmetychnykh zasobiv [Elektronnyi resurs] / Pylypenko T., Chyhyrynets O., Vorobiova V., Yefimova V. – Rezhym dostupu : http://journals.stu.cn.ua/technical_sciences_and_technology/article/view/77502/73229 (data zvernennia 13.06.2019 r.).
21. Kordiiaka Yu. Normovani pokaznyky yakosti pinomyinykh kosmetychnykh zasobiv, shcho zabezpechuiut pokrashchennia yikh reolohichnykh vlastyvostei / Yu. Kordiiaka, M. Mikhalieva, R. Baitsar // Vymiriuvalna tekhnika ta metrolohiiia. – 2014. – № 75. – S. 107–110.
22. Sredstva moyushie sinteticheskie. Metod opredeleniya penoobrazuyushej sposobnosti : GOST 22567.1–77. – M. : IPK Izdatelstvo standartov, 1986. – 6 s.
23. Izdeliya kosmeticheskie. Metod opredeleniya vodorodnogo pokazatelya rN : GOST 29188.2-91. – M. : Izdatelstvo standartov, 1991. – 3 s.
24. Shampuni dlya uhoda za volosami i dlya vann. Metod opredeleniya soderzhaniya hloridov : GOST 26878-86 (ST SEV 5186-86). – M. : Izdatelstvo standartov, 1986. – 4 s.

Рецензія/Peer review : 19.06.2019 р.

Надрукована/Printed : 23.07.2019 р.

Рецензент: д. юр. н., проф. Р.Л. Степанюк

Т.В. ІВАНІШЕНА, О.О. ІВАНІШЕНА
Хмельницький національний університет

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ БЕЗПЕЧНОСТІ ПАКУВАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Проведені дослідження зі встановлення безпеки використання різних видів упаковки для продуктів харчової промисловості. З метою комплексного порівняльного аналізу використані традиційні фізико-хімічні методи визначення сполук, що здатні мігрувати з пакувального матеріалу та альтернативні методи біологічного моніторингу з використанням *Chlorella vulgaris* Beijer, *Triticum L.*, *Avena satia L.*, *Hordeum vulgare*, які застосовуються для оцінки їх токсикологічного впливу. Розроблена схема проведених досліджень дозволяє визначати рівні міграції шкідливих речовин та їх токсичність з паперової, полімерної та металічної упаковок за показниками допустимої кількості міграції, токсичної кратності розведення, порогового та ефективного розведення витяжок з матеріалів.

Ключові слова: паперова, комбінована металічна упаковка, біотестування, токсична кратність розведення, порогове та ефективне розведення, допустима кількість міграції.

T.V. IVANISHENA, O.O. IVANISHENA
Khmelnitskyi National University

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE SAFETY OF PACKAGING MATERIALS FOR THE FOOD INDUSTRY

Studies have been conducted to establish the safety of the use of different types of packaging for food products. Traditional physicochemical methods for the determination of compounds capable of migrating from packaging material and alternative biological monitoring methods using *Chlorella vulgaris* Beijer, *Triticum L.*, *Avena satia L.*, *Hordeum vulgare*, used to evaluate their toxicology, have been used for the purpose of comprehensive comparative analysis exposure. The developed scheme of the conducted researches allows determining the levels of migration of harmful substances and their toxicity from paper, polymeric and metal packages according to the indicators of permissible amount of migration, toxic multiplicity of dilution, threshold and effective dilution of extracts from materials. Physical-chemical methods have shown that the highest rates of allowable amount of migration are characteristic for metal packaging, and the lowest - for polystyrene packaging. The results obtained on the phyto-test objects are best correlated with the data of the physicochemical analysis, while the least sensitive bio-test object was *Chlorella vulgaris* Beijer.

Keywords: packaging, migration of harmful substances, biomonitoring, toxic breeding rate, threshold and effective breeding, allowable amount of migration.

Постановка проблеми

За останні 30 років пакувальна промисловість, що виробляє матеріали і тару для продуктів харчування, зробила колосальний ривок, з точки зору розширення асортименту матеріалів. У цьому ряду основне місце займають полімери, які використовуються в складі упаковки як в індивідуальному вигляді, так і в сполученні з папером, картоном, металами. Питання безпеки пакувальних матеріалів і тари є предметом найсерйозніших досліджень, як у нас в країні, так і закордоном, оскільки безпосередньо пов'язані з безпекою харчових продуктів і, як наслідок, зі здоров'ям людей, які їх споживають.

Очевидно, що в даний час до вибору пакувальних матеріалів і упаковки треба ставитися надзвичайно відповідально з тим, щоб забезпечити безпеку її використання в контакті з тим чи іншим продуктом. Остаточні висновки, щодо можливості використання тих чи інших матеріалів і виробів для контакту з певними харчовими продуктами можна зробити лише після проведення комплексу досліджень: органолептичних, санітарно-хімічних, мікробіологічних, радіологічних та інших, як самої упаковки, так і харчових продуктів, що в неї пакуються.

Більш широкий спектр досліджень передбачається для синтетичних матеріалів, вироблених з використанням нових інгредієнтів і технологій. При цьому обов'язковим етапом експертизи є санітарно-токсикологічна оцінка токсичності, специфічних і віддалених наслідків за участю лабораторних тварин та інших біологічних об'єктів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Основну небезпеку при використанні упаковки, яка безпосередньо контактує з харчовими продуктами, представляють низькомолекулярні сполуки, які можуть виділятися в навколишнє середовище і мігрувати в продукт. Тому в комплексі гігієнічних випробувань пакування важливе місце займають санітарно-хімічні дослідження. Вони дозволяють оцінити характер і кількість хімічних речовин, що виділяються з самого композиційного матеріалу в модельне середовище або продукт. Об'єктами таких досліджень є також мономери, каталізатори, ініціатори і прискорювачі полімеризації, і звичайно, технологічні добавки (стабілізатори, пластифікатори, барвники, наповнювачі та деякі інші).

Санітарно-хімічні дослідження проводять хіміко-аналітичними методами, оцінюючи інтегральну (сумарну) і специфічну (індивідуальну) міграції сторонніх речовин у харчовий продукт. У кожній країні для проведення таких випробувань розробляються і впроваджуються свої модельні середовища, умови екстракції і відповідна нормативна документація, оскільки поки не узгоджена єдина міжнародна уніфікована методика проведення санітарно-хімічних досліджень пакувальних матеріалів. Критерієм оцінки якості

досліджень є гранично допустима величина інтегральної міграції речовини.

Заключним етапом гігієнічних досліджень пакувальних матеріалів, що контактують з продуктами харчування, є токсикологічні випробування. Для оцінки токсичності речовини використовують такі критерії, як LD_{50} та LC_{50} . Залежно від значень даних показників визначається ступінь токсичності шкідливих речовин і поріг їх міграції в продукт харчування з упаковки. Дослідження токсичності речовин, що містяться в пакувальному матеріалі або продукті харчування, дозволяють встановлювати основний критерій токсикологічної оцінки – допустиму кількість міграції (ДКМ). Показник ДКМ є гігієнічним нормативом і повинен гарантувати безпеку для здоров'я людей при необмежено тривалому контакті з харчовими продуктами упаковки, що містить цю речовину [1].

Для оцінки інтегральної токсичності поряд з методами хімічного аналізу застосовуються методи біотестування. Вони проводяться на різних біотест-об'єктах. Основними показниками за якими здійснюється оцінка є зміна оптичної густини екстрактів водних витяжок та токсична кратність розведення [2].

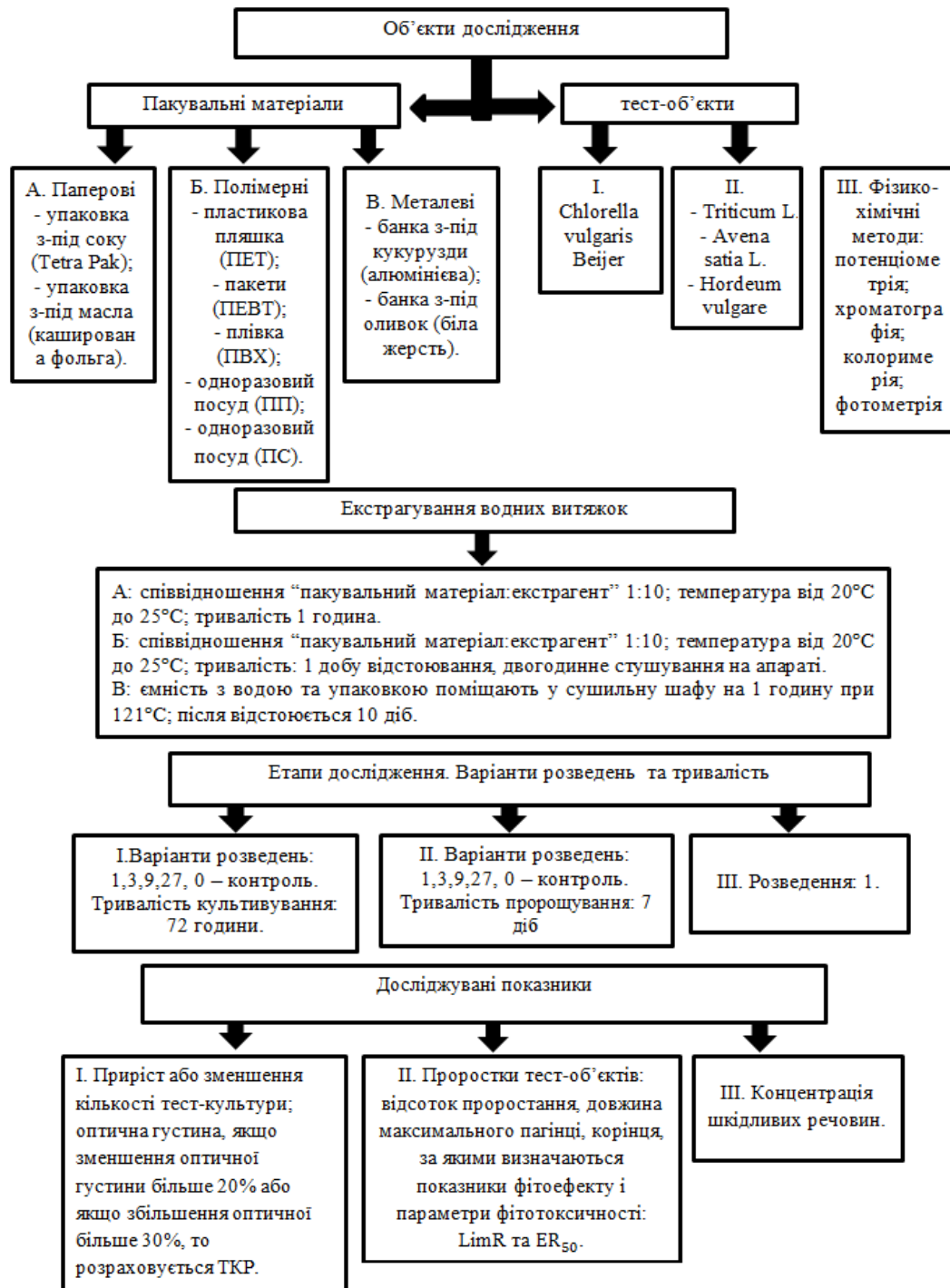


Рис. 1. Схема експериментальних досліджень

Застосування біотестування має ряд переваг перед фізико-хімічним аналізом, засобами якого часто не вдається виявити нестійкі сполуки або кількісно визначити малі концентрації екотоксикантів. Доволі частими є випадки, коли виконаний сучасними засобами хімічний аналіз не показує наявності токсикантів, тоді як використання біологічних тест-об'єктів свідчить про їх присутність в досліджуваному середовищі [3].

Одним із різновидів біотестування є фіто тестування, яке рекомендовано для оцінки фітотоксичної дії хімічних речовин при обґрунтуванні їх гранично-допустимих концентрацій (ГДК).

Встановлення класу небезпеки та рівня нешкідливості досліджуваної речовини за фітотоксичною дією здійснюється за параметрами фітотоксичності: середньоефективне ER_{50} (розведення, за якого фіто ефект становить 50%) і порогове розведення екстракту $LimR$ (розведення водної витяжки пакувального матеріалу, які перевищують його величину, будуть безпечні для росту і розвитку вищих рослин) [4].

Мета і завдання досліджень

Метою дослідження є порівняльний аналіз безпечності пакувальних матеріалів, виготовлених з різної сировини.

Проведений моніторинг ринку пакувальних матеріалів показав, що найбільше для пакування використовується полімерна упаковка (полістирол (ПС), поліетилентерефталат (ПЕТ), поліетилен високого (ПЕВТ) та низького тисків (ПЕНТ), поліпропілен (ПП), полівинилхлорид (ПВХ)). Як показали дослідження безпечності пакувальних матеріалів [5, 6] полімерне, картонно-паперове та металеве пакування становлять основну небезпеку з екологічної точки зору.

На підставі вимог, що встановлюються для пакувальних матеріалів для проведення досліджень були обрані методи фізико-хімічного аналізу (визначення концентрації шкідливих речовин згідно з нормативними документами), фітотестування (фіто ефект та токсичність), біотестування (зміна оптичної густини екстрактів водних витяжок пакувальних матеріалів та ТКР).

Схема експериментальних досліджень, яка відображає об'єкти та методи проведених досліджень, зображена на рис. 1.

Виклад основного матеріалу

Для порівняльної характеристики різних типів пакувальних матеріалів за результатами біотестування побудовано діаграму (рис. 2), на якій зображені значення відносної різниці оптичної густини екстрактів водних витяжок досліджуваних зразків упаковок.

Як видно на рис. 2, для водної витяжки алюмінієвої упаковки відбувається стимуляція росту тест-культури, завдяки наявності у водній витяжці мікроелементів алюмінію, який використовується для виготовлення банки та цинку, який міститься у сплаві. Збільшення оптичної густини не перевищує встановлених норм (не більше 30%). Також невелика стимуляція росту спостерігається для водної витяжки ПЕВТ. Для водних витяжок упаковок з-під соку, масла, ПЕТ, ПВХ, ПП, ПС, упаковки з білої жерсті спостерігається зменшення оптичної густини, тобто відбувається пригнічення росту *Chlorella vulgaris* Beijer, але цей показник не перевищує 20%.

За результатами фітотестування встановлені параметри фітотоксичності ER_{50} , що являє собою середньоефективне розведення (рис. 3).

На рисунку 3 видно, що значення ER_{50} для усіх упаковок не перевищують 1 та фітотоксичний ефект зафіксований тільки при дії нативного екстракту, а його розведення не мають впливу на тест-об'єкти, тому усім упаковкам присвоюється 4 клас небезпечності – малонебезпечні.

При проведенні фітотестування встановлено, що найчутливішим тест-об'єктом до шкідливих речовин у водних витяжках є *Triticum L.* Тому цей тест-об'єкт найкраще підходить для проведення досліджень пакувальних матеріалів.

Для порівняльної характеристики різних типів пакувальних матеріалів за результатами фізико-хімічних методів визначено концентрації шкідливих речовин в екстрактах водних витяжок, значення яких перевищують ДКМ та їх основі розраховано сумарний показник токсичності ($\sum \frac{C_i}{ГДК_i}$) для кожного виду

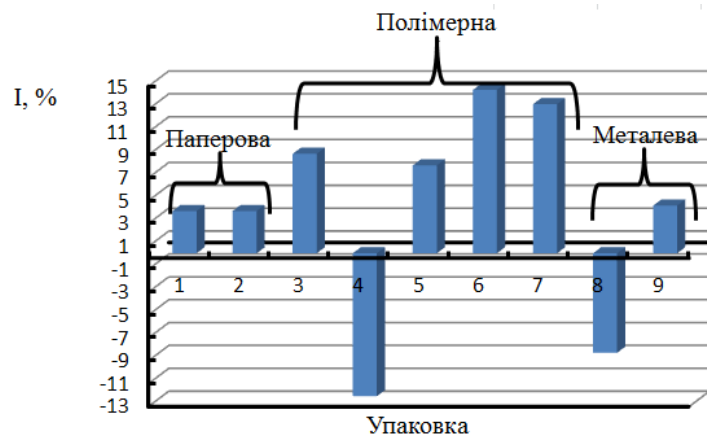


Рис. 2. Оптична густина екстрактів водних витяжок пакувальних матеріалів: (біотест-об'єкт – *Chlorella vulgaris* Beijer): 1 – упаковка Tetra Pak; 2 – упаковка з кашированої фольги; 3 – ПЕТ упаковка; 4 – ПЕВТ упаковка; 5 – ПВХ упаковка; 6 – ПП упаковка; 7 – ПС упаковка; 8 – алюмінієва упаковка; 9 – упаковка з білої жерсті

упаковки рис. 4.

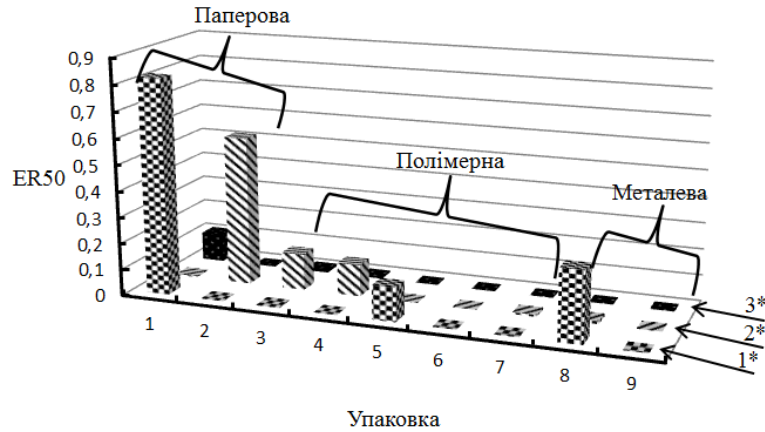


Рис. 3. Показники фітотоксичності пакувальних матеріалів: вид упаковки: 1 – упаковка Tetra Pak; 2 – упаковка з кашированої фольги; 3 – ПЕТ упаковка; 4 – ПЕВТ упаковка; 5 – ПВХ упаковка; 6 – ПП упаковка; 7 – ПС упаковка; 8 – алюмінієва упаковка; 9 – упаковка з білої жерсті; вид фітотест-об'єкту: 1* – Triticum L.; 2* – Avena satia L.; 3* – Hordeum vulgare

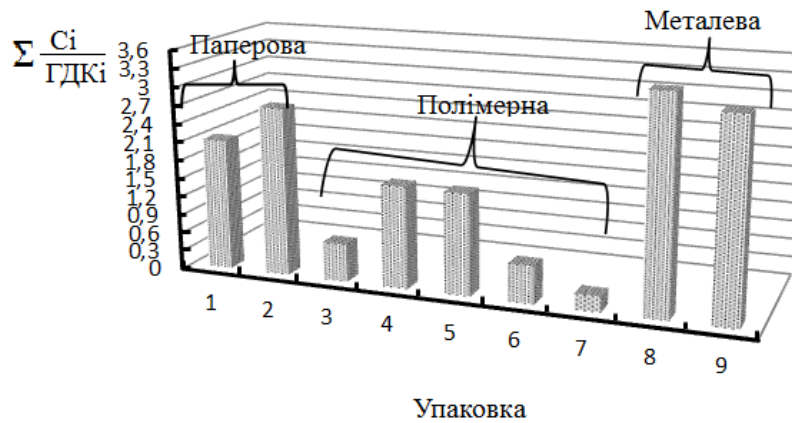


Рис. 4. Безпечність пакувальних матеріалів за вмістом шкідливих речовин: 1 – упаковка Tetra Pak; 2 – упаковка з кашированої фольги; 3 – ПЕТ упаковка; 4 – ПЕВТ упаковка; 5 – ПВХ упаковка; 6 – ПП упаковка; 7 – ПС упаковка; 8 – алюмінієва упаковка; 9 – упаковка з білої жерсті

Таблиця 1

Ранжування показників екобезпеки пакувальних матеріалів

Біотестування		Фітотестування		Фізико-хімічні методи	
Пакувальний матеріал	I, %	Пакувальний матеріал	Lim R	Пакувальний матеріал	$\Delta \frac{C_i}{ДКМ_i}$
ПП упаковка	14,29	Tetra Pak EG	3,75	алюмінієва упаковка	3,437
ПС упаковка	13,04	алюмінієва упаковка	3	упаковка білої жерсті ³	3,186
ПЕВТ упаковка	-12,50	упаковка кашированої фольги ³	0,67	упаковка кашированої фольги ³	2,73
ПЕТ упаковка	8,70	ПВХ упаковка	0,34	Tetra Pak	2,13
ПВХ упаковка	7,69	упаковка білої жерсті ³	0,13	ПЕВТ упаковка	1,656
алюмінієва упаковка	-8,70	ПС упаковка	0,08	ПВХ упаковка	1,640
упаковка білої жерсті ³	4,17	ПЕТ упаковка	0,0725	ПП упаковка	0,615
Tetra Pak	3,70	ПП упаковка	0,002	ПЕТ упаковка	0,614
упаковка кашированої фольги ³	3,70	ПЕВТ упаковка	0,0012	ПС упаковка	0,259

На рис. 4 видно, що у металевій упаковці знайдено шкідливі речовини, які перевищують ДКМ. Фізико-хімічними методами встановлено, що такою речовиною є свинець. Важливо контролювати термін придатності продуктів в металевій упаковці. У сплаві для виготовлення консервних банок в невеликих дозах присутні важкі метали, в тому числі свинець, здатний викликати важкі і незворотні процеси в організмі людини. У звичайному стані він не може виділятися з упаковки, але чим довше така упаковка зберігається, тим вище ймовірність переходу шкідливого металу в продукт.

У табл. 1 наведена порівняльна характеристика результатів досліджень екологічності пакувальних матеріалів різними методами. У таблиці наведено перелік пакувальних матеріалів у порядку спадання токсичності (за I , Lim R , $\Delta \frac{C_i}{\text{ДКМ}_i}$).

Висновки

При проведенні біотестування основним критерієм є визначення гострої токсичної дії, тобто токсичної концентрації окремих речовин або токсичної кратності розведення води і водних витяжок, що містять суміші речовин, що викликають зниження на 20% і більше або збільшення на 30% і більше величини оптичної густини тест-культури водорості в порівнянні з контролем за 72 години світлової експозиції. Результати біотестування (таблиця 1) показали, що відносна різниця оптичної густини не перевищує вказані показники токсичності, тому можна припустити, що водні витяжки пакувальних матеріалів не містять речовин, здатних викликати токсичний ефект у *Chlorella vulgaris* Beijer. Тому цей метод встановлення показників екобезпеки для даних об'єктів дослідження є найменш ефективним.

Метод фітотестування показав, що найбільші значення фіто ефекту характерно для упаковки Tetra Pak та металевої, а найменші – у полімерної упаковки. Результати даного методу найкраще корелюються з даними фізико-хімічного аналізу.

Фізико-хімічними методами встановлено, що найвищі показники відношення суми концентрації речовин до ДКМ у металевій упаковці, де також спостерігається перевищення ДКМ для свинцю, а найменші значення – в ПС упаковці.

Враховуючи результати трьох методів аналізу можна зробити висновок проте, що найбільшу токсичність проявляють металеві пакувальні матеріали, потім паперові, за рахунок того, що обрані паперові пакувальні матеріали у своєму складі мають алюмінієву фольгу, а найменшу – полімерні.

Література

1. Любешкина Е.В. Миграционная политика. За безопасность связей с упаковочным материалом / Е.В. Любешкина // Пакет. – 2004. – № 5. – С. 4–11.
2. Біотестування. Сучасний стан практичного використання [Електронний ресурс] : стаття. – Режим доступу : [www.kdu.edu.ua/statti/2006-6-1\(41\)/142.doc.html](http://www.kdu.edu.ua/statti/2006-6-1(41)/142.doc.html). (дата звернення 9.12.13 р).
3. Исидоров В.А. Введение в химическую экотоксикологию / В.А. Исидоров. – СПб : Химиздат, 1999. – 144 с.
4. МР 2.1.7.2297-07. Методические рекомендации по обоснованию класса опасности отходов производства и потребления по фитотоксичности. – [Действует с 2007-28-10]. – М., 2007. – 9 с.
5. Іванішена Т.В. Дослідження безпечності полімерних пакувальних матеріалів / Т.В. Іванішена, М.В. Хрущ // Вісник Хмельницького національного університету. – 2017. – № 5. – С. 71–77.
6. Іванішена Т.В. Дослідження міграції шкідливих речовин із упаковки / Т.В. Іванішена, О.О. Іванішена // Вісник Хмельницького національного університету. – 2018. – № 6. – С. 64–70.

References

1. Lyubeshkina E.V. Migracionnaya politika. Za bezopasnost svyazey s upakovochnym materialom / E.V. Lyubeshkina // Paket. – 2004. – № 5. – С. 4–11.
2. Biotestuvannya. Suchasnyi stan praktychnoho vykorystannia [Elektronnyi resurs] : stattia. – Rezhym dostupu : [www.kdu.edu.ua/statti/2006-6-1\(41\)/142.doc.html](http://www.kdu.edu.ua/statti/2006-6-1(41)/142.doc.html). (data zvernennia 9.12.13 r).
3. Isidorov V.A. Vvedenie v himicheskuyu ekotoksikologiyu / V.A. Isidorov. – SPb : Himizdat, 1999. – 144 s.
4. MR 2.1.7.2297-07. Metodicheskie rekomendacii po obosnovaniyu klassa opasnosti othodov proizvodstva i potrebleniya po fitotoksichnosti. – [Dejstvet s 2007-28-10]. – M., 2007. – 9 s.
5. Ivanishena T.V. Doslidzhennia bezpechnosti polimernykh pakovalnykh materialiv / T.V. Ivanishena, M.V. Khrushch // Herald of Khmelnytskyi National University. – 2017. – № 5. – С. 71–77.
6. Ivanishena T.V. Doslidzhennia mihratsii shkidlyvykh rehovyn iz upakovky / T.V. Ivanishena, O.O. Ivanishena // Herald of Khmelnytskyi National University. – 2018. – № 6. – С. 64–70.

Рецензія/Peer review : 25.05.2019 р.

Надрукована/Printed : 23.07.2019 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Мандзюк І.А.

DOI 10.31891/2307-5732-2019-277-5-147-151
УДК 621.398

О.С. ПИВОВАР, В.Д. БИДЮК, Я.В. ВЕРЖБИЦЬКИЙ
Хмельницький національний університет

МОДЕЛЮВАННЯ МЕТОДУ НЕЛІНІЙНОЇ РЕАКЦІЇ У СЕГМЕНТОВАНИХ КАБЕЛЬНИХ ЛІНІЯХ

Запропоновано ряд моделей функціонування методу нелінійної реакції у сегментованих кабельних лініях для використання у діагностичних кабельних системах та кабельних системах охорони периметрів об'єктів. Моделі враховують неідеальності кабельних та пристроїв нелінійної реакції на тестовий сигнал у вигляді постійного струму.

Ключові слова: кабельна система, лінія передачі, нелінійний елемент, стабілітрон, вольтметр.

OLEG SERGHIJOVYCH PYVOVAR, VOLODYMYR STEPANOVYCH BYDJUK,
JAROSLAV VIKTOROVYCH VERZHBYCJKYJ
Khmelnytskyi National University

MODELLING OF NONLINEAR REACTION METHOD IN SEGMENTED CABLE LINES

The method of nonlinear response to critical cable line damage can be used to build wired security systems aimed at control of the perimeter of objects. It is advisable to use this method to develop control and security equipment when tasked with operational deployment and minimization of hardware costs, and autonomous application. The essence of the nonlinear response method is to apply sharp fractures of the non-linear volt-current characteristic to detect the fact of critical damage during active use of the cable system when it is used as intended. Nonlinear elements are installed at the junction of segments of a fixed length cable line. The main factors limiting the tactical characteristics of the nonlinear response method are the imperfections of the transmission cable and nonlinear elements. However, the characteristic features of imperfections within the nonlinear reaction method can be constructive in nature, which not only improves tactical characteristics but also enhances functionality. For example, the presence of active resistance makes it easy to identify the critical damage of the break type and short circuit at the same time, and the noise properties of nonlinear elements and spurious leakage currents can be used as an additional factor in identifying transmission line damage. The use of the constructive nature of imperfections in the nonlinear response method is only possible if certain correlation exist between the test signal, the transmission line parameters, and the parameters of nonlinear elements. The article proposes a series of models that establish the correlation between the values of the test DC, the leakage currents of a distributed Zener system as nonlinear elements and the active resistance of a thin cable line. The results of the study of the proposed models are presented in the form of analytical correlations, graphs and recommendations.

Keywords: critical damage, Zener diode, segmented transmission line, voltmeter.

Постановка проблеми

Завдяки широкому поширенню кабельних систем та мереж завжди актуальним залишається завдання контролю їх працездатності під час експлуатації. Розроблено ряд методів та пристроїв, що призначено для контролю та визначення місця ушкодження в лініях передачі [1]. Подібні методи можуть використовуватись не тільки в телекомунікаційних, але і в протипожежних, охоронних, командних, телеметричних системах тощо. Як правило, використання систем контролю потребує переривання роботи основних системи та спряжене із застосуванням складних та коштовних засобів, що ґрунтуються на двох базових групах методів: рефлектометрії та аналізі параметрів кабельної лінії [2].

Якщо поставлено завдання оперативного розгортання, за умови мінімізації апаратних витрат та автономного застосування, то одним із перспективних методів контролю критичних ушкоджень є метод нелінійної реакції [3], що полягає у застосуванні різких зламів вольт-амперної характеристики (ВАХ) для виявлення факту ушкодження під час активного використання кабельної системи за телекомунікаційним призначенням. В охоронних кабельних системах завдання контролю факту ушкодження та передачі інформації часто об'єднуються та мають виконуватись одночасно [1].

Процеси, що протікають в нелінійних системах, мають особливості, що не зустрічаються в лінійних системах, в першу чергу, пов'язані з неможливістю застосування принципу суперпозиції для виявлення реакції системи та проблеми із визначенням стійкості за умови завад та варіації первинних умов [4]. Комп'ютерне моделювання нелінійних систем також спряжене з складністю моделей та алгоритмів їх обчислень.

Метою статті є розробка та дослідження аналітичних моделей методу нелінійної реакції для встановлення обмежень та рекомендацій щодо застосування в системі контролю критичних ушкоджень сегментованих кабельних ліній та охоронних системах мінімізованої вартості та простоти.

Аналіз останніх джерел

У випадках використання тонких кабелів для провідно-охоронних систем контролю периметрів об'єктів зазвичай довжина лінії не перевищує декількох кілометрів, а точність та розрізняльна спроможність системи складає десятки-сотні метрів в межах зони огляду відкритих ділянок. Оперативне розгортання та використання в польових умовах вимагає автономного живлення на досить тривалий час [1]. Існуючі методи локалізації критичних ушкоджень, за умови високої розрізняльної спроможності та точності, не можливо віднести до методично та технічно простих, що обмежує можливість їх використання

в зазначених умовах [2]. Розвиток кабельної промисловості та електронної бази нелінійних схем дозволяє застосувати в провідово-охоронних системах метод нелінійної реакції, що за класифікаційними ознаками можливо віднести до нелінійних, енергетичних методів, що працюють із сегментованими кабельними лініями віддалено, через використання низькочастотного змінного або постійного струму [3].

Метод нелінійної реакції ґрунтується на поділі провідово-охоронної лінії на сегменти, довжина яких визначає точність та розрізнявальну спроможність локалізації критичних ушкоджень. На стикі сегментів встановлено суттєво-нелінійний елемент із різкими зламами ВАХ. Найбільш простим та доступним елементом є стабілітрон. Ідеальну ВАХ для використання в методі нелінійної реакції має ще один нелінійний напівпровідниковий пристрій – динистор [3], але ВАХ динистора має різкий гістерезис, також використання динисторів спряжене із необхідністю вимикання тестового сигналу для переведення усієї системи контролю в режим передачі даних.

Фіксація критичних ушкоджень в методі нелінійної реакції відбувається через вимірювання напруги тестового сигналу із одного боку лінії. Процес вимірювання напруги не вимагає складних та енергоємних вимірювачів, але її значення залежить від багатьох факторів, найбільш визначними із яких є наявність активного та реактивного опору лінії передачі та ідеальність ВАХ стабілітронів. Реактивний опір лінії передачі має значення за умови використання в якості тестового сигналу змінного струму. У випадку проведення контролю лише за постійним струмом, слід враховувати лише активний опір лінії, а реактивний опір буде впливати лише на перехідні процеси встановлення результатів контролю [4].

Загалом, лінія передачі із великою кількістю нелінійних елементів є складним об'єктом для аналізу, до того ж під час використання тестового змінного струму аналіз слід проводити на основі розгляду лінії передачі, як лінії із розподіленими параметрами. Можливе також використання для локалізації шумових властивостей лінії і навіть можливості появи хаотичних режимів роботи системи загалом [3].

Виклад основного матеріалу

Для первинного моделювання вважатимемо ВАХ нелінійного елемента – стабілітрона, що включено в розрив N сегментів лінії (рис. 1) – ідеальною. Тобто напруга на стабілітроні або дорівнює нулю, або дорівнює напрузі стабілізації. За таких умов струм стабілітрона або відсутній, або дорівнює значенню тестового струму I_0 . Для обраних умов тестовий струм під час розриву проходить лише через один стабілітрон. Взаємне розташування стабілітронів та контрольованих ними сегментів лінії передачі доцільно обрати таким чином, що відповідальним за контроль сегменту є нелінійний елемент, що встановлено перед цим сегментом. Таким чином, перший стабілітрон встановлено безпосередньо на виході системи контролю і вході лінії передачі. Останній сегмент підключено до навантаження або системи захисту вхідних кіл приймача сумісної телекомунікаційної системи. Кількість сегментів дорівнює кількості стабілітронів. В умовах ураження сегменту розглядається три можливих типи критичних пошкоджень (рис. 1): розрив сегменту та коротке замикання наприкінці та коротке замикання на початку сегменту. Встановлена нумерація сегментів (рис. 1) сприяє спрощенню аналітичних виразів та поліпшенню якості їх розуміння. Основним режимом роботи методу нелінійної реакції є режим розриву сегменту або режим холостого ходу (розрив сегменту), але, як буде показано далі, за методом нелінійної реакції можливий одночасний контроль також і короткого замикання лінії.

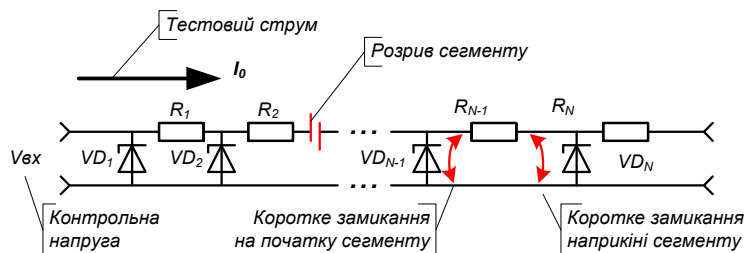


Рис. 1. Модель лінії та типи критичних пошкоджень для методу нелінійної реакції

За умов використання ідеальної ВАХ стабілітрона, напруга на вході лінії передачі під час розриву i -го сегменту буде визначатись як:

$$V_{\text{вх}}(i) = I_0 \sum_k^{i-1} R_k + V_{CT_i}, \tag{1}$$

де R_k – значення опору для кожної із k ділянок, що передують розімкненому сегменту лінії; V_{CT_i} – напруга стабілізації стабілітрону, що передує розімкненому сегменту лінії.

Якщо покласти у (1), що значення опорів усіх сегментів лінії передачі однакове та дорівнює R_0 , а напруги стабілізації стабілітронів обрані таким чином, що сусідні значення відрізняються на однакову величину ΔU_{CT} , то вираз для обчислення напруги на вході лінії буде мати вигляд:

$$V_{\text{вх}}(i) = (N-i) \Delta U_{CT} + V_{CT_{\text{мін}}} + I_0 R_0 \cdot (i-1), \tag{2}$$

де N – кількість сегментів у лінії передачі; $V_{CT_{\text{мін}}}$ – мінімальна напруга стабілізації, що визначається динамічним діапазоном змінного телекомунікаційного сигналу, що діє одночасно із тестовим. Максимальна

напруга стабілізації стабілітрона становитиме $V_{CT_{\max}} = (N-1)\Delta U_{CT} + V_{CT_{\min}}$, та визначає максимальну робочу напругу для джерела тестового постійного струму.

Завдяки наявності активного опору лінії значення напруги на вході лінії передачі не відповідає значенню напруг стабілізації стабілітронів, що вимагає наявності попереднього калібрування вольтметра відповідно характеру застосування та типу лінії передачі. Із зростанням значення активного опору сегментів лінії передачі різниця значень вхідної напруги за умови розриву сусідніх ділянок зменшується, що відповідає необхідності проведення більш точного контролю за значенням вхідної напруги, а це може призвести до збільшення часу реакції на ушкодження певного сегменту.

Для впевненого визначення напруги за допомогою простих, наприклад, стрілкових вольтметрів, значення ΔU_{CT} має складати сотні мілівольт – одиниці вольт. Неможливість визначення ураженого сегменту виникає у випадку, коли напруга на вході лінії буде однаковою під час ураження будь-якого сегменту: $V_{\text{вх}}(i) = V_{\text{вх}}(k)$. Для суміжних сегментів $V_{\text{вх}}(i) = V_{\text{вх}}(i+1)$ звідки із (2), можливо обрахувати критичне значення опору, що становитиме $R_0 = |\Delta U_{CT} / I_0|$.

Під час короткого замикання деякого сегменту лінії весь тестовий струм лінії проходить через точку замикання i -го сегменту, в результаті напруга на вході лінії вже не визначається напругами стабілізації стабілітронів, а залежить лише від активного опору ділянки лінії до замикання, в найгіршому випадку, коли замикання виникає наприкінці сегменту $V_{\text{вх}}(i) = I_0 \sum_k^i R_k$, у випадку замикання на початку сегменту, тобто

безпосередньо перед встановленням нелінійного елемента, значення вхідної напруги буде зменшено відносно до $V_{\text{вх}}(i) = I_0 \sum_k^{i-1} R_k$. Якщо опори сегментів лінії однакові, то вхідна напруга лінійно залежить від

номера ураженого сегменту $V_{\text{вх}}(i) = I_0 R_0 i$. Таким чином, під час розриву лінії значення напруги зменшується, а під час короткого замикання значення вхідної напруги в методі нелінійної реакції збільшується зі зростанням номера ураженого сегменту. Значення напруги на вході лінії під час критичних ушкоджень різного характеру (розриву або короткого замикання) будуть суттєво різнитися, якщо:

$$\min\{(N-i)\Delta U_{CT} + V_{CT_{\min}} + I_0 R_0 \cdot (i-1)\} > \max\{I_0 R_0 \cdot i\}. \quad (3)$$

Умова одночасного контролю розриву та короткого замикання (3) має виконуватись для найгіршого випадку $i = N$, що дає можливість встановити обмеження для мінімального значення напруги стабілізації:

$$V_{CT_{\min}} + I_0 R_0 (N-1) > I_0 R_0 N \text{ або } V_{CT_{\min}} > I_0 R_0. \quad (4)$$

Чим більша різниця значень вхідних напруг для сусідніх сегментів, тим більш надійніше буде визначення номеру ураженого сегменту (див. рис. 3). В найкращому випадку слід дотримуватись умови $\frac{V_{CT_{\max}} - V_{CT_{\min}}}{2} \cong I_0 R_0 N$, але така умова не є достатньою умовою, необхідно також, щоб значення тестового струму

перевищувало мінімальний струм стабілізації стабілітронів із урахуванням струмів витікання, пов'язаних із неідеальністю ВАХ. Завдяки неідеальності ВАХ частина тестового струму буде відгалужуватись в нелінійні елементи, що розташовано ближче до джерела струму, а отже до дальніх сегментів прийде лише частина цього струму. Частини струму, що залишились, має бути достатньо для підтримання останнього стабілітрону в режимі стабілізації. Решта стабілітронів, крім останнього буде знаходитись в режимі відсікання, струм через ці стабілітрони набагато менший, але через їх велику кількість, сумарне значення може бути приблизно рівним струму стабілізації останнього стабілітрона.

В таких умовах, із першим ступенем наближення, можливо описати ВАХ стабілітрона за допомогою кусково-лінійної моделі, аналітичний вираз якої наступний:

$$I_{CT}(U) = \begin{cases} I, & \text{для } |U| > |U_{CT}|, U < 0 \\ U \frac{I_{\min}}{U_{CT}}, & \text{для } 0 < |U| < |U_{CT}| \\ 0, & \text{для } U > 0 \end{cases}, \quad (5)$$

де I – поточний струм стабілізації, що задається зовнішніми колами; I_{\min} – мінімальний струм стабілізації;

U_{CT} – середня напруга стабілізації стабілітрона.

Реакція ланцюжкового електричного кола із нелінійними елементами з кусково-лінійною апроксимацією ВАХ за (6) на роботу пристрою контролю лінії буде дещо складніша: залежність вхідної напруги від номеру ураженого сегменту лінії вже не буде лінійною; енергетичні витрати за рахунок необхідності збільшення тестового струму підвищаться; збільшиться рівень шуму на вході та виході лінії передачі за рахунок того, що стабілітрони із мікрострумами почнуть працювати в режимі лавинного пробую, який характеризується значними шумами; за тих самих умов зменшиться загальна довжина лінії, що підлягає тестуванню методом нелінійної реакції.

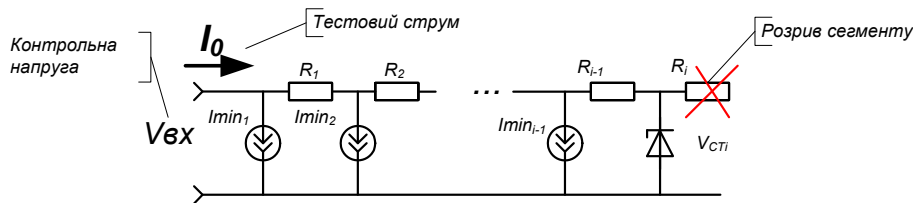


Рис. 2. Електрична схема моделювання роботи методу нелінійної реакції за умови стабільних струмів витікання

Для попереднього оцінювання реакції ланцюжкового нелінійного кола (рис. 2) введемо наступні припущення: падіння напруги на активному опорі сегментів набагато менше за різницю напруг стабілізації суміжних стабілітронів; під час розриву сегменту лінії із урахуванням струмів витікання значення струму через попередній сегмент достатньо для переведення стабілітрону в режим насичення; значення струмів витікання хоча б на порядок менше за значення тестового струму. Значення напруги на вході лінії під час розриву i -го сегменту становитиме відповідно (2) та правилу обчислення суми ряду натуральних чисел [4]:

$$U_{ex}(i, i \geq 2) = \sum_k U_{R_k} + U_{CT_i} = R_0 \sum_{k=1}^{i-1} (I_0 - I_{min_0} k) + U_{CT_i} = R_0 \left[\sum_{k=1}^{i-1} (I_0) - \sum_{k=1}^{i-1} (I_{min_0} k) \right] + U_{CT_i} = R_0 I_0 \cdot (i-1) + U_{CT_i} - R_0 I_{min_0} \sum_{k=1}^{i-1} (k) = (6)$$

$$= R_0 I_0 \cdot (i-1) + U_{CT_i} - R_0 I_{min_0} \frac{i(i-1)}{2},$$

а для випадку рівномірного розташування стабілітронів за (6) із кроком ΔU_{CT} рівняння для вхідної напруги для розриву та короткого замикання відповідно виглядатимуть як:

$$U_{ex_{XX}}(i) = R_0 I_0 \cdot i + (N-i) \Delta U_{CT} + U_{CT_{min}} - R_0 I_{min_0} \frac{i(i-1)}{2}, (7)$$

$$U_{ex_{XZ}}(i) = I_0 R_0 \cdot (i) - R_0 I_{min_0} \frac{i(i+1)}{2}.$$

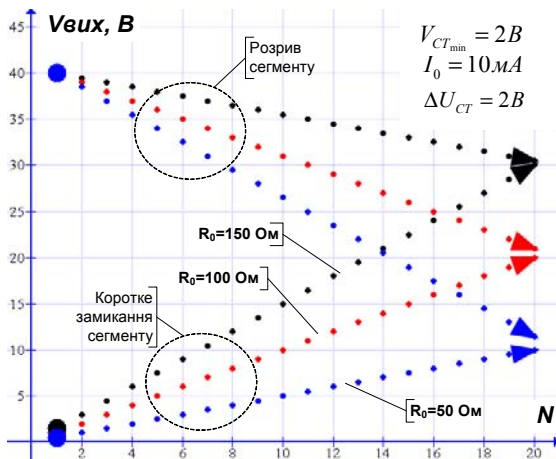


Рис. 3. Сукупна діаграма залежності вхідної напруги методу нелінійної реакції для випадку холостого ходу та замикання сегменту

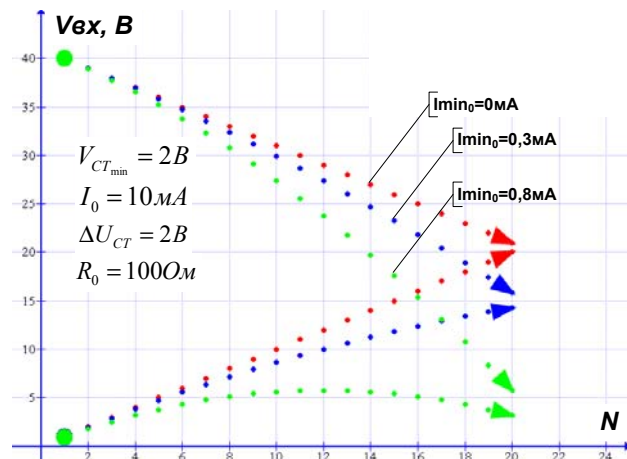


Рис. 4. Залежність контрольованої напруги від номера сегменту холостого ходу та короткого замикання

Таким чином, струми витікання під час роботи за вказаною моделлю призводять до зменшення контрольованої напруги відносно ідеальних умов. Це пояснюється зменшенням падіння напруги на активному опорі лінії через протікання менших струмів. В попередньому випадку застосовувалась умова, що струми витікання стабілітронів однакові та опосереднені, хоча насправді значення струмів витікання стабілітронів, що розташовано ближче до точки розриву в напрямку початку лінії будуть більшими, а струми витікання стабілітронів, що розташовані близько початку лінії, будуть набагато меншими завдяки тому, що їх напруга стабілізації обрана більшою [3]. В такому випадку, якщо розрив лінії здійснюється на першому сегменті, то струмів витікання не буде, а весь тестовий струм (рис. 2) буде проходити через перший стабілітрон, тобто $U_{ex}(1) = U_{CT1} = N \Delta U_{CT} + U_{CT_{min}}$. Вхідна напруга під час розриву другого і далі сегментів визначатиметься так:

$$U_{ex}(i, i \geq 2) = \sum_k U_{R_k} + U_{CT_i}, (8)$$

а струм витікання k -го стабілітрону (до розриву) можливо знайти як:

$$I_{min_k} \cong S U_{CT_i} = \frac{I_{min}}{U_{CT_k}} U_{CT_i} = \frac{I_{min}}{(N-k) \Delta U_{CT} + U_{CT_{min}}} (N-i) \Delta U_{CT} + U_{CT_{min}}; \text{ для } U_{CT_i} < U_{CT_k}; k < i. (9)$$

Повне падіння напруги на сегментах лінії за (8) із урахуванням (9) становитиме:

$$U_{\text{вх}}(i, i \geq 2) = R_0 \sum_{k=1}^{i-1} \left(I_0 - \frac{I_{\min}}{U_{CTk}} U_{CTi} \right) + U_{CTi} = R_0 \sum_{k=1}^{i-1} \left(I_0 - \frac{I_{\min}}{(N-k)\Delta U_{CT} + U_{CT_{\min}}} U_{CTi} \right) + U_{CTi} =$$

$$= R_0 I_0 (i-1) - [(N-i)\Delta U_{CT} + U_{CT_{\min}}] \left[R_0 I_{\min} \sum_{k=1}^{i-1} \left(\frac{1}{(N-k)\Delta U_{CT} + U_{CT_{\min}}} \right) - 1 \right]. \quad (10)$$

Характер залежності під час обрахунків за (11) у середовищі MATLAB для деяких значень параметрів лінії та стабілітронів відтворено на рис. 5, 6.

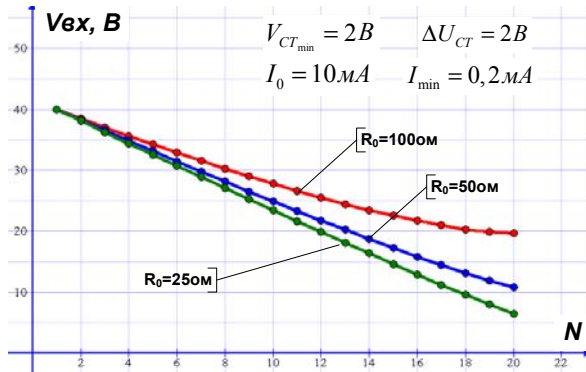


Рис. 5. Залежність вхідної напруги від номера ураженого сегменту із різними опорами за постійним струмом

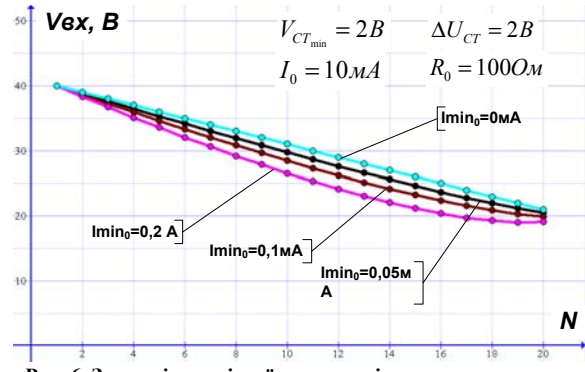


Рис. 6. Залежність вхідної напруги від номера ураженого сегменту з різними початковими струмами витікання стабілітронів

Висновки

1. Доведена можливість використання методу нелінійної реакції для одночасного контролю критичних ушкоджень лінії передачі (розрив та коротке замикання) простими засобами.

2. Запропоновано ряд моделей для контролю сегментованої лінії передачі за методом нелінійної реакції. Моделі побудовані на основі кусково-лінійної апроксимації ВАХ стабілітронів та вбирають в себе параметри сегментів лінії передачі, наведено аналітичні співвідношення. На основі дослідження моделей встановлені комплексні умови для параметрів використовуваних стабілітронів та ліній передачі.

3. Побудовано ряд графічних залежностей для умов використання типових ліній та стабілітронів, на основі їх аналізу встановлено, що зі збільшенням значення струму витікання стабілітронів у місці стику сегментів посилюється нелінійність характеру залежності вхідної напруги від номера ураженого сегменту, що призводить до зменшення розрізняльної спроможності щодо точного контролю критичних ушкоджень дальніх сегментів. Характер нелінійної залежності зі збільшення струмів витікання близький до експоненційного. Для компенсації зменшення чутливості для дальніх ділянок лінії можливо запропонувати розташування напруги стабілізації вздовж лінії як обернену до експоненційної залежності. В такому випадку різниця напруги стабілізації на початку лінії має бути меншою за різницю напруги наприкінці лінії.

Література

1. Груба И.И. Системы охранной сигнализации. Технические средства обнаружения / И.И. Груба. – М. : СОЛОН-ПРЕСС, 2012. – 220 с.
2. Мокренко П. В. Элементы і пристрої фізичної та електронної охорони об'єктів : конспект лекцій / П. В. Мокренко ; Нац. ун-т «Львів. політехніка». – Львів : Фенікс, 2000. – 186 с.
3. Пивовар О.С. Метод нелінійної реакції у сегментованих кабельних лініях діагностичних та охоронних систем / О.С. Пивовар, Я.В. Вержбицький // Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки. – 2019. – № 4(275). – С. 154–157.
4. Бакланов И.Г. Методы измерений в системах связи / И.Г. Бакланов. – М. : Изд-во «Эко-Трендз», 1999. – 278 с.

References

1. Gruba I.I. Sistemy ohrannoї signalizacii. Tehnicheskie sredstva obnaruzheniya / I.I. Gruba. – M. : SOLON-PRESS, 2012. – 220 s.
2. Mokrenko P. V. Elementy i prystroi fizychnoi ta elektronnoi okhorony ob'ektiv : konspekt lektcii / P. V. Mokrenko ; Nats. un-t «Lviv. politekhnika». – Lviv : Feniks, 2000. – 186 s.
3. Pyvovar O.S. Metod nelineinoy reaktcii u shegmentovanykh kabelnykh liniyakh diahnostychnykh ta okhoronnykh system / O.S. Pyvovar, Ya.V. Verzhbitskiy // Herald of Khmelnytskyi National University. – 2019. – № 4(275). – С. 154–157.
4. Baklanov I.G. Metody izmerenij v sistemah svyazi / I.G. Baklanov. – M. : Izd-vo «Eko-Trendz», 1999. – 278 s.

Рецензія/Peer review : 27.05.2019 р.

Надрукована/Printed : 23.07.2019 р.

Рецензент: д.т.н., проф. О.І. Полікарівських

І.І. ЧЕСАНОВСЬКИЙ

Національна академія Державної прикордонної служби, м. Хмельницький

А.В. ТКАЧУК

Хмельницький національний університет

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КОГЕРЕНТНО-ІМПУЛЬСНИХ СИГНАЛІВ НА ОСНОВІ ЗАСТОСУВАННЯ КОМПЛЕМЕНТАРНИХ КОДІВ

В статті досліджуються питання удосконалення когерентно-імпульсних конструкцій сигналів шляхом застосування комплементарних послідовностей. Показано, що застосування додаткового кодування імпульсів дає змогу отримувати системи сигналів зі специфічними кореляційними властивостями в часовому і частотному розрізі. Розкрито суть основних підходів синтезу даного типу сигналів та їх оптимізації з позицій забезпечення найнижчого рівня бічних сплесків автокореляційної функції та рівномірності поверхні функції невизначеності в широкому діапазоні доплерівських зміщень частоти. В роботі також показано та досліджено один із напрямків удосконалення даного типу складних сигналів шляхом застосування внутрішньо-імпульсної частотної модуляції за лінійним і нелінійним законами. На основі проведеного моделювання продемонстровано, яким чином внесення частотної модуляції впливає на вигляд поверхні функції невизначеності.

Ключові слова: комплементарні коди, когерентно-імпульсні сигнали, частотна модуляція, функція невизначеності, кореляційна функція, бокові пелюстки, доплерівське зміщення частоти, радіолокація, когерентність.

I.I. CHESANOVSKIY

Academy of State Border Service of Ukraine, Khmelnytskyi

A.V. TKACHUK

Khmelnytskyi National University

IMPROVING THE EFFICIENCY OF COHERENT SEQUENCES BY COMPLEMENTARY PHASE-CODING

The coherent sequence of linear frequency-modulated pulses is one of the most widespread radar signals. This signal has good range and Doppler resolution, but one of its drawbacks is the high level of autocorrelation function side lobes. In this paper we present the signal that is constructed from coherent packages of pulses. Then every package is phase modulated by appropriate complementary sequence. Complementary phase-coding for the different pulses in the train yields zero ACF side lobes around the main lobe area $t_i \leq \tau \leq T$ (t_i - pulse duration and T is the coded pulses package length), the range resolution is significantly simplified. Also a helpful property is reduced level of recurrent lobes from other packages. But these benefits are quickly lost, when the target return has nonzero Doppler. In order to detect the target return it is required to use several filters at the receiver each matched to the different target Doppler or FFT-based filtering methods. Another approach is to use the combination of some complementary code with pulse frequency modulation. In our examples we used two types of binary overlay coding in combination with linear and nonlinear frequency modulation. These were the orthonormal codes of Hadamard and PONS construction. The use of the code based on PONS construction with intrapulse nonlinear frequency modulation resulted in lower ACF side lobes in the rest of nonzero autocorrelation area near the main lobe peak $-t_i \leq \tau \leq t_i$ and lower peaks of ambiguity function for nonzero Doppler. A significant practical advantage of the new complementary phase-coded signal is improved Doppler tolerance, which allows to simplify receiver complexity.

Keywords: nonlinear modulation, range resolution, ambiguity function, complementary code.

Вступ

Техніка і методи стискання сигналів в радіотехнічних задачах ґрунтуються на математичних підходах, основою яких є методи частотного і кореляційного аналізу. Поєднання цих двох апаратів дало узагальнену метрику потенційних можливостей радіотехнічних систем, побудованих на базі певного класу сигналів, відомої як функція невизначеності (ФН) [1]. Введення даної метрики стало відправною точкою в розвитку теорії сигналів в цілому і виробленні методологічних основ синтезу і аналізу складних сигналів зокрема.

Існують цілі класи сигналів, для яких отримані точні аналітичні розв'язки в частотному і часовому відношенні, відповідно отримані оптимальні алгоритми їх узгодженої обробки на фоні різних типів шумів і завад. Проте, існують цілі класи сигналів, для яких отримано лише чисельні розв'язки і синтез узгодженого алгоритму обробки здійснюється методом вибору одного з безлічі варіантів, а тому, очевидно є умовно оптимальним. Одним із таких класів є дискретні кодо-частотно модульовані сигнали (ДКЧМ) з нелінійною частотною модуляцією носійного коливання, які на сьогоднішній день набувають широкого застосування в радіолокації. ДКЧМ сигнали відносяться до класу когерентних імпульсних послідовностей, в яких можливо використовувати різні методи модуляції при формуванні послідовності в цілому або окремих імпульсів, що значно розширює поле можливих рішень для досягнення оптимальних показників системи і подолати основну проблему когерентних послідовностей, а саме покращити кореляційні властивості сигналу – зменшити рівень бічних пелюсток, знизити рекурентні сплески, добитись близького до рівномірного розподілу функції невизначеності в зоні ненульових доплерівських зміщень. Когерентність імпульсів в

послідовності дає змогу збільшити ефективну тривалість сигналу, внаслідок чого досягається покращення роздільної здатності за доплерівським зміщенням без зниження роздільної здатності за часом.

На сьогодні існують чіткі уявлення про те, що у випадку застосування когерентних послідовностей імпульсів слід розглядати два аспекти збільшення роздільної здатності сигналів. По-перше, збільшення роздільної здатності за рахунок оптимізації форми головного сплеску функції невизначеності сигналу, що досягається шляхом розширення спектру послідовності. По-друге, зниження рівня бічних сплесків на поверхні функції невизначеності, що досягається шляхом зміни частоти носійного коливання всередині когерентної послідовності для формування спектру.

В ряді робіт [2, 4] показано, що застосування різних законів зміни носійної частоти дає розробнику широкий вибір можливостей для «керування» розподілом неосновних сплесків кореляційної функції. Крім того, показано, що за рахунок застосування кроків носійної частоти на вузькосмуговому обладнанні можна отримати роздільну здатність еквівалентну тій, яку демонструють сигнали з великою базою.

Окремі уваги заслуговує метод формування і обробки когерентних послідовностей імпульсів із застосуванням фазової модуляції комплементарними кодами [2, 3]. За визначенням, комплементарними називають дві кодові послідовності, якщо сума їх автокореляційних функцій дорівнює нулю для будь-яких зміщень окрім нульових. Окремим класом комплементарних кодів є ортогональні коди. Поряд із комплементарністю, такі послідовності володіють властивістю ортогональності.

Постановка завдання

З огляду на те, що комплементарні послідовності володіють нульовим рівнем бічних пелюсток функції автокореляції, їх можна використати для фазової модуляції когерентних послідовностей імпульсів. Прийемо наступні позначення: t_i – тривалість парціального імпульсу; T – тривалість одного пакета когерентної послідовності парціальних імпульсів; T_r – період повторення пакетів в когерентній послідовності (рис. 1).

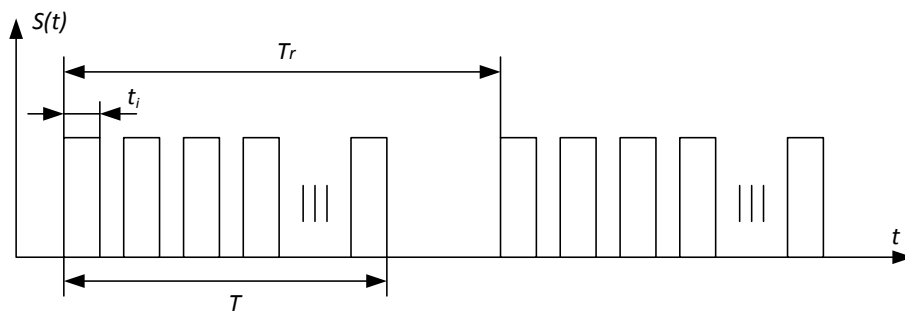


Рис. 1. Послідовність когерентних імпульсів

Автокореляційна функція кодованої послідовності ненульова тільки для часових затримок $-t_i \leq \tau \leq t_i$ і нульова для часових зміщень $t_i < \tau \leq T$. Очевидно, якщо тривалість пакета розбити на M частин, то АКФ буде нульовою для $\frac{M-1}{M}T$. Якщо час повторення пакетів в послідовності T_r , то для проміжку часових затримок $t_i < \tau \leq T_r - T$ буде спостерігатись зона нульових значень АКФ послідовності.

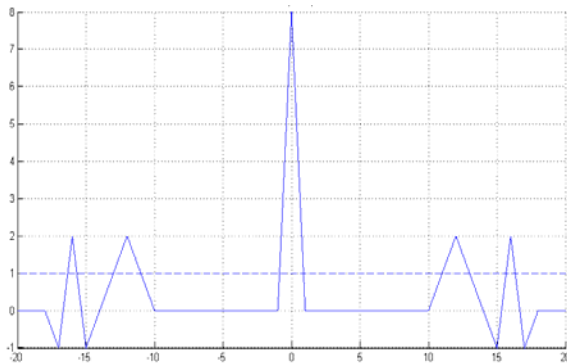


Рис. 2. АКФ послідовності двох пакетів комплементарних кодів

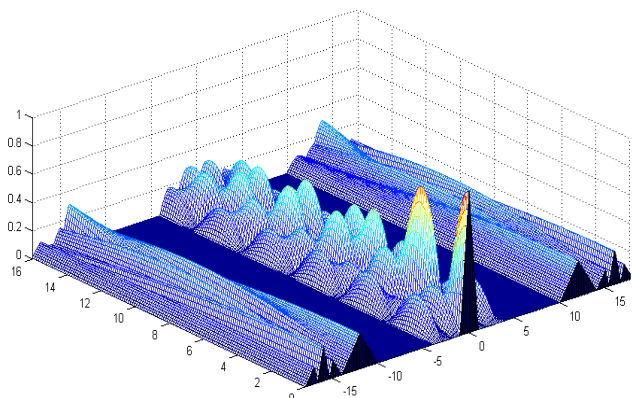


Рис. 3. ФН послідовності двох пакетів комплементарних кодів

Оскільки перший рекурентний сплеск функції автокореляції займає проміжок часових затримок $T_r - T < \tau \leq T_r + T$, то для того щоб отримати ефект від застосування фазової модуляції комплементарними

кодами необхідно запобігти накладанню першого рекурентного сплеску АКФ на зону кореляції центрального сплеску $0 \leq |\tau| \leq T$. Для цього час повтору імпульсів має бути по крайній мірі $T_r \geq 2T$, що визначає структуру когерентної послідовності імпульсів у вигляді окремих пакетів, часовий проміжок між якими перевищує тривалість пакету імпульсів.

З огляду на те, що комплементарні послідовності володіють нульовим рівнем функції автокореляції для часових затримок $t_i < \tau \leq T_r - T$, поруч із центральним сплеском є зона вільна від бічних пелюсток (рис. 2). Також такі послідовності мають значно меншу інтенсивність рекурентних сплесків на поверхні ФН. Ці особливості комплементарно-кодованих послідовностей зберігаються за умови відсутності доплерівського зміщення частоти, за його наявності такі переваги швидко втрачаються (рис. 3).

Враховуючи, що неможливо передбачити доплерівське зміщення частоти в сигналі, ця властивість кодованих послідовностей є їх критичним недоліком. На сьогодні існують рішення, що дають змогу частково побороти даний недолік і запобігти значному погіршенню роздільної здатності сигналів з доплерівським зміщенням частоти. Для вирішення цієї проблеми в деяких роботах пропонується застосовувати додаткові фільтри, узгоджені з сигналами, що містять доплерівські зміщення в певному діапазоні. Такий підхід вирішує проблему, проте, вимагає значного ускладнення приймача.

В даній роботі розглядається інший підхід, який полягає в застосуванні додаткової частотної модуляції носійного коливання при формуванні когерентно-імпульсних сигналів на основі комплементарних кодів. Досліджуються питання покращення роздільної здатності в розрізі часових затримок і пошуку кодів та відповідних їм типів модуляції для досягнення більш рівномірного розподілу поверхні функції невизначеності для ненульових доплерівських зміщень.

Результати дослідження

Відповідно [3] комплексна обвідна послідовності P пакетів, кожен з яких має тривалість T і розбитий на M імпульсів тривалості t_i , може бути виражена як

$$\dot{g}(t) = \sum_{p=1}^P \sum_{m=1}^M \dot{a}_{p,m} \dot{s}_m [t - (p-1)T_r], \quad (1)$$

де $\dot{s}_m(t)$ – комплексна обвідна m -го імпульсу, $\dot{a}_{p,m}$ – елемент матриці A , який використовується для кодування m -го імпульсу пакету p .

Матриця $A(P, M)$ містить комплементарну множину послідовностей, які подані у вигляді P рядків з M елементами кожен. Елементи кожного з рядків матриці використовуються для формування P -го пакету імпульсів когерентної послідовності. Розглянемо одну з багатьох можливих конфігурацій сигналу, що представляє собою послідовність імпульсів модульованих ортогональними комплементарними кодами. Представимо код у вигляді квадратної матриці розміром $M \times M$, де рядки утворюють комплементарну множину послідовностей. Сигнал побудовано наступним чином – він складається з M пакетів по M імпульсів в кожному.

За визначенням, матриця A є ортогональною, тобто $A^T A$ – діагональна матриця. Враховуючи, що за модулем всі елементи матриці A рівні одиниці і відрізняються тільки фазами $\varphi_{p,m}$, то матриця ортонормована, її елементи можна представити у вигляді

$$A = \{\dot{a}_{p,m}\} = \{\exp(j\varphi_{p,m})\} \quad (2)$$

В процесі формування сигналу носійне коливання імпульсів $s_m(t)$ піддається фазовій маніпуляції кодом $\varphi_{p,m}$. При цьому код, яким здійснюється фазова маніпуляція парціального імпульсу послідовності залежить від номера імпульсу в пакеті.

Для дослідження властивостей когерентних послідовностей комплементарно-кодованих імпульсів, було обрано дві матриці розміром 8×8 – матрицю Адамара і PONS матрицю [2, 3] При застосуванні матриці Адамара, кодувача матриця A має вигляд

$$\{\varphi_{p,m}\}_{HAD} = \pi \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (3)$$

Враховуючи бінарність матриці, доцільно застосувати BPSK, відповідно, якщо $a_{p,m} = 1$ $\varphi_{p,m} = 0$, якщо $a_{p,m} = -1$, то $\varphi_{p,m} = \pi$. В представленій матриці здійснено перестановку рядків, оскільки від їх порядку залежить вигляд функції невизначеності для ненульових доплерівських зміщень. При цьому АКФ послідовності свого вигляду не змінює.

Ще одна ортогональна матриця, яка розглядається в статті – це так звана PONS матриця, в даному

випадку також розміром 8×8 . Вона також бінарна, для цієї матриці

$$\{\varphi_{p,m}\}_{PONS} = \pi \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

PONS конструкція утворюється за допомогою певних маніпуляцій із будь-якими двома комплементарними послідовностями s_1 і s_2 довжиною M . В результаті отримують 4 комплементарних послідовності довжиною $2M$. У матричному вигляді це можна записати так

$$\text{PONS конструкція: } \begin{bmatrix} s_1 & s_2 \\ s_1 & -s_2 \\ s_2 & s_1 \\ -s_2 & s_1 \end{bmatrix}$$

Матриця (4) являє собою фазову складову PONS конструкції утвореної із послідовностей $s_1 = [1 \ 1]$ та $s_2 = [1 \ -1]$ розміром 8×8 [2].

Розглянемо послідовність, яка складається із 8 однакових пакетів по 8 імпульсів в кожному. Час слідування пакетів $T_r = 3T$. Модуляція в імпульсах не застосовується рис. 4.

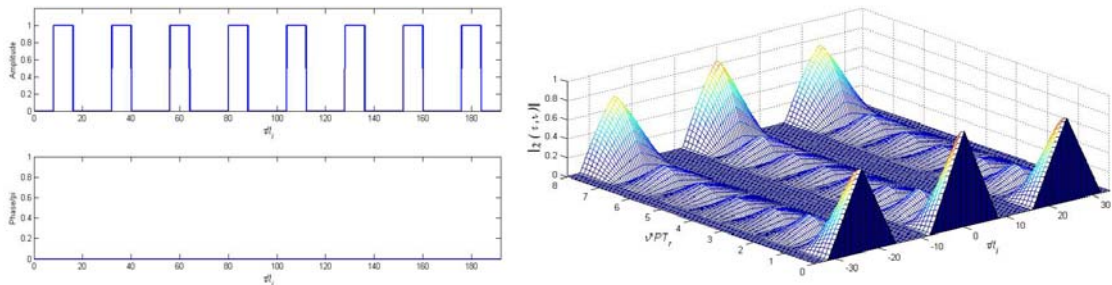


Рис. 4. Залежність амплітуди і фази послідовності когерентних імпульсів без модуляції зліва і її функція невизначеності

Оскільки сигнал представляє собою просту когерентну послідовність імпульсів, його КФ містить значні рекурентні сплески відділені від основного проміжком, що в даному випадку відповідає тривалості пакета імпульсів. Для подальшого формування тіла ФН було здійснено фазову модуляцію послідовностей імпульсів в блоках кодом Адамара відповідно до виразу (3). На рис. 5 показано залежність амплітуди і фази когерентної послідовності імпульсів і функцію невизначеності сигналу.

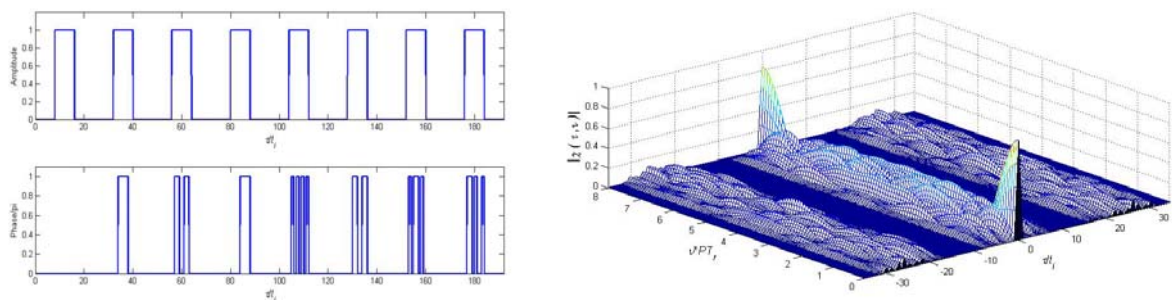


Рис. 5. Послідовність імпульсів кодованих по фазі кодом Адамара зліва і її функція невизначеності

Як видно з рисунку, бічні пелюстки біля центрального сплеску, в силу властивостей комплементарних послідовностей, при нульовому доплерівському зміщенні відсутні.

На рис. 6 показано ФН у меншому масштабі і трансформацію спектру сигналу при здійсненні кодування послідовності імпульсів, а також кореляційну функцію когерентної послідовності імпульсів, модульованої по фазі комплементарною послідовністю на базі коду Адамара. Як видно з рис. 6, в зоні кореляції біля центрального сплеску $-8t_i \leq \tau \leq 8t_i$ при нульовому доплерівському зміщенні сплески взагалі відсутні. Рекурентні сплески від сусідніх пакетів $-T_r - T \leq \tau \leq -T_r + T$ та $T_r - T \leq \tau \leq T_r + T$ значно послаблені, центральний сплеск ненульовий тільки в межах зміщень $-t_i \leq \tau \leq t_i$. Звичайно, не можна залишати поза увагою наявність значних бокових сплесків в розрізі доволі слабких доплерівських зміщень

і хоча роздільна здатність в часовому розрізі практично рівна протяжності імпульсу t_i а по частоті $\frac{1}{vPT_r}$, тобто обернено пропорційна когерентній тривалості послідовності, практичне застосування такого типу сигналів є недоцільним через значну неоднорідність функції невизначеності біля центрального сплеску в напрямках ненульових частотних зміщень.

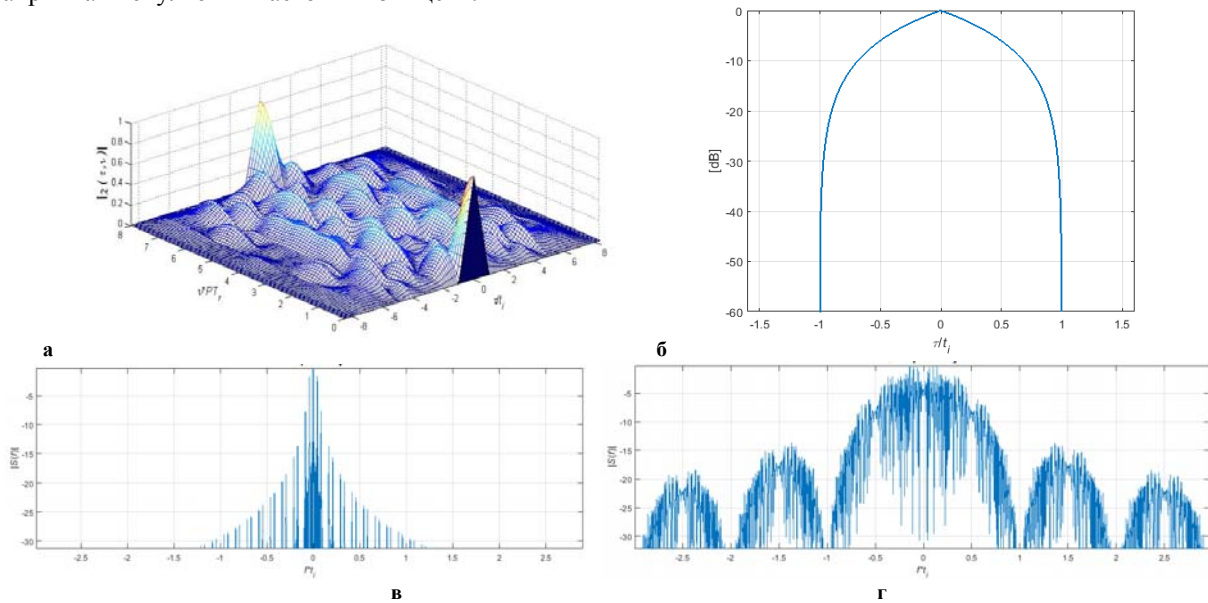


Рис. 6. ФН комплементарного сигналу в зоні основного сплеску (а), АКФ за нульового доплерівського зміщення частоти (б), спектр сигналу без фазової модуляції (в) і з фазовою модуляцією (г)

Одним із можливих шляхів усунення цього недоліку може бути застосування частотної модуляції носійного коливання при формуванні когерентного пакету (рис. 7). Найпростішим рішенням є застосування лінійної частотної модуляції. Для моделювання була обрана база сигналу $t_i \Delta F_i = 6.3$, тут ΔF_i – девіація частоти. При таких параметрах ширина центрального сплеску зменшується в 5 разів і обмежується інтервалом $-0.2t_i \leq \tau \leq 0.2t_i$ (рис. 8).

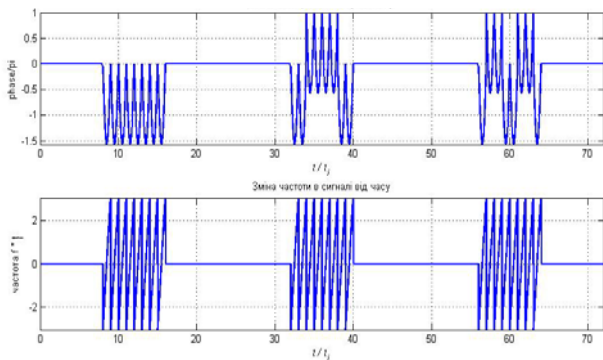


Рис. 7. Зміна фази і частоти когерентної послідовності імпульсів при модуляції комплементарною послідовністю на основі коду Адамара та ЛЧМ (перші три пакета)

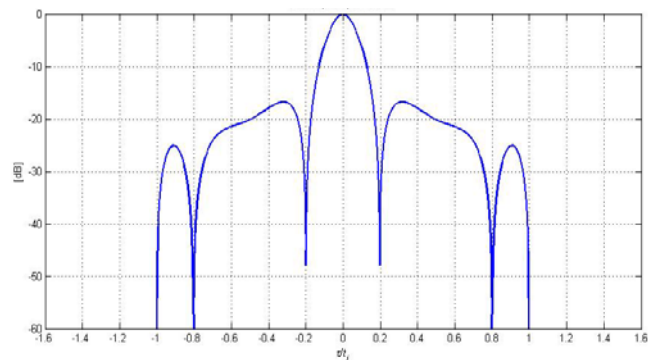


Рис. 8. Автокореляційна функція послідовності з ЛЧМ

Це видно із графіку АКФ (рис. 8). Інтервал ненульової зони автокореляції займає проміжок часових зміщень $-t_i \leq \tau \leq t_i$, який визначається тривалістю кодуємого імпульсу. На рис. 9 наведена функція невизначеності такого сигналу при застосуванні коду Адамара (3), на рис. 10 при застосуванні коду PONS (4).

Як видно з наведених поверхонь ФН, властивості комплементарних кодів щодо зони ненульової автокореляції в межах довжини кодованого імпульсу зберігаються і для імпульсів з частотною модуляцією. Крім того, вигляд функції автокореляції для різних кодів в межах довжини кодованого імпульсу також однаковий і не залежить від типу коду. Проте від коду залежить вигляд функції невизначеності для ненульових доплерівських зміщень. Код PONS дає набагато менші сплески функції невизначеності рис. 10.

Подальшого удосконалення сигналу можна добитись застосувавши в імпульсах нелінійну частотну модуляцію рис. 11. Така модуляція дозволяє зменшити бічні пелюстки поблизу центрального сплеску не

тільки для нульових доплерівських зміщень рис. 13, але і для ненульових, в межах до першого нуля центрального сплеску за доплерівською частотою рис. 14. Для нелінійної частотної модуляції використовувалась частотна залежність Прайса [2, 4]. Параметри підбирались таким чином, щоб ширина центрального сплеску була незмінною $-0.2t_j \leq \tau \leq 0.2t_j$, як для ЛЧМ.

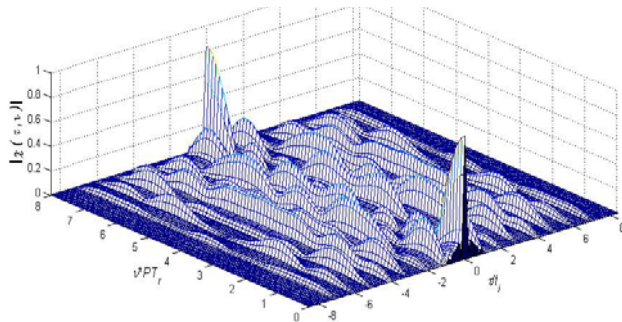


Рис. 9. Функція невизначеності для коду Адамара

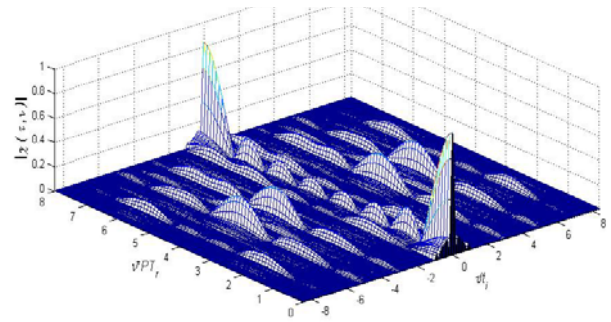


Рис. 10. Функція невизначеності для коду PONS

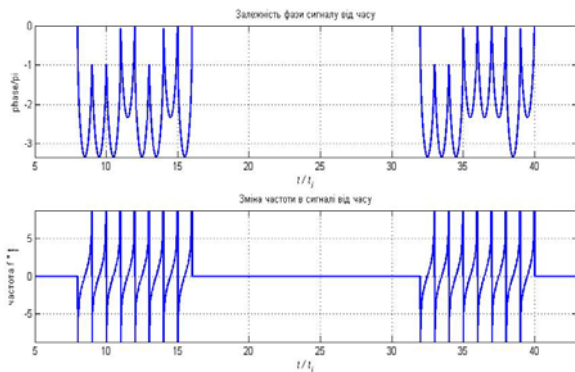


Рис. 11. Фаза і частота перших 2 пакетів сигналу для коду PONS з НЛЧМ

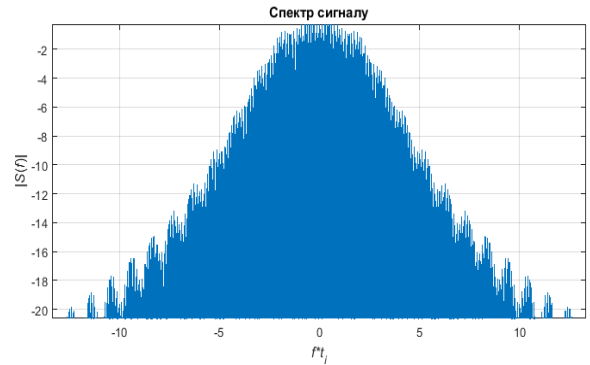


Рис. 12. Частотний спектр сигналу для коду PONS з НЛЧМ

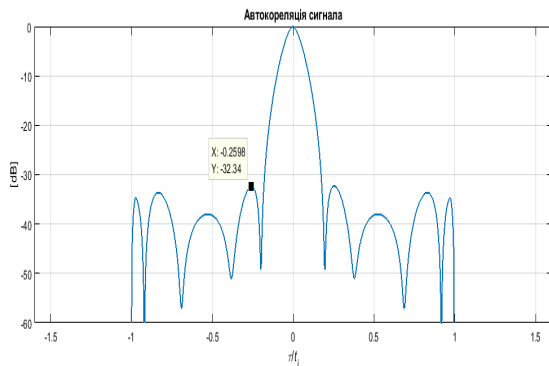


Рис. 13. АКФ сигналу для коду PONS з НЛЧМ

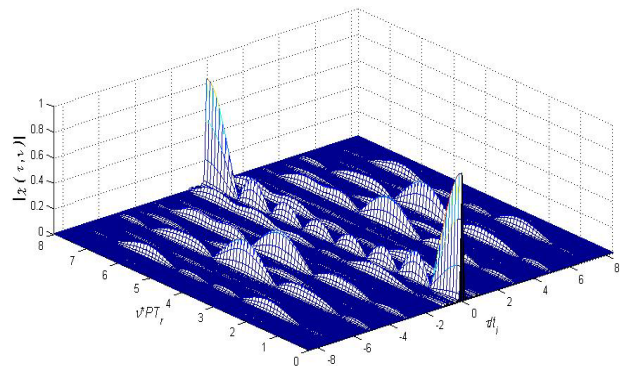


Рис. 14. Функція невизначеності для коду PONS з НЛЧМ

Висновки

Сумісне застосування когерентних послідовностей імпульсів і комплементарних послідовностей дає змогу поєднати високі кореляційні властивості в частотній області одних і кореляційні особливості в часовій області інших. Приведені результати дослідження демонструють перспективність таких сигнальних конструкцій в радіолокаційних задачах. Більш того, в роботі показано ефект від застосування одних із найпростіших комплементарних кодів, очевидно, що для конкретних задач слід обирати коди, що за своїми кореляційними властивостями, особливо в частотному перерізі, найкраще відповідають вихідним умовам.

Як показано в роботі, ефект від частотної модуляції є достатньо вагомим, проте вибір ЧМ був довільним і є підстави вважати, що існують більш досконалі методи модуляції, застосування яких дасть змогу значно підвищити рівномірність ФН для ненульових доплерівських зміщень. Одним з відомих підходів оптимізації форми ФН є застосування нелінійної частотної модуляції. Саме за рахунок застосування «гладких» функцій частотної модуляції можливо досягти виграву в АКФ, притаманного імпульсним сигналам з внутрішньою ЧМ і при цьому, використовуючи певні комплементарні коди, запобігти значним сплескам ФН для ненульових доплерівських зміщень.

Література

1. Кук Ч. Радиолокационные сигналы / Ч. Кук, М. Бернфельд. – Москва : Советское радио, 1971. – 568 с.
2. Levanon N. Radar Signals / Nadav Levanon, Eli Mozeson. – New Jersey : John Wiley & Sons, 2004. – 411 p.
3. Levanon N. Removing autocorrelation sidelobes by overlaying orthogonal coding on any train of identical pulses / N. Levanon, E. Mozeson // IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems. – 2003. – Vol. 39. – № 2. – P. 583–603.
4. Синтез когерентних послідовностей імпульсів з лінійно-частотною модуляцією і нелінійними кроками носійної / І. І. Чесановський, А. В. Ткачук // Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки. – Хмельницький, 2018. – № 6(267). – С. 134–142.

References

1. Kuk Ch. Radiolokacionnye signaly / Ch. Kuk, M. Bernfeld. – Moskva : Sovetskoe radio, 1971. – 568 s.
2. Levanon N. Radar Signals / Nadav Levanon, Eli Mozeson. – New Jersey : John Wiley & Sons, 2004. – 411 p.
3. Levanon N. Removing autocorrelation sidelobes by overlaying orthogonal coding on any train of identical pulses / N. Levanon, E. Mozeson // IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems. – 2003. – Vol. 39. – № 2. – P. 583–603.
4. Syntez koherentnykh poslidovnostei impulsiv z liniino-chastotnoiu moduliatsieiu i nelineinymy krokamy nosiinoi / I. I. Chesanovskyi, A. V. Tkachuk // Herald of Khmelnytskyi National University. – Khmelnytskyi, 2018. – № 6(267). – S. 134–142.

Рецензія/Peer review : 16.06.2019 р.

Надрукована/Printed : 23.07.2019 р.
Рецензент: д.т.н., проф. В.В. Мартинюк

Т.М. МАНСУРОВ, Г.И. ГУЛИЕВА, Э.Т. МАНСУРОВ

Азербайджанский технический университет, г. Баку

E-mail: tofiq-mansurov@rambler.ru

РАЗРАБОТКА ФОТОННОГО ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЯ НАПРАВЛЕНИЯ ПОТОКА КВАНТОВ И МЕТОДА РАСЧЕТА ЕГО ПАРАМЕТРОВ

В работе обоснована необходимость согласованного включения выхода квантовой информационной системы с входом оптическим волокном, которая связана с решением проблемы по эффективному вводу максимально возможной мощности источника сигнала оптического излучения в оптическое волокно. На основе проведенного анализа разработан фотонный переключатель направления потока квантов, позволяющий сократить общее количество механических элементов и узлов со сложной геометрической формой и конфигурацией, упростить конструкцию предложенного переключателя, повысить точности процесса переключения за счет отсутствия люфтов, улучшить пусковые и тормозные характеристики пьезоэлектрического двигателя. Эксплуатационная надежность повышается за счет того, что оптические волокна каналов связи не подвергаются деформации, т.е. находятся в неподвижном состоянии, т.к. сканирование сигнала оптического излучения осуществляется путем его отражения зеркалом отражателем. Для реализации процесса переключения, связанного с перемещением зеркала отражателя с высокой скоростью, точностью, с меньшей оптической потерей и погрешностью, в качестве рабочего органа перемещения предложено применять пьезоэлектрический двигатель, обеспечивающий точное микрошаговое перемещение. Экспериментально установлено, что при вводе максимально возможной мощности сигнала оптического излучения в оптическое волокно разработанный фотонный переключатель направления потока квантов вносит оптической потери 0,8...3,0 дБ, что примерно на 45...55% меньше вносимой потери известными переключателями, при этом погрешность переключения меняется в пределах 0,0013...0.0071%. Разработанный фотонный переключатель направления потока квантов может быть применен в технике оптической связи, в системах с источником оптического излучения передаваемого сигнала и в частности в качестве устройства переключения сигналов оптического излучения.

Ключевые слова: оптическое волокно, оптическое излучение, фотонный переключатель, излучения, фотоприемник, пьезоэлемент, пьезоэлектрический двигатель.

T.M. MANSUROV, G.I. GULIYEVA, E.T. MANSUROV

Azerbaijan Technical University, Baku

E-mail: tofiq-mansurov@rambler.ru

DEVELOPMENT OF THE PHOTON DIRECTIONAL SWITCH OF THE FLOW OF QUANTA AND METHOD OF CALCULATION OF ITS PARAMETERS

In work need of accordant connection of an exit of a quantum information system with an input optical fiber which is connected with a solution on effective input of the greatest possible power of a signal source of optical radiation in optical fiber is proved. On the basis of the carried-out analysis the photon directional switch of a flow of quanta allowing to reduce a total quantity of mechanical elements and nodes with irregular geometrical shape and a configuration, to simplify construction of the offered switch, to raise the accuracy of process of switching due to lack of backlashes, to improve starting and brake characteristics of the piezoelectric engine is developed. Operational reliability increases because optical fibers of communication channels are not exposed to deformation, i.e. are in a motionless status since scanning of a signal of optical radiation is carried out by its reflection by a mirror the reflector. For the implementation of process of switching connected with movement of a mirror of the reflector with a high speed, accuracy with smaller optical loss and an error, as an operating part of movement it is offered to use the piezoelectric engine providing exact microstep movement. It is experimentally established that at input of the greatest possible signal power of optical radiation the developed photon directional switch of a flow of quanta enters to optical fiber optical loss 0.8 ... 3.0 dB that approximately on 45 ... 55% are less than entered loss by the known switches, at the same time the error of switching changes within 0.0013 ... 0.0071%. The developed photon directional switch of a flow of quanta can be used in technology of optic communication, in systems with a source of optical radiation of the transmitted signal and in particular as the device of switching of signals of optical radiation.

Key word: optical fiber, optical radiation, photon switch, radiations, photodetector, piezoelement, piezoelectric engine.

Введение. Необходимость согласованного включения выхода квантовой информационной системы (КИС) с оптическим волокном (ОВ) связана с решением проблемы по эффективному вводу мощности источника потока квантов в ОВ. В качестве технического средства ввода и вывода ПК в ОВ применяются различные устройства, в том числе и фотонные переключатели направления потока квантов (ФПК). Поэтому при разработке ФПК необходимо учитывать как характеристики источника и фотоприемника (ФП) потока квантов и ОВ, а также требований по обеспечению высокой скорости переключения, низкого уровня оптических потерь и перекрестных помех, слабой зависимости этих параметров от паразитных воздействий, низкого уровня потребляемой мощности, высокой надежности и технологичности. Как известно [10], ФПК разделяются на две группы, т.е. на механические, в которых переключение направление потока квантов происходит в результате движения ОВ, направляющих зеркал, призм, жидкостей и других элементов и на оптические, в которых изменение направления потока квантов происходит в результате изменения оптических параметров неподвижной среды распространения потока квантов. В настоящее время наиболее широкое применение нашли механические ФПК и в них для переключения направление потока квантов необходимо вращения зеркала отражателя с точностью порядка нескольких микро- и нанометров и менее, с

меньшей оптической потерю и с высокой скоростью. Поэтому при разработке ФПК для вращения зеркала отражателя потока квантов целесообразно применять пьезоэлектрический двигатель (ПЭД), который обеспечивает микрошаговое линейное перемещение с высокой точностью [9, 10]. С другой стороны целесообразность применения ПЭД связана с высоким разрешением с минимальной величиной шага, высокой жесткостью (толкающее усилие до 600 Н, удерживающее усилие достигает 800 Н), меньшими габаритами и массами по сравнению с электродвигателем, сохранением текущего положения в неподвижном состоянии с точностью в несколько нанометров, в том числе и при выключении питания, не созданием магнитного поля и не подверганием их воздействию, возможностью работы в условиях жесткого ультрафиолетового излучения, устойчивостью к перегрузкам и др.

Для разработки ФПК проведен анализ существующих переключателей на основе показателей, характеризующих работу этих устройств. К этим показателям относятся время переключения (в существующих устройствах 2–10 мс), оптические потери (в существующих 3–10 дБ), переходное затухание (в существующих 15–55 дБ), коэффициент ослабления переключаемого потока квантов на выходе в режиме «выключено» по сравнению с режимом «включено» (варьируются от 40–50 дБ до 10–15 дБ в зависимости от типа переключателя) и др. [1, 2; 4–8].

Целью данной работы является разработка ФПК, обеспечивающего ввод максимально возможной выходной мощности источника потока квантов в ОВ, а из ОВ в ФП с минимальной оптической потерю. Для достижения поставленной цели необходимо решить задачи, связанные с разработками целевой функции на основе показателей, характеризующих работу ФПК, схемы организации оптической связи, ФПК со схемой управления и аналитического метода и экспериментального определения его параметров.

Постановка задачи. Быстродействие, погрешность процесса переключения потока квантов зависит от сложности конструкций и технологии изготовления ФПК. Недостатком известных устройств переключения в основном является отсутствие возможности обеспечения изменение направления потока квантов на 180° , а также плавного изменения направления распространения потока квантов на угол заворота до 90° , чем и ограничиваются их функциональные возможности. Поэтому возникает необходимость в разработке и моделировании пассивных компонентов линейного тракта оптической связи, т.е. разработке ФПК с упрощенной конструкцией и схемой управления, позволяющие уменьшить погрешность переключения ОВ, уменьшить потери на отражение потока квантов, потери, связанные с радиальным смещением и угловым рассогласованием источника потока квантов и ОВ, а также расширить его функциональные возможности.

Разработка целевой функции. Эффективность передачи потока квантов определяется многими факторами, к числу которых можно отнести повышение эффективности использования существующих линейных сооружений, уменьшение оптической потери и дисперсионных искажений, уменьшение числа промежуточных оптических усилителей, исследование основных закономерностей процесса ввода потока квантов в ОВ. Повышение эффективности процесса ввода потока квантов в ОВ заключается в решении двух основных задач, т.е. в разработке целевой функции и определении оптимальных значений ее аргументов, которые обеспечили бы работу ФПК при экстремальных значениях целевой функции [11, 12].

Руководствуясь вышеперечисленными принципами целевую функцию можно определить в следующем виде:

$$E_{ФПК} = \{ \min [t_{пер}, \delta_{пер}, a_{он}, t_{пуск}, t_{торм}], \max [V_{ПВ}, \eta = P_{ов} / P_{ии}] \}, \quad (1)$$

где $t_{ком}$ – время переключения; $\delta_{ком}$ – погрешность переключения; $a_{он}$ – оптические потери; $t_{пуск}$ – время пуска ПЭД; $t_{торм}$ – время торможения ПЭД; $V_{ПВ}$ – скорость перемещения вала ПЭД (скорость переключения); $\eta = P_{ов} / P_{ии}$ – коэффициент ввода мощности источника потока квантов в ОВ, где $P_{ов}$ – введенная мощность потока квантов в ОВ; $P_{ии}$ – выходная мощность источника потока квантов.

Схема организации оптической связи. Схема организации оптической связи с применением фотонного переключателя направления потока квантов приведена на рис. 1.

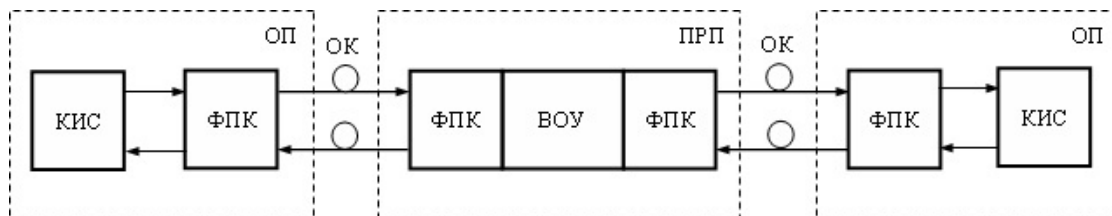


Рис. 1. Схема организации оптической связи с фотонным переключателем направления потока квантов

Схема организации оптической связи состоит из передающего (ПОП) и приемного (ПрОП) оконечного пункта, промежуточного пункта (ПП) и оптического кабеля (ОК). В свою очередь, каждый оконечный пункт состоит из КИС, ФПК, а ППП из двух ФПК и волоконно-оптического усилителя (ВОУ). ВОУ, легированном ионами эрбия применяется на трассе ОК для восстановления уровня потока квантов. Преимуществом эрбиевых усилителей является отсутствие преобразования в электрический сигнал, возможность одновременного усиления сигналов с разными длинами волн, практически точное

соответствие рабочего диапазона эрбиевых усилителей области минимальных оптических потерь на основе кварцевого стекла, сравнительно низкий уровень шума и простота включения в КИС.

Разработка ФПК. Как показал анализ [2–6], известные переключатели включают в себя сравнительно большое количество механических элементов и узлов со сложной геометрической формой и конфигурацией, усложняющих их конструкцию. В связи с этим данные устройства не обеспечивают необходимую точность переключения направления потока квантов, т.к. из-за сравнительно большой массы вращающегося диска переключателя обладает инерционностью. С другой стороны, после остановки механического узла продвижения, ввиду имеющихся люфтов, точность переключения, сканирования потока квантов уменьшается, что приводит к частичной потере энергии потока квантов. Из-за того, что в известных конструкциях этих устройств ОВ, служащие каналом оптической связи, находятся в подвижном состоянии, что и уменьшает эксплуатационную надежность.

Известен разветвитель с расщеплением пучка оптического излучения [1], который содержит зеркало отражатель, расположенное под углом 45° к оси потока квантов, фокусирующую линзу, волоконные световоды, установленные под углом 90° относительно друг друга. Данный разветвитель не обеспечивает изменение направления потока квантов в противоположную сторону, а также плавное изменение направления на угол до 90° , чем и ограничиваются функциональные возможности.

Необходимость такого изменения направления потока квантов связана с тем, что при монтаже и прокладке ОК требуется изменение направления укладки на угол заворота до 90° . Оптические волокна, являющиеся световодом и составляющие основу ОК имеет достаточно хрупкую структуру материала ОВ. Поэтому при значениях угла заворота и изгибах ОК менее 120° способствует появлению микротрещин на ОВ, за счет чего увеличивается потери мощности потока квантов в целом. В известном устройстве минимальный угол заворота разветвителя составляет не менее 120° и при этом потери составляют 0,5...1,2 дБ.

Для достижения поставленной цели в разветвитель, содержащий зеркало отражатель, расположенное под углом 45° к оси излучателя, фокусирующую линзу, ОВ, установленные под углом 90° относительно друг друга, дополнительно введены пьезоэлектрический двигатель, операционный усилитель (ОУ), счетное устройство (СУ), схема сравнения (СС), блок выборки (БВ), логический ключ (ЛК), генератор переменного тока (ГПТ), электронный ключ (ЭК), триггер (Т), светодиод (СД) и фотодиод (ФД), при этом отражатель потока квантов выполнен в виде плоского двухстороннего зеркала отражателя, закрепленного на оси вращения с цилиндрической поверхностью, к которой под углом 45° прижат пьезоэлемент для пошагового вращения, а сама цилиндрическая поверхность имеет сквозные радиальные отверстия, проходящие через центр оси вращения, причем с одной стороны отверстий установлен светодиод, а с другой стороны фотодиод, электрические контакты которого через операционный усилитель, счетное устройство, схему сравнения, логический ключ и триггер соединены с управляющим входом электронного ключа, сигнальный вход и выход которого соединены соответственно к выходу генератора переменного тока и к электродам пьезоэлемента, а выход блока выборки подключен ко второму входу схемы сравнения.

Выполнение отражателя потока квантов в виде плоского двухстороннего зеркала, закрепленного на оси вращения вала с цилиндрической поверхностью, к которой под углом 45° прижат пьезоэлемент пошагового вращения, а также наличие на цилиндрической поверхности валика сквозных радиальных отверстий, проходящих через центр оси вращения, с одной стороны которых установлен светодиод, с другой стороны фотодиод, электрические контакты которого соединены со схемой управления, выполняющей функцию подсчета импульсов при вращении валика, при совпадении числа импульсов от изменения местоположения отверстий валика и от блока выборки срабатывает схема сравнения, при этом происходит отключение питания пьезоэлектрического двигателя и торможение валика с зеркалом отражателем, и следовательно, его переключения на заданное изменение направления потока квантов [2].

На рис. 2 приведена схема конструкции фотонного переключателя потока квантов со схемой управления (СхУ), а на рис. 3 показан вид сверху фотонного переключателя потока квантов.

Принцип работы. Сравнение частоты импульсов на выходе счетного устройства 11 с образцовой частотой блока выборки 13 производится схемой сравнения 12 и при совпадении числа импульсов от изменения местоположения отверстий 23 вала 22 и блока выборки 13 на выходе схемы сравнения 12 формируется сигнал, поступающий через логический ключ 14 на второй управляющий вход триггера 17, который переводится в другое устойчивое состояние. При этом импульс напряжения с выхода триггера 17 воздействуя на управляющий вход электронного ключа 16 способствует прерыванию цепи генератора переменного тока 15 и прекращению подачи напряжения питания на электроды пьезоэлемента 9, которое приводит к мгновенному торможению и остановке ПЭД.

В предложенном ФПК (рис. 1) оптические кабели 2, 4, 5, 6, 7, 8 и 24 могут работать как в режиме передатчика, так и в режиме приемника потока квантов. Согласно положению зеркала отражателя 1 сигнал ОИ с оптического кабеля 2 через фокусирующую линзу 3 попадая на зеркало отражатель 1 через фокусирующую линзу 3 переключается в ОВ оптического кабеля 4. При необходимости изменения направления распространения потока квантов, его переключения с оптического кабеля 4 на оптический кабель 24, зеркало отражатель 1 (рис. 2) перемещается по часовой стрелке на угол 90° (новое положение направляющего зеркала 1 на рис. 3 условно показано пунктирными линиями) и ФПК изменяет направления потока квантов. Управление ФПК передаваемого потока квантов позволяет обеспечить изменение

направления потока квантов в противоположную сторону, а также плавное изменение направления на угол 90° и тем самым расширить функциональные возможности разработанного ФПК.

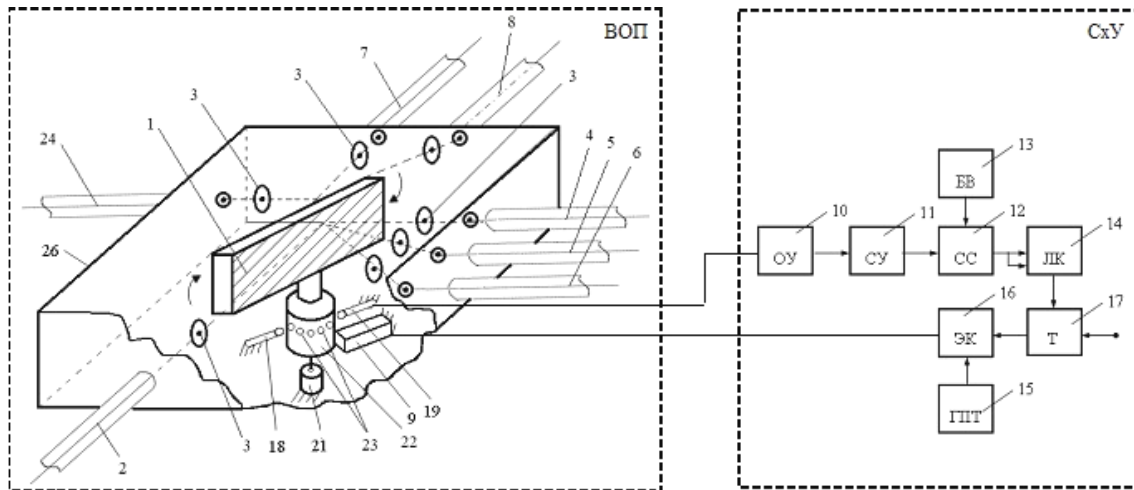


Рис. 2. Схема конструкции фотонного переключателя направления потока квантов со схемой управления

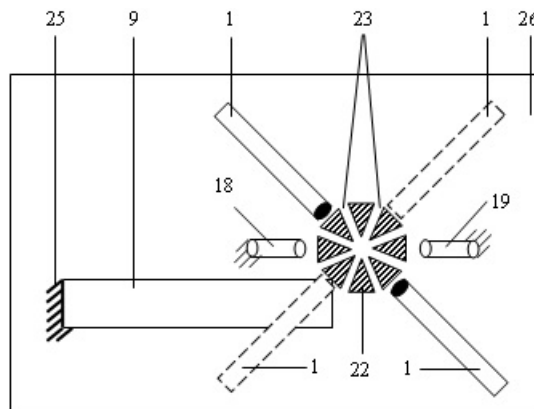


Рис. 3. Вид сверху фотонного переключателя направления потока квантов

Так как в конструкции предусмотрено жесткое крепление зеркала отражателя 1 потока квантов на валу -22 пьезоэлектрического двигателя 9 в предложенном устройстве точность изменения направления потока квантов определяется точностью юстировки установки ОВ, отверстий 23 вала 22, а точность переключения направления распространения потока квантов зависит от точности остановки вала 22 пьезоэлектрического двигателя -9 после его торможения. В работе разработан аналитический метод определения параметров ПЭД и полученные результаты проверены экспериментальным исследованием.

Аналитический метод определения параметров ФПК. Номинальный момент на валу пьезоэлектрического двигателя можно определить по формуле:

$$M_H = F_T \cdot R, \quad (\text{Н}\cdot\text{м}) \quad (1)$$

где F_T – максимальное тангенциальное усилие на пьезоэлемент, действующее на вал пьезоэлектрического двигателя (Н); R – радиус вала пьезоэлектрического двигателя и равен $14 \cdot 10^{-3}$ (м).

Максимальное тангенциальное усилие на пьезоэлемент определяется следующим выражением:

$$F_T = U_{\text{возб}} \cdot l_2 \cdot d_{31} \cdot E_{\text{ю}} \cos \alpha. \quad (\text{Н}) \quad (2)$$

где $U_{\text{возб}} = 200\text{В}$ – напряжение питания генератора переменного тока; $l_2 = 1 \cdot 10^{-2}$ м – толщина пьезоэлемента; $d_{31} = 160 \cdot 10^{-12}$ (м/В) – пьезоэлектрический модуль пьезокерамики; $E_{\text{ю}}$ – модуль Юнга (модуль продольной упругости), т.е. физическая величина, характеризующая способность материала сопротивляться растяжению, сжатию при упругой деформации и для пьезокерамики марки ЦБТС-3 равен $0,7 \cdot 10^{11}$ (Н/м²); $\alpha = 45^\circ$ – угол наклона пьезоэлемента к валу вращения пьезоэлектрического двигателя.

Учитывая уравнение (2) в уравнении (1) получим следующее выражение:

- для пьезокерамики

$$M_1 = U_{\text{возб}} \cdot l_2 \cdot d_{31} \cdot E_{\text{ю}} \cos \alpha \cdot R, \quad (\text{Н}\cdot\text{м}) \quad (3)$$

- для пружин

$$M_2 = F_{\text{np}} \cdot R, \quad (\text{Н}\cdot\text{м}) \quad (4)$$

где F_{np} – прижимное усилие пружин (Н).

Общий момент, создаваемый тангенциальной силой и силой пружин, действующий на вал пьезоэлектрического двигателя определяется следующим образом:

$$M = M_1 + M_2, \text{ (Н·м)}.$$

Амплитуда смещения рабочего конца пьезоэлемента в форме призмы с учетом допустимого уровня возбуждения определяется по следующей формуле:

$$\Delta = \frac{2T_u l_1}{\pi E_{ю}}, \text{ (м)} \quad (4)$$

где $l_1 = 4,1 \cdot 10^{-2}$ м – длина пьезоэлемента; T_u – максимально допустимое механическое напряжение (Н/м²).

Максимально допустимое механическое напряжение определяется следующим выражением:

$$T_u = U_{дон} \cdot d_{31} \cdot Q_m \cdot E_{ю}, \quad (5)$$

где $U_{дон} = 12500$ В/м – допустимое значение напряженности электрического поля; Q_m – механическая добротность пьезоэлемента, т.е. количественная характеристика резонансных свойств колебательных систем, указывающая во сколько раз амплитуда вынужденных колебаний при резонансе превышает амплитуду вынужденных колебаний на частоте много ниже резонансной при одинаковой амплитуде возбуждающей силы, $Q_m = 200$ ед – для пьезоэлемента марки ЦБТС-3 в свободном (незакрепленном) состоянии и $Q_m = 40$ ед – в закрепленном состоянии ввиду механических потерь.

Учитывая уравнение (5) в уравнении (4) для определения амплитуды смещения рабочего конца пьезоэлемента получим следующее уравнение:

$$\Delta = \frac{2U_{дон} \cdot d_{31} \cdot Q_m \cdot l_1}{\pi}, \text{ (м)}. \quad (6)$$

Скорость перемещения вала пьезоэлектрического двигателя в шаговом режиме работы определяется следующим образом:

$$V_{ВП} = \Delta \cdot f_p \cdot \cos \alpha \cdot K, \text{ (м/с)} \quad (7)$$

где $f_p = 42 \cdot 10^3$ Гц – резонансная частота питающего напряжения, $K = 0,14 \div 0,26$ – поправочный коэффициент скорости перемещения вала пьезоэлектрического двигателя (определяется экспериментальным путем с учетом проскальзывания рабочего конца пьезоэлемента относительно поверхности вала пьезоэлектрического двигателя).

Время, необходимое для пуска и установления механических колебаний пьезоэлемента определяется следующим образом:

$$t_{пуск} = 1,47 \cdot \frac{Q_m}{f_p} = 1,47 \cdot \frac{40}{42000} = 1,4 \cdot 10^{-4}, \text{ (с)}.$$

Экспериментальное исследование. Схема экспериментальной установки исследования параметров ФПК фотонного переключателя направления потока квантов приведена на рис. 4.

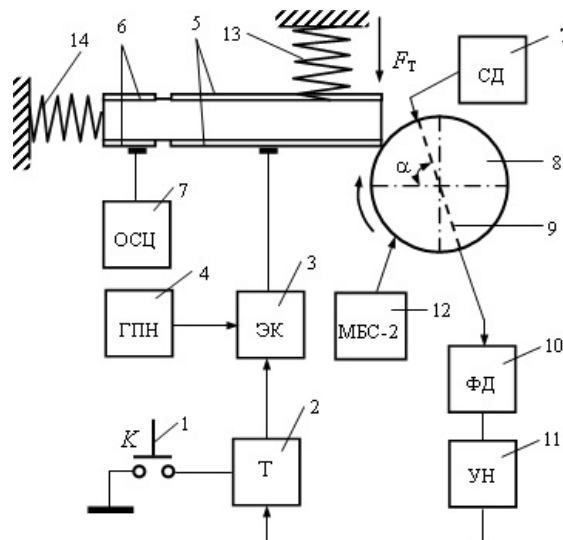


Рис. 4. Схема экспериментальной установки исследования параметров ФПК

Запуск ПЭД осуществляется с помощью кнопки “Пуск” (К) 1, в результате чего триггер (Т) 2 переводится в другое устойчивое состояние и открывается электронный ключ (ЭК) 3, при этом переменное

напряжение с резонансной частотой f_p с выхода генератора переменного напряжения (ГПН) 4 поступает на первую секцию электродов 5 возбуждения (рис. 4). После запуска ПЭД за время $t_{пуск}, i = \overline{1,5}$ (рис. 5) механические колебания первой секции 5 подаются на вторую секцию 6 электродов. Вторая секция 6 электродов работает в режиме датчика и формирует сигналы, которые подаются на вход осциллографа (ОСЦ) 7.

Вал 8 пьезоэлектрического двигателя начинает вращаться до попадания потока квантов с выхода светодиода (СД) 7 через сквозное радиальное отверстие 9 на валу 8 на фотодиод (ФД) 10. При этом электрический сигнал с выхода фотодиода 10 через усилитель напряжения (УН) 11 поступает на управляющий вход триггера 2 и переводит его в другое устойчивое состояние и электронный ключ 3 отключает подачу напряжения питания с выхода генератора переменного напряжения 4 и секция электродов 5 возбуждения обесточиваются.

Результаты экспериментальных исследований. Во время проведения экспериментов для построения зависимости питающего напряжения от времени пуска и торможения вала при скорости вращения вала в диапазоне $5 \cdot 10^{-3} \dots 88 \cdot 10^{-3}$ м/с и силы прижима на вал ПЭД в пределах 1,3...4,1 Н (соответственно момента прижима 0,248...0,288 Н·м). В этом случае точность остановки вала фиксировалась с бинокулярным стереоскопическим микроскопом 12 типа МБС-12, применяемым в различных областях науки и техники. В этом случае после остановки ПЭД максимальное отклонение составляет 0,5...1,0 мкм, а погрешность переключения – 0,13...0,71%. Поскольку диаметр одномодового ОВ составляет 8...10 мкм, т.е. 70...80% сканируемого потока квантов, отражаемого от зеркала отражателя вполне приемливо по точности остановки вала ПЭД и достигается за счет безлюфтности, а также регулирования силы прижима пружин 13, 14 и напряжения возбуждения пьезоэлемента. Потери, связанные с гистерезисом пьезокерамики незначительны, т.к. работа ПЭД осуществляется в микрошаговом режиме с остановками при минимальных скоростях перемещения.

По результатам проведенных экспериментальных исследований получены численные значения исследуемых параметров ПЭД, которые приведены в табл. 1

Таблица 1

Численные значения параметров ПЭД

№	Характеристики	Численные значения				
		1,3	2,7	3,3	3,7	4,1
1.	Сила прижима пьезоэлемента на рабочий орган ПЭД, $F_{пр}$ (Н)	1,3	2,7	3,3	3,7	4,1
2.	Момент, создаваемый тангенциальной силой, M_1 (Н·м)	0,23				
3.	Момент, создаваемый силой пружин, M_2 (Н·м)	0,018	0,038	0,046	0,052	0,058
4.	Момент, создаваемый тангенциальной силой и силой пружин, действующий на вал ПЭД, M (Н·м)	0,248	0,268	0,276	0,282	0,288
5.	Время пуска ПЭД, $t_{пуск} \cdot 10^{-3}$ (с)	1,4				
6.	Время торможения ПЭД, $t_{торм} \cdot 10^{-3}$ (с)	18	8	1,2	0,5	0,07

По результатам проведенных экспериментальных исследований построены зависимости изменения питающего напряжения от времени пуска и торможения вала при различных значениях момента прижима пьезоэлемента на рабочий орган, действующих на вал ПЭД, которые показаны на рис. 5. Как видно из построенных зависимостей после запуска ПЭД минимальное время торможения вала ПЭД соответствует зависимости $u_5 = f(t_{торм5})$, при котором момент прижима пьезоэлемента на рабочий орган ПЭД соответствует значению $M_{общ5} = 288 \cdot 10^{-3}$ (Н·м).

На основе полученных экспериментальных данных построены зависимости $t_{торм} = f(M_{общ})$ – зависимость времени торможения ПЭД от общего момента прижима пьезоэлемента на рабочий орган (рис. 6). На основе полученных экспериментальных данных построены зависимости $t_{торм} = f(M_{общ})$ – зависимость времени торможения ПЭД от общего момента прижима пьезоэлемента на рабочий орган ПЭД (рис. 6).

Из рис. 6 видно, что при увеличении момента прижима пьезоэлемента к рабочему органу ПЭД до значения $M_{общ} = 1,62$ Н·м время торможения ПЭД имеет минимальное значение, т.е. $t_{торм} = 0,07 \cdot 10^{-3}$ с, затем при последующем увеличении момента прижима происходит резкое снижение скорости, время торможения имеет минимальное значение, т.к. усилие воздействия на рабочий орган со стороны пьезоэлемента в режиме торможения и остановки имеет максимальное значение.

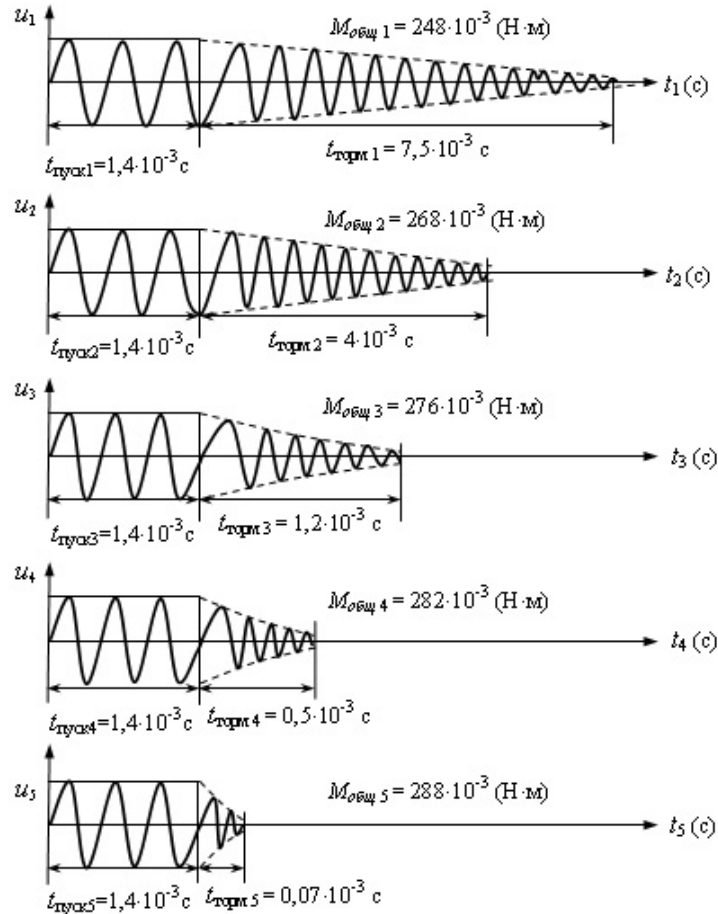


Рис. 5. Зависимости изменения напряжения от времени пуска и торможения вала при различных значениях момента прижима пьезоэлемента на вал ПЭД

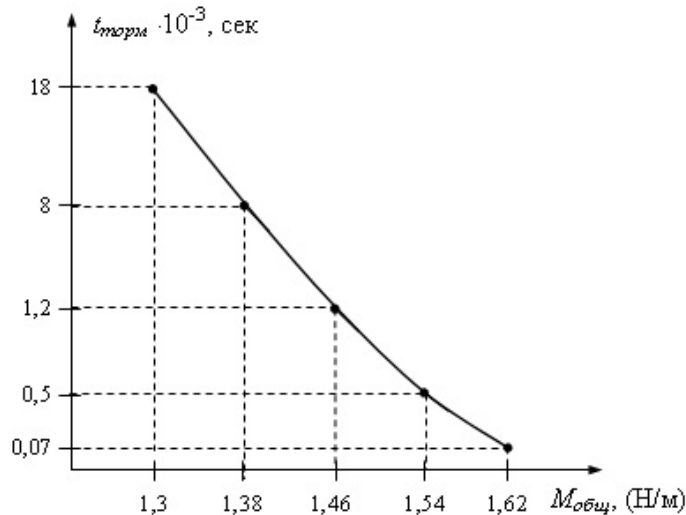


Рис. 6. Зависимость времени торможения ПЭД от общего момента прижима пьезоэлемента на рабочий орган

При проведении экспериментов по определению скорости перемещения вала ПЭД в зависимости от общего момента прижима пьезоэлемента на рабочий орган ПЭД значение момента изменялось в диапазоне от 0,3 Н/м до 1,6 Н/м. По результатам проведенных экспериментальных исследований получены значения скорости перемещения вала ПЭД и приведены в табл. 2

Таблица 2

Численные значения скорости перемещения вала пьезоэлектрического двигателя

№	Характеристики	Численные значения						
		0	0,3	0,6	0,9	1,2	1,6	1,68
1.	Момент прижима пьезоэлемента на рабочий орган ПЭД, $M_{общ}$ (Н·м)	0	0,3	0,6	0,9	1,2	1,6	1,68
2.	Скорость перемещения вала ПЭД, $V_{ПВ} \cdot 10^{-3}$ (м/с)	100	88	71	55	37	7	0

На основе полученных экспериментальных данных построена зависимость скорости перемещения вала от действующего момента на вал ПЭД, которая представлена на рис. 7.

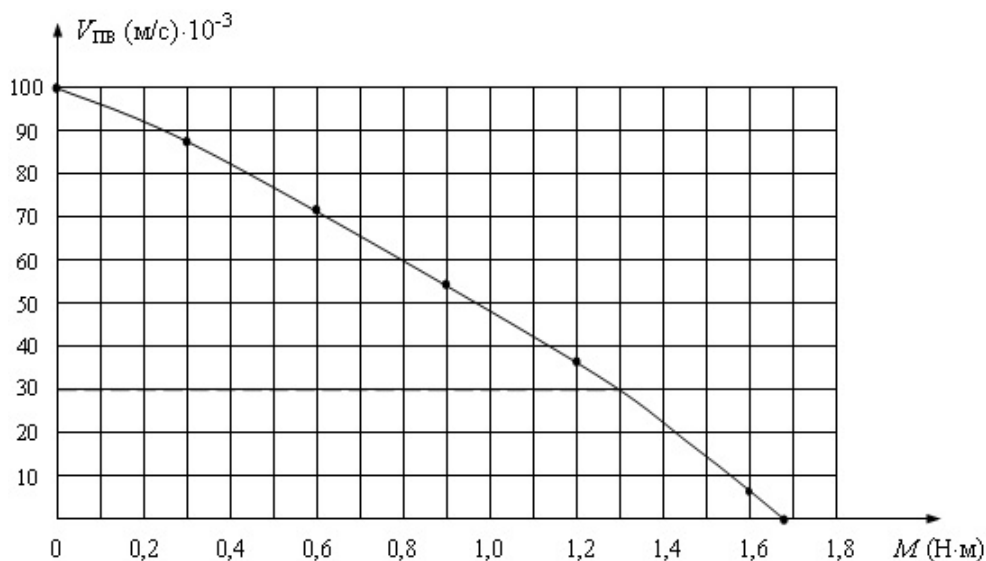


Рис. 7. Зависимость скорости перемещения вала в зависимости от момента, действующего на вал ПЭД

По результатам проведенных экспериментальных исследований получены численные значения погрешности соответственно в зависимости от силы прижима пьезоэлемента на рабочий орган пьезоэлектрического двигателя, которые даны в табл. 3.

Таблица 3

Значения погрешности от силы прижима пьезоэлемента на рабочий орган ПЭД

№	Характеристики	Численные значения				
		1.	Сила прижима пьезоэлемента на рабочий орган ПЭД, F_{np} (Н)	1,3	2,7	3,3
2.	Погрешность ФПК, δ (%)	0,0071	0,0067	0,0054	0,0031	0,0013

Для определения точности переключения на основе полученных экспериментальных данных построены зависимости $\delta = f(F_{np})$ – зависимость относительной погрешности процесса переключения от силы прижима пьезоэлемента на рабочий орган ПЭД (рис. 8).

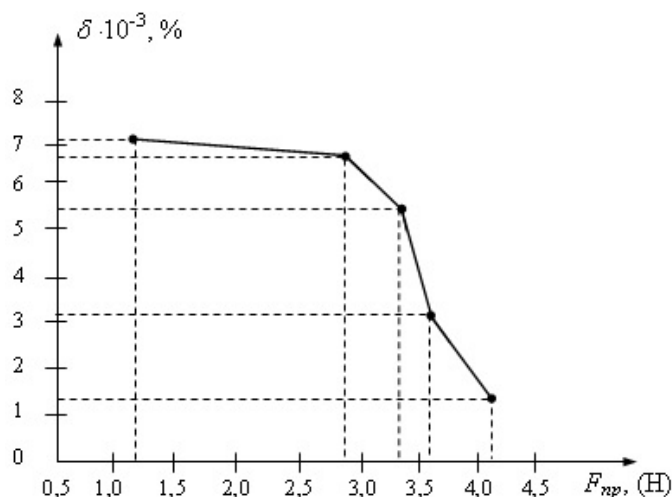


Рис. 8. Зависимость относительной погрешности процесса переключения от силы прижима пьезоэлемента на рабочий орган ПЭД

Из рис. 8 видно, что по мере увеличения силы прижима пьезоэлемента к рабочему органу ПЭД до значения $F_{np} = 4,1$ Н, при этом погрешность процесса переключения имеет минимальное значение, т.е. $\delta = 0,0013\%$, затем при последующем увеличении силы прижима происходит резкое снижение скорости, точность процесса переключения имеет максимальное значение, т.к. усилие воздействия на рабочий орган со стороны пьезоэлемента в режиме торможения и остановки имеет максимальное значение.

Из полученных экспериментальных результатов видно, что основные характеристики

пьезоэлектрического двигателя, т.е. амплитуда смещения, скорость перемещения конца рабочего органа пьезоэлемента, силы прижима, момент прижима, скорость перемещения вала, время пуска и торможения, погрешность переключения рабочего органа сходится с теоретическими результатами и расхождение с экспериментом имеет минимальное значение.

Заключение. Таким образом, на основе проведенного анализа разработан волоконно-оптический переключатель, позволяющий сократить общее количество механических элементов и узлов со сложной геометрической формой и конфигурацией, упростить конструкцию предложенного переключателя, повысить точности процесса переключения за счет отсутствия люфтов, улучшить пусковые и тормозные характеристики пьезоэлектрического двигателя. Эксплуатационная надежность повышается за счет того, что оптические волокна каналов связи не подвергаются деформации, т.е. находятся в неподвижном состоянии, т.к. сканирование сигнала оптического излучения осуществляется путем его отражения зеркалом отражателем.

Для реализации процесса переключения, связанной с перемещением зеркала отражателя с высокой скоростью, точностью, с меньшей оптической потерей и погрешностью, в качестве рабочего органа перемещения предложено применять пьезоэлектрический двигатель, обеспечивающий точное микрошаговое перемещение.

Экспериментально установлено, что при вводе максимально возможной мощности потока квантов в оптическое волокно разработанный волоконно-оптический переключатель вносит оптической потери 0,8...3,0 дБ, что примерно на (45...55)% меньше вносимой потери известными переключателями, при этом погрешность переключения меняется в пределах 0,0013...0,0071%.

Разработанный волоконно-оптический переключатель может быть применен в технике оптической связи, в системах с источником излучения передаваемого сигнала и в частности в качестве устройства переключения сигналов оптического излучения. Данная работа выполнена при финансовой поддержке Фонда развития науки при Президенте Азербайджанской Республики – Грант № EIF-BGM-3-BRFTF-2+/2017-15/07/1.

Литература

1. Mansurov T.M. Design and modeling of passive components of linear path of optical communication / T.M. Mansurov, Ch.P. Aliev, S.A. Dzhebrailova // Thomson Reuters ENDNOTE. International Journal of Engineering Sciences & Research Technology, 6th November 2016. – Vol. 5, Iss. 11. – P. 226–233. – ISSN 2277-9655.
2. Оптоэлектронный переключатель направления излучения : патент на изобретение № І 2007 0216, 27.11.2007. МКР G02V 6/00, G02V, 6/38; G02F 3/00; N03K 3/42 / Т.М. Мансуров, Г.Б. Бейбалаев // Промышленная собственность : официальный бюллетень Государственного комитета по стандартизации, метрологии и патенту. – Баку, 2007. – № 1. – 19 с.
3. Оптоэлектронный переключатель направления излучения : патент на изобретение № І 2014 0062, 23.10.2014. МКР G02V 6/00, G02V, 6/38; G02F 3/00; N03K 17/79 / Т.М. Мансуров, И.А. Мамедов // Промышленная собственность : официальный бюллетень Государственного комитета по стандартизации, метрологии и патенту. – Баку, 2013. – № 4. – 12 с.
4. АС СССР № 1322850 А1. МКИ G02B -6/38 от 22.04.85. Электромеханический переключатель оптических волокон.
5. АС СССР № 1351416, кл. G 02 В - 6/02, 1986. Оконечное устройство.
6. Гроднев И.И. Волоконно-оптические линии связи / Гроднев И.И. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Радио и связь, 1990. – 224 с.
7. Алишев Я.В. Многоканальные системы передачи оптического диапазона / Алишев Я.В. – Минск : Высшая школа, 1986. – 236 с.
8. Иванов А.Б. Волоконная оптика: компоненты, системы передачи, измерения / Иванов А.Б. – М. : Компания Сайрус системс, 1999. – 664 с.
9. Смажеская В.Г. Пьезоэлектрическая керамика / Смажеская В.Г., Фельдман Н.В. – М. : Сов. радио, 1971. –200 с.
10. Бутусов М.М. Волоконная оптика и приборостроение / Бутусов М.М., Галкин С.Л., Орбинский С.П. – Л. : Машиностроение, 1987. – 328 с.
11. Зеневич А.О. Квантовые информационные системы / Зеневич А.О., Мансуров Т.М. – Минск : Изд-во БГАС, 2019. – 280 с.
12. Mansurov T.M. Criteria for evaluation of characteristics of photon switchboards of optical signals and optical fibers for the quantum systems of transfer of confidential information / T.M. Mansurov, Ch.P. Aliyev, E.T. Mansurov // IEEE International Scientific-Practical Conference «Problems of Infocommunications. Science and Technology» (PIC S&T-2018), Kharkov (Ukraine), 9–12 October 2018. – P. 378–382.

References

1. Mansurov T.M. Design and modeling of passive components of linear path of optical communication / T.M. Mansurov, Ch.P. Aliev, S.A. Dzhebrailova // Thomson Reuters ENDNOTE. International Journal of Engineering Sciences & Research Technology, 6th November 2016. – Vol. 5, Iss. 11. – R. 226–233. – ISSN 2277-9655.
2. Optoelektronnyj pereklyuchatel napravleniya izlucheniya : patent na izobrenenie № I 2007 0216, 27.11.2007. MKP G02V 6/00, G02V, 6/38; G02F 3/00; N03K 3/42 / T.M. Mansurov, G.B. Bejbalaev // Pro-myshlennaya sobstvennost : oficialnyj byulleten Gosudarstvennogo komiteta po standartizacii, met-rologii i patentu. – Baku, 2007. – № 1. – 19 s.
3. Optoelektronnyj pereklyuchatel napravleniya izlucheniya : patent na izobrenenie № I 2014 0062, 23.10.2014. MKP G02V 6/00, G02V, 6/38; G02F 3/00; N03K 17/79 / T.M. Mansurov, I.A. Mamedov // Pro-myshlennaya sobstvennost : oficialnyj byulleten Gosudarstvennogo komiteta po standartizacii, met-rologii i patentu. – Baku, 2013. – № 4. – 12 s.
4. AC SSSR № 1322850 A1. MKI G02V -6/38 ot 22.04.85. Elektromehaničeskij pereklyuchatel optičeskikh volokon.
5. AS SSSR № 1351416, kl. G 02 V - 6/02, 1986. Okonečnoe ustrojstvo.
6. Grodnev I.I. Volokonno-optičeskie linii svyazi / Grodnev I.I. – 2-e izd., pererab. i dop. – M. : Radio i svyaz, 1990. – 224 s.
7. Alishev Ya.V. Mnogokanalnye sistemy peredachi optičeskogo diapazona / Alishev Ya.V. – Minsk : Vyshej-shaya shkola, 1986. – 236 s.
8. Ivanov A.B. Volokonnaya optika: komponenty, sistemy peredachi, izmereniya / Ivanov A.B. – M. : Kompaniya Sajrus systems, 1999. – 664 s.
9. Smazhevskaya V.G. Pezoelektřičeskaya keramika / Smazhevskaya V.G., Feldman N.V. – M. : Sov. radio, 1971. – 200 s.
10. Butusov M.M. Volokonnaya optika i priborostroenie / Butusov M.M., Galkin S.L., Orobinskij S.P. – L. : Mashinostroenie, 1987. – 328 s.
11. Zenevich A.O. Kvantovye informacionnye sistemy / Zenevich A.O., Mansurov T.M. – Minsk : Izd-vo BGAS, 2019. – 280 s.
12. Mansurov T.M. Criteria for evaluation of characteristics of photon switchboards of optical signals and optical fibers for the quantum systems of transfer of confidential information / T.M. Mansurov, Ch.P. Aliyev, E.T. Man-surov // IEEE International Scientific-Practical Conference «Problems of Infocommunications. Science and Technology» (PIC S&T-2018), Kharkov (Ukraine), 9–12 October 2018. – R. 378–382.

Рецензія/Peer review : 15.05.2019 р.

Надрукована/Printed : 23.07.2019 р.
Рецензент: д.т.н., проф. В.А. Касымов

О.В. ОСАДЧУК, В.В. МАРТИНЮК, Т.І. СИДОРУК

Вінницький національний технічний університет

М.В. ЄВСЄВА

Вінницький національний медичний університет ім. М. І. Пирогова

СЕНСОР НА ОСНОВІ ГЕТЕРОМЕТАЛІЧНОЇ КОМПЛЕКСНОЇ СПОЛУКИ КУПРУМУ(II) З N,N'-БІС(САЛІЦИЛІДЕН)ТІОСЕМИКАРБАЗИДОМ

Синтезовано матеріал гетерометалічний кальцій $di[N,N'$ -біс(саліциліден)тіосемикарбазидатокупрат(II)] дигідрат, такого складу: $Ca[CuL]_2 \cdot 2H_2O$, де $L' = C_{15}H_{10}N_3O_2S$, проведено експериментальні вимірювання та теоретичні розрахунки основних фізичних параметрів даного матеріалу. Доведено, що даний матеріал є напівпровідником, причому з носіями заряду обох знаків. Отримано залежності питомого опору, питомої провідності, опору, концентрації носіїв заряду та сталої Холла від температури. В діапазоні температур від 273 К до 493 К концентрація носіїв заряду зростає від $1,11 \cdot 10^{20} \text{ м}^{-3}$ до $2,61 \cdot 10^{33} \text{ м}^{-3}$, а стала Холла змінюється від $0,065 \text{ м}^3 \cdot \text{ Кл}^{-1}$ до $2,8 \cdot 10^{-15} \text{ м}^3 \cdot \text{ Кл}^{-1}$. Отримано залежності напруги Холла та напруженості електричного поля, всередині пластини розмірами $0,5 \times 0,5 \times 0,15 \text{ мм}$, від індукції магнітного поля.

Ключові слова: індукція, магнітне поле, концентрація, напівпровідник, гетерометалічні комплексні сполуки.

O. V. OSADCHUK, V. V. MARTYNYUK, T. I. SYDORUK

Vinnytsia National Technical University

M. V. EVSEVA

National Pirogov Memorial Medical University, Vinnytsya

SENSOR BASED ON HETEROMETALLIC COMPLEX COMPOUND COPPER(II) WITH N,N'-BIS(SALICYLIDENE)THIOSEMICARBAZIDE

The creation of new materials with specific physical properties that are used for making the sensors of temperature or magnetic field exists for a long time. From this point of view, of special interest are materials created based on heterometallic complex compounds. The synthesized material heterometallic Calcium $di[N,N'$ -bis(salicylidene)thiosemicarbazidatocuprate(II)] dihydride, such a composition: $Ca[CuL]_2 \cdot 2H_2O$, where $L' = C_{15}H_{10}N_3O_2S$, experimental measurements and theoretical calculations of the basic physical parameters of this material are carried out. For a dedicated and dehydrated Ca complex compound $[Cu(C_{15}H_{10}N_3O_2S)]_2$ calculated molar weight, which is equal to 759,829 g/mol and the number of valence electrons in one molecule – 210. For conducting experimental studies used a cylindrical specimen with a mass of 0.08 g and the amount $17,67 \cdot 10^{-9} \text{ м}^3$, which were made from dehydrated compound (S) by pressing. Based on these data, we calculated the density of matter: $\rho = 4,527 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$. It is proved that the material is a semiconductor, and charge carriers of both signs. The dependences of resistivity, conductivity, resistance, concentration of charge carriers and the Hall constant on temperature. In the temperature range from 273 K to 493 K, the resistivity varied from $2,04 \cdot 10^{16} \Omega \cdot \text{ м}$ to $872,13 \Omega \cdot \text{ м}$, the resistance of the sample at a temperature of 273 K it is equal to $1,36 \cdot 10^{20} \Omega$, at 313 K – $2,02 \cdot 10^{16} \Omega$, and at 493 K – $5,8 \cdot 10^6 \Omega$, the concentration of charge carriers grows to $1,11 \cdot 10^{20} \text{ м}^{-3}$ to $2,61 \cdot 10^{33} \text{ м}^{-3}$, and the Hall was changed from $0,065 \text{ м}^3 \cdot \text{ Кл}^{-1}$; $2,8 \cdot 10^{-15} \text{ м}^3 \cdot \text{ Кл}^{-1}$. The dependences of the Hall voltage and electric field strength inside a plate with dimensions $0,5 \times 0,5 \times 0,15 \text{ mm}$, from the magnetic field induction. In the range from 0 to 100 mT Hall the voltage increases from $3,22 \cdot 10^{-17} \text{ V}$ to $3,22 \cdot 10^{-16} \text{ V}$, from 100 mT to 1000 mT – Hall the voltage increases from $3,22 \cdot 10^{-16}$ to $3,22 \cdot 10^{-15} \text{ V}$.

Key words: induction, magnetic field, concentration, semiconductor, heterometallic complex compounds.

Вступ

Вимірювання величини температури та магнітного поля в наш час є актуальною науково-технічною задачею. Сенсори цих величин виготовляють з великої різноманітності матеріалів. Але найбільш застосовувані це напівпровідники. Первинні перетворювачі (сенсори) відрізняються як за робочими параметрами так і за принципом дії [1–3].

Створення нових матеріалів зі специфічними електрофізичними властивостями, з яких виготовляють сенсори температури або магнітного поля, існує досить давно. З цієї точки зору особливий інтерес викликають матеріали створені на основі гетерометалічних комплексних сполук, які, з одного боку, володіють можливістю їх хімічного модифікування, а з іншого – значно більшою різноманітністю структурних і фізико-хімічних властивостей в порівнянні з традиційними неорганічними напівпровідниками і металами. Виділимо спосіб модифікації таких сполук, що пов'язаний зі створенням композиційних матеріалів на їх основі, оскільки він дозволяє в потрібному напрямку плавно змінювати електрофізичні та механічні характеристики цих речовин.

Розробка та дослідження нових напівпровідникових матеріалів дозволяє реалізувати все нові і нові фізичні принципи, що, в свою чергу, повинно підвищити надійність, якість, ефективність і значно знизити матеріаломісткість багатьох виробів.

Теоретичні та експериментальні дослідження

Метою дослідження є встановлення фізичних властивостей синтезованого напівпровідникового матеріалу при дії на нього температури та магнітного поля.

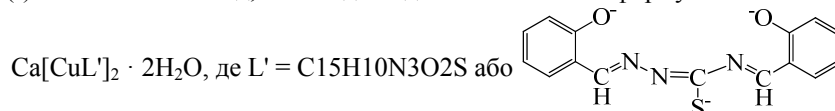
Сучасна координаційна хімія дозволяє синтезувати різноманітні гетерометалічні комплексні сполуки з широким спектром фізико-хімічних властивостей та практичним їх застосуванням в різних галузях. Зокрема інтерес до гетерометалічних координаційних сполук зумовлений об'єднанням в їх молекулі двох металів різної природи, що важливо для отримання перспективних матеріалів для електронної

техніки. З літератури відомо [4–8], що гетерометалічні комплексні сполуки в твердому спресованому стані володіють широким спектром електропровідних властивостей, які залежать від природи металів та лігандів і змінюються в широкому інтервалі від діелектрика до низькоомного напівпровідника. На напівпровідникові характеристики та інтервал робочих температур гетерометалічних комплексних сполук впливає природа центрального атома, гетероатома та хелатуючого і місткового лігандів. На практиці такі сполуки можуть бути використані як напівпровідниковий матеріал для виготовлення терморезисторів.

З метою пошуку нових гетерометалічних комплексних сполук, які володіють напівпровідниковими властивостями була розроблена методика синтезу гетерометалічного кальцій *ди*[*N,N'*-біс(саліциліден)тіосемикарбазидатокупрату(II)] *дигідрату* (I), такого складу $\text{Ca}[\text{CuL}']_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, де $\text{H}_3\text{L} = \text{N,N}'$ -біс(саліци-ліден)тіосемикарбазид.

Кальцій ди[*N,N'*-біс(саліциліден)тіосемикарбазидатокупрат(II)] *дигідрат* (I) синтезували за такою методикою: наважку тіосемикарбазону саліцилового альдегіду 1,95 г (10 ммоль) розчиняли в 20 мл водно-етанольної суміші (1 : 1) на водяній бані ($T \sim 343 \text{ K}$). До отриманої суміші порціями додавали водний розчин $\text{Ca}(\text{OH})_2$ до $\text{pH} = 8$, а потім ще 1,22 г (10 ммоль) саліцилового альдегіду. В нагріту до 343 K реакційну суміш вносили 1,71 г (10 ммоль) $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ розчиненого в 20 мл етанолу. Після утворення прозорого розчину при постійному перемішуванні і нагріванні ($T = 333\text{--}343 \text{ K}$) продовжували додавати водний розчин кальцій гідроксиду до $\text{pH} = 9 - 10$. При цьому спостерігали утворення дрібнокристалічного осаду спочатку зеленого, а потім коричневого кольору. Реакційну суміш витримували на водяній бані впродовж години, далі охолоджували. Осад залишали на ніч під маточним розчином, а потім фільтрували на фільтрі Шотта. Утворений осад коричневого кольору промивали холодним етанолом та етером і сушили в ексікаторі над CaCl_2 до постійної маси. Практичний вихід дорівнює 2,35 г, що складає 59 % від теоретично розрахованого. Виділена гетеро металічна комплексна сполука (I), являє собою дрібнокристалічний порошок, який добре розчинний в ДМФА та ДМСО, гірше – етанолі, ацетоні, практично нерозчинний в воді, хлороформі, ацетонітрилі та тетрагидрометані.

На основі даних елементного аналізу, ІЧ-спектроскопічного, магнетохімічного, термогравіметричного досліджень і даних молярної електропровідності для синтезованої гетерометалічної комплексної сполуки (I) встановлено склад, який відповідає такій хімічній формулі:



Детальний аналіз отриманих експериментальних даних елементного аналізу та фізико-хімічних досліджень для виділеної гетерометалічної сполуки (I) дозволив констатувати, що вона має у своєму складі два різних за хімічною природою метали (s-, d-) та три хелатних цикли такого типу (рис. 1) [9]:

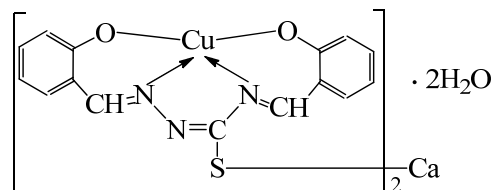


Рис. 1. Схема координації катіонів металів в сполуці I

Оскільки синтезована гетерометалічна координаційна сполука купруму(II) і кальцію з *N,N'*-біс(саліци-ліден)тіосемикарбазидом містить у своєму складі кристалізаційні молекули води, то вимірювання електропровідних властивостей проводили після витримання її в сушильній шафі при 378 °K до постійної маси.

Для виділеної та зневодненої комплексної сполуки $\text{Ca}[\text{Cu}(\text{C}_{15}\text{H}_{10}\text{N}_3\text{O}_2\text{S})]_2$ розраховано молярну масу, яка дорівнює 759,829 г/моль та кількість валентних електронів в одній молекулі – 210.

Для проведення експериментальних досліджень використовували циліндричний зразок масою 0,08 г та об'ємом $17,67 \cdot 10^{-9} \text{ м}^3$, який виготовляли з зневодненої комплексної сполуки (I) методом пресування. Виходячи з цих даних було розраховано густину речовини: $\rho = 4,527 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

Проведені розрахунки, для отриманої комплексної сполуки, та дослідження впливу температури на електричні параметри даної речовини, показують наступні результати.

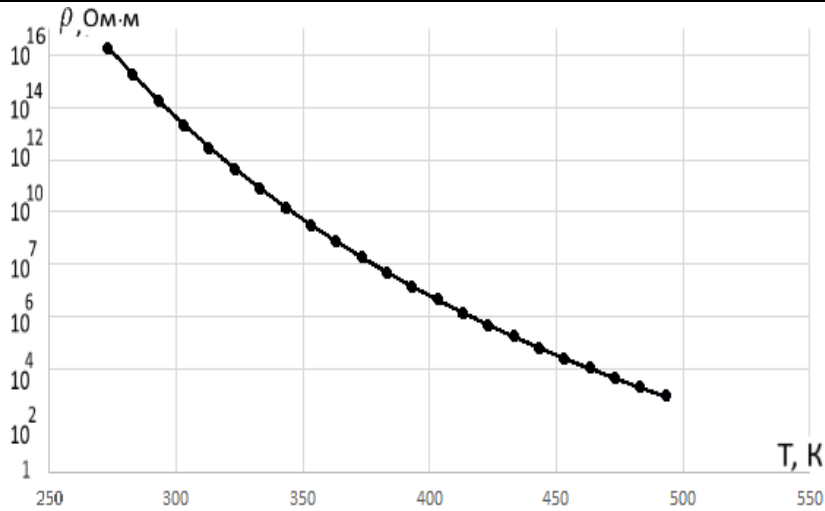


Рис. 2. Логарифмічна залежність питомого опору кальцій ди[N,N'-біс(саліциліден)гіпсемикарбазидатокупрату(II)] від температури

Експериментальне дослідження електропровідних властивостей зневодненої сполуки I при зміні температури від 313 до 403 К показало, що при підвищенні температури його питомий опір різко зменшується, це є типовим для напівпровідникових матеріалів. Графік залежності питомого опору від температури подано на рис. 2. Як видно з рисунка, в діапазоні температур від 273 К до 493 К питомий опір змінився від $2,04 \cdot 10^{16}$ Ом·м до 872,13 Ом·м.

Для даної сполуки $\text{Ca}[\text{Cu}(\text{C}_{15}\text{H}_{10}\text{N}_3\text{O}_2\text{S})_2]$ розраховано кількість валентних електронів в одній молекулі – 210 та молярну масу (759,829 г/моль).

Враховуючи те, що один моль речовини має масу 759,829 г/моль, було розраховано масу однієї молекули досліджуваної та зневодненої сполуки (I): $m_0 = 126,175 \cdot 10^{-20}$ кг.

Загальну кількість молекул в об'ємі досліджуваного циліндричного зразка, заповненого сполукою (I) знайшли як відношення загальної маси до маси однієї молекули: $N_{\text{мол}} = 6,34 \cdot 10^{13}$ молекул. Загальну кількість валентних електронів розраховали як добуток числа валентних електронів однієї молекули на кількість молекул в речовині: $N = 13,314 \cdot 10^{15}$, що дало можливість розрахувати концентрацію носіїв заряду при температурі 313 К: $n = 75,348 \cdot 10^{22} \text{ м}^{-3}$.

Розрахунок ширини забороненої зони вівся з експериментальних вимірювань питомого опору матеріалу, з якого визначалася питома провідність. При абсолютній температурі $T_1 = 313$ К питома провідність складала

$\sigma_1 = 3,3 \cdot 10^{-13} (\text{Ом} \cdot \text{м})^{-1}$, а при $T_2 = 403$ К - $\sigma_2 = 2,27 \cdot 10^{-7} (\text{Ом} \cdot \text{м})^{-1}$. Графік залежності питомої провідності від температури надано на рис. 3.

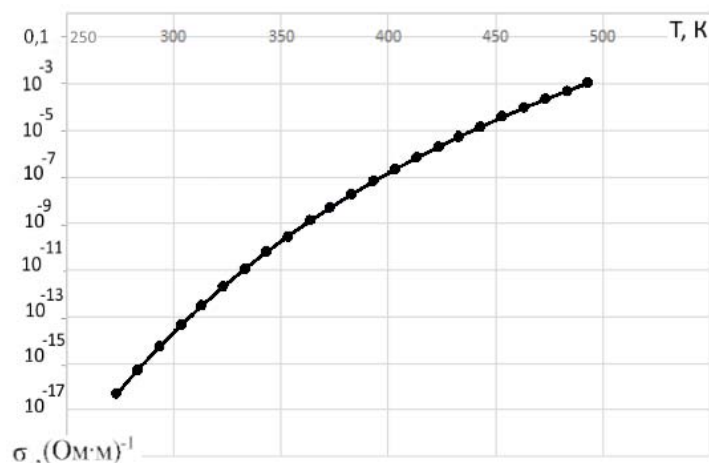


Рис. 3. Логарифмічна залежність питомої провідності напівпровідникового матеріалу від температури

З цих даних була визначена ширина забороненої зони:

$$\Delta E = \frac{k \ln \frac{\sigma_1}{\sigma_2}}{\left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)} = 2,599 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} = 1,624 \text{ eV},$$

де k - стала Больцмана; σ – питома провідність матеріалу при різних температурах; T – абсолютна

температура.

З розрахунків видно, що даний матеріал є напівпровідником з носіями струму обох знаків.

Для проведення експериментальних вимірювань з синтезованого матеріалу кальцій ди[N,N'-біс(саліци-ліден)тіосемикарбазидатокупрату(II)] виготовили пластину розмірами 0,5×0,5×0,15 мм, та дослідили залежність опору пластини від температури. Графік залежності зміни опору від температури надано на рис. 4.

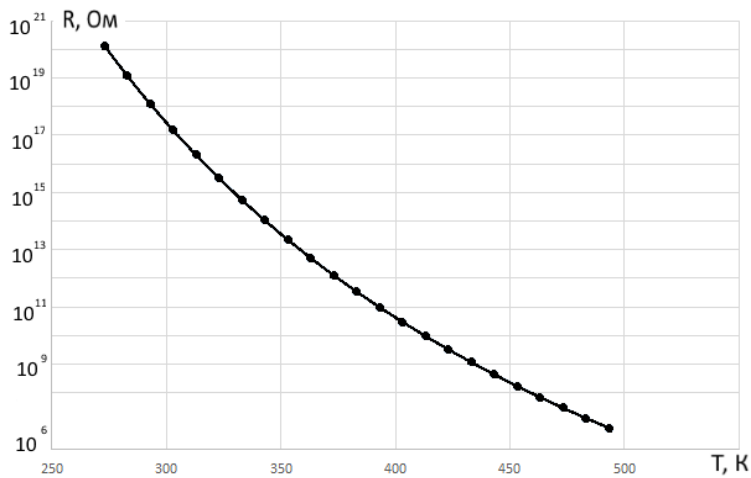


Рис. 4. Логарифмічна залежність опору матеріалу від температури

Як видно з рисунка 4, опір зразка стрімко падає: так при температурі 273 К він рівний $1,36 \cdot 10^{20}$ Ом, а при 313 К – $2,02 \cdot 10^{16}$ Ом, тоді як при 493 К – $5,8 \cdot 10^6$ Ом. Перепад у 14 порядків свідчить про те, що даний матеріал можна використовувати для створення термочутливих резисторів, або на його основі створювати більш складні прилади, які будуть працювати в широкому температурному режимі з температурною чутливістю, в температурному діапазоні від 313 до 403 К, - 18823 К.

Дослідження залежності концентрації носіїв заряду $\text{Ca}[\text{Cu}(\text{C}_{15}\text{H}_{10}\text{N}_3\text{O}_2\text{S})]_2$ від температури, надані у вигляді графічної залежності на рис. 5.

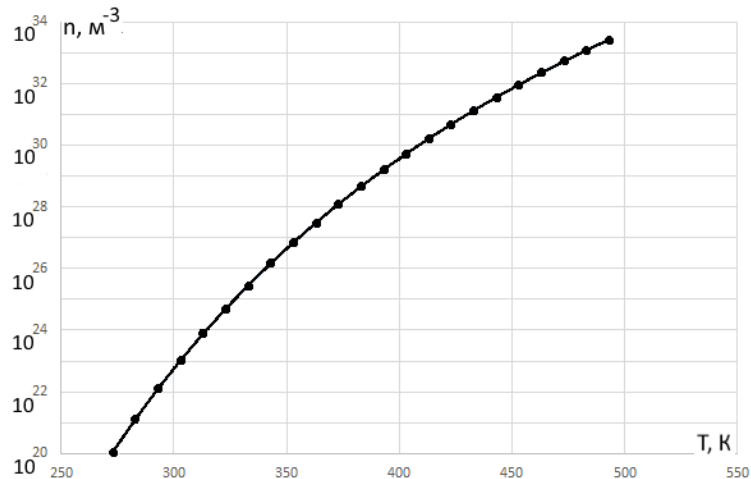


Рис. 5. Логарифмічна залежність концентрації носіїв заряду від температури

Отже, при температурі 273 К даний матеріал містить $1,11 \cdot 10^{20}$ м⁻³ носіїв заряду, при 313 К – $7,53 \cdot 10^{23}$ м⁻³, а при температурі 493 К концентрація носіїв становить $2,618 \cdot 10^{33}$ м⁻³.

Розрахунок рухливості носіїв заряду, показав що вона не залежить від температури, тобто є сталою величиною $\mu = 3,22 \cdot 10^{-18}$ м²/(В·с).

Використавши закон залежності опору матеріалу та концентрації носіїв заряду від температури, отримано зміну величини струму, що проходить через досліджувану пластинку, від температури, при різних напругах живлення. Графіки залежностей, надано у вигляді графічної залежності на рис. 6.

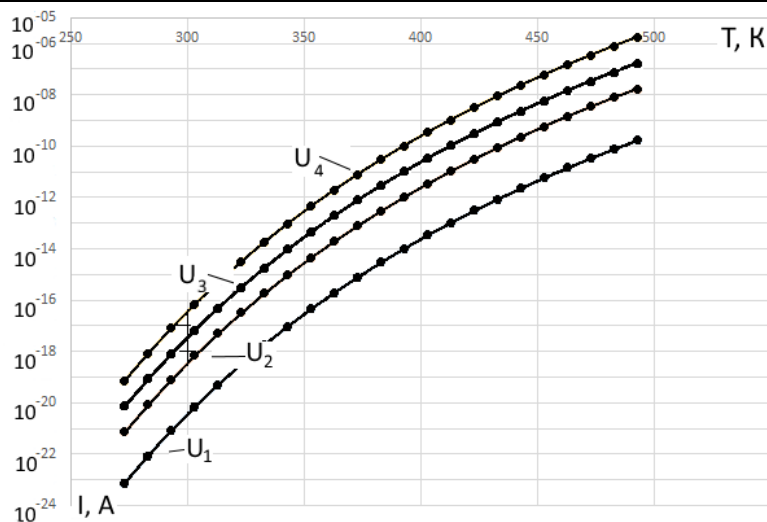


Рис. 6. Логарифмічна залежність сили струму від температури при напругах $U_1 = 0,001$ В; $U_2 = 0,1$ В; $U_3 = 1$ В; $U_4 = 10$ В

Зрозуміло, що чим більша величина напруги живлення, тим вище розміщена крива залежності сили струму від температури. Так при 273 К, при напрузі живлення $U_1 = 0,001$ В величина струму становить $I = 7,34 \cdot 10^{-24}$ А, при $U_2 = 0,1$ В – $I = 7,34 \cdot 10^{-22}$ А, при $U_3 = 1$ В – $I = 7,34 \cdot 10^{-21}$ А, при $U_4 = 10$ В – $I = 7,34 \cdot 10^{-20}$ А. Максимальне значення сили струму досягається при температурі 493 К: $U_1 = 0,001$ В величина струму $I = 1,72 \cdot 10^{-10}$ А, при $U_2 = 0,1$ В – $I = 1,72 \cdot 10^{-8}$ А, при $U_3 = 1$ В – $I = 1,72 \cdot 10^{-7}$ А, при $U_4 = 10$ В – $I = 1,72 \cdot 10^{-6}$ А.

Отже, номінальна напруга живлення для такого матеріалу становитиме одиниці-десятки вольт.

Логарифмічну залежність густини струму від температури при напругах живлення 1 В та 10 В, надано на рис. 7.

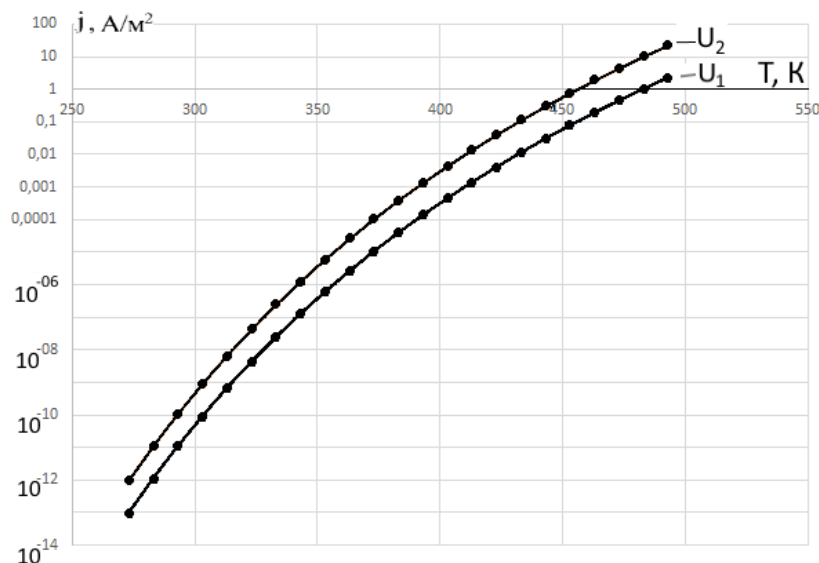


Рис. 7. Логарифмічна залежність густини струму від температури при напругах $U_1 = 1$ В; $U_2 = 10$ В

З наведеного графіка (рис. 7) видно, що нульового значення густина струму досягає за температур 393 К та 383 К, відповідно, залежно від величини напруги живлення. Значення густини струму змінюється від

$9,8 \cdot 10^{-14}$ А/м² до $2,29$ А/м², при напрузі живлення $U_1 = 1$ В; та від $9,8 \cdot 10^{-13}$ А/м² до $22,93$ А/м², при напрузі живлення $U_2 = 10$ В.

На основі отриманих залежностей можна сказати, що використання синтезованого матеріалу для створення термочутливих елементів доволі перспективне.

Графічні залежності напруженості Холлівського поля в середині напівпровідника від індукції магнітного поля при різних температурах (рис. 8), та напруги Холла (рис. 9) показують, що дані величини не залежать від температури і збігаються в одну лінію.

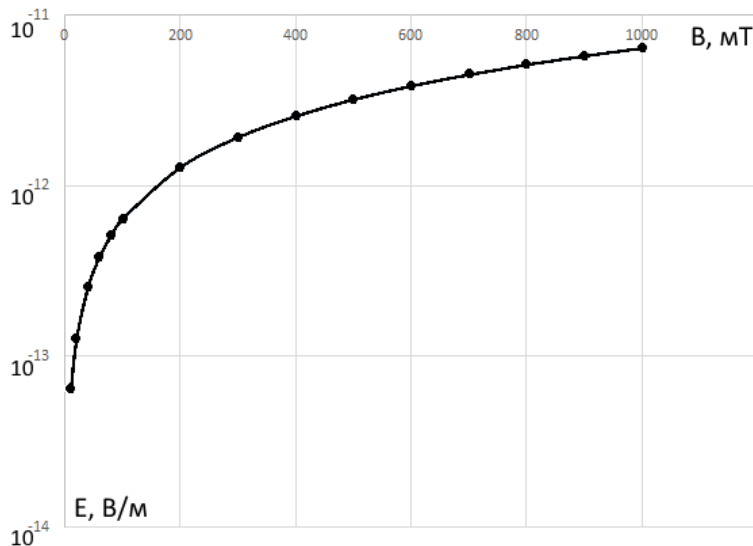


Рис. 8. Логарифмічна залежність Холлівської напруженості електричного поля в середині напівпровідника при дії на нього магнітного поля при різних температурах

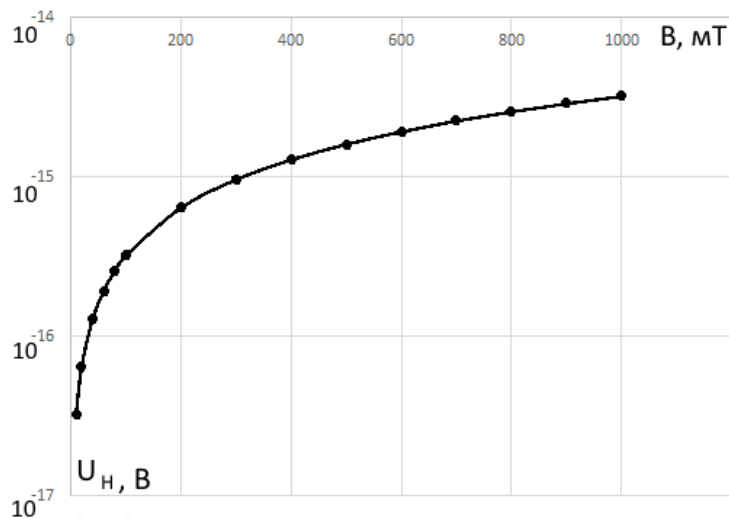


Рис. 9. Логарифмічна залежність напруги Холла напівпровідника при дії на нього магнітного поля при різних температурах

Як видно з графіка (рис. 9) в діапазоні від 0 до 100 мТ Холлівська напруга зростає від $3,22 \cdot 10^{-17}$ до $3,22 \cdot 10^{-16}$ В, від 100 мТ до 1000 мТ – Холлівська напруга зростає від $3,22 \cdot 10^{-16}$ до $3,22 \cdot 10^{-15}$ В.

Висновки

Експериментальні дослідження температурної залежності фізичних параметрів $\text{Ca}[\text{Cu}(\text{C}_{15}\text{H}_{10}\text{N}_3\text{O}_2\text{S})_2]$ підготовленого спресованого зразка в інтервалі температур 313–403 К та теоретичні дослідження в інтервалі 273–493 К показали, що для нього має місце пряmlinійна залежність між ρ і T , типова для напівпровідникових матеріалів. Розраховані напівпровідникові характеристики (ТКО при 333 К $\alpha = 16,97$ %/К, B – чутливість 18823 К) свідчать про те, що він є високочутливим напівпровідниковим матеріалом і може бути використаний для виготовлення термочутливих елементів таких, наприклад, як терморезистори.

Література

1. Осадчук В.С. Сенсори тиску і магнітного поля / В. С. Осадчук, О. В. Осадчук. – Вінниця : Універсум-Вінниця, 2005. – 207 с.
2. Осадчук О. В. Перетворювач магнітного поля на основі магніточутливого діода та активно-індуктивного елемента / О. В. Осадчук, В. В. Мартинюк, О. М. Жагловська, Л. В. Крилик // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2017. – № 1. – С. 93–98.
3. Осадчук О. В. Магніточутливий сенсор на основі гетерометалевої комплексної сполуки / О. В. Осадчук, В. В. Мартинюк, М. В. Євсєєва, О. О. Селецька // Вісник Хмельницького національного університету. – 2019. – № 3. – С. 97–101.
4. Самусь Н. М. Гетерометаллические (лантаноид или иттрий, p - или d -элементсодержащие N, N' -этилен-бис-салицилидениминаты / Н. М. Самусь, И. В. Хорошун, И. В. Сеница, М. В. Гандзий // Коорд.

химия. – 1993. – Т. 19, № 9. – С. 729–732.

5. Koksharova T. V. Solid State Conductivity and Catalytic Activity of Hexacyanoferrate(II)–Thiosemicarbazide Complexes of 3d-Metals / T. V. Koksharova, N. V. Masleeva, A. A. Ptashchenko, S.V. Fel'dman // Theoretical and Experimental Chemistry. – 2002. – Vol. 38, No 4. – P. 263–267.

6. Pardhi A. V. Synthesis, Characterization, Electrical Conductivity, and Catalytic Studies of Some Coordination Polymers of Salen-Type Schiff Base / A. V. Pardhi, A. D. Bansod, A. R. Yaul, A. S. Aswar // Координац. химия. – 2010 – Том 36, № 4. – С. 298–303.

7. Шабанова И. В. Гетероядерные комплексные соединения железа(III) и неодима(III) с оксикислотами как исходные вещества для синтеза наноматериалов / И. В. Шабанова, Т. П. Стороженко, В. И. Зеленов // Экологический вестник научных центров ЧЭС. – 2004. – № 3. – С. 91–94.

8. Ранський А. П. Синтез і властивості гетерометалевих координаційних сполук купруму(II), ніколу(II) або кобальту(II) і лужноземельних елементів з N,N'-біс(саліциліден)семикарбазидом / А. П. Ранський, М. В. Євсєєва, Т. І. Панченко, О. А. Гордієнко // Укр. хім. журнал. – 2013. – Т. 79, № 2. – С. 74–79.

9. Panchenko T. Copper(II) and nickel(II) with N,N'-bis(salicylidene)thiosemicarbazide heterometal complex compounds / T. Panchenko, M. Evseeva, A. Ranskiy // Chem. & Chem. Technology. – 2014. – Vol 8, № 3. – P. 243–248.

References

1. Osadchuk V.S. Sensory tysku i mahnitnoho polia / V. S. Osadchuk, O. V. Osadchuk. – Vinnytsia : Universum-Vinnytsia, 2005. – 207 s.

2. Osadchuk O. V. Peretvoriuvach mahnitnoho polia na osnovi mahnitochutlyvoho dioda ta aktyvno-induktyvnoho elementa / O.V. Osadchuk, V. V. Martyniuk, O. M. Zhahlovska, L. V. Krylyk // Vymiriuvalna ta obchysliuvalna tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh. – 2017. – № 1. – S. 93–98.

3. Osadchuk O. V. Mahnitochutlyvyi sensor na osnovi heterometalevoi kompleksnoi spoluky / O. V. Osadchuk, V. V. Martyniuk, M.V. Yevsieieva, O. O. Seletska // Herald of Khmelnytskyi National University. – 2019. – № 3. – S. 97–101.

4. Samus N. M. Geterometallicheskie (lantanoid ili ittrij, p- ili d-elementsoderzhashie N,N'-etilen-bis-salicylidenediminaty / N.M. Samus, I. V. Horoshun, I. V. Sinica, M. V. Gandzij // Koord. himiya. – 1993. – Т. 19, № 9. – С. 729–732.

5. Koksharova T. V. Solid State Conductivity and Catalytic Activity of Hexacyanoferrate(II)–Thiosemicarbazide Complexes of 3d-Metals / T. V. Koksharova, N. V. Masleeva, A. A. Ptashchenko, S. V. Feldman // Theoretical and Experimental Chemistry. – 2002. – Vol. 38, No 4. – P. 263–267.

6. Pardhi A. V. Synthesis, Characterization, Electrical Conductivity, and Catalytic Studies of Some Coordination Polymers of Salen-Type Schiff Base / A. V. Pardhi, A. D. Bansod, A. R. Yaul, A. S. Aswar // Koordynats. khymiya. – 2010 – Том 36, № 4. – С. 298–303.

7. Shabanova I. V. Geteroyadernye kompleksnye soedineniya zheleza(III) i neodima(III) s oksikislottami kak ishodnye veshstva dlya sinteza nanomaterialov / I. V. Shabanova, T. P. Storozhenko, V. I. Zelenov // Ekologicheskij vestnik nauchnykh centrov ChES. – 2004. – № 3. – С. 91–94.

8. Ranskiy A. P. Syntez i vlastyivosty heterometalevykh koordynatsiinykh spoluk kuprumu(II), nikolu(II) abo kobaltu(II) i luzhnozemelnykh elementiv z N,N-bis(salicylidene)semykarbazydom / A. P. Ranskiy, M. V. Yevsieieva, T. I. Panchenko, O. A. Hordiienko // Ukr. khim. zhurnal. – 2013. – Т. 79, № 2. – С. 74–79.

9. Panchenko T. Copper(II) and nickel(II) with N,N'-bis(salicylidene)thiosemicarbazide heterometal complex compounds / T. Panchenko, M. Evseeva, A. Ranskiy // Chem. & Chem. Technology. – 2014. – Vol 8, № 3. – P. 243–248.

Рецензія/Peer review : 05.06.2019 р.

Надрукована/Printed : 23.07.2019 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Петрук В. Г.

О.О. РУБАНЕНКО, В.П. ЯНОВИЧ

Західночеський університет, м. Плезнь, Чехія

І.О. ГУНЬКО

Вінницький національний технічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИЧИН ПОШКОДЖЕННЯ СИНХРОННИХ ГЕНЕРАТОРІВ

В статті проаналізовано інформацію щодо стану обладнання теплових електричних станцій в Україні. Досліджено пошкоджуваність основних елементів синхронних генераторів. Виявлено потенційно «слабкі» місця генератора, які потребують онлайн діагностування. Запропоновано для ранньої ідентифікації пошкоджень елементів синхронних генераторів використовувати методи онлайн діагностування, але з аналізу ефективності їх роботи зрозуміло, що вони теж потребують вдосконалення. Тому в статті розроблено дерево аналізу пошкоджень синхронного генератора з врахуванням досвіду експлуатуючого персоналу та нормативних документів.

Ключові слова: синхронні генератори, системи онлайн діагностування, дерево пошкоджень.

O.O. RUBANENKO, V.P. YANOVYCH

University of West Bohemia, Plzen, Czech Republic

I.O. HUNKO

Vinnitsia National Technical University

RESEARCHING OF REASONS FAULT ON SYNCHRONOUS GENERATORS

The article analyses information on the state of equipment of heat power plants in Ukraine. Researched probability of fault of main elements of synchronous generators. Defined elements of synchronous generators, which need take more attention and parameters, which will be monitored all time. Proposed for early identification of elements faults of synchronous generators using methods of online diagnostic. Analysed of faults detection at different levels of diagnosis: major overhaul, limited inspection, safety check, online. Take to account of results this analysed decide try to create fault tree analyses synchronous generators. In 2018 in Ukraine, it was showed that the technical state of the energy industry infrastructure is approaching critical due to the high degree of equipment wear and tear, lack of technology, lack of sufficient investment, namely "at most power plants the equipment design resource is already exhausted and is being used beyond the operational lifetime. For example, out of 75 generating units of heat power plants companies, 68 units (16962 MW or 78.7%) are operated over the park lifetime, 2 units (600 MW or 2.8%) are operated over the operating lifetime and 5 units (4 000 MW or 18.6%) is operated over the projected lifetime. Take to account of results this analysis we decide try to create tree of analysis fault of synchronous generators, using data from normative documents and experience operative personal.

Keywords: synchronous generators, online diagnostics systems, damage tree.

Вступ. Синхронні генератори переважно використовуються на гідроелектростанціях (ГЕС) та теплових електричних станціях (ТЕС), і є одним із найвідповідальніших елементів електроенергетичної системи. Але, в звіті про результати діяльності Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг, у 2018 році зазначено що технічний стан інфраструктури енергетичної галузі наближається до критичного через високий ступінь зношеності обладнання, застарілість технологій, відсутність достатнього рівня інвестицій, а саме «на більшості електричних станцій проектний ресурс обладнання вже вичерпано і воно експлуатується понад парковий термін експлуатації. Так, наприклад, із 75 енергоблоків генеруючих компаній теплових електростанцій 68 енергоблоків (16962 МВт, або 78,7%) експлуатується понад парковий термін експлуатації, 2 енергоблоки (600 МВт, або 2,8%) експлуатується понад граничний термін експлуатації і 5

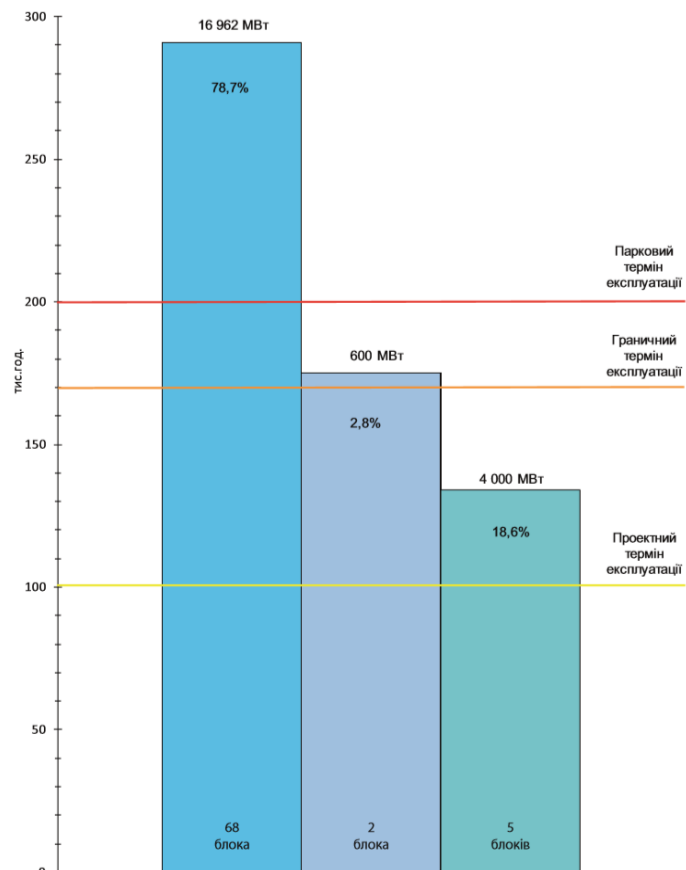


Рис. 1. Технічний стан енергоблоків енергогенеруючих компаній теплових електростанцій по ресурсу роботи станом на 01.01.2019

енергоблоків (4 000 МВт, або 18,6%) експлуатується понад проектний термін експлуатації». На рис. 1 наведено діаграму технічного стану енергоблоків за ресурсом роботи станом на 01.01.2019, а відповідно і потужних синхронних генераторів ТЕС [1, 2].

Тому актуальними є дослідження причин пошкодження синхронних генераторів та аналіз основних типів відмов. Габор Чаба у своєму звіті під назвою «Діагностика генератора від режимів відмови до ризику примусового відключення» показав причини вимушеного виводу генератора з експлуатації. Будова синхронного генератора та аналіз пошкоджуваності основних елементів (у відсотках), який наведений у звіті представлений на рис. 2 [3]. Автор вважає, що розробка нових і вдосконалення існуючих методів онлайн діагностування дасть можливість зменшити пошкоджуваність вартісного обладнання. Термін служби синхронних генераторів залежить на 10% від своєчасного ремонту та на 90% від коректної роботи системи онлайн діагностування [3].

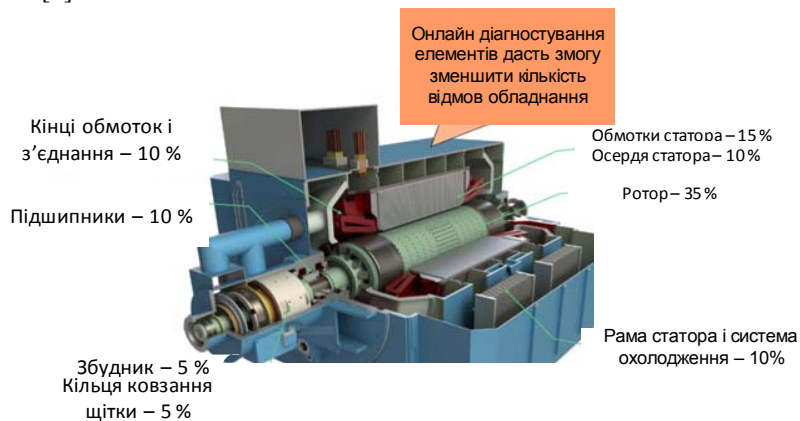


Рис. 2. Будова синхронного генератора та аналіз пошкоджуваності його елементів

За результатами аналізу статистики пошкоджень виявлено елементи генератора, на які потрібно звертати більшу увагу при онлайн діагностуванні (як показано на рис. 3).

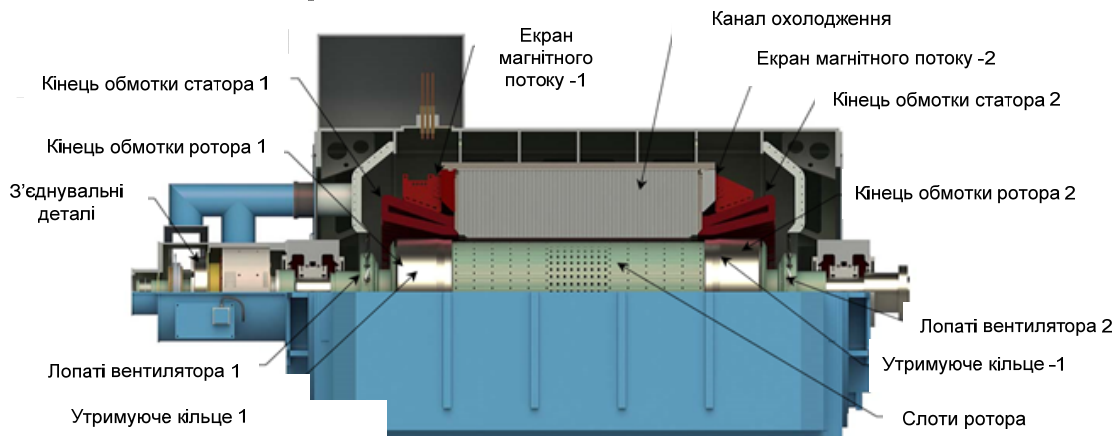


Рис. 3. Потенційно «слабкі» місця генератора, які потребують онлайн діагностування

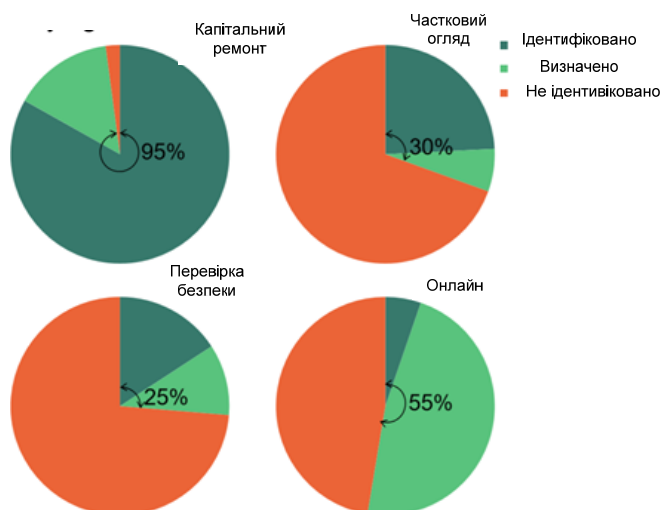


Рис. 4. Аналіз виявлення пошкоджень на різних рівнях діагностування

Тому потрібно чітко розуміти вплив відхилення значень контрольованих параметрів на роботу генератора. Використовуються три оцінки результату діагностування: «Визначено» – визначили пошкодження, але не визначили в якому режимі відбулась відмова; «Ідентифіковано» – ідентифікували відмову та режим, в якому це сталося (ця інформація може використовуватись для оцінки ризику повторення відмови); «Не ідентифіковано» – не визначили пошкодження і не визначили, в якому режимі відбулась відмова (рис. 4).

Для аналізу такого впливу в світовій практиці використовується метод складання дерева пошкоджень. Дерево пошкоджень допомагає візуалізувати зв'язки між подіями та відмовами елементів. Це допомагає швидко зрозуміти результати аналізу та визначити слабкі місця в системах онлайн діагностування. Враховуючи досвід експлуатуючого персоналу, нормативні документи та статистику, наведену в іноземних джерелах, було створено дерево аналізу пошкоджень (рис. 5) для синхронних генераторів, що експлуатуються на теплових електричних станціях [4–9].

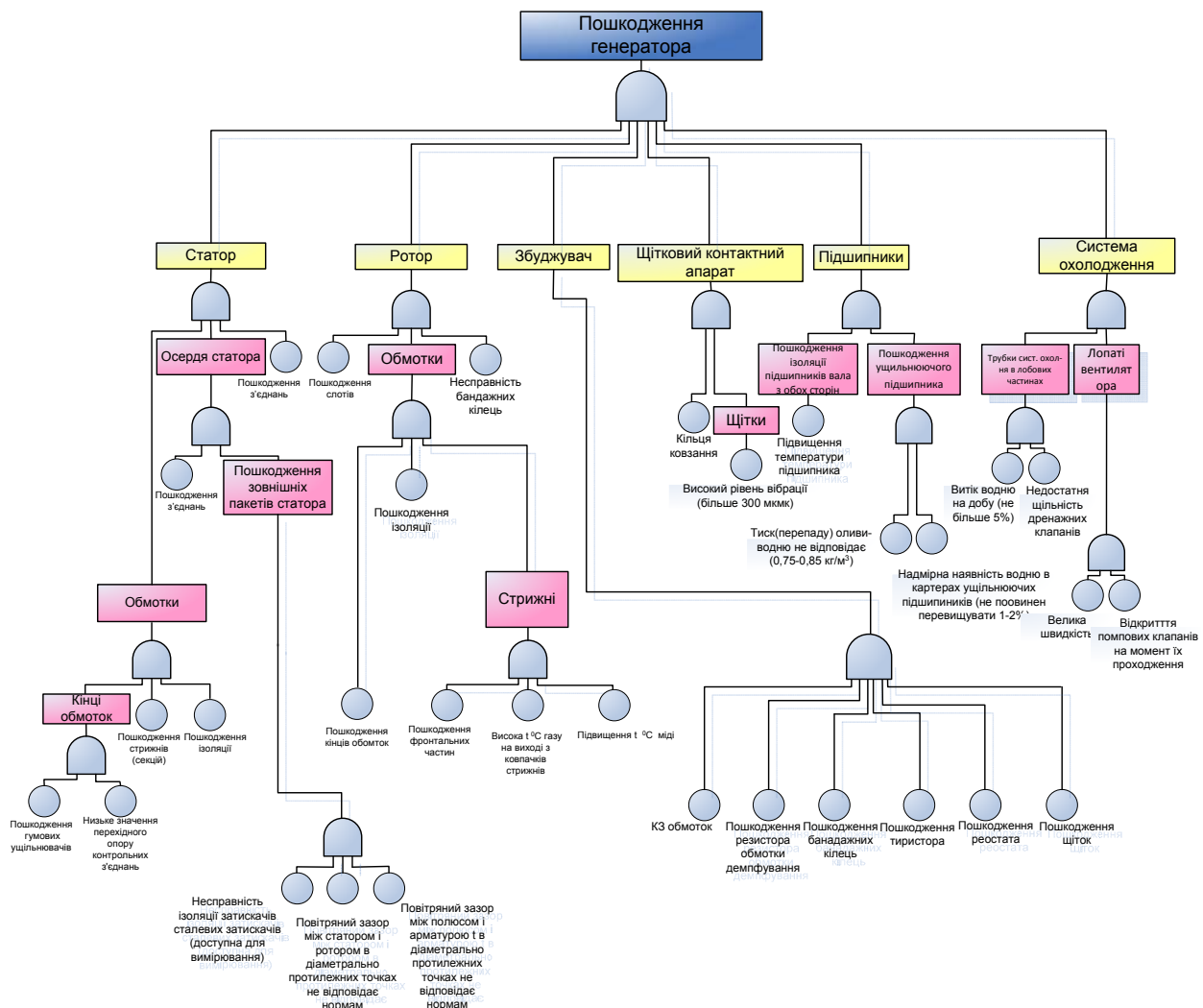


Рис. 5. Дерево аналізу пошкоджень синхронного генератора

Висновки

Низькі темпи оновлення вартісного енергетичного обладнання, зокрема і синхронних генераторів на теплових електричних станціях, вимагають пошуку нових шляхів продовження терміну їх експлуатації. Одним із дієвих підходів є впровадження онлайн систем діагностування, що дозволить попереджати серйозні пошкодження. Виявлення дефектів на ранніх стадіях сприяє правильному плануванню ремонтних робіт і значно скорочує час виводу з експлуатації генератора. Для виявлення впливу подій (наприклад міжвиткових коротких замикань в обмотках ротора чи статора, понаднормованого рівня вібрацій, витoku оливи в системі охолодження та ін.) на пошкодження окремого елемента генератора в статті розроблено дерево аналізу пошкоджень.

Наступним кроком планується розробка алгоритму роботи системи прогнозування виникнення пошкоджень в залежності від зміни контрольованих параметрів. Основною проблемою є визначення найбільш інформативних параметрів та розробка системи ідентифікації пошкоджень.

Література

1. Звіт про результати діяльності Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг, у 2018 році : постанова НКРЕКП № 440 від 29.03.2019. – К. : НКРЕКП, 2018. – 304 с.
2. Burykin O. B. Optimization of the functioning of the renewable energy sources in the local electrical systems / O. B. Burykin, Yu. V. Malogulko, Yu. V. Tomashevskiy [etc.] // Journal Przegląd Elektrotechniczny. – 2017. – № 3. – P. 97–103. – DOI: 10.15199/48.2017.03.23.
3. Gabor Csaba, “Generator diagnostics from failure modes to risk for forced outage.” 2018 [Online]. Available: <https://irispower.com/wp-content/uploads/2018/06/Generator-diagnostics-From-failure-modes-to-risk-forced-outage.pdf>. [Accessed: 4-Jul-2019].
4. Polishchuk V. I., Baratova K.V. Effective mathematical model of synchronous machine with turn-to-turn short-circuit of rotor winding for adaptive methods of identification in [Proceedings] 2019 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM) [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8743052> [Accessed: 24-Jul-2019].
5. Melecio J. I. FEA model study of spectral signature patterns of PM demagnetisation faults in synchronous PM machines / J. I. Melecio, S. Djurović, N. Schofield // The Journal of Engineering. – 2018. – № 17. – P. 4127–4132.
6. Wang L. Diagnosis of inter-turn short circuit of synchronous generator rotor winding based on Volterra kernel identification / L. Wang, Li and J. Li // Energies. – 2018. – № 11. – P. 2524.
7. Fault Tree Analysis [Online]. Available: <https://www.weibull.com/basics/fault-tree/index.htm> [Accessed: 24-Jul-2019].
8. International standart. Fault tree analis. IEC 61025 Edition 2.0 2006-12
9. СОУ-Н ЕЕ 20.302:2007 Норми випробування електрообладнання. Видання офіційне. – 2007. – 271 с.

References

1. Zvit pro rezultaty diialnosti Natsionalnoi komisii, shcho zdiisniuie derzhavne rehuliuвання u sferakh enerhetyky ta komunalnykh posluh, u 2018 rotsi : postanova NKREKP № 440 vid 29.03.2019. – K. : NKREKP, 2018. – 304 s.
2. Burykin O. B. Optimization of the functioning of the renewable energy sources in the local electrical systems / O. B. Burykin, Yu. V. Malogulko, Yu. V. Tomashevskiy [etc.] // Journal Przegląd Elektrotechniczny. – 2017. – № 3. – P. 97–103. – DOI: 10.15199/48.2017.03.23.
3. Gabor Csaba, “Generator diagnostics from failure modes to risk for forced outage.” 2018 [Online]. Available: <https://irispower.com/wp-content/uploads/2018/06/Generator-diagnostics-From-failure-modes-to-risk-forced-outage.pdf>. [Accessed: 4-Jul-2019].
4. Polishchuk V. I., Baratova K.V. Effective mathematical model of synchronous machine with turn-to-turn short-circuit of rotor winding for adaptive methods of identification in [Proceedings] 2019 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM) [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8743052> [Accessed: 24-Jul-2019].
5. Melecio J. I. FEA model study of spectral signature patterns of PM demagnetisation faults in synchronous PM machines / J. I. Melecio, S. Djurović, N. Schofield // The Journal of Engineering. – 2018. – № 17. – P. 4127–4132.
6. Wang L. Diagnosis of inter-turn short circuit of synchronous generator rotor winding based on Volterra kernel identification / L. Wang, Li and J. Li // Energies. – 2018. – № 11. – P. 2524.
7. Fault Tree Analysis [Online]. Available: <https://www.weibull.com/basics/fault-tree/index.htm> [Accessed: 24-Jul-2019].
8. International standart. Fault tree analis. IEC 61025 Edition 2.0 2006-12
9. SOU-N EE 20.302:2007 Normy vyprobuвання elektroobladnannya. Vydannya ofitsiine. – 2007. – 271 s.

Рецензія/Peer review : 10.06.2019 р.

Надрукована/Printed : 23.07.2019 р.
Рецензент: д.т.н., проф. В.А. Матвійчук

Л.В. КАРПОВА¹, О.О. БОЙКО

Хмельницький національний університет

І.І. ЧЕСАНОВСЬКИЙ

Національна академія Державної прикордонної служби України ім. Б. Хмельницького

МОДЕЛЮВАННЯ НВЧ ПРИСТРОЇВ І АНТЕН В ЗАДАЧАХ ЇХ АНАЛІЗУ, СИНТЕЗУ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ

В статті узагальнено основні сучасні методи та засоби електродинамічного моделювання НВЧ структур і антен. Наведено узагальнений аналіз різних систем імітаційного моделювання. Запропоновано моделі та алгоритми імітаційного моделювання елементів трактів НВЧ та випромінюючих структур, альтернативних натурним лабораторним експериментам.

Ключові слова: електродинамічні задачі, надвисокі частоти, антени, моделювання, імітаційне моделювання, програми, чисельні методи.

L.V. KARPOVA, O.O. BOYKO

Khmelnitskyi National University

I.I. CHESANOVSKYY

National Academy of State Borderguard service of Ukraine named after B. Khmelnytskyi

MODELLING OF MICROWAVE DEVICES AND ANTENNAS IN THE PROBLEMS OF THEIR ANALYSIS, SYNTHESIS AND OPTIMIZATION

At the present stage of development of the radio engineering field, simulation modelling, considering the availability of a wide range of instruments for its implementation, virtually displaces full-scale experiments in the laboratory practice of the educational process and scientific research. The range of modern simulation tools for radio engineering tasks includes a large number of different purpose, computational and mathematical basis of systems, which combined with the rapidly increasing computing power of electronic computers make it possible not only to perform calculations of any external complexity and complexity. conditions. The article summarizes the basic modern methods and means of electrodynamic modelling of microwave structures and antennas. The generalized analysis of different simulation systems is presented. Models and algorithms for simulation of elements of microwave tracts and radiating structures alternative to full-scale laboratory experiments are proposed. The purpose of this article is to provide a comparative assessment of modern microwave simulation systems and radiating structures and to summarize the methods of numerical solution of electrodynamic problems used in modern electrodynamic modelling systems.

Keywords: electrodynamic problems, ultra high frequencies, antennas, simulation, simulation modelling, programs, numerical methods.

Вступ. На сучасному етапі розвитку радіотехнічної галузі імітаційне моделювання, враховуючи доступність широкого класу інструментів його здійснення, практично витісняє натурні експерименти в лабораторній практиці освітнього процесу і наукових досліджень. Спектр сучасних інструментів імітаційного моделювання радіотехнічних задач включає велику кількість різних за призначенням, обчислювальною і математичною основою систем, що в поєднанні з стрімко зростаючою обчислювальною потужністю електронно-обчислювальних машин дають змогу не тільки проводити розрахунки будь-якої складності а і враховувати цілі комплекси зовнішніх і внутрішніх умов. Така гнучкість, оперативність а в деяких випадках і достовірність є недоступною для натурального лабораторного експерименту, особливо в задачах дослідження НВЧ і випромінюючих структур, що робить системи імітаційного моделювання в даній галузі основним інструментом лабораторних досліджень.

Метою даної статті є порівняльна оцінка сучасних систем імітаційного моделювання НВЧ та випромінюючих структур і узагальнення методів чисельного розв'язку електродинамічних задач, що використовуються в сучасних системах електродинамічного моделювання.

Для розв'язку задачі електромагнітного поля існують різні підходи, які зводяться до аналітичного або чисельного розв'язку відповідних інтегральних або диференціальних рівнянь в частотній або часовій області [8]. Аналітичні розв'язки точні, але можуть бути отримані лише для обмеженого кола простих структур. Чисельні розв'язки наближені, але можуть бути успішно застосовані для довільних структур. При цьому, незважаючи на те, що вони можуть давати результат лише із певною точністю, в більшості практичних задач цього цілком достатньо. На рис. 1 наведено класифікацію методів розв'язку рівнянь Максвелла, що широко використовуються на практиці.

В основі усіх сучасних систем імітаційного моделювання покладено числові методи розв'язку задач, які, хоча і відрізняються базовими підходами до знаходження розв'язку, проте дають змогу аналізувати пристрої різної складності як у частотній, так і в часовій (просторовій) області. Враховуючи обчислювальні потужності сучасних ЕОМ, для кожного типу пристрою можна підібрати і реалізувати чисельний метод, який для конкретних умов забезпечить найшвидший розрахунок його електродинамічних характеристик із заданою якістю (точністю, частотною чи просторовою деталізацією, тощо).

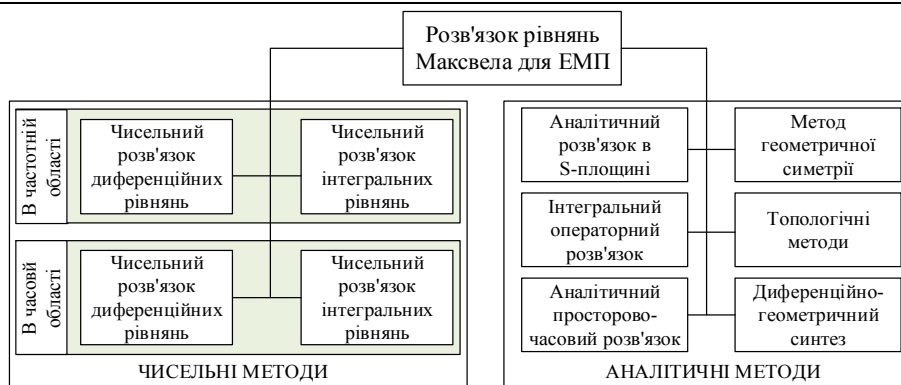


Рис. 1. Класифікація методів розв'язку рівнянь Максвелла

Одними з найпоширеніших методів чисельного аналізу, що застосовуються в системах імітаційного моделювання НВЧ пристроїв і антен є метод моментів, метод скінченних елементів, метод скінченних різниць у часовій області і метод ліній передач [7, 8].

Сутність застосування даних методів, стосовно прямої задачі електродинаміки, яка полягає у знаходженні розподілу полів і струмів при відомій геометрії електродинамічної структури і заданих параметрах середовища. За такої постановки задачі вихідними для моделювання електромагнітних полів є рівняння Максвелла з урахуванням відповідних граничних умов. Теоретично, за будь-якої складності, дана задача має аналітичний розв'язок, що в багатьох випадках може бути знайдений і з використанням засобів автоматизації, проте такий підхід є недоцільним, оскільки в практичних задачах, в тому числі і лабораторних дослідженнях НВЧ пристроїв і антен точність розв'язку є умовною (мінімально достатньою для процедури апроксимації). Виходячи з цього, значну увагу в прикладній електродинаміці приділяють саме чисельним методам розв'язку, які є відносно простими в дискретних алгоритмах обчислень і здатні забезпечити необхідну достовірність результатів.

Із широкого спектру математичних методів моделювання, які використовуються в сучасних програмних системах можна виділити цілу низку методів, що стали основою, або безпосередньо використовуються для чисельних розрахунків.

Метод моментів (МоМ – Method of Moments). При аналізі моделей за допомогою методу моментів загальний підхід до задач поширення та випромінювання електромагнітних хвиль полягає в зведенні отриманих інтегральних рівнянь до системи лінійних алгебраїчних рівнянь з M невідомими, які є коефіцієнтами певного розкладання для струму або поля за відомими функціями. Суть методу полягає в наступному: область, для якої шукається розв'язок, розбивається на скінчену кількість елементів, зі своїми (довільними) апроксимуючими функціями. Із цих функцій, з певними коефіцієнтами, утворюється система рівнянь для якої справедливими є виконання наступних умов: за межами елементів апроксимуюча функція рівна нулю; на границі двох елементів значення апроксимуючих функцій однакові. Процедура знаходження невідомих коефіцієнтів визначається геометрією структури, для якої проводиться розрахунок, а це вимагає додаткового аналізу вихідних умов, що відноситься до недоліків даного методу, при цьому, немає необхідності задання граничних умов, що відноситься до переваг методу.

Метод скінченних елементів (FEM – Finite Element Method)) практично позбавлений цього недоліку, оскільки при формуванні розв'язку геометрія враховується розмірами ділянок розбиття – чим складніша (дрібніша) геометрія поверхні, тим мілкіші ділянки (об'єми) розбиття і навпаки. Такий підхід дає змогу значно оптимізувати чисельні розрахунки завдяки адаптації точності обчислень в різних місцях електродинамічної структури. Даний метод показує свою ефективність у розрахунках різноманітних хвилеводних структур, при застосуванні абсорбуючих граничних умов, для розрахунку різноманітних антен та задач розсіювання.

Гібридні методи. Для вирішення специфічних задач були розроблені і застосовуються ряд гібридних методів, що ґрунтуються на базових принципах методу моментів і методу скінченних елементів. MLFMM (Multilevel Fast Multipole Method) – багаторівневий метод моментів, заснований на швидкому алгоритмі розрахунку. PO (Physical Optics) – Метод фізичної оптики використовується у випадку розрахунку електрично-великих площ або діелектричних структур. Це класичний метод наближеного розв'язку електродинамічних задач, який також називається методом Кірхгофа. В межах цього методу задача пошуку струмів на металевих поверхнях виключається, а струм приблизно обчислюється через магнітне поле падаючої на об'єкт хвилі. МоМ/PO – гібридний метод Моментів/Фізичної оптики. Метод геометричної оптики (GO – Geometrical Optic) заснований на техніці розповсюдження променя, при якій моделі об'єктів розраховуються на основі розповсюдження, заломлення і віддзеркалення оптичного променя. Гібридний метод Моментів/Геометричної оптики (МоМ/GO).

Метод однорідної теорії дифракції (UTD – Uniform Theory of Diffraction) є сучасним методом наближеного розв'язку задач розсіювання хвиль на великих об'єктах. Поверхня представляється набором плоских багатокутників, які мають спільні ребра. Поле, розсіяне багатокутником, ділиться на дві складові: геометро-оптична, утворена плоскою поверхнею і поле, що утворюється ребрами. МоМ/UTD – гібридний

метод Моментів/однорідної теорії дифракції.

Метод геометричної теорії дифракції GTD (Geometrical Theory of Diffraction). Хвильове поле представляється в вигляді суми полів променевого типу, при цьому дифракційна задача зводиться до визначення амплітуд і фаз квазіпроменевих полів із граничних умов. Генерація полів променевого типу відбувається на границях розділення середовищ і на границях «світло-тінь».

Розглянуті методи, в задачах аналізу поля випромінювання антен і розподілу енергії в НВЧ структурах не завжди є зручними, оскільки, у випадку частотного аналізу, розрахунки необхідно повторювати для кожної із частот в частотному діапазоні, для якого проводиться аналіз. Для розв'язку такого типу задач зручнішими є методи, що ґрунтуються на аналізі у часовій області. При їх застосуванні, можливо отримати характеристики пристрою відразу у всій смузі частот шляхом застосування перетворення Фур'є до часового відгуку системи.

Одним із найбільш популярних методів аналізу у часовій області є метод скінчених різниць, що застосовується для розв'язку різноманітних задач електродинаміки. Враховуючи, що аналіз проводиться у часовій області, шляхом застосування імпульсів різної форми, з використанням даного методу можна проводити дослідження пристроїв із різною робочою смугою частот. Частотні характеристики, при цьому, отримуються шляхом застосування дискретного перетворення Фур'є до часового відгуку системи.

Метод скінчених інтегралів FIT (Finite Intergation Technique) є одним із найпотужніших інструментів чисельного моделювання широкого спектру структур по трьох основних причинах: по-перше, цей метод може бути застосований у всьому частотному діапазоні, від постійного струму до високих частот. По-друге, даний метод легко застосовується до електрично складних конструкцій. По-третє, метод скінчених інтегралів підходить не тільки для будь-якого типу решіток, але й використовує різні способи дискретизації при моделюванні. Даний метод відрізняється своєю універсальністю, оскільки може бути реалізований як у часовий, так і в частотній області моделювання, а також не накладає обмежень на тип сітки дискретизації простору.

Одним із розповсюджених методів часового аналізу НВЧ пристроїв і антен є метод лінії передач (MTL – Method of Telegraph Lines), який базується на аналогії між поширенням електромагнітних хвиль і поширенням електричних імпульсів у лініях передачі та дуже схожий за можливостями до методу скінчених різниць у часовій області. Даний метод потребує більше обчислювальних затрат, проте при розв'язанні задач, де має місце складна геометрія, дає кращі результати.

Таблиця 1

Чисельні методи аналізу та прикладні програми, в яких вони застосовуються

№ з/п	Чисельний метод	Система моделювання
1	Метод моментів МоМ (Method of Moments)	FEKO, HFSS, MMANA, EDF-EME
2	Метод скінчених елементів FEM (Finite Element Method)	FEKO, HFSS, CST MWS, EMPPro
3	Гібридний метод моментів/скінчених елементів МоМ/FEM	FEKO, ANSYS HFSS
4	Багаторівневий метод моментів MLFMM (Multilevel Fast Multipole Method)	FEKO, EDF-EME
5	Метод фізичної оптики PO (Physical Optics)	FEKO, HFSS, Emit (SES), Savant (SES), XGtd, EDF-EME
6	Гібридний метод Моментів/Фізичної оптики МоМ/PO	FEKO, EDF-EME
7	Метод геометричної оптики GO (Geometrical Optic)	Emit (SES), Savant (SES), XGtd
8	Гібридний метод Моментів/Геометричної оптики МоМ/GO	FEKO
9	Метод однорідної теорії дифракції UTD (Unitform Theory of Diffraction)	FEKO, HFSS, Emit (SES), Savant (SES), XGtd, EDF-EME
10	Гібридний метод Моментів/однорідної теорії дифракції МоМ/UTD	FEKO, EDF-EME
11	Метод геометричної теорії дифракції GTD (Geometrical Theory of Diffraction)	EDF-EME
12	Метод скінчених різниць в часовій області FDTD (Finite Difference Time Domain)	FEKO, CST MWS, ANSYS HFSS, EMPPro
13	Метод скінчених інтегралів FIT (Finite Intergation Technique)	CST MWS, ANTENNA MAGUS
14	Дискретний метод Гальоркіна DGTD (Discontinuous Galerkin Time Domain)	ANSYS HFSS
15	Метод ідеального граничного наближення PBA (Perfect Boundary Approximation)	CST MWS
16	Метод інтегральних рівнянь FE-BI (Intergal Eguation Method Solve)	ANSYS HFSS
17	Метод падаючого і віддзеркаленого променів SBR (Shooting and Bouncing Ray)	Signa (SES)
18	Метод еквівалентних струмів MEC (Method of Equivalent Currents)	XGtd
19	Метод фізичної теорії дифракції PTD (Physical Theory of Diffraction)	EDF-EME
20	Метод інструментальної теорії дифракції ITD (Instrumental Theory of Diffraction)	EDF-EME

Додатково можна виділити ще ряд методів, що застосовуються для розв'язку специфічних задач: дискретний метод Гальоркіна (DGTD – Discontinuous Galerkin Time Domain), який застосовується для розв'язку задач з імпульсним джерелом збудження; ідеальне граничне наближення (PBA – Perfect Boundary

Approximation), що застосовується як метод апроксимації для ідеальних граничних умов, для поліпшення моделювання об'ємних структур довільної геометричної форми; метод інтегральних рівнянь (FE-BI – Integral Equation Method Solve); метод падаючого і відбитого променів (SBR – Shooting and Bouncing Ray); метод еквівалентних струмів (MEC – Method of Equivalent Currents); метод на основі фізичної теорії дифракції (PTD – Physical Theory of Diffraction); інструментальна теорія дифракції (ITD – Instrumental Theory of Diffraction); метод допоміжних джерел (MAS – Method of Auxiliary Sources).

В табл. 1 наведено перелік методів чисельного розв'язку електродинамічних задач та прикладних програм моделювання НВЧ пристроїв і антен, в яких вони застосовуються.

На рис. 2 наведена графічна ілюстрація інтенсивності застосування різних методів чисельного аналізу в прикладних програмах моделювання НВЧ структур та антен.

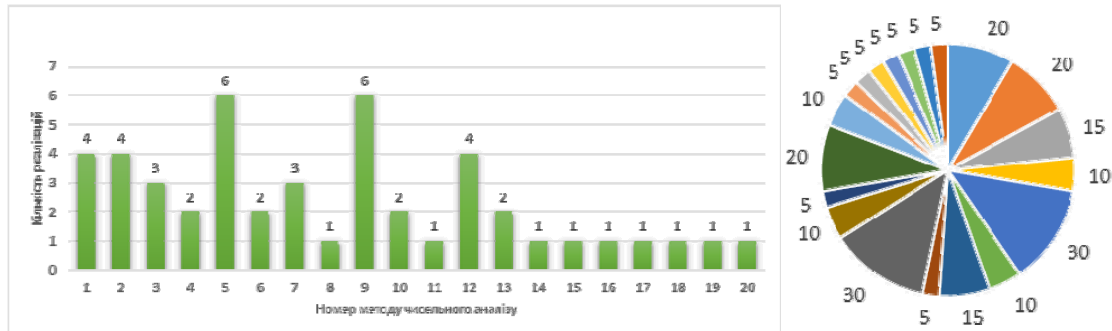


Рис. 2. Діаграма інтенсивності застосування методів чисельного аналізу в прикладних програмах моделювання

З наведених даних можна дійти висновку, що певні підходи більш популярні за інші, проте, це хибна думка. Хоча всі без винятку програми електродинамічного моделювання мають свою практичну спрямованість, в них інтегруються додаткові засоби візуалізації результатів, для отримання яких більш зручними є певні методи. При цьому, обчислювальне ядро системи будується на методі чисельного аналізу, який є найбільш ефективним для класу задач, для розв'язку яких розробляється система.

Для підтвердження цього, варто розглянути функціональні можливості сучасних програм моделювання НВЧ структур і антен.

FEKO (FEldberechnung bei Körpern mit beliebiger Oberfläche) призначена для проведення розрахунку електромагнітного поля тіл довільної форми (рис. 3) [2, 11].

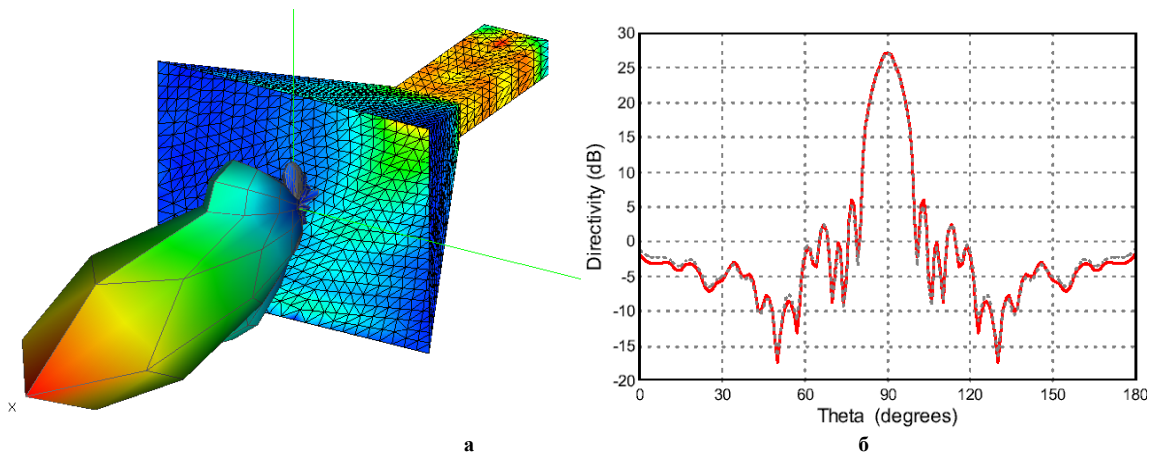


Рис. 3. Візуалізація результатів моделювання рупорної антени в системі моделювання FEKO

Дає змогу проводити аналіз випромінювання широкого класу антен (рупорних, мікросмужкових, дрових, рефлекторних, конформних, широкодіапазонних антен і антенних решіток), включаючи розрахунок і аналіз діаграм спрямованості, небезпечних зон випромінювання, параметрів і характеристик антен, розташованих на об'єктах складної форми (кораблях, літаках, бронемашинах, тощо). Аналіз електромагнітної сумісності, включаючи ефективність екранування, міжкабельне проходження сигналів за складних граничних умов, аналіз шкідливих факторів електромагнітного випромінювання. Система включає широкий набір інструментів радіочастотного аналізу НВЧ компонентів: аналіз хвильових структур, зокрема, фільтрів, щілинних антен, спрямованих відгалужувачів; аналіз трьохмірних електромагнітних кіл: мікросмужкових фільтрів, відгалужувачів, індукторів.

Дана система, завдяки своїй зручності та широкому спектру задач, що розв'язуються, знайшла широке застосування в лабораторних практикумах з дисциплін, що спрямовані на вивчення НВЧ техніки і антен.

ANSYS HFSS (High Frequency System Simulator). Пакет програм для тривимірного

електромагнітного моделювання і розробки височастотних радіоелектронних і антенних пристроїв [6, 11]. На рис. 4 представлено візуалізацію результатів розрахунків рупорної антени в програмі ANSYS HFSS.

До основних можливостей ANSYS HFSS можна віднести моделювання тривимірного електромагнітного поля довільних провідних і випромінюючих структур, розрахунок матричних параметрів НВЧ структури (S, Y, Z матриці), розрахунок коефіцієнту стоячої хвилі (КСХ) в задачах аналізу ліній передач, розрахунок параметрів випромінювання і розсіювання (діаграми спрямованості, коефіцієнти спрямованої дії, підсилення антен, ЕПР тощо). Дана програма має широкий набір інструментів візуалізації результатів аналізу у вигляді 3D розподілу струмів, векторів щільності потоку потужності, розподілів електромагнітних полів (у близькій і далекій зонах).

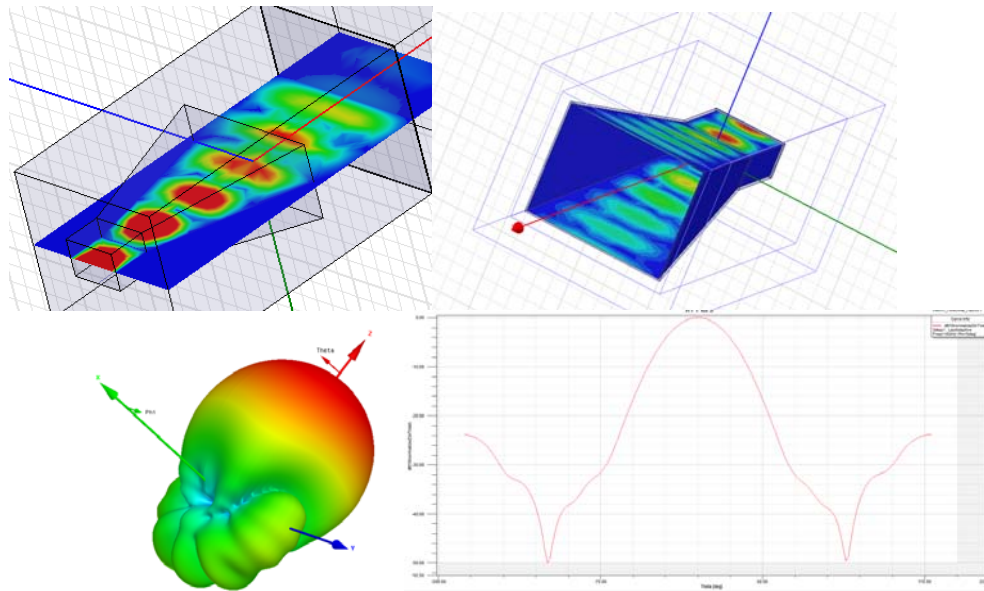


Рис. 4. Візуалізація результатів моделювання рупорної антени в системі моделювання ANSYS HFSS

Однією з вагомих переваг даної програми, є можливість використання різних плагінів-конструкторів [9], що значно спрощує процес створення моделей. Як приклад, на рис. 5 наведено інтерфейс програми HFSS Antenna Design Kit, використання якої дає змогу без значних зусиль створювати геометрію великої кількості антен для подальшого моделювання в ANSYS HFSS.

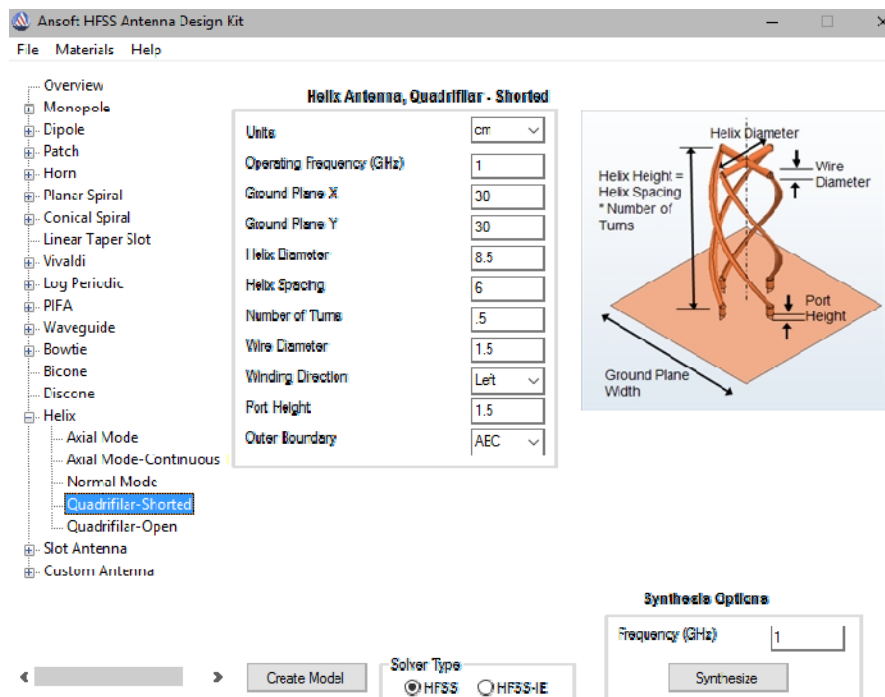


Рис. 5. Інтерфейс програми HFSS Antenna Design Kit

μWaveWizard поєднує в собі гнучкість 2D/3D методу скінченних елементів з швидкістю і точністю традиційних методів узгодження мод. Простий процес складання складних НВЧ-структур з використанням основних блоків виключає необхідність створення повної 3D моделі всієї структури і прискорює процес

проекування [3]. На рис. 6 наведено приклад моделювання НВЧ фільтру та його результати у вигляді амплітудно-частотної характеристики.

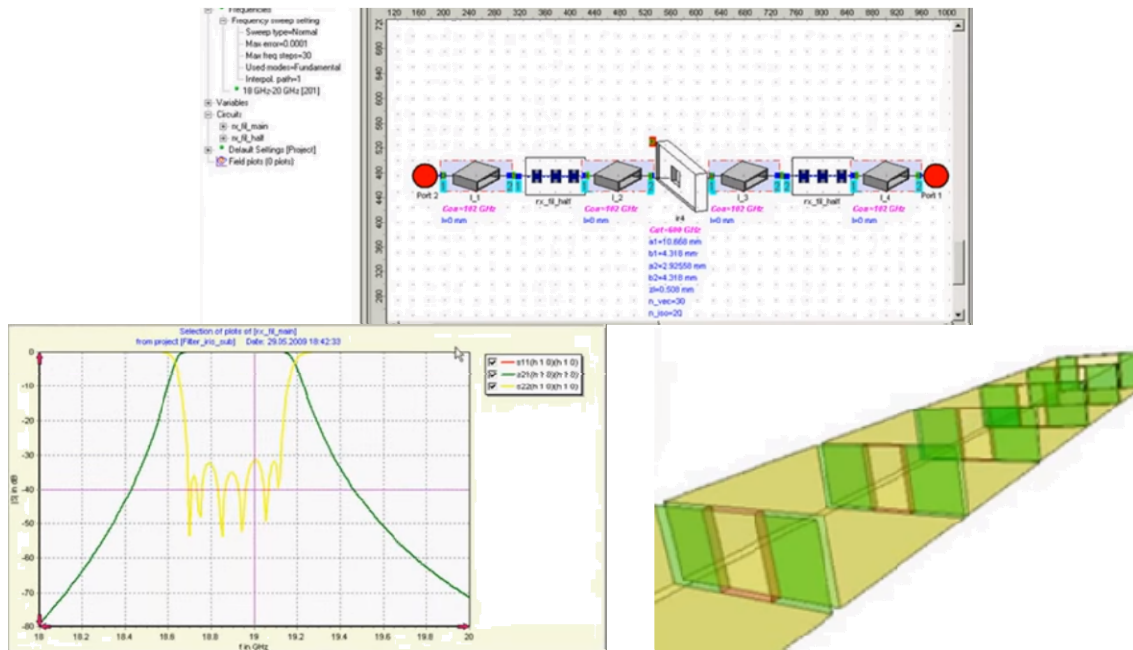


Рис. 6. Моделювання НВЧ фільтру

MMANA (Macato Mori Antenna Analyzer). За допомогою MMANA можливі розрахунки і аналіз антен (рис. 7), реалізованих як довільний набір тонких проводів заданого діаметра.

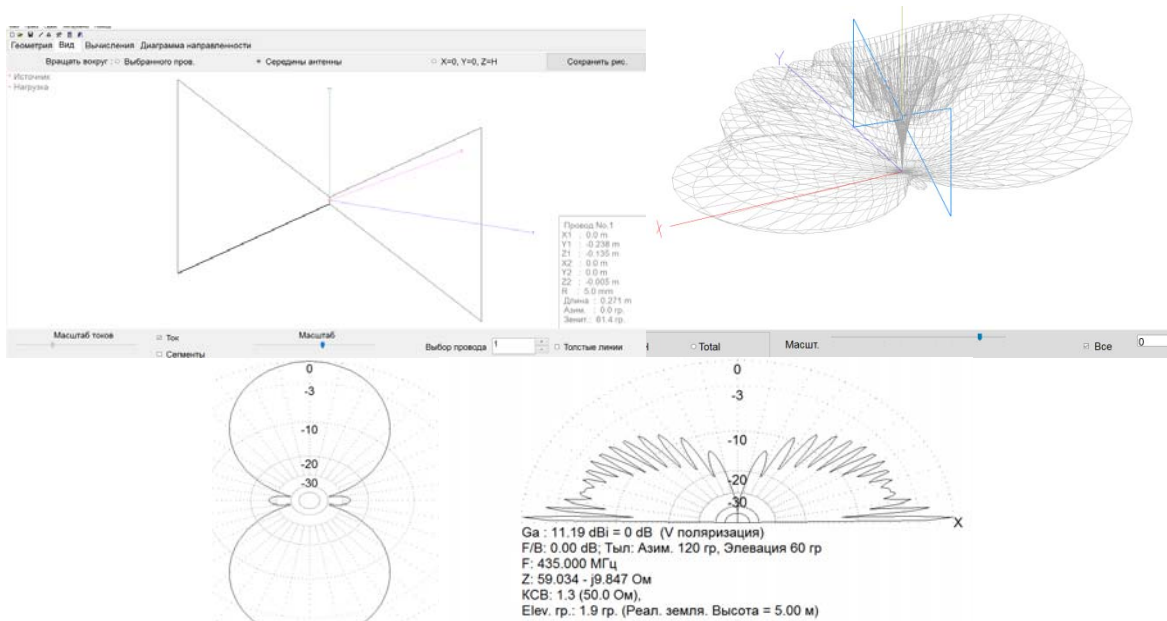


Рис. 7. Результати моделювання антени в програмі MMANA

Програма дає змогу створювати і редагувати конструкцію антени з відрізків заданої товщини, розраховувати діаграми спрямованості антен у вертикальній і горизонтальній площинах, одночасно порівнювати результати моделювання декількох антен, редагувати конструкцію кожного елемента антени, включаючи можливість змінювати форму елемента без зміни його резонансної частоти. За допомогою програми можна здійснювати автоматичну оптимізацію антени, гнучко налаштовуючи $Z_{вх}$, КСХ, підсилення, мінімум вертикального кута випромінювання, відображаючи ці параметри у вигляді графіків, зберігати всі кроки оптимізації у вигляді окремої таблиці. Також програма дає змогу автоматично розраховувати кілька типів узгоджувальних пристроїв, виконувати розрахунки котушок, контурів, узгоджувальних пристроїв на LC елементах, узгоджувальних пристроїв на відрізках довгих ліній, індуктивності і ємності, а також виконаних з відрізків коаксіального кабелю.

Sonnet Suites. Пакет програм Sonnet Suites призначений для електромагнітного моделювання планарних НВЧ структур [4]: смужкових і мікросмужкових ліній, копланарних хвилеводів, одно-

багатошарових друкованих плат, що включають перехідні отвори різних конфігурацій, вертикальних мікросмушкових ліній, а також антен.

CST MICROWAVE STUDIO (CST MWS). Призначена для чисельного моделювання тривимірних високочастотних пристроїв (антен, фільтрів, відгалужувачів, планарних багатошарових структур) [10].

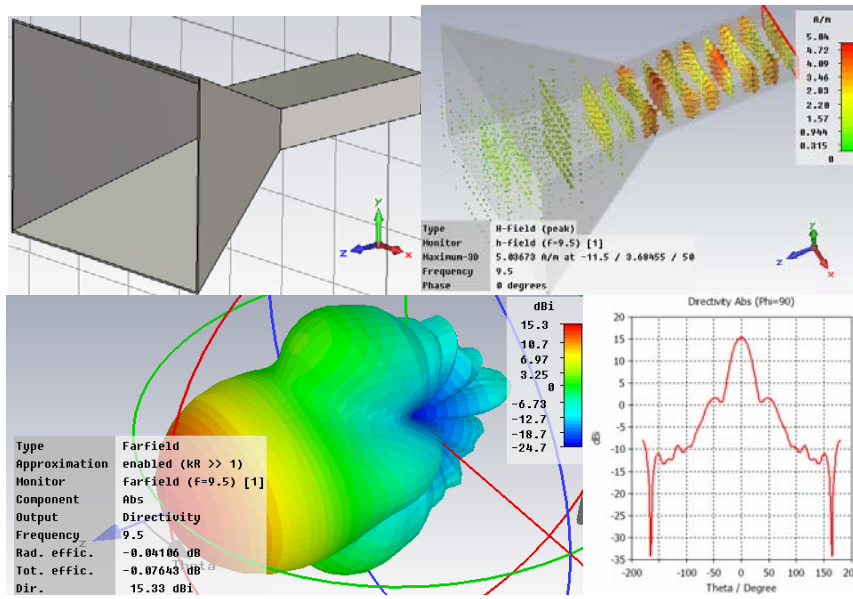


Рис. 8. Результати моделювання антени в програмі CST MWS

Дана програма (рис. 8) дає змогу моделювати хвилеводи, хвилеводні і мікросмушкові направлені відгалужувачі потужності, дільники і суматори потужності, хвилеводні, мікросмушкові і діелектричні фільтри, одно- і багатошарові мікросмушкові структури, лінії передачі, коаксіальні і багатовивідні з'єднувачі, коаксіально-хвилеводні коаксіально-смушкові переходи, оптичні хвилеводи і комутатори, різні типи антен: рупорні, спіральні, планарні тощо. На рис. 6 представлено результати моделювання рупорної антени.

AWR Microwave Office. Представляє собою універсальну систему моделювання всіх видів радіочастотних і НВЧ пристроїв, починаючи від складних НВЧ вузлів і закінчуючи інтегральними НВЧ мікросхемами [5].

Antenna Magus. Містить велику базу даних (рис. 9) по більш ніж 250 видах антенних і фідерних пристроїв, що розроблені за заданими параметрами підсилення, смуги пропускання і ширини діаграми спрямованості, причому для того або іншого параметра синтезується оптимальна конфігурація обраного виду пристрою [1].



Рис. 9. Інтерфейс програми Antenna Magus

Варто зазначити, що наявні моделі антен проходять випробування і процедуру верифікації для підтвердження їх коректності відповідно до широкого набору технічних вимог до антен. Програма дає можливість будувати 2D і 3D графіки електродинамічних характеристик, крім того, створену модель можна експортувати в програмне забезпечення Feko, CST MWS.

Electromagnetic Professional (EMPro). Програма платформа електромагнітного тривимірного моделювання призначена для аналізу об'ємних електромагнітних ефектів різних електронних компонентів, включаючи корпуси високошвидкісних і високочастотних мікросхем, з'єднувальні лінії, антени, внутрішньосхемні і зовнішні пасивні елементи, з'єднання друкованих плат.

Signa+Emit+Savant (SES). Singa – програмне забезпечення для аналізу в радіолокаційному діапазоні, забезпечує швидкий і точний прогноз для розрахунків полів у далекій зоні. Має можливість генерування

профілів дальності на основі виявлення істотних особливостей розсіювання. Emit – програмне забезпечення, призначене для аналізу електромагнітної сумісності радіоелектронних систем. Savant – програмне забезпечення, що вирішує завдання електромагнітної сумісності і електромагнітної безпеки.

XGtd. Призначена для високочастотного електромагнітного моделювання полів дальньої зони і параметрів розсіювання, аналізу електромагнітних випромінювань і перешкод, властивостей поглинаючих матеріалів на електрично-великих об'єктах. Програма дає змогу візуалізувати електромагнітні характеристики в 2D і 3D.

EDF-EME. Програмне середовище електромагнітного моделювання кораблів. Оперує тривимірною моделлю корабля. Дає змогу виконувати розрахунки не тільки електромагнітної обстановки і рівнів електромагнітної сумісності радіоелектронних засобів, але й проводити оцінку електромагнітної безпеки промислових і біологічних об'єктів, радіоелектронної помітності корабля, проводячи розрахунки його ефективної площі розсіювання, у тому числі з урахуванням впливу підстилаючої морської поверхні.

OptenniLab. Спеціалізоване програмне забезпечення (рис. 10), призначене для автоматичного синтезу кіл узгодження НВЧ пристроїв, оцінки максимально допустимої смуги робочих частот антен і розрахунків гіршого випадку розв'язки між декількома антенами в системі.

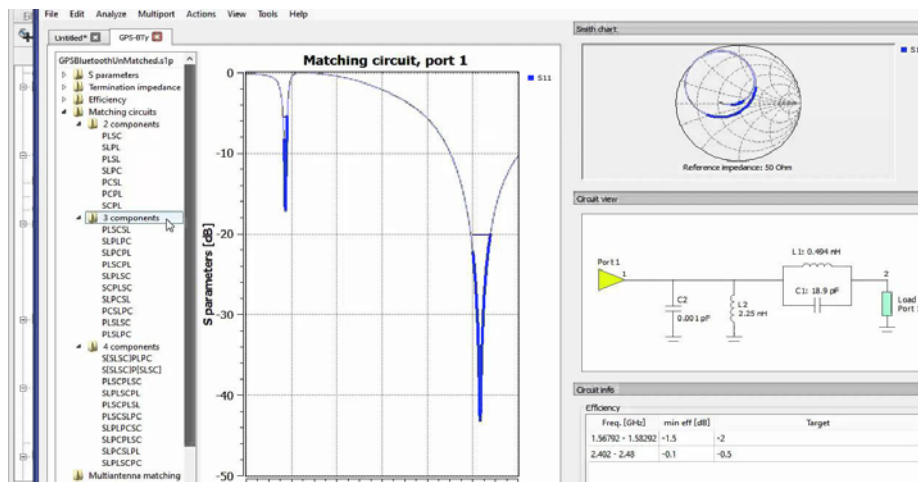


Рис. 10. Моделювання узгоджувального пристрою в програмі Optenni Lab

Висновки

В цілому можна підсумувати, що характер задачі визначає математичні методи, які найкраще підходять для розрахунків і обумовлює вибір середовища моделювання. На сьогоднішній день, спектр середовищ моделювання охоплює всі практичні задачі електродинамічного аналізу, в тому числі і задачі навчального характеру. Це далеко не повний перелік програм електродинамічного моделювання, оскільки існує ще велика кількість вузькоспеціалізованих систем побудованих на основі різних чисельних методів, в тому числі і не розглянутих в статті.

Література

1. Introducing Antenna Magus [Електронний ресурс]. – 2019. – Режим доступу : http://moasoftware.co.kr/download/Antenna_Magus.pdf.
2. Сайт компанії «EMSS», розробника комплексу програм FEKO [Електронний ресурс]. – Режим доступу : www.emss.de.
3. Сайт програми FEKO [Електронний ресурс]. – Режим доступу : www.feko.info
4. Сайт компанії-розробника програми μ WaveWizard [Електронний ресурс]. – Режим доступу : www.mician.com.
5. Сайт компанії-розробника програми SonnetSuites [Електронний ресурс]. – Режим доступу : www.sonnetsoftware.com.
6. Сайт компанії-розробника програми AWR Microwave Office [Електронний ресурс]. – Режим доступу : www.web.awrcorp.com/Usa/Products/Microwave-Office
7. Сайт компанії «Ansoft» – розробника програми HFSS Ansoft [Електронний ресурс]. – Режим доступу : www.ansoft.com
8. Анализ функциональных возможностей систем моделирования электродинамических характеристик морских радиоэлектронных средств [Електронний ресурс]. – 2019. – Режим доступу : <https://docplayer.ru/64341114-Analiz-funkcionalnyh-vozmozhnostey-sistem-modelirovaniya-elektrodinamicheskikh-harakteristik-morskih-radioelektronnyh-sredstv.html>.
9. Сучасні методи аналізу, синтезу і оптимізації пристроїв надвисоких частот та антен : методичні рекомендації для студентів напряму підготовки 6.050901 «Радіотехніка» / Д. О. Василенко. – К. : НТУУ «КПІ», РТФ, 2015. – 61 с.

10. Курушин А. А. Проектирование СВЧ устройств в среде CST MicrowaveStudio / А. А. Курушин, А.Н. Пластиков. – М. : Издательство МЭИ, 2010.

11. Банков С.Е. Расчет антенн и СВЧ структур с помощью HFSS Ansoft / С.Е. Банков, А.А. Курушин. – М. : ЗАО «НПП «РОДНИК», 2009.

References

1. Introducing Antenna Magus [Elektronnyi resurs]. – 2019. – Rezhym dostupu : http://moassoftware.co.kr/download/Antenna_Magus.pdf.
2. Sait kompanii «EMSS», rozrobnyka kompleksu prohram FEKO [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : www.emss.de.
3. Sait prohramy FEKO [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : www.feko.info
4. Sait kompanii-rozrobnyka prohramy μ WaveWizard [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : www.mician.com.
5. Sait kompanii-rozrobnyka prohramy SonnetSuites [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : www.sonnetsoftware.com.
6. Sait kompanii-rozrobnyka prohramy AWR Microwave Office [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : www.web.awrcorp.com/Usa/Products/Microwave-Office
7. Sait kompanii «Ansoft» – rozrobnyka prohramy HFSS Ansoft [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : www.ansoft.com
8. Analiz funkcionalnyh vozmozhnostey sistem modelirovaniya elektrodinamicheskikh harakteristik morskih radioelektronnyh sredstv [Elektronnij resurs]. – 2019. – Rezhim dostupu : <https://docplayer.ru/64341114-Analiz-funkcionalnyh-vozmozhnostey-sistem-modelirovaniya-elektrodinamicheskikh-harakteristik-morskih-radioelektronnyh-sredstv.html>.
9. Suchasni metody analizu, syntezy i optymizatsii prystroiv nadvysokykh chastot ta anten : metodychni rekomendatsii dlia studentiv napriamu pidgotovky 6.050901 «Radiotekhnika» / D. O. Vasylenko. – K. : NTUU «KPI», RTF, 2015. – 61 s.
10. Kurushin A. A. Proektirovanie SVCh ustrojstv v srede CST MicrowaveStudio / A. A. Kurushin, A.N. Plastikov. – M. : Izdatelstvo MEI, 2010.
11. Bankov S.E. Raschet antenn i SVCh struktur s pomoshyu HFSS Ansoft / S.E. Bankov, A.A. Kurushin. – M. : ZAO «NPP «RODNIK», 2009.

Рецензія/Peer review : 11.06.2019 р.

Надрукована/Printed : 23.07.2019 р.
Рецензент: д.т.н., проф. В.В. Мартинюк

МЕТОД АВТОМАТИЗОВАНОГО ФОРМУВАННЯ ТЕСТОВИХ ЗАВДАНЬ

У статті розглянуто метод автоматизованого створення тестових завдань до навчальних матеріалів, який не вимагає додаткової формалізації навчальних матеріалів та використовує продукційну модель представлення знань для подання правил формування тестових завдань. В результаті використання методу автоматизованого формування тестових завдань створюється множина тестових завдань, що різні за параметрами й можуть бути використані для перевірки рівня засвоєння знань за допомогою існуючих навчальних середовищ та систем тестування. Створені тестові завдання розрізняються за такими параметрами, як тип запитання, кількість правильних відповідей, правило продукції, за яким сформоване тестове завдання, терміни, які використовуються в завданні тощо. Множина тестових завдань до навчальних матеріалів містить тестові завдання, що семантично, структурно та параметрично рівномірно охоплюють відповідний вхідний навчальний матеріал. Важливою рисою розробленого методу є прив'язка створених тестових завдань до всіх рівнів семантичної структури інформаційного навчального матеріалу, що забезпечує його повне покриття та надає можливість проведення адаптивного контролю рівня одержаних знань. Вхідними даними методу автоматизованого створення тестових завдань є контент інформаційного навчального матеріалу чи його визначеного елементу структури та відповідна множина ключових термінів. Вихідними даними є множина тестових завдань, а також множини зв'язків – між заголовками та тестовими завданнями, між ключовими термінами та тестовими завданнями. Для роботи методу необхідна множина правил продукції тестових завдань, створених окремо і заздалегідь.

Оскільки правила продукції застосовуються для всіх рівнів семантичної структури навчальних матеріалів, забезпечується повне покриття початкового матеріалу. Автоматизація процесу формування тестових завдань забезпечує суттєве скорочення часу на розробку тестових завдань. Дані, що містяться у моделі, дають можливість проведення адаптивного контролю рівня одержаних знань.

Ключові слова: тестування, навчальні матеріали, тестові завдання, тести, ключові терміни.

O. MAZURETS

Khmelnytskyi National University

METHOD FOR AUTOMATED TEST TASKS CREATION

The article considers the method of automated creation of test tasks for educational materials, which does not require additional formalization of educational materials and uses the production model of knowledge representation to represent the rules of creation of test tasks. As a result of the method of automated creation of test tasks, many test tasks are created, which are different in parameters and can be used to test the level of knowledge through existing educational environments and testing systems. The created test tasks differ in such parameters as the type of question, the number of correct answers, the rule of production according to which the test task is created, the terms used in the task etc. The set of test tasks for educational materials contains test tasks that semantically, structurally and parametrically cover the corresponding input educational material. An important feature of the developed method is the binding of the created test tasks to all levels of the semantic structure of the educational material, which ensures its complete coverage and allows for the adaptive control of the level of acquired knowledge. The inputs data of method of automated creation of test tasks for educational materials is the content of the information educational material or its defined structure element, and the corresponding set of key terms. The output is a set of test tasks, as well as a set of relationships - between titles and test tasks, between key terms and test tasks. The method data requires of method is the set of production rules of test tasks, created separately and in advance. With the use of information technology to fill all the sets of the model of the semantic structure of educational course, two methods are used consistently: the method of forming the structure of educational materials and of key terms search and the method of automated generation of prototypes of test tasks. Since the product rules are applied to all levels of the semantic structure of educational materials, full coverage of the educational material is provided. Automation of the process of formation of test tasks provides a significant reduction of time for the development of test tasks. The data contained in the model provide an opportunity for adaptive control of the level of knowledge gained.

Keywords: testing, educational materials, test tasks, tests, key terms.

Постановка проблеми в загальному вигляді

Важливу роль у вирішенні проблеми ефективного контролю рівня засвоєних знань, яка постає з розвитком нових технологій та підвищенням ступеня інформатизації суспільства і освіти, відіграють комп'ютерні засоби перевірки знань. Одним з основних способів контролю знань у навчальних інформаційних системах залишається комп'ютерне тестування [1]. Інформаційні технології дають можливість суттєво зменшити трудові затрати на створення тестових завдань з можливістю їх постійного оновлення, що формує актуальний напрямок наукових досліджень.

До навчального курсу дисципліни зазвичай включається інформаційний навчальний матеріал (ІНМ) як основний носій інформації в навчальному курсі й тестовий навчальний матеріал (ТНМ), призначений для визначення рівня засвоєння ІНМ. ТНМ містить тестові завдання різної складності, які дозволяють оцінити рівень засвоєння ІНМ, виявити прогалини в знаннях, причини неправильних дій суб'єкта, що вивчає навчальний курс. В умовах вузької спеціалізації курсів навчальних дисциплін, їх чисельності та інтенсивного оновлення, єдиним шляхом забезпечення курсів навчальних дисциплін репрезентативним та дискримінативним тестовим діагностичним матеріалом є автоматизація формування множин тестових завдань.

Аналіз останніх досліджень

Різноманітним аспектам тестування, розробки та застосування навчальних і тестувальних середовищ за сучасними інформаційними технологіями, питанням розробки програмних систем перевірки рівня знань присвячено багато праць вітчизняних і закордонних авторів: Аванесова В. С., Пасічника В. В., Пасічника Р. М., Тонкононого В. М., Башмакова І. А., Гагаріна О. О. Більшість з них здійснювали дослідження в сфері проведення тестувань, наповнення бази тестових завдань за допомогою засобів підтримки ручного створення тестових завдань, оцінки складності тестових завдань, безпеки процесу тестування та відтворення результатів.

Серед відомих засобів автоматизації формування тестових завдань необхідно відзначити метод параметризованих задач, метод генерації тестових завдань за понятійно-тезисною моделлю, а також метод генерації тестових завдань за формалізацією структурованих текстових тверджень. Дослідженням в напрямку автоматизації формування тестових завдань присвячено багато наукових публікацій, серед яких варто виділити роботи таких науковців як Снитюка В. Е. [1], Титенко С. В. [2], Мельника А. М. [3]. Розроблені рішення є ефективними для використання у визначених випадках, проте вимагають суттєвої і трудомісткої попередньої підготовки інформаційного навчального матеріалу. Це є складною задачею, проте в деяких випадках, наприклад формуванні математичних задачах для методу параметризованих тестів, безальтернативною [4]. Все ж, значна частина контенту інформаційного навчального матеріалу багатьох курсів навчальних дисциплін містить переважно текстовий контент, який характеризується послідовністю й семантичною зв'язністю подання. Ця ознака відриває шлях до розробки методу автоматизованого формування тестових завдань, який не вимагає суттєвої попередньої обробки інформаційного навчального матеріалу.

В попередніх публікаціях було розглянуто розроблену інформаційну технологію автоматизованого створення тестів до навчальних матеріалів [5] як комплексний інструмент для автоматизованого формування тестових завдань, що призначена для перетворення вхідних даних у вигляді електронного документу навчальних матеріалів у вихідні дані у вигляді множини тестових завдань та необхідних для проведення адаптивного тестування метаданих. Також було висвітлено складові інформаційної технології й супровідних досліджень. Зокрема, розроблено інформаційну модель семантичної структури навчального курсу [6], яка є формальним поданням ІНМ та ТНМ навчального курсу дисципліни та призначена для використання при реалізації відповідних прикладних програмних систем, дозволяючи проводити автоматизоване формування наборів тестових завдань й забезпечуючи максимально рівномірне і широке охоплення набором тестових завдань семантики навчального матеріалу. Запропоновано підходи до програмного аналізу структури ІНМ [7], до формування моделі структури ІНМ [8]. Визначено переваги використання алгоритму, що базується на дисперсійному аналізі електронних текстів [9], для оцінки семантичної важливості слів у контенті ІНМ [10]. Розроблено метод автоматизованого формування сортованих множин ключових термінів ІНМ [11].

Постановка задачі

Метою роботи є розробка методу автоматизованого формування тестових завдань до навчальних матеріалів, який не вимагає додаткової формалізації навчальних матеріалів та використовує продукційну модель представлення знань для подання правил формування тестових завдань. Вихідними даними методу є множина тестових завдань та метадані, необхідні для прив'язки створених тестових завдань до рівнів семантичної структури навчальних матеріалів, що забезпечує повне покриття навчального матеріалу та надає можливість проведення адаптивного контролю рівня одержаних знань.

Викладення основних матеріалів дослідження

Метод автоматизованого формування тестових завдань до навчальних матеріалів як складова інформаційної технології автоматизованого створення тестів до навчальних матеріалів виконує визначення елементів ряду множин інформаційної моделі семантичної структури навчального курсу. Інформаційна модель семантичної структури навчального курсу [6] є цілісним поданням семантичної структури навчального курсу, формалізація моделі проводиться шляхом подання частини елементів навчального курсу як множини сутностей (заголовків, ключових термінів, тестових завдань, зв'язків). Зокрема, метод формування тестових завдань до навчальних матеріалів визначає елементи наступних множин: множини тестових завдань M_{TestEx} , множини зв'язків між заголовками та тестовими завданнями $M_{Rel:H-TE}$, множини зв'язків між ключовими термінами та тестовими завданнями $M_{Rel:T-TE}$.

Кожен елемент множини тестових завдань $m_{TestEx} \in M_{TestEx}$ є кортежем вигляду:

$$m_{TestEx} = (ID, Type, TEContent, Answers), \quad (1)$$

де ID – унікальний ідентифікатор елемента, $Type$ – тип питання, $TEContent$ – контент власне тестового завдання, $Answers$ – кількість відповідей.

Кожен елемент множини зв'язків між заголовками та тестовими завданнями $m_{Rel:H-TE} \in M_{Rel:H-TE}$ є кортежем наступного вигляду:

$$m_{Rel:H-TE} = (3, Obj1, Obj2, Cont), \quad (2)$$

де 3 – ідентифікатор даного типу зв'язків; $Obj1$ – перша сутність з співвідношення, елемент множини заголовків $M_{Heading}$; $Obj2$ – друга сутність з співвідношення, елемент множини M_{TestEx} ; $Cont$ – числовий показник номеру використаного речення.

Кожен елемент множини зв'язків між ключовими термінами і тестовими завданнями $m_{Rel:T-TE} \in$

$M_{Rel:T-TE}$ є кортежем наступного вигляду:

$$m_{Rel:T-TE} = (4, Obj1, Obj2, Loc), \tag{3}$$

де 4 – ідентифікатор даного типу зв'язків; $Obj1$ – перша сутність з співвідношення, елемент множини ключових термінів M_{Term} ; $Obj2$ – друга сутність з співвідношення, елемент множини M_{TestEx} ; Loc – числовий показник, що одержуються в результаті використання методу автоматизованого формування тестових завдань й є вказівником на тип або місце використання терміну в тестовому завданні.

Процедурні знання чи правила є набором певних процедур для перетворення знань як даних. Модель продукції найкраще відображає процедурний характер знань. Основним конструктивним елементом такої моделі є правило продукції, яке можна подати так: *ЯКЩО* <умова> *ТО* <висновок чи дія>, тобто правило складається з умовної та дієвої частини. Умовою (антецедентом) є деяке речення-шаблон, за яким здійснюється пошук, а дією (консеквентом) – алгоритм перетворення речення в контент складових тестового завдання, що виконуються при успішних результатах пошуку (рис. 1).

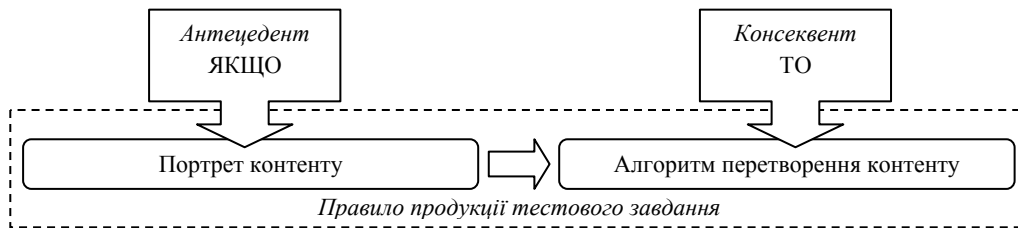


Рис. 1. Схема продукційного правила для формування прототипів тестових завдань

Прикладом продукційного правила для генерації прототипу тестових завдань може бути подане на рис. 2. В даному випадку, антецедент визначає три вимоги до речення, у випадку одночасного виконання яких правило активується. При застосуванні антецеденту використовуються активний термін та множина сполучних фрагментів. Консеквент визначає послідовність дій із чотирьох кроків, необхідну для формулювання контенту тестового завдання. При застосуванні консеквенту використовуються контент речення, активний термін та множина ключових термінів для даного фрагменту тексту.

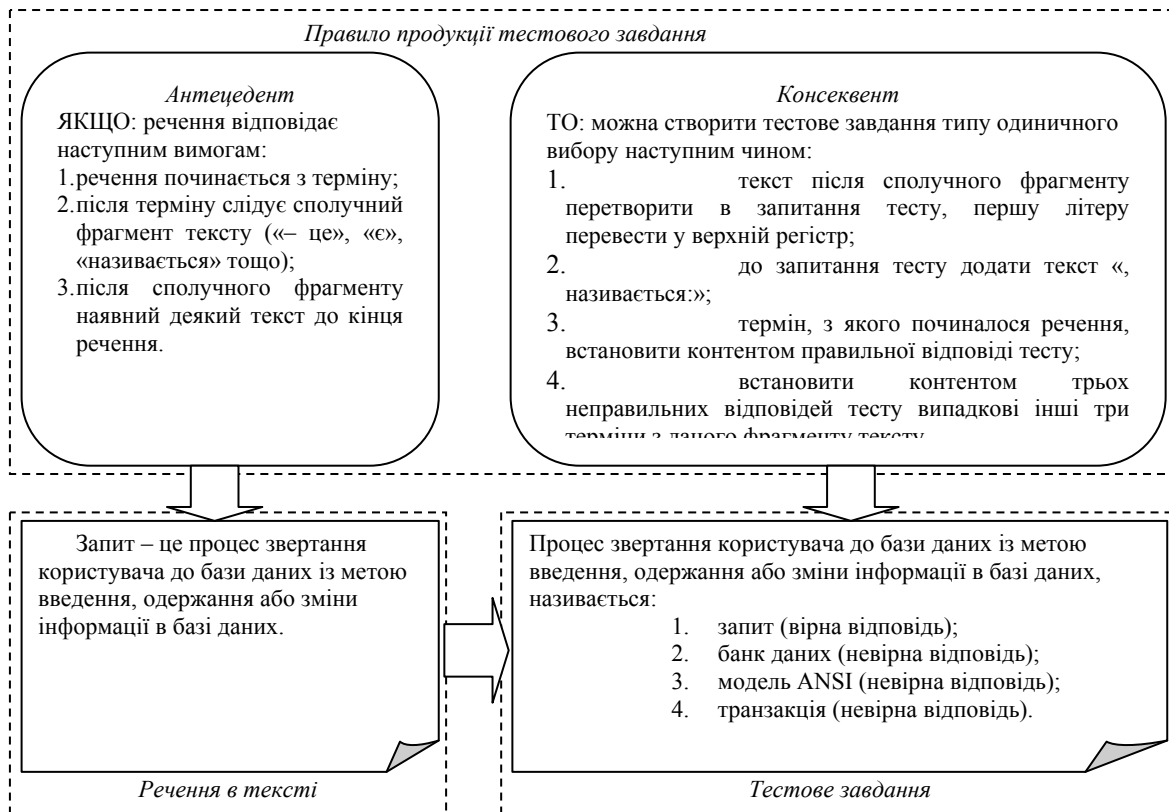


Рис. 2. Приклад продукційного правила для генерації прототипів тестових завдань

Таким чином, множина правил продукції M_{Rule} є основним механізмом для створення тестових завдань. Кожне правило продукції тестових завдань $\forall m_{Rule} \in M_{Rule}$ є кортежем із двох елементів – антецедента та консеквента, які формують імплікацію:

$$m_{Rule} = (a \Rightarrow c), \tag{4}$$

де a – антецедент правила, c – консеквент правила.

Схему методу автоматизованого формування тестових завдань подано на рис. 3. Вхідними даними методу автоматизованого формування тестових завдань є контент інформаційного навчального матеріалу чи його визначеного елементу структури $M_{Heading}$ та відповідна множина ключових термінів $M_{Term} \cup M_{Rel:H-T}$; вихідними даними є множина тестових завдань M_{TestEx} , а також множини зв'язків – між заголовками та тестовими завданнями $M_{Rel:H-TE}$ і між ключовими термінами та тестовими завданнями $M_{Rel:T-TE}$. Для роботи методу необхідна множина правил продукції тестових завдань M_{Rule} , створених окремо і заздалегідь.

Спершу (Блок 1) шляхом парсингу контенту обраного елементу ІНМ (атрибут $HContent$ кортежів множини $M_{Heading}$) формується множина фрагментів M_S , кожен з яких є реченням або в деяких випадках (наприклад, переліках) – множиною речень. Фрагменти локалізують потенційний контент для створення окремих тестових завдань.

Для створення множини тестових завдань G (Блок 2) кожен елемент $m_S \in M_S$ з кожної рубрики документу $m_{Heading} \in M_{Heading}$ перевіряється на наявність кожного ключового терміну $m_{Term} \in M_{Term}$, зіставленого даній рубриці $m_{Term} \cap M_{Rel:H-T} \neq \emptyset$. Якщо термін m_{Term} присутній в фрагменті m_S , то проводиться перебір правил продукції M_{Rule} на предмет відповідності умови (антецедента) правила. Кожен випадок відповідності $\exists(\forall m_{S,i} \cap \forall m_{Term,j} \cap \forall m_{Rule,k} \neq \emptyset)_x$ має наслідком автоматичне створення нового тестового завдання g_x . Дієва частина правила продукції (консеквент) визначає алгоритм перетворення контенту фрагменту m_S у тестове завдання g .

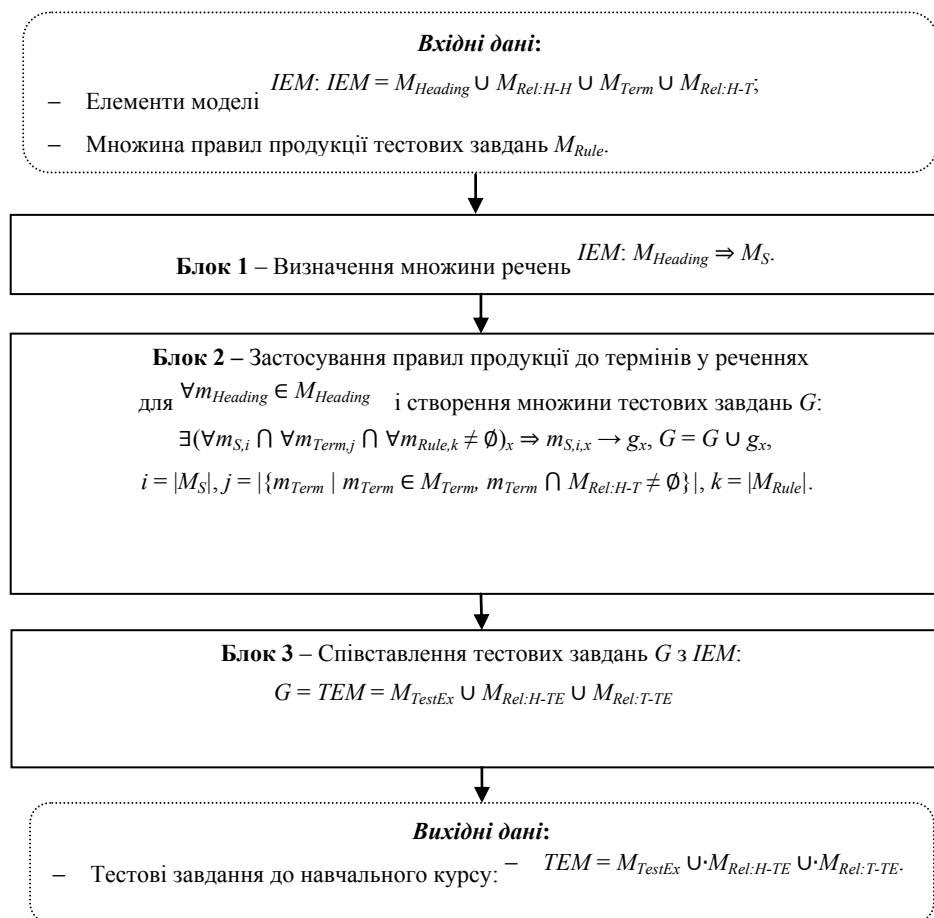


Рис. 3. Загальна схема методу автоматизованого формування тестових завдань

Шляхом перебору фрагментів, термінів та правил продукції виконується пошук відповідності антецедента обраного правила в фрагменті контенту ІНМ. Якщо відповідність встановлено – відповідно до консеквента даного правила формується нове тестове завдання, перевіряється на наявність мінімальної для даного типу тестових завдань кількості необхідних елементів, й додається до множини тестових завдань M_{TestEx} . Після чого (Блок 3) формуються відповідні зв'язки як елементи множини зв'язків між заголовками та тестовими завданнями $M_{Rel:H-TE}$ й множини зв'язків між ключовими термінами та тестовими завданнями $M_{Rel:T-TE}$.

Вихідними даними методу автоматизованого формування тестових завдань є всі атрибути елементів множин ТНМ: $G = TEM = M_{TestEx} \cup M_{Rel:H-TE} \cup M_{Rel:T-TE}$.

Кожне тестове завдання має множину відповідей, кожна з яких має параметри: контент відповіді, оцінка відповіді. Оцінка відповіді визначається автоматично з наступного розрахунку. Якщо максимальний

баз за правильну відповідь на тестове завдання рівний B , а кількість правильних відповідей N_{True} , то кожна правильна відповідь отримує бал $B_{True} = B/N_{True}$. Відповідно, якщо кількість хибних відповідей N_{False} , то кожна хибна відповідь отримує бал $B_{False} = -B/N_{False}$.

Для покращення згенерованих тестових завдань передбачена можливість ручного коригування контенту кожного одержаного тестового завдання та автоматизованого коригування загальної кількості тестових завдань.

Дискусія

Запропонований метод автоматизованого формування тестових завдань, не втрачаючи переваг ручного методу (контроль рівномірності покриття контенту навчальних матеріалів, контроль повноти уваги до семантичних термінів, контроль рівномірності уваги до семантичних термінів, можливість використання тесту для адаптивного тестування), зберігає переваги існуючих методів формування тестових завдань (низькі трудозатрати для підготовки контенту навчальних матеріалів та висока швидкість формування множини тестових завдань). Також можна відзначити наступні властивості методу:

- оскільки правила продукції застосовуються для всіх рівнів семантичної структури навчальних матеріалів, забезпечується повне покриття начального матеріалу;
- автоматизація процесу формування тестових завдань забезпечує суттєве скорочення часу на розробку тестових завдань;
- метадані тесту, що містяться у моделі (тестові завдання, зв'язки) дають можливість проведення адаптивного контролю рівня одержаних знань.

Перевагами представлення алгоритмів формування тестових завдань у вигляді продукційних правил є:

- Модульність (окремі продукційні правила можуть бути додані до БЗ, видалені чи відредаговані незалежно від інших).
- Наглядність та однаковість структури.
- Простота створення та розуміння окремих правил.
- Простота механізму логічного виведення.

Недоліками представлення алгоритмів формування тестових завдань у вигляді продукційних правил є:

- Низька ефективність обробки, оскільки більша частина часу витрачається на перевірку можливості застосування правил.
- Відсутність гнучкості при логічному виведенні.
- Складність оцінки цілісного образу знань з тієї чи іншої предметної області.
- При великій кількості продукційних правил достатньо складно відстежити несуперечливість та повноту бази знань.

Застосування обмеженої кількості тегів для формалізації правил продукції призводить до громіздких виразів у антецеденті та консеквенті правила, розширення множини тегів приводить до пропорційного ускладнення алгоритмів інтерпретації тегів та збільшенню часу на перевірку можливості застосування правил.

Висновки

В статті розглянуто метод автоматизованого формування тестових завдань до навчальних матеріалів, який не вимагає додаткової формалізації навчальних матеріалів та використовує продукційну модель представлення знань для подання правил формування тестових завдань. В результаті використання методу автоматизованого формування тестових завдань отримують множину тестових завдань, що різні за параметрами (тип запитання, кількість правильних відповідей, правило за яким сформоване тестове завдання, терміни які використовуються в завданні тощо) й можуть бути використані для перевірки рівня засвоєння знань за допомогою існуючих навчальних середовищ та систем тестування. Множина містить тестові завдання, що семантично, структурно та параметрично рівномірно охоплюють відповідний вхідний ІНМ.

Важливою рисою розробленого методу є прив'язка створених тестових завдань до всіх рівнів семантичної структури ІНМ, що забезпечує його повне покриття та надає можливість проведення адаптивного контролю рівня одержаних знань.

Література

1. Снитюк В. Е. Интеллектуальное управление оценкой знаний / В. Е. Снитюк, К. Н. Юрченко. – Черкассы, 2013. – 262 с.
2. Титенко С. В. Автоматизации построения тестовых заданий в системах дистанционного обучения на основе понятийно-тезисной модели / С. В. Титенко // Educational Technology & Society. – 2013. – 16 (1). – P. 482–499.
3. Melnyk A. System of semantic classes for test's generation / A. Melnyk, R. Pasichnyk // Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science. Proceedings of the International Conference. TCSET'2010. – Lviv-Slavsko, Ukraine, 2010. – P. 206–207.
4. Кліменко В. І. Аналіз сучасних методів генерації тестових завдань / В.І. Кліменко, О.В. Мазурець

// Збірник наукових праць за матеріалами десятої міжнародної науково-технічної конференції «Актуальні проблеми комп'ютерних технологій 2016». – Хмельницький, 2016. – С. 77–84.

5. Мазурець О. В. Інформаційна технологія автоматизованого створення тестів до навчальних матеріалів / О. В. Мазурець // Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки. – Хмельницький, 2019. – № 4 (275). – С. 84–91.

6. Бармак О. В. Інформаційна модель семантичної структури навчального курсу / О. В. Бармак, О. В. Мазурець // Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки. – Хмельницький, 2018. – № 6. Т. 1. – С. 92–97.

7. Мазурець О. В. Використання спеціалізованих програмних розширень для автоматизації роботи з цифровими документами навчальних матеріалів / О. В. Мазурець, О. В. Ковальчук, В. О. Слободзян // Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки. – Хмельницький, 2018. – № 1. – С. 61–69.

8. Мазурець О. В. Онтологічний підхід до побудови семантичної моделі навчальних матеріалів / О. В. Мазурець // Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки. – Хмельницький, 2017. – № 6. – С. 223–229.

9. Ландэ Д. В. Компактифіцированный 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.

10. Бармак О. В. Методи автоматизації визначення семантичних термінів у навчальних матеріалах / О. В. Бармак, О. В. Мазурець // Вісник Хмельницького національного університету. Сер.: Технічні науки. – Хмельницький, 2015. – № 2(223). – С. 209–213.

11. Мазурець О. В. Інформаційна технологія автоматизованого визначення семантичних термінів в елементах навчальних матеріалів / О. В. Мазурець // Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки. – Хмельницький, 2018. – № 3. – С. 223–230.

References

1. SNYTYUK, V. E. & YURCHENKO K. N. (2013) Intelligent Management of Knowledge Assessment. Cherkassy.
2. TITENKO, S. V. (2013) Avtomatizatsii Postroyeniya Testovykh Zadaniy v Sistemakh Distantionnogo Obucheniya na Osnove Ponyatiyno-Tezishnoy Modeli. Educational Technology & Society. Issue 16, 2013.
3. MELNYK, A. (2010) System of Semantic Classes for Test's Generation. Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science. Proceedings of the International Conference. TCSET'2010. Lviv-Slavsko, Ukraine. p. 206–207.
4. KLIMENKO, V. I. & MAZURETS, O. V. (2016) Analysis Of Modern Methods For Generation Of Test Tasks // Collection of scientific works on the materials of the Xth international scientific and technical conference "Actual Problems of Computer Technologies 2016". p. 77–84.
5. MAZURETS, O. V. (2019) Information Technology for Automated Test Creation for Educational Materials. Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences, Issue 4, 2019 (275). p. 84–91.
6. BARMAK, O. V. & MAZURETS, O. V. (2018) Information Model of The Semantic Structure of the Educational Course // Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences, Issue 6, Vol.1, 2018 (267). p. 92–97.
7. MAZURETS, O. V., KOVALCHYK, O. V. & SLOBODZIAN, V.O. (2018) Using Specialized Software Packages for Automation of Work with Digital Documents of Educational Materials // Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences, Issue 1, 2018 (257). p. 61–69.
8. MAZURETS, O. V. (2017) Ontological Approach to Building a Semantic Model of Educational Materials. Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences, Issue 6, 2017 (255). p. 223–229.
9. LANDE, D. V. & SNARSKIY, A. A. (2013) Kompaktificirovanniy Gorizontalniy Graf Vidimosti dlya Seti Slov. Trudi Mejdunarodnoy Nauchnoy Konferencii «Intellektualniy Analiz Informacii IAI-2013. Znanija I Rassujdenia». p 158–164.
10. BARMAK, O. V. & MAZURETS, O. V. (2015) Methods of Automation of Definition of Semantic Terms in Educational Materials // Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences, Issue 2, 2015 (223). p. 209–213.
11. MAZURETS, O. V. (2018) Information Technology for Automated Definition of Semantic Terms in the Content of the Elements of Educational Materials. Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences, Issue 3, 2018. p. 223–230.

Рецензія/Peer review : 21.05.2019 р.

Надрукована/Printed : 23.07.2019 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Сорокатиї Р. В.

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ МІКРОЕЛЕКТРОННОГО ВИМІРЮВАЧА ВОЛОГОСТІ З ЧАСТОТНИМ ВИХОДОМ

Розроблено мікроелектронний вимірювач вологості з частотним виходом з вологочутливим резистором HR202. Виконано математичне моделювання характеристик розробленого вимірювача вологості, в тому числі отримано аналітичні вирази для функції перетворення та рівняння чутливості. Досліджено вплив температури на характеристики мікроелектронного вимірювача вологості, в результаті чого встановлено, що зі зростанням температури діапазон відносної вологості та частота генерації розробленого мікроелектронного вимірювача вологості зменшується. Зокрема, найбільшу чутливість вимірювач вологості має при температурі 20 °С, а середнє значення чутливості при температурі 20 °С в діапазоні вимірювання відносної вологості 20÷95% дорівнює 45 кГц/%. Результати моделювання підтверджено отриманими експериментальними даними.

Ключові слова: вимірювач вологості, вологочутливий резистор, функція перетворення, рівняння чутливості.

A. V. OSADCHUK, L. V. KRYLIK, O. O. SELETSKA

Vinnitsia National Technical University

MATHEMATICAL SIMULATION OF THE MICROELECTRONIC MEASUREMENT DEVICE OF HUMIDITY WITH A FREQUENCY OUTPUT SIGNAL

A microelectronic humidity meter with a frequency output signal that includes humidity-sensitive resistor HR202 has been developed. The self-oscillating meter is developed using a transistor structure with negative resistance based on field-effect double-gate and bipolar transistors. Negative differential resistance, which is formed by parallel connection of the inductance and the impedance with a capacitive component on the electrodes of the emitter and collector of the bipolar transistor, causes the occurrence of electrical oscillations in the circuit. The voltage divider is formed by two resistors, one of which is moisture-sensitive. In addition, the electric power supply of field-effect and bipolar transistors depends on the magnitude of the variation of the resistance in the moisture-sensitive resistor with a changing of the humidity in the studied environment. The protective capacitor prevents the flowing of AC through a direct voltage source. Consequently, at the moisture-sensitive resistor, the capacitive component of the impedance of the electrodes emitter and collector of the bipolar transistor is changing, that results to an effective change in the frequency of the oscillatory circuit. Mathematical simulation of the measuring device is carried out, that enabled to obtain the analytical expressions of the transfer function and the sensitivity equation. It has been experimentally and theoretically determined that the range of relative humidity and the generation frequency of the developed microelectronic humidity meter decreases, with increasing temperature. The developed humidity meter has the highest sensitivity at a temperature of 20 °C. The average sensitivity at a temperature of 20 °C within the range of measuring relative humidity of 20 ÷ 95% is 45 kHz /%.

Keywords: meter of humidity, humidity sensitive resistor, transfer function, equation of sensitivity.

Вступ

Відомо, що вологість відіграє істотну роль у кожній частині Землі в біології та автоматизованих виробничих процесах. Для того, щоб мати бажану атмосферу навколишнього середовища, необхідно контролювати, визначати та регулювати вологість навколишнього середовища в різних умовах, при зміні значень температури від низьких до високих, або в сумішах з іншими газами, за допомогою точних та непрямих сенсорів. Насправді необхідність захисту навколишнього середовища призвела до розширення різноманітності розробок сенсорів вологості на основі використання фізико-хімічних методів за наявності органічних, неорганічних або гібридних матеріалів. Прогрес сенсорних систем вологості включає в себе значні зусилля щодо покращення розробок перетворювача, зокрема його чутливих елементів, конструктивного рішення, принципу дії та технології виготовлення [1–6]. У зв'язку з цим ключовими характеристиками для досягнення потрібної величини ефективності, оптимізації поверхні, простоти процесу виробництва та інвестиційних витрат є матеріали перетворювача, а також наявність відповідних технологій виробництва, вільний вибір геометричних властивостей приладу.

Використання первинних перетворювачів вологості в частотних пристроях, в яких вологість перетворюється у частоту, дозволяє значно підвищити чутливість та точність вимірювання, спростити схеми подальшої обробки інформації. А застосування принципу перетворення «вологість – частота» на основі транзисторних структур з від'ємним опором, дає змогу виключити використання АЦП при обробці сигналів, що знижує собівартість систем контролю та управління, дозволяє підвищити не тільки чутливість, а й точність перетворення інформативного сигналу – відносної вологості навколишнього середовища в частоту [7–10].

Отже, розробка та впровадження їх в практику на тепер є актуальною задачею.

Теоретичні та експериментальні дослідження

Метою дослідження є розробка нового мікроелектронного вимірювача вологості з частотним виходом з вологочутливим резистором на основі органічного полімеру (рис. 1) [11], а також вплив нового схемотехнічного рішення та температури досліджуваного середовища на чутливість до вимірювального параметра та діапазон вимірювання відносної вологості.

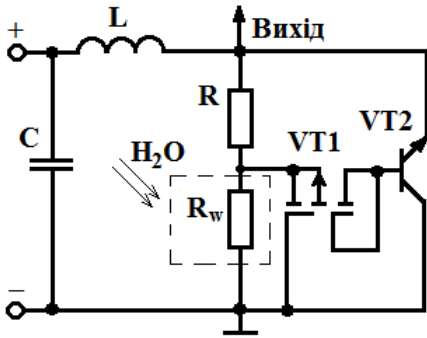


Рис. 1. Електрична схема мікроелектронного вимірювача вологості з частотним виходом

Автогенераторний вимірювач розроблено на основі транзисторної структури з від’ємним опором на основі польового двозатворного транзистора VT1 та біполярного транзистора VT2. Від’ємний диференціальний опір, який утворений паралельним включенням повного опору з емісною складовою на електродах емітер та колектор біполярного транзистора VT2 та індуктивності L, приводить до виникнення електричних коливань в контурі. Дільник напруги утворюють два резистора, один з яких вологочутливий R_w . Крім того, електричне живлення польового VT1 та біполярного транзисторів VT2 залежить від величини зміни опору вологочутливого резистора R_w зі зміною вологості досліджуваного середовища. Обмежувальний конденсатор C запобігає проходженню змінного струму через джерело постійної напруги. При наступній дії вологи на

вологочутливий резистор R_w змінюється емісна складова повного опору на електродах емітер та колектор біполярного транзистора VT2, що викликає ефективну зміну частоти коливального контуру.

Експериментальним зразком слугував вологочутливий резистор HR202 на основі органічного полімеру. Дослідження і вивчення полімерних сенсорів вологості тривали протягом останніх чотирьох десятиліть та використовувались в промисловості. Більшість з цих сенсорів розроблялись на основі тонких плівок пористих полімерів [2] та застосовують принципи реєстрації, подібні до принципів сенсорів на основі металооксидних керамічних сенсорів. Робота сенсорів ґрунтується на фізичному та хімічному поглинанні води плівками та конденсації в присутності капілярних пор, а отже, і зміні деяких фізичних та електричних властивостей перетворювача. Величина зміни об’ємної провідності або діелектричної проникності залежить від внутрішніх властивостей.

На основі електричної схеми мікроелектронного вимірювача вологості з частотним виходом (рис. 1) з вологочутливим резистором HR202, використовуючи метод Ляпунова [12], по колу позитивного зворотного зв’язку отримано рівняння, на основі якого визначено аналітичний вираз функції перетворення:

$$F = \frac{\pi \cdot R_w(W) \cdot C_{eb} \cdot C_{ds} \cdot C_{gs2} \pm \sqrt{\pi^2 \cdot R_w^2(W) \cdot C_{eb}^2 \cdot C_{ds}^2 \cdot C_{gs2}^2 + H_1 - H_2 + H_3 + H_4 + H_5}}{4 \cdot \pi^2 \cdot L \cdot R_w(W) \cdot C_{eb} \cdot C_{ds} \cdot C_{gs2}}, \quad (1)$$

$$\text{де } H_1 = 4 \cdot \pi^2 \cdot R_w^2(W) \cdot L \cdot C_{eb} \cdot C_{ds}^2 \cdot C_{gs2}^2;$$

$$H_2 = 4 \cdot \pi^2 \cdot L^2 \cdot C_{eb}^2 \cdot C_{ds}^2;$$

$$H_3 = 4 \cdot \pi^2 \cdot L \cdot R_w^2(W) \cdot C_{eb}^2 \cdot C_{ds} \cdot C_{gs2}^2;$$

$$H_4 = L \cdot C_{eb} \cdot C_{ds}^2 + L \cdot C_{eb}^2 \cdot C_{ds};$$

$$H_5 = 4 \cdot \pi^2 \cdot L \cdot R_w^2(W) \cdot C_{eb}^2 \cdot C_{ds} \cdot C_{gs2}.$$

У вище наведених аналітичних виразах використовувались такі позначення: $R_w(W)$ – вологочутливий резистор; L – індуктивність коливального контура; C_{eb} – ємність р-п-переходу емітер-база; C_{ds} – ємність стік-витік; C_{gs} – ємність затвор-витік.

Використовуючи вираз (1) теоретично розраховано та експериментально досліджено функції перетворення розробленого мікроелектронного вимірювача вологості з частотним виходом з вологочутливим резистором HR202 для різних значень температур досліджуваного середовища (рис. 2).

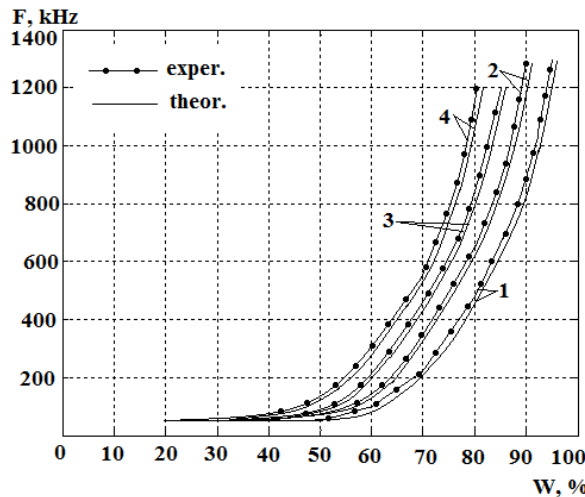


Рис. 2. Експериментальні та теоретичні залежності частоти генерації від зміни відносної вологості повітря мікроелектронного вимірювача вологості з частотним виходом з вологочутливим резистором HR202: 1 – T=20 °C; 2 – T=30 °C; 3 – T=40 °C; 4 – T=50 °C

З рис. 2 видно, що температура суттєво впливає на діапазон відносної вологості досліджуваного середовища. Із зростанням температури діапазон відносної вологості досліджуваного середовища та частота генерації розробленого мікроелектронного вимірювача вологості зменшується. Діапазони зміни частоти генерації розробленого мікроелектронного вимірювача вологості з частотним виходом (рис. 1) та відносної вологості досліджуваного середовища набувають таких значень:

- 1250 кГц ($T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $W = 20 \div 95\%$);
- 1250 кГц ($T = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$, $W = 20 \div 90\%$);
- 1150 кГц ($T = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$, $W = 20 \div 85\%$);
- 1150 кГц ($T = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$, $W = 20 \div 80\%$).

Аналітичний вираз рівняння чутливості (2) нового схмотехнічного рішення визначено на основі рівняння (1):

$$S_W^F = \frac{\pi \cdot C_{eb} \cdot C_{ds} \cdot C_{gs2} \left(\frac{\partial R_W(W)}{\partial W} \right) \pm \frac{D_1 \cdot \left(\frac{\partial R_W(W)}{\partial W} \right) + D_2 \cdot \left(\frac{\partial R_W(W)}{\partial W} \right) + D_3 \cdot \left(\frac{\partial R_W(W)}{\partial W} \right) + D_4 \cdot \left(\frac{\partial R_W(W)}{\partial W} \right)}{\sqrt{\pi^2 \cdot R_W^2(W) \cdot C_{eb}^2 \cdot C_{ds}^2 \cdot C_{gs2}^2 + H_1 - H_2 + H_3 + H_4 + H_5}} - \frac{\pi \cdot R_W(W) \cdot C_{eb} \cdot C_{ds} \cdot C_{gs2} \pm \sqrt{\pi^2 \cdot R_W^2(W) \cdot C_{eb}^2 \cdot C_{ds}^2 \cdot C_{gs2}^2 + H_1 - H_2 + H_3 + H_4 + H_5} \left(\frac{\partial R_W(W)}{\partial W} \right)}{4 \cdot \pi^2 \cdot L \cdot R_W(W) \cdot C_{eb} \cdot C_{ds} \cdot C_{gs2}}, \quad (2)$$

де $D_1 = \pi^2 \cdot R_W(W) \cdot C_{eb}^2 \cdot C_{ds}^2 \cdot C_{gs2}^2$; $D_2 = 4 \cdot \pi^2 \cdot L \cdot R_W(W) \cdot C_{eb} \cdot C_{ds}^2 \cdot C_{gs2}^2$;

$D_3 = 4 \cdot \pi^2 \cdot L \cdot R_W(W) \cdot C_{eb}^2 \cdot C_{ds} \cdot C_{gs2}^2$; $D_4 = 4 \cdot \pi^2 \cdot L \cdot R_W(W) \cdot C_{eb} \cdot C_{ds}^2 \cdot C_{gs2}$.

На рис. 3 подано експериментальні та теоретичні залежності чутливості від зміни відносної вологості та температури досліджуваного середовища розробленого мікроелектронного вимірювача вологості з частотним виходом з вологочутливим резистором HR202.

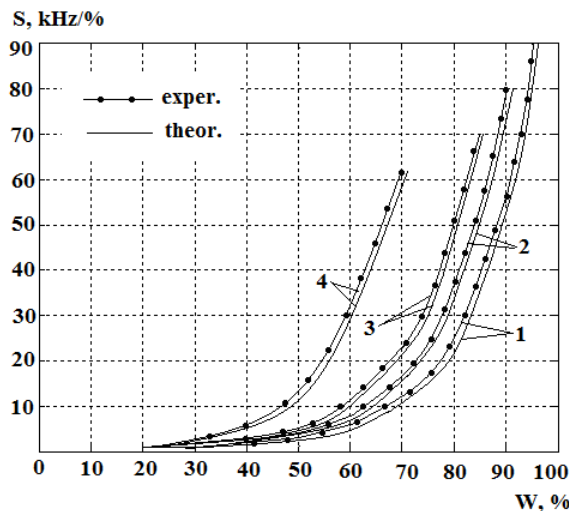


Рис. 3. Експериментальні та теоретичні залежності чутливості від зміни відносної вологості повітря мікроелектронного вимірювача вологості з частотним виходом з вологочутливим резистором HR202: 1 – $T=20\text{ }^{\circ}\text{C}$; 2 – $T=30\text{ }^{\circ}\text{C}$; 3 – $T=40\text{ }^{\circ}\text{C}$; 4 – $T=50\text{ }^{\circ}\text{C}$

З рис. 3 видно, що чутливість розробленого вимірювача вологості з вологочутливим резистором HR202:

- в діапазоні вимірювання $W = 20 \div 95\%$ при $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ змінюється від 1 до 90 кГц/%;
- в діапазоні вимірювання $W = 20 \div 90\%$ при $T = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ змінюється від 1 до 80 кГц/%;
- в діапазоні вимірювання $W = 20 \div 85\%$ при $T = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ змінюється від 1 до 70 кГц/%;
- в діапазоні вимірювання $W = 20 \div 80\%$ при $T = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ змінюється від 1 до 65 кГц/%;

Отже, можна зробити висновок, що нова розробка має найбільшу чутливість до вимірювального параметра – вологості при $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Висновки

Розроблено мікроелектронний вимірювач вологості з частотним виходом з вологочутливим резистором HR202. Проведено математичне моделювання розробки, на основі якого визначено аналітичні вирази функції перетворення та рівняння чутливості. Експериментально та теоретично встановлено, що

температура суттєво впливає на діапазон відносної вологості досліджуваного середовища. Із зростанням температури діапазон відносної вологості та частота генерації розробленого мікроелектронного вимірювача вологості зменшується. Найбільшу чутливість вимірювач вологості має при $T = 20^\circ\text{C}$. Середнє значення чутливості при $T = 20^\circ\text{C}$ в діапазоні вимірювання $W = 20 \pm 95\%$ дорівнює $45 \text{ кГц}/\%$.

Аналіз проведених теоретичних і експериментальних досліджень показав, що математична модель описує поведінку мікроелектронного вимірювача вологості з частотним виходом з похибкою $\pm 1,5\%$.

Література

1. Bozhi, Yang. Compliant and Low-cost Humidity Sensors using Nano-porous Polymer Membranes / Bozhi Yang, Burak Aksak, Qiao Lin, Metin Sitti // Appeared in Sensors and Actuators B: Chemical. – 30 March 2006. – Vol. 114. – № 1. – P. 254–262.
2. Hamid, Farahani. Humidity Sensors Principle, Mechanism, and Fabrication Technologies: A Comprehensive Review / Hamid Farahani, Rahman Wagiran, Mohd Nizar Hamidon // Sensors. – 2014. – № 14. – P. 7881–7939. doi: 10.3390/s140507881.
3. Mario, Pelino. Principles and applications of ceramic humidity sensors / Mario Pelino, Carlo Cantalini // Active and Passive Elec. Comp. – 1994. – Vol. 16. – P. 69–87.
4. Ashis, Tripathy. Design and Development for Capacitive Humidity Sensor Applications of Lead-Free Ca,Mg,Fe,Ti-Oxides-Based Electro-Ceramics with Improved Sensing Properties via Physisorption / Ashis Tripathy, Sumit Pramanik, Ayan Manna, Satyanarayan Bhuyan, Nabila Farhana Azrin Shah, Zamri Radzi, Noor Azuan Abu Osman // Sensors. – 2016. – № 16. – P. 1135. doi:10.3390/s16071135.
5. Nathan, Lazarus. CMOS-MEMS Capacitive Humidity Sensor / Nathan Lazarus, Sarah S. Bedair, Chiung-C. Lo, and Gary K. Fedder // Journal of microelectromechanical system. – february 2010. – Vol. 19. – № 1. – P. 183–191. doi: 10.1109/JMEMS.2009.2036584.
6. Zhi, Chen. Humidity Sensors: A Review of Materials and Mechanisms / Zhi Chen, Chi Lu // Sensor Letters. – 2005. – Vol. 3. – P. 274 – 295. doi:10.1166/sl.2005.045.
7. Бабаян Р. Р. Преобразователи неэлектрических величин с частотным выходом / Р. Р. Бабаян // Приборы и системы управления. – 1996. – № 11. – С. 24 – 26.
8. Реактивні властивості транзисторів і транзисторних схем : монографія / [В. С. Осадчук, О. В. Осадчук]. – Вінниця : «УНІВЕРСУМ – Вінниця», 1999. – 275 с.
9. Мікроелектронні частотні перетворювачі на основі транзисторних структур з від'ємним опором : монографія / [О. В. Осадчук]. – Вінниця : «УНІВЕРСУМ – Вінниця», 2000. – 303 с.
10. Сенсори вологості : монографія / [В. С. Осадчук, О. В. Осадчук, Л. В. Крилик]. – Вінниця : «УНІВЕРСУМ – Вінниця», 2003. – 208 с.
11. Пат. № 116661 України. МПК(2017.01) G01N 27/00. Пристрій для вимірювання вологості / Осадчук В. С., Осадчук О. В., Крилик Л. В., Селецька О. О., Мартинюк В. В., Білилівська О. П. – № u2016 13449 ; заявл. 27.12.2016 ; опубл. 25.05.2017. Бюл. № 10.
12. Каяцкас А. А. Основы радиоэлектроники / Каяцкас А. А. – М. : Высшая школа, 1988. – 464 с.

References

1. Bozhi, Yang. Compliant and Low-cost Humidity Sensors using Nano-porous Polymer Membranes / Bozhi Yang, Burak Aksak, Qiao Lin, Metin Sitti // Appeared in Sensors and Actuators B: Chemical. – 30 March 2006. – Vol. 114. – № 1. – P. 254–262.
2. Hamid, Farahani. Humidity Sensors Principle, Mechanism, and Fabrication Technologies: A Comprehensive Review / Hamid Farahani, Rahman Wagiran, Mohd Nizar Hamidon // Sensors. – 2014. – № 14. – P. 7881–7939. doi: 10.3390/s140507881.
3. Mario, Pelino. Principles and applications of ceramic humidity sensors / Mario Pelino, Carlo Cantalini // Active and Passive Elec. Comp. – 1994. – Vol. 16. – P. 69–87.
4. Ashis, Tripathy. Design and Development for Capacitive Humidity Sensor Applications of Lead-Free Ca,Mg,Fe,Ti-Oxides-Based Electro-Ceramics with Improved Sensing Properties via Physisorption / Ashis Tripathy, Sumit Pramanik, Ayan Manna, Satyanarayan Bhuyan, Nabila Farhana Azrin Shah, Zamri Radzi, Noor Azuan Abu Osman // Sensors. – 2016. – № 16. – P. 1135. doi:10.3390/s16071135.
5. Nathan, Lazarus. CMOS-MEMS Capacitive Humidity Sensor / Nathan Lazarus, Sarah S. Bedair, Chiung-C. Lo, and Gary K. Fedder // Journal of microelectromechanical system. – february 2010. – Vol. 19. – № 1. – P. 183–191. doi: 10.1109/JMEMS.2009.2036584.
6. Zhi, Chen. Humidity Sensors: A Review of Materials and Mechanisms / Zhi Chen, Chi Lu // Sensor Letters. – 2005. – Vol. 3. – P. 274–295. doi:10.1166/sl.2005.045.
7. Babayan R. R. Preobrazovateli neelektricheskikh velichin s chastotnym vyxodom, *Pribory i sistemy upravleniya*. 1996. No. 11, pp. 24–26.
8. Osadchuk V. S., Osadchuk O. V. Reaktyvni vlastyvositi tranzystoriv i tranzystornykh skhem : monohrafiia. Vinnytsia, «UNIVERSUM – Vinnytsia», 1999, 275 p.
9. Osadchuk O. V. Mikroelektronni chastotni peretvoriuvachi na osnovi tranzystornykh struktur z vidiemnym oporom: monohrafiia. Vinnytsia, «UNIVERSUM – Vinnytsia», 2000, 303 p.
10. Osadchuk V. S., Osadchuk O. V., Krylyk L. V. Sensory volohosti: monohrafiia. Vinnytsia, «UNIVERSUM – Vinnytsia», 2003, 208 p.
11. Osadchuk V. S., Osadchuk O. V., Krylyk L. V., Seletska O. O., Martyniuk V. V., Bilylivska O. P. *Prystrii dlia vymiruvannia volohosti*. Pat. No.116661 Ukrainy, MPK (2017.01) G01N 27/00, Issue 10.
12. Kayatskas A. A. Osnovy radyoelektroniki. Moskva, Vysshaya shkola, 1988, p. 464.

Рецензія/Peer review : 22.05.2019 р.

Надрукована/Printed : 23.07.2019 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Петрук В. Г.

В.І. ЛУЖАНСЬКИЙ, Л.В. КАРПОВА, Т.С. ШЕВЧУК
Хмельницький національний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ПОТУЖНОСТІ СИГНАЛУ НА ВХОДІ ПРИЙМАЧА МОБІЛЬНОЇ СТАНЦІЇ ВІД ПАРАМЕТРІВ БАЗОВОЇ СТАНЦІЇ ТА ВИЗНАЧЕННЯ МАКСИМАЛЬНО МОЖЛИВОГО РАДІУСА ЗОНИ ВПЕВНЕНОГО ПРИЙОМУ В МЕРЕЖІ LTE

Наукова стаття присвячена дослідженню впливу основних технічних параметрів базової станції (БС), мобільної станції (МС) та відстані між ними на рівень потужності сигналу, на вході приймача МС в мережах мобільного зв'язку з використанням технології LTE. Наводяться розрахункові формули для визначення максимально можливої відстані (максимального радіуса комірки) між базовою та мобільною станціями залежно від потужності передавача БС, коефіцієнта підсилення антени базової станції, середньої частоти сигналу, висоти антен базової та мобільної станцій за умови мінімально-допустимої потужності сигналу на вході приймача мобільної станції.

Ключові слова: технологія LTE, стандарт 4G, модель Окамури-Хати, технічні параметри базової станції, мінімально допустима потужність сигналу на вході приймача мобільної станції, максимально можлива відстань між БС та МС.

V.I. LUZHANSKIY, L.V. KARPOVA, T.S. SHEVCHUK
Khmelnytskyi National University

INVESTIGATION OF THE SIGNAL POWER DEPENDENCE AT THE MOBILE RECEIVER INPUT FROM THE BASIC STATION PARAMETERS AND THE DEFINITION OF THE MAXIMUM POSSIBLE RADIUS OF THE ADULT ENTRY INTO THE NETWORK OF LTE

Most radio wave propagation models were based on deterministic methods where straight and reflected rays can be described sufficiently accurately. However, in urban environments, where direct visibility between the antennas of the base station (BS) and the mobile station (MS) is usually absent, and instead of a single reflected ray, a larger number of them are observed when the reflected rays are independent, their intensity changes according to random law. Thus, accurate analytical calculation of the radio potential of the radio link for the actual conditions of operation of mobile communication systems is almost impossible, since there are many factors that are poorly mathematical description. The scientific article is devoted to the study of the influence of the basic technical parameters of the base station (BS), mobile station (MS) and the distance between them on the level of signal strength, at the input of the receiver MS in mobile networks using LTE technology. The calculation formulas are used to determine the maximum possible distance (maximum radius of the cell) between the base and mobile stations depending on the power of the BS transmitter, the base station antenna gain, the average signal frequency, the height of the antennas of the base and mobile stations at the minimum input power level mobile station receiver.

Keywords: LTE technology, 4G standard, Okumura-Khaty model, technical parameters of the base station, minimum allowable signal strength at the receiver input of the mobile station, maximum possible distance between the BS and the MS.

Вступ. Протягом останніх тридцяти років процес комунікації між людьми значно змінився та перейшов на значно вищий, у розумінні можливостей, рівень. Розвиток бездротових технологій дозволив користувачам мати зв'язок у будь-якій точці світу. Найближчим часом розвиток бездротових технологій матиме ще більший вплив на спілкування людей та їх взаємодію. Зростання досягнень в галузі досліджень і розробки технологій бездротового зв'язку, збільшення можливостей електронних пристроїв сприяють розповсюдженню послуг для мобільних користувачів. Бездротові мережі стають все більше взаємодіючими, безперервна мобільність в неоднорідних мережах стає основним принципом. Це покоління згадується як четверте покоління (4G).

Технологія LTE (Long-Term Evolution – довгостроковий розвиток) позначається як 4G LTE – стандарт бездротової високошвидкісної передачі даних для мобільних телефонів та інших терміналів.

LTE базується на трьох основних технологіях: мультиплексування шляхом ортогональних несучих OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing), багатоантенні системи MIMO (Multiple Input Multiple Output) і еволюційна системна архітектура мережі (System Architecture Evolution). Стандарт LTE був розроблений консорціумом 3GPP (3rd Generation Partnership Project). Технологія LTE була офіційно визнана бездротовим стандартом зв'язку четвертого покоління 4G Міжнародним союзом електрозв'язку на конференції в Женеві у 2012 р.

Ще однією метою розроблення технології LTE була реконструкція та спрощення архітектури мереж, заснованих на IP, значно зменшити затримки при передачі даних у порівнянні з архітектурою 3G мереж.

Аналіз стану досліджень та публікацій. Більшість моделей розповсюдження радіохвиль базувались на детермінованих методах, коли прямі і відбиті промені можуть бути описані достатньо точно. Однак, в міських умовах, коли пряма видимість між антенами базової станції (БС) і мобільної станції (МС) зазвичай відсутня, і замість одного відбитого променя спостерігається більша їх кількість, коли відбиті промені незалежні, їх інтенсивність змінюється згідно з випадковим законом. Таким чином, точний аналітичний розрахунок енергетичного потенціалу радіолінії для реальних умов функціонування систем

мобільного зв'язку практично неможливий, оскільки існує безліч факторів, що погано піддаються математичному опису.

В таких умовах прийнято використовувати статистичні методи, в основу яких покладено усереднення експериментальних даних. Найбільш відомою є модель Окамури-Хати, яка заснована на графічній і аналітичній апроксимації результатів натурних вимірів.

Постановка задачі. Метою даної статті є дослідження впливу основних параметрів базової станції та відстані між БС та МС на якість зв'язку в системах рухомого радіозв'язку в умовах забудови міста.

Результати дослідження. Мінімальна потужність сигналу на вході приймача мобільної станції при застосуванні технології LTE повинна бути не нижчою $P_{пр.мінМС} = -104,91$ дБм.

Виразимо цю величину у ватах з врахуванням відомого співвідношення $10^{lgN} = N$:

$$10^{lg P_{пр.мінМС}} = -104,91; P_{пр.мінМС} = 3,228 \cdot 10^{-14} \text{ Вт.}$$

Тепер виразимо цю величину у децибел-ватах:

$$P_{пр.мінМС} = 10^{lg 3,228 \cdot 10^{-14}}; P_{пр.мінМС} = -134,91 \text{ дБВт.}$$

Для подальших розрахунків виразимо у децибел-ватах три варіанти вихідної потужності передавача базової станції: 20 Вт (13,01 дБВт); 30 Вт (14,77 дБВт); 40Вт(16,02 дБВт) [1].

Застосуємо відому емпіричну формулу моделі Окамури-Хати для розрахунку середнього рівня сигналу на вході приймача мобільної станції при всеспрямованих антенах БС і МС [2, 3]:

$$P_{прМС} = P_{перБС} + G_{БС} - 69,55 - 26,161 \lg f (MГц) + 13,82 \lg h_{БС} (м) - [45 - 6,55 \lg h_{БС} (м)] \lg r (км), \text{ дБВт}, \quad (1)$$

де $P_{пр.БС}$ – потужність сигналу на виході передавача базової станції; $G_{БС}$ – коефіцієнт підсилення антени базової станції; f – середня частота; $h_{БС}$ – висота антени базової станції; r – відстань від МС до БС.

В даних розрахунках прийнято, що антена МС знаходиться на висоті 1,7 м. На основі формули (1) потужність сигналу на вході приймача МС виражається у ватах, і може бути розрахована за формулою:

$$P_{прМС} = 10^{0,1 P_{перБС}} \cdot 10^{0,1 G_{БС}} \cdot 10^{-6,955} \cdot 10^{-2,616 \lg f} \cdot 10^{1,382 \lg h_{БС}} \cdot 10^{-[4,5 - 0,655 \lg h_{БС}] \lg r}, \text{ Вт.} \quad (2)$$

З урахуванням відомого співвідношення $10^{lgN} = N$, вираз (2) приймає вигляд:

$$P_{прМС} = P_{перБС} \cdot G_{БС} \cdot 10^{-6,955} \cdot f^{-2,616} \cdot h_{БС}^{1,382} \cdot r^{-[4,5 - 0,655 \lg h_{БС}]}, \text{ Вт.} \quad (3)$$

Дані для подальших розрахунків наведені в таблиці 1

Таблиця 1

Дані для розрахунків потужності сигналу на вході приймача МС

r, км					P _{перБС} , дБВт			f, МГц	h _{БС} , м	G _{БС} , дБ
B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅	B ₁	B ₂	B ₃	1800	30	18
1	2	3	4	5	13	14,77	16			

Використовуючи формулу (1), здійснимо розрахунки потужності сигналу на вході приймача МС, коли відстань між БС та МС $r = 1$ км:

$$P_{прМС1.1} = 13+18-69,55-26,161 \lg 1800+13,82 \lg 30-[45-6,55 \lg 30] \lg 1 = -103,29, \text{ дБВт.}$$

$$P_{прМС1.2} = 14,77+18-69,55-26,161 \lg 1800+13,82 \lg 30-[45-6,55 \lg 30] \lg 1 = -101,52, \text{ дБВт.}$$

$$P_{прМС1.3} = 16+18-69,55-26,161 \lg 1800+13,82 \lg 30-[45-6,55 \lg 30] \lg 1 = -100,29, \text{ дБВт.}$$

Розрахуємо потужність сигналу на вході приймача МС, коли відстань між БС та МС $r = 2$ км:

$$P_{прМС2.1} = 13+18-69,55-26,161 \lg 1800+13,82 \lg 30-[45-6,55 \lg 30] \lg 2 = -113,89, \text{ дБВт.}$$

$$P_{прМС2.2} = 14,77+18-69,55-26,161 \lg 1800+13,82 \lg 30-[45-6,55 \lg 30] \lg 2 = -112,12, \text{ дБВт.}$$

$$P_{прМС2.3} = 16+18-69,55-26,161 \lg 1800+13,82 \lg 30-[45-6,55 \lg 30] \lg 2 = -110,89, \text{ дБВт.}$$

Розрахуємо потужність сигналу на вході приймача МС, коли відстань між БС та МС $r = 3$ км;

$$P_{прМС3.1} = 13+18-69,55-26,161 \lg 1800+13,82 \lg 30-[45-6,55 \lg 30] \lg 3 = -120,25, \text{ дБВт.}$$

$$P_{прМС3.2} = 14,77+18-69,55-26,161 \lg 1800+13,82 \lg 30-[45-6,55 \lg 30] \lg 3 = -118,48, \text{ дБВт.}$$

$$P_{прМС3.3} = 16+18-69,55-26,161 \lg 1800+13,82 \lg 30-[45-6,55 \lg 30] \lg 3 = -117,25, \text{ дБВт.}$$

Розрахуємо потужність сигналу на вході приймача МС, коли відстань між БС та МС $r = 4$ км.

$$P_{прМС4.1} = 13+18-69,55-26,161 \lg 1800+13,82 \lg 30-[45-6,55 \lg 30] \lg 4 = -124,49, \text{ дБВт.}$$

$$P_{прМС4.2} = 14,77+18-69,55-26,161 \lg 1800+13,82 \lg 30-[45-6,55 \lg 30] \lg 4 = -122,72, \text{ дБВт.}$$

$$P_{прМС4.3} = 16+18-69,55-26,161 \lg 1800+13,82 \lg 30-[45-6,55 \lg 30] \lg 4 = -121,49, \text{ дБВт.}$$

Розрахуємо потужність сигналу на вході приймача МС, коли відстань між БС та МС $r = 5$ км.

$$P_{прМС5.1} = 13+18-69,55-26,161 \lg 1800+13,82 \lg 30-[45-6,55 \lg 30] \lg 5 = -128,02, \text{ дБВт.}$$

$$P_{прМС5.2} = 14,77+18-69,55-26,161 \lg 1800+13,82 \lg 30-[45-6,55 \lg 30] \lg 5 = -126,25, \text{ дБВт.}$$

$$P_{прМС5.3} = 16+18-69,55-26,161 \lg 1800+13,82 \lg 30-[45-6,55 \lg 30] \lg 5 = -125,02, \text{ дБВт.}$$

Результати обчислень зведено до таблиці 2.

Результати розрахунків потужності сигналу (дБВт) на вході приймача МС

$h_{\text{БС}} = 30 \text{ м}$					
$P_{\text{пр.БС}}, \text{дБВт}$	$r = 1 \text{ км}$	$r = 2 \text{ км}$	$r = 3 \text{ км}$	$r = 4 \text{ км}$	$r = 5 \text{ км}$
13	-103,29	-113,89	-120,25	-124,49	-128,02
14,77	-101,52	-112,12	-118,48	-122,72	-126,25
16	-100,29	-110,89	-117,25	-121,49	-125,02

На основі отриманих результатів (табл. 2) побудуємо графік залежності потужності сигналу на вході приймача МС від потужності передавача БС та відстані між ними (рис. 1).

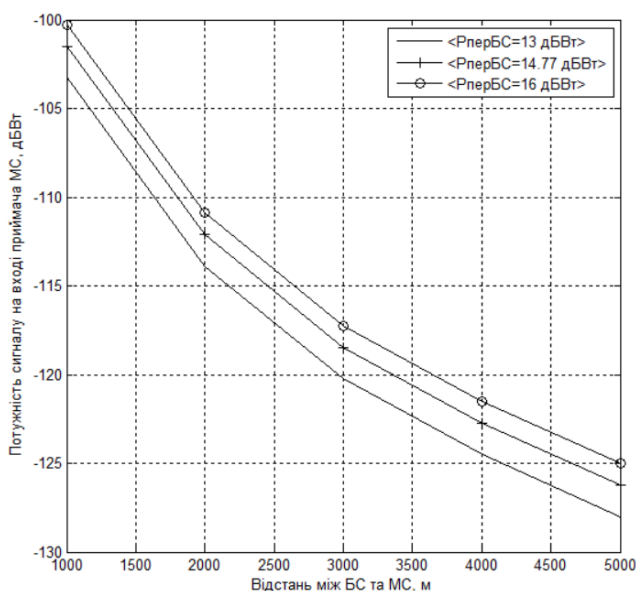


Рис. 1. Залежність потужності сигналу на вході приймача МС від потужності передавача БС та відстані між ними

Визначимо максимально можливі відстані між базовою та мобільною станціями при мінімальній потужності сигналу на вході приймача МС.

На основі формули (3) визначимо максимально можливу відстань r_{max} між БС та МС:

$$r_{\text{max}} = -[4.5 - 0.655 \lg h_{\text{БС}}] \sqrt{\frac{P_{\text{прminМС}}}{P_{\text{перБС}} G_{\text{БС}} 10^{-6.955} f^{-2.616} h_{\text{БС}}^{1.382}}}, \text{ км.} \quad (4)$$

Таблиця 3

Дані для розрахунків максимальної відстані між БС та МС при мінімальній потужності сигналу на вході приймача МС

$h_{\text{БС}}, \text{ м}$	$G_{\text{перБС}}$			$P_{\text{пр.БС}}, \text{ Вт}$					$f, \text{ МГц}$	$P_{\text{пр.minМС}}, \text{ Вт}$ (-104,91 дБм)
	B_1	B_2	B_3	B_1	B_2	B_3	B_4	B_5		
30	10	25	63	20	25	30	35	40	1800	$3,228 \cdot 10^{-14}$

Використовуючи формулу (4) і дані з таблиці 3, розрахуємо r_{max} для першого варіанту, при $G_{\text{БС}}=10$:

$$r_{\text{max11}} = -[4.5 - 0.655 \lg 30] \sqrt{\frac{3,228 \cdot 10^{-14}}{20 \cdot 10 \cdot 10^{-6.955} \cdot 1800^{-2.616} \cdot 30^{1.382}}} = 4.67, \text{ км.} \quad (5)$$

Для всіх інших варіантів (табл. 3) проведемо аналогічні розрахунки максимальної відстані між БС та МС при мінімальній потужності сигналу на вході приймача МС: $r_{\text{max1.2}} = 4,97, \text{ км}$; $r_{\text{max1.3}} = 5,24, \text{ км}$; $r_{\text{max1.4}} = 5,47, \text{ км}$; $r_{\text{max1.5}} = 5,68, \text{ км}$.

Розрахуємо r_{max} для другого варіанту, при $G_{\text{БС}}=25$: $r_{\text{max2.1}} = 6,05, \text{ км}$; $r_{\text{max2.2}} = 6,44, \text{ км}$; $r_{\text{max2.3}} = 6,78, \text{ км}$; $r_{\text{max2.4}} = 7,09, \text{ км}$; $r_{\text{max2.5}} = 7,36, \text{ км}$.

Розрахуємо r_{max} для третього варіанту, при $G_{\text{БС}}=63$: $r_{\text{max3.1}} = 7,86, \text{ км}$; $r_{\text{max3.2}} = 8,38, \text{ км}$; $r_{\text{max3.3}} = 8,82, \text{ км}$; $r_{\text{max3.4}} = 9,24, \text{ км}$; $r_{\text{max3.5}} = 9,6, \text{ км}$.

Результати розрахунків максимальної відстані r_{max} між БС та МС при мінімальній потужності сигналу на вході приймача МС наведені в таблиці 4.

Таблиця 4

Результати розрахунків максимальної відстані r_{max} між базовою та мобільною станціями при відповідних потужностях передавача БС та коефіцієнтів підсилення передавальної антени БС

$P_{перБС}$, Вт	$G_{перБС1}=10$ дБ	$G_{перБС2}=14$ дБ	$G_{перБС3}=18$ дБ
20	4,67 км	6,05 км	7,86 км
25	4,97 км	6,44 км	8,38 км
30	5,24 км	6,78 км	8,82 км
35	5,47 км	7,09 км	9,24 км
40	5,68 км	7,36 км	9,6 км

Побудуємо графік залежності максимальної відстані між БС та МС від потужності передавача базової станції та коефіцієнта підсилення антени БС (рис. 2) згідно з даними таблиці 4.

Висновки

1. В мережах LTE при потужностях передавача базової станції 13 дБВт, 14,77 дБВт та 16 дБВт, висоті БС 30 м, висоті антени МС 1,7 м, коефіцієнтів підсилення антени БС 10 дБ, 14 дБ та 18 дБ, середньої частоти 1800 МГц на дальності від базової до мобільної станцій в межах 1–5 км потужність сигналу на вході приймача МС зменшиться на 24,73 дБВт.

При зростанні відстані між базовою та мобільною станціями з 1–5 км (через кожний кілометр) потужність сигналу на вході приймача мобільної станції буде зменшуватись на 10,6 дБВт, 6,36 дБВт, 4,24 дБВт та 3,53 дБВт відповідно.

Потужність сигналу на вході приймача мобільної станції не буде нижчою за мінімально-допустиму потужність сигналу МС (-134,91 дБВт), що забезпечує високу якість мобільного зв'язку.

2. Максимально можлива відстань від базової до мобільної станції (максимальний радіус комірки) за умови мінімально-допустимої потужності сигналу на вході приймача МС (-134,91 дБВт), при збільшенні потужності передавача БС з 20 до 40 Вт коефіцієнтів підсилення антени $G_{перБС}=10$ дБ збільшується максимально можлива відстань від БС до МС на 1,01 км; при $G_{перБС}=14$ дБ збільшується максимально можлива відстань від БС до МС на 1,31 км; при $G_{перБС}=18$ дБ збільшується максимально можлива відстань від БС до МС на 1,74 км.

3. Надані наукові обґрунтовані рекомендації щодо побудови розмірів комірок мобільного зв'язку за технологією LTE в умовах забудови міста. Разом з тим, на максимально можливу відстань між базовою та мобільною станціями будуть впливати міжсистемні завади, втрати сигналу на проникнення в приміщення, втрати на затемнення, а також очікувана максимальна кількість активних абонентів, що потребує подальших наукових досліджень.

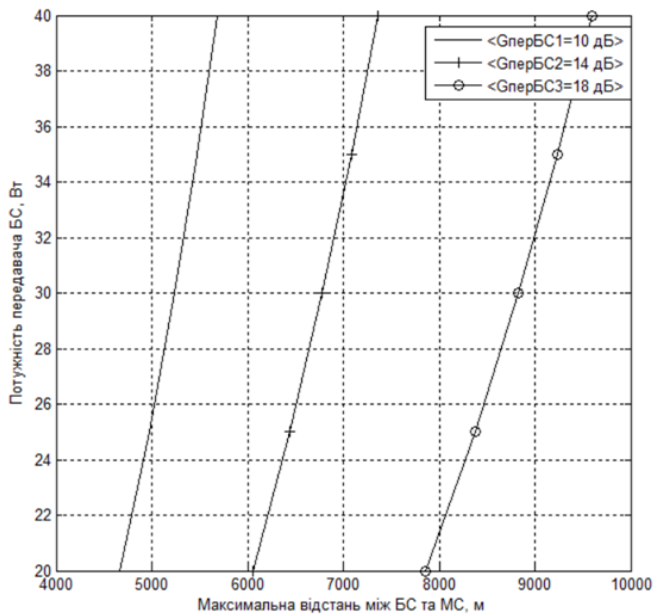


Рис. 2. Залежність максимальної відстані r_{max} між БС та МС від потужності передавача базової станції та коефіцієнта підсилення антени БС

Література

1. Базит А. Расчет сетей LTE / Абдул Базит. – Хельсенский технологический университет, 2009.
2. Сукачев Э.А. Сотовые сети радиосвязи с подвижными объектами : учеб. пособ. / Сукачев Э.А. – [3-е изд., перераб. и дополн.]. – Одесса : ОНАС им. А.С. Попова, 2013. – 256 с.
3. Берлин А.Н. Сотовые системы связи : учеб. пособ. / Берлин А.Н. – М. : БИНОМ, 2009. – 360 с.

References

1. Bazit A. Raschet setej LTE / Abdul Bazit. – Helsenjskij tehnologicheskij universitet, 2009.
2. Sukachev E.A. Sotovyje seti radiosvyazi s podvizhnyimi obektami : ucheb. posob. / Sukachev E.A. – [3-e izd., pererab. i dopoln.]. – Odessa : ONAS im. A.S. Popova, 2013. – 256 s.
3. Berlin A.N. Sotovyje sistemy svyazi : ucheb. posob. / Berlin A.N. – M. : BINOM, 2009. – 360 s.

Рецензія/Peer review : 15.10.2019 р.

Надрукована/Printed :25.10.2019 р.
Рецензент: д.т.н., проф. В.В. Мартинюк

О.В. МАЗУРЕЦЬ, О.Ю. ТИМУШ, А.П. ФЕДОРКО
Хмельницький національний університет

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ТЕМАТИЧНОЇ КЛАСИФІКАЦІЇ ТЕКСТОВИХ ПОВІДОМЛЕНЬ

У статті розглянуто інформаційну технологію сортування текстових повідомлень за тематикою. При цьому використовуються розроблений підхід до визначення множин ключових слів для рубрик новин на основі методу оцінки TFIDF та розроблені математико-алгоритмічні моделі для визначення приналежності тестової новини до актуальних рубрик новин. На основі розробленої інформаційної технології тематичного сортування текстової інформації було створено два програмних продукти: систему визначення множин ключових слів для рубрик новин та систему тематичного сортування новин. Система визначення множин ключових слів для рубрик новин дозволяє за введеною множиною новин, що мають приналежність до певної конкретної рубрики, визначити множину ключових слів, які розглядаються як еквівалент узагальненого семантичного вмісту для новин цієї рубрики. В результаті використання програмної системи для аналізу вхідних даних у вигляді множин новин для всіх актуальних рубрик, одержуються вихідні дані у вигляді відповідної кількості множин ключових слів, які розглядаються в подальшому як портрети новин цих рубрик. Система тематичного сортування новин дозволяє за вхідними даними у вигляді текстового контенту тестової новини одержати вихідні дані у вигляді цифрових показників, що відображають оцінку приналежності тестової новини до кожної з рубрик. Для цього проводиться автоматизоване порівняння множини слів із контенту новини та множин ключових слів рубрик новин. Розроблені тестові програмні системи були використані для дослідження ефективності інформаційної технології тематичного сортування текстової інформації. Для цього проводилось автоматизоване визначення рубрик для тестових зразків новин за допомогою розроблених програмних продуктів. Одержані результати дослідження ефективності інформаційної технології показали, що в переважній більшості випадків програмна система, виконана відповідно до запропонованої інформаційної технології тематичного сортування текстової інформації, успішно виконала сортування новин за рубриками, й середня успішність сортування за рубриками склала 94,4%.

Ключові слова: текстові повідомлення, класифікація, ключові слова.

O. MAZURETS, O. TYMUSH, A. FEDORKO
Khmelnitskyi National University

INFORMATION TECHNOLOGY FOR THEMATIC CLASSIFICATION OF TEXT MESSAGES

The article considers the information technology for thematic classification of text messages. Developed approach is used to define the sets of keywords for news headings based on the TFIDF evaluation method and developed mathematical and algorithmic models to determine the affiliation of test news to current news headings. Based on the developed information technology of thematic sorting of textual information, two software products were created: a system of definition the keywords sets for news headings and a system of thematic sorting of news. The news keywords sets definition system allows you to define a set of keywords from the provided data that is considered to be equivalent to generalized semantic content for news items. As a result of using the software system for analysing the input data in the sets of news for all relevant thematic, the output is received in the form of an appropriate number of sets of keywords, which are subsequently considered as news portraits of these sections. The system of news thematic sorting allows the input data in the form of textual content of the test news to get the output data in the form of digital metrics that reflect the assessment of the test news belonging to each heading. For this, an automated comparison of the plurality of news content words and the plurality of news headline keywords is performed. The developed test software systems were used to investigate the effectiveness of information technology themed textual sorting. For this purpose, automated thematic definition for test news samples was carried out using developed software products. The results of the information technology efficiency investigation showed that in most cases the software system, which was made in accordance with the proposed information technology of thematic sorting of text information, successfully completed news sorting by headings, and the average success of sorting by headings was 94.4%.

Keywords: text messages, classification, keywords.

Постановка проблеми в загальному вигляді

Поширення інформаційних технологій та розвиток глобальної мережі призвели до надання відкритого доступу пересіченому користувачу до великих обсягів інформації. Інформація, представлена здебільшого в текстовому вигляді, не може бути сприйнята в доступних обсягах. Тому є доречним її фільтрування за певними критеріями відповідно до інтересів та вподобань клієнта. Якщо взяти за об'єкт дослідження стрічки новин, то такими критеріями можуть бути ключові слова окремих новин та тематичні рубрики, до яких вони відносяться [1]. Автоматизація такого сортування текстової інформації є ефективним інструментом, що заощадує час користувача та підвищує якість роботи новинних агрегаторів, що формує актуальний напрямок наукових досліджень.

Аналіз останніх досліджень

Визначення ключових слів для новин та їх приналежності рубрикам може проходити на стороні клієнта (споживача) або на стороні серверу (сайту новин). Забезпечення виконання цих функцій на стороні сайту новин збільшує привабливість такого сайту та підвищує зручність його використання. Тому одними із функцій сайту новин є групування новин за категоріями та визначення для них переліків ключових слів, чим займаються технічні редактори.

Таким чином, при роботі технічного редактора сайту новин до кожної новини потрібно одержати:

- рубрику (тематичну категорію) новини для визначення місця розміщення новини на сайті;
- перелік ключових слів, який використовується в пошукових запитах користувачів та пошукових систем.

Більшість сучасних браузерів та поштових клієнтів працюють з RSS-стрічками [2]. Крім того, існують спеціалізовані програми (RSS-агрегатори), які збирають і опрацьовують інформацію RSS-каналів. Також дуже популярними є веб-агрегатори, які спеціалізуються на збиранні та відображенні RSS-каналів.

Оскільки новини в RSS-стрічках в метаданих в ряді випадків не містять тематичної категорії та переліків ключових слів, але вони потрібні для обробки технічним редактором сайту новин й визначаються вручну, автоматизація процесу визначення цих даних дозволить підвищити ефективність роботи технічних редакторів новинних сайтів. З цією метою необхідно проводити семантичний аналіз цих новин в RSS-стрічках.

Семантичний аналіз тексту є етапом у послідовності дій алгоритму автоматичного розуміння тексту, що полягає у виділенні семантичних відношень і формуванні семантичного представлення. Результати семантичного аналізу можуть бути застосовані для рішення задач у різних областях. В даному випадку, задачею є визначення множин ключових слів для окремих рубрик новин за множинами зразків новин відповідних рубрик.

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 [3]. Ці методи розрізняються за алгоритмами обрахунку вказаних вагових значень [4]. Для автоматизованого пошуку ключових слів використовуються різноманітні методи аналізу текстів, серед яких найбільш відомими є частотна оцінка TF, оцінка TF-IDF, дисперсійна оцінка DE, оцінка ранжування BM тощо [5].

Постановка задачі

Метою роботи є розробка інформаційної технології тематичного сортування текстової інформації та програмного забезпечення для перевірки його ефективності на прикладі автоматизованого сортування новин по рубриках.

Викладення основних матеріалів дослідження

RSS-стрічки. Зазвичай масиви новин передаються по мережі у вигляді RSS-стрічок. Загалом, RSS є спеціальним форматом, який призначений для опису стрічок новин, анонсів статей, змін у блогах тощо. Інформація з різних джерел, подана у форматі RSS, може бути зібрана, опрацьована і подана користувачеві в зручному для нього вигляді спеціальними програмами (рис. 1). Наприклад, за допомогою RSS подається короткий опис нової інформації, що з'явилася на сайті, і посилання на її повну версію. Інтернет-ресурс у форматі RSS називається RSS-каналом, RSS-стрічкою або RSS-фідом.

```

▼ <guid>
  https://www.eurointegration.com.ua/news/2018/12/24/7091027/
</guid>
</item>
▼ <item>
  ▼ <title>
    Українці не постраждали внаслідок цунами в Індонезії – МЗС
  </title>
  <link>https://www.pravda.com.ua/news/2018/12/24/7202161/</link>
  <pdalink>http://pda.pravda.com.ua/news/id_7202161/</pdalink>
  <category>Новини</category>
  <author>ukrpravda@gmail.com (Українська правда)</author>
  <pubDate>Mon, 24 Dec 2018 10:46:50 +0200</pubDate>
  ▼ <description>
    За попередньою інформацією МЗС, громадяни України не постраждали внаслідок цунами в Індонезії.
  </description>
  <guid>https://www.pravda.com.ua/news/2018/12/24/7202161/</guid>
</item>
▼ <item>
  <title>Топ-20 українських експортерів</title>
  <link>https://www.epravda.com.ua/news/2018/12/24/643855/</link>

```

Рис. 1. Фрагмент RSS-стрічки

Програмно RSS є родиною XML-форматів, яка використовується для публікації та постачання інформації, що часто змінюється, наприклад, нових записів в блозі, заголовків новин, анонсів статей, зображень, аудіо і відеоматеріалів (в стандартизованому форматі). Документ в стандарті RSS (який також інколи називають «стрічкою», «веб-стрічкою» або «каналом») складається з повного або часткового тексту і метаданих (дата і авторство) [2].

Множина рубрик новин. Для визначення практично доцільної множини рубрик новин було проведено аналіз наявних множин рубрик новин на 20 існуючих сайтах новин (ukr.net, ukrinform.ua, 24tv.ua, unian.ua, korrespondent.net, gazeta.ua, pravda.com.ua, news.google.com тощо).

Нехай D – це загальна множина рубрик на всіх досліджених сайтах:

$$D = \sum_{i=1}^k D_i, \quad (1)$$

де D_i – множина рубрик i -го сайту новин; k – кількість сайтів новин у вибірці.

Для кожної оригінальної назви рубрики d було обраховано кількість появ у цій множині c_j , що відповідає потужності підмножини з кожною із однакових назв рубрик m :

$$c_j = \left| \{m \mid m \in D \vee m = d\} \right| \quad (2)$$

де j – кількість оригінальних назв рубрик новин.

Виходячи з вимоги $c_j \rightarrow \max$ при обмеженні загальної кількості категорій в 6 елементів (дане число може бути змінене відповідно до потреб користувача), було визначено результуючу множину D' актуальних рубрик новин:

$$D' = \{Політика, Економіка, Наука, Туризм, Спорт, Здоров'я\} \quad (3)$$

Таким чином, для подальшої роботи необхідно для кожної з цих категорій (Політика, Економіка, Наука, Туризм, Спорт, Здоров'я) визначити відповідні множини ключових слів.

Портрети новин для рубрик. Для кожної з шести визначених рубрик слід сформувати портрети новин цих рубрик у вигляді обмежених переліків ключових слів. З цією метою (рис. 2) для кожної рубрики новин необхідно сформувати вибірки з 100 випадкових новин кожна. Оскільки кінцевою метою є узагальнений пошук ключових слів за рубрикою, то ці вибірки мають бути створені як окремі текстові документи, кожен з яких містить по 100 новин.

Наступним кроком є обрахунок значень оцінки TFIDF для кожного оригінального слова відповідно до (2). При використанні методу оцінки TFIDF в якості альтернативних документів, необхідних для ідентифікації і відділення загальноновживаних слів, використовуються відповідні множини зразків новин інших рубрик.

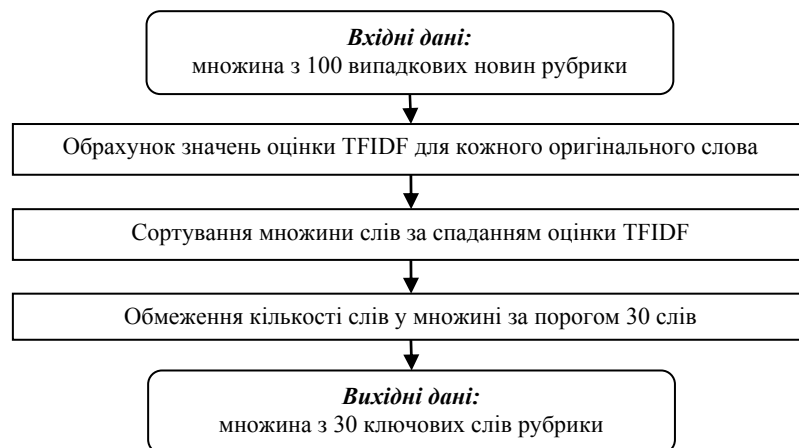


Рис. 2. Послідовність дій при визначення множин ключових слів для рубрик новин

В результаті утворюється множина, яка містить всі оригінальні слова документу й показники оцінки TFIDF для кожного слова. Після чого слова в множині сортуються за спаданням оцінки TFIDF й кількості слів у множині обмежується за порогом 30 слів.

Таким чином, в результаті виконання запропонованого підходу до визначення множин ключових слів для рубрик новин, для кожної з рубрик автоматизовано одержується множина з 30 ключових слів, яка у подальшому може бути використана як портрет новин відповідної рубрики для визначення приналежності тестової новини.

При необхідності збільшення кількості рубрик, наведені дії виконуються для кожної з них для одержання відповідних множин з 30 ключових слів.

Інформаційна технологія тематичного сортування текстової інформації призначена для одержання за вхідною інформацією у вигляді цифрового текстового контенту вихідної інформації у вигляді оцінок приналежності даного контенту до кожної з відомих категорій. В даному випадку як область застосування розглядаються сайти новин, відповідно вхідними даними виступає цифровий текстовий контент новини, а категоріями для сортування – рубрики новин.

Вибіркою вхідних даних інформаційної технології тематичного сортування текстової інформації на прикладі новин є навчальні множини випадкових новин для кожної з рубрик (кількість множин рівна кількості рубрик) та тестова новина для аналізу приналежності до рубрик.

Першим етапом обробки даних є визначення множин ключових слів для рубрик новин (рис. 3). На цьому етапі використовуються тільки вхідні дані у вигляді навчальних множин новин для кожної з рубрик. Як було наведено вище, на цьому етапі проводиться обрахунок значень оцінки TFIDF для кожного оригінального слова для кожної з навчальних множин новин.

Після чого для кожної з одержаних множин ключових слів, що містять також значення оцінки

TFIDF, проводиться сортування за спаданням оцінки TFIDF та обмеження кількості слів у множині за порогом в 30 слів, що визначений емпірично й може бути змінений відповідно до потужності навчальних множин новин. Вихідними даними цього етапу обробки даних є множини з 30 ключових слів для кожної з рубрик.

Другим етапом обробки даних інформаційної технології тематичного сортування текстової інформації на прикладі новин є визначення приналежності тестової новини до рубрик новин. Вхідними даними для цього етапу обробки даних є множини з 30 ключових слів для кожної з рубрик і тестова новина для аналізу приналежності до рубрик. На основі цих даних проводиться обрахунок кількостей збігів за ключовими словами рубрик.

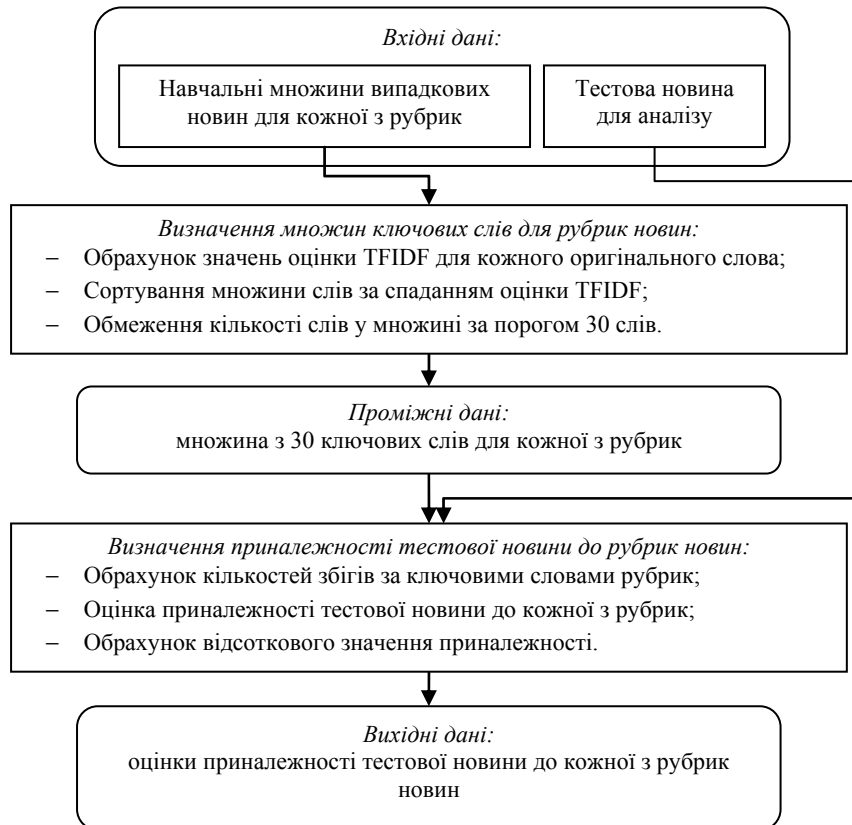


Рис. 3. Загальна схема інформаційної технології тематичного сортування текстової інформації на прикладі новин

Кількостей збігів за ключовими словами для кожної з рубрик є числовою оцінкою приналежності тестової новини до кожної з рубрик. Наступним кроком на основі одержаних даних проводиться обрахунок відсоткового значення приналежності. Вихідними даними цього заключного етапу обробки даних інформаційної технології тематичного сортування текстової інформації на прикладі новин є одержані оцінки приналежності тестової новини до кожної з актуальних рубрик новин.

Модель для визначення приналежності новини рубрикам. Визначення приналежності тестової новини до актуальних рубрик новин проводиться шляхом порівняння множини ключових слів та множини слів контенту новини рубрикам. Для цього для кожної з рубрик спочатку визначається перетин множин ключових слів та множини слів контенту новини. Так, для n -ї рубрики множина слів такого перетину S_{Per}^n визначається наступним чином:

$$S_{Per}^n = S_{Cont} \cap S_{Words}^n, \tag{4}$$

де S_{Cont} – множина слів контенту новини; S_{Words}^n – множина ключових слів для n -ї рубрики.

Відповідно, кількість збігів за ключовими словами L для n -ї рубрики рівна потужності множини слів перетину множини слів контенту новини та множини ключових слів для n -ї рубрики $L = |S_{Per}^n|$.

Процес визначення приналежності тестової новини до кожної з актуальних рубрик новин передбачає по чергову перевірку наявності кожного елементу множини ключових слів даної рубрики в множині слів контенту новини; у випадку підтвердження такої наявності відбувається збільшення показника відповідності для поточної рубрики на одиницю. Процес продовжується доти, доки не будуть перевірені всі елементи множин ключових слів для кожної рубрики. Одержані значення показників відповідності і є числовими показниками приналежності тестової новини до актуальних рубрик новин. Для визначення відсоткових значень обраховується відношення показниками приналежності тестової новини до потужності множини ключових слів для кожної рубрики новин.

Отже, запропонована інформаційна технологія тематичного сортування текстової інформації дозволяє за вхідною інформацією у вигляді цифрового текстового контенту одержувати вихідну інформацію у вигляді оцінок приналежності даного контенту до кожної з відомих категорій. При цьому використовується наведений підхід до визначення множин ключових слів для рубрик новин та розроблені математико-алгоритмічні моделі для визначення приналежності тестової новини до актуальних рубрик новин.

Прикладна реалізація інформаційної технології

Для дослідження ефективності інформаційної технології тематичного сортування текстової інформації було розроблено відповідне тестове програмного забезпечення – система визначення множин ключових слів для рубрик новин й система тематичного сортування новин. Для розробки тестових зразків програмного забезпечення було використано платформу .NET Framework, мову програмування C# та формат JSON для роботи з проміжними даними. Оскільки розробка була виконана в межах одного простору імен, програмні продукти можна розглядати як складові єдиної системи.

Система визначення множин ключових слів для рубрик новин, наведена на рис. 4, дозволяє за введеною множиною новин, що мають приналежність до певної конкретної рубрики, визначити множину ключових слів, які розглядаються як еквівалент узагальненого семантичного вмісту для новин цієї рубрики. Одержана множина ключових слів сортується за значенням показника TFIDF та обмежується кількісно до 30 слів. В результаті використання програмної системи для аналізу вхідних даних у вигляді множин новин для всіх актуальних рубрик, одержуються вихідні дані у вигляді відповідної кількості множин ключових слів.

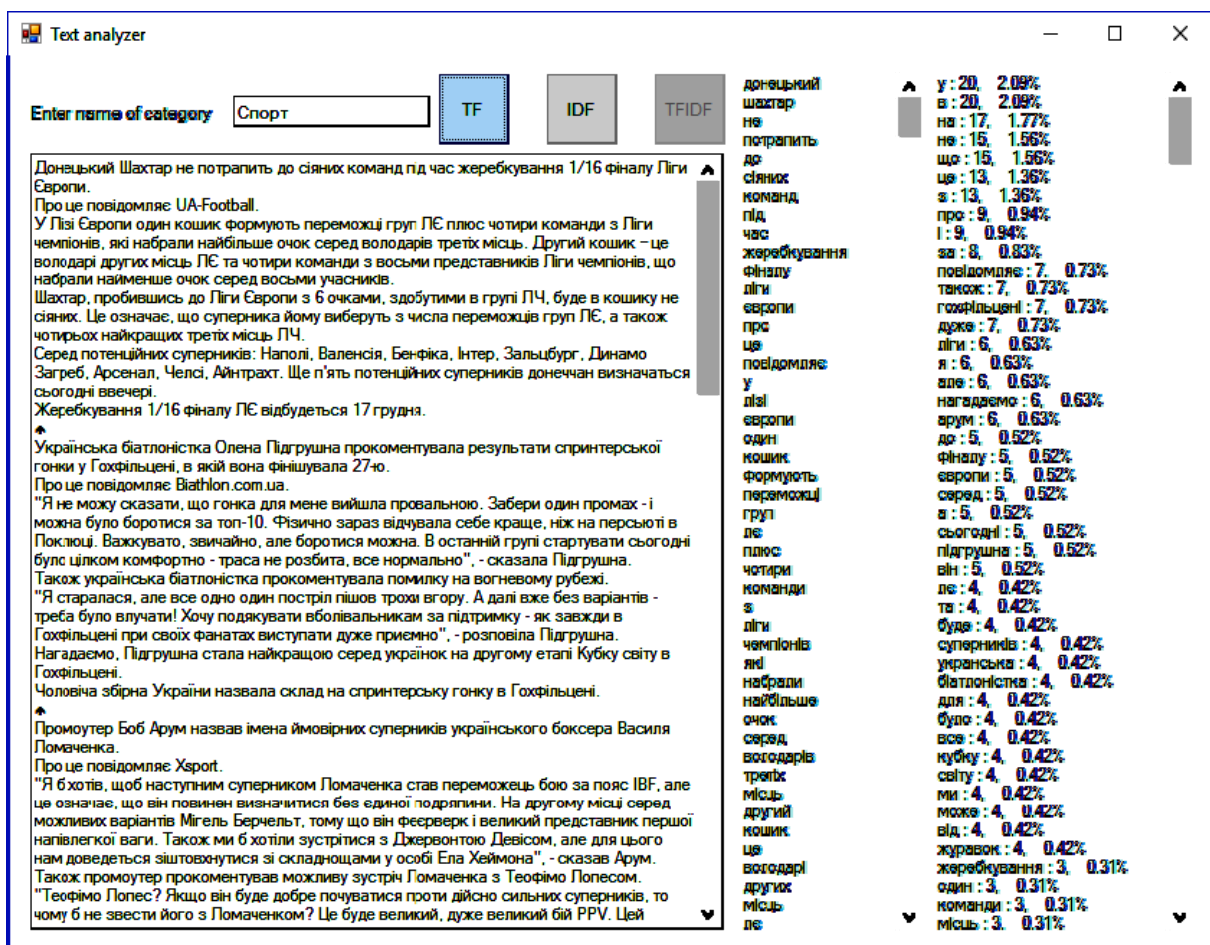


Рис. 4. Інтерфейс системи визначення множин ключових слів для рубрик новин

Система тематичного сортування новин, наведена на рис. 5, дозволяє за вхідними даними у вигляді текстового контенту тестової новини одержати вихідні дані у вигляді цифрових показників, що відображають оцінку приналежності тестової новини до кожної з рубрик. Для цього проводиться автоматизоване порівняння множини слів із контенту новини та множин ключових слів рубрик новин.

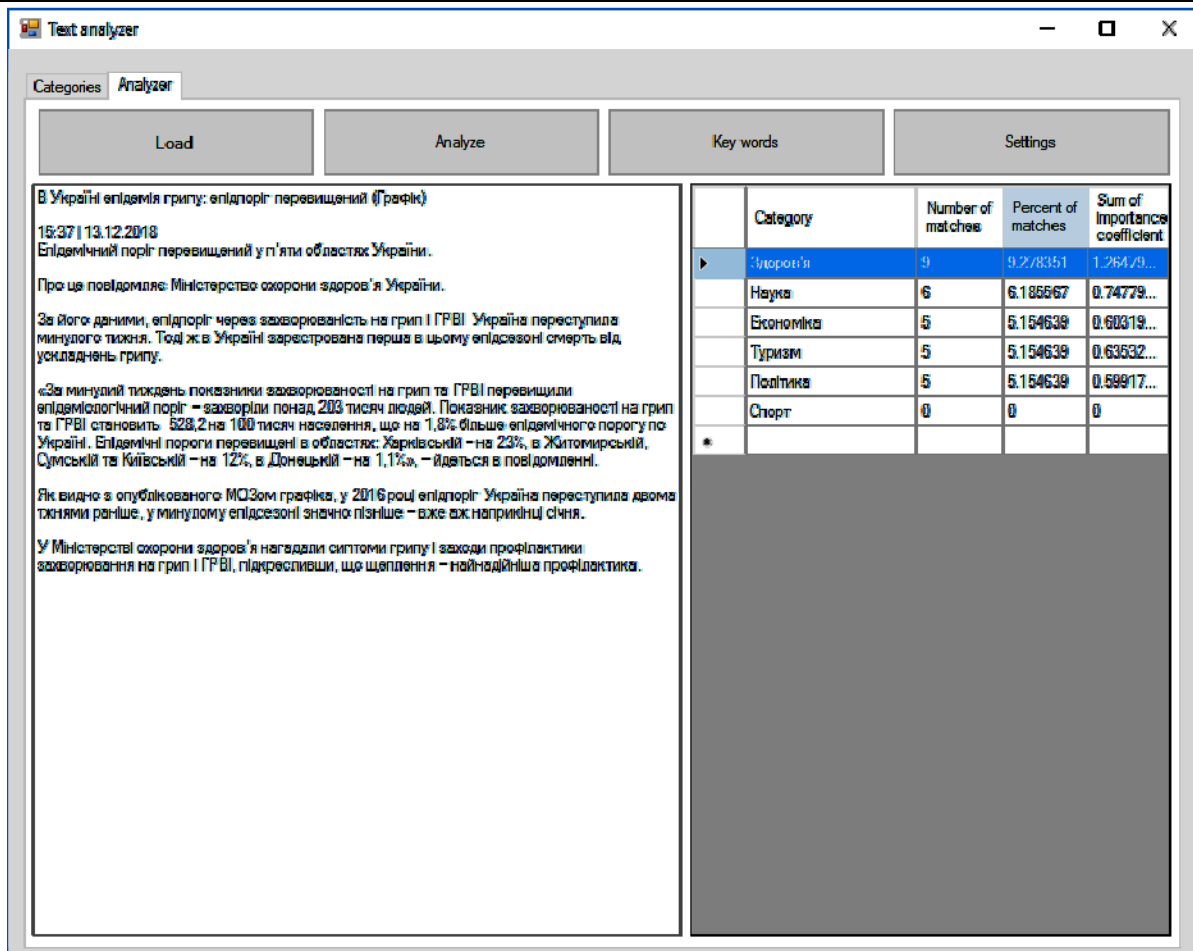


Рис. 5. Інтерфейс системи тематичного сортування новин

Розроблені тестові програмні системи дозволили провести прикладне дослідження інформаційної технології тематичного сортування текстової інформації.

Дослідження ефективності інформаційної технології

Дослідження ефективності інформаційної технології тематичного сортування текстової інформації виконано за результатами застосування розроблених тестових програмних систем, що виконані на засадах розробленої інформаційної технології. Для експерименту, з використанням системи визначення множин ключових слів для рубрик новин було сформовано 6 множин по 30 ключових слів для кожної з 6 категорій (рубрик) новин, до яких було віднесено наступні: Політика, Економіка, Наука, Туризм, Спорт, Здоров'я. В якості вхідних даних для кожної рубрики необхідно використано вибірки з 100 новин кожна. Сформовані множини ключових слів для рубрик новин було використано в роботі системи тематичного сортування новин.

Наступним кроком було використання системи тематичного сортування новин для автоматизованого визначення приналежності тестових зразків новин до актуальних рубрик новин. Для цього було сформовано 6 множин по 15 тестових новин для кожної з 6 рубрик, причому новини з тестових вибірок не були використані для навчання системи.

Обраховані показниками приналежності тестових новин до рубрик були використані для остаточного визначення приналежності кожної новини до однієї рубрики, для цього обиралися рубрики з найбільшими показниками приналежності.

Перевірка коректності сортування новин за категоріями полягала у визначенні відповідності сортування системою тематичного сортування новин із сортуванням, що було реалізовано на сайті новин – джерелі експериментальних зразків.

Результати проведеного експерименту з дослідження ефективності інформаційної технології тематичного сортування текстової інформації відповідно до наведених вище умов наведено у таблиці 1. Наведені результати свідчать, що в більшості випадків сортування новин за рубриками системою тематичного сортування новин було виконано вірно.

В відсотковому вигляді одержано дані, подані у таблиці 2. Для визначення успішності сортування новин за рубриками U було використано відношення кількості вірних результатів до загальної кількості одержаних результатів:

$$U = \frac{T_{Ok}}{T_{All}}, \tag{5}$$

де T_{Ok} – кількість коректних результатів сортування новин; T_{All} – загальна кількість одержаних результатів сортування новин.

Таблиця 1

Кількісні результати ефективності тематичного сортування новин

Тип результату	Результати за рубриками						Всього
	Політика	Економіка	Наука	Туризм	Спорт	Здоров'я	
Коректно	15	13	14	13	15	15	85
Не коректно	0	2	1	2	0	0	5
Загалом	15	15	15	15	15	15	90

Таблиця 2

Відсоткові результати успішності тематичного сортування новин за рубриками

Політика	Економіка	Наука	Туризм	Спорт	Здоров'я	Всього
100%	86,7%	93,3%	86,7%	100%	100%	94,4%

У вигляді діаграми відсоткові результати успішності тематичного сортування новин за рубриками наведені на рис. 6.

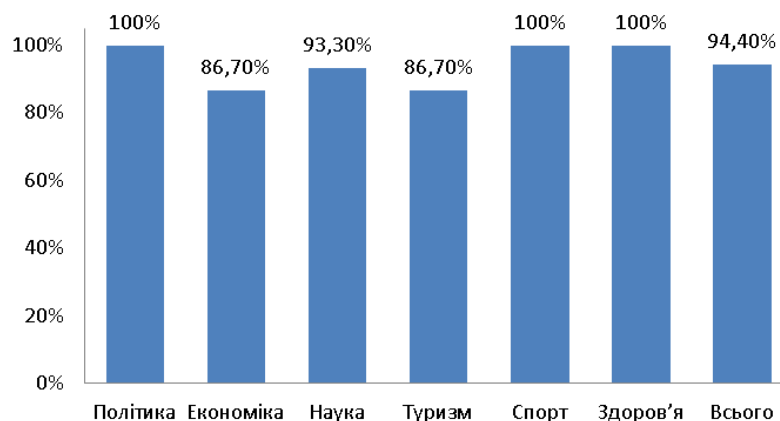


Рис. 6. Діаграма відсоткових результатів успішності тестового тематичного сортування новин за рубриками

Одержані результати свідчать, що для категорій «Політика», «Спорт» та «Здоров'я» успішність сортування за рубриками сягала 100%, проте для категорій новин «Економіка», «Наука» й «Туризм» були відзначені випадки невірної класифікації тестових зразків новин, що знизило успішність сортування новин за деякими рубриками до 86,7%. З наведеного можна зробити висновок, що в переважній більшості випадків програмна система, виконана відповідно до запропонованої інформаційної технології тематичного сортування текстової інформації, успішно виконала сортування новин за рубриками.

Висновки

В статті було розглянуто інформаційну технологію сортування текстових повідомлень за тематикою. При цьому використано розроблений підхід до визначення множин ключових слів для рубрик новин на основі методу оцінки TFIDF та розроблені моделі для визначення приналежності тестової новини до актуальних рубрик новин.

Одержані результати дослідження ефективності інформаційної технології показали, що в переважній більшості випадків програмна система, виконана відповідно до запропонованої інформаційної технології тематичного сортування текстової інформації, успішно виконала сортування новин за рубриками, й середня успішність сортування за рубриками склала 94,4%.

Для підвищення ефективності роботи системи можна збільшити навчальні вибірки новин для рубрик, що дозволить більш точно визначати відповідні множини ключових слів рубрик. Проте частина помилок може впливати із особливостей предметної області, наприклад, коректності підбору рубрик новин до загальної множини, оскільки деякі рубрики можуть семантично перетинатись. З другого боку, деякі новини, що на сайтах новин належать певним рубрикам, цілком коректно можуть бути автоматизовано віднесені до інших рубрик за їх контентом. Цьому явищу є характерні аналогії в предметній області, коли говорять, наприклад, про комерціалізацію спорту чи політизацію економіки.

Література

1. Ventura J. New Techniques for Relevant Word Ranking and Extraction / J. Ventura, J. Silva // Proceedings of the artificial intelligence 13th Portuguese conference on Progress in artificial intelligence, EPIA'07.

- Berlin : Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2007. – P. 691–702.
2. RSS 2.0 Specifications. URL: <http://www.rssboard.org/rss-specification>
3. 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.
4. Бармак О. В. Методи автоматизації визначення семантичних термінів у навчальних матеріалах / О. В. Бармак, О. В. Мазурець // Вісник Хмельницького національного університету. Сер.: Технічні науки. Хмельницький. – 2015. – № 2(223). – С. 209–213.
5. Krak Y. The practice implementation of the information technology for automated definition of semantic terms sets in the content of educational materials / Y. Krak, O. Barmak, O. Mazurets // CEUR Workshop Proceedings, 2139. – 2018. – P. 245–254.

References

1. Ventura J. New Techniques for Relevant Word Ranking and Extraction / J. Ventura, J. Silva // Proceedings of the artificial intelligence 13th Portuguese conference on Progress in artificial intelligence, EPIA'07. – Berlin : Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2007. – P. 691–702.
2. RSS 2.0 Specifications. URL: <http://www.rssboard.org/rss-specification>
3. Lande D. V. Kompaktificirovannyj gorizontalnyj graf vidimosti dlya seti slov / D. V. Lande, A. A. Snarskij // Trudy Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii «Intellectualnyj analiz informacii IAI-2013. Znaniya i rassuzhdeniya». – Kiev : KPI, 2013. – С. 158–164.
4. Barmak O. V. Metody avtomatyzatsii vyznachennia semantychnykh terminiv u navchalnykh materialakh / O. V. Barmak, O.V. Mazurets // Herald of Khmelnytskyi National University. Ser.: Tekhnichni nauky. – 2015. – № 2(223). – S. 209–213.
5. Krak Y. The practice implementation of the information technology for automated definition of semantic terms sets in the content of educational materials / Y. Krak, O. Barmak, O. Mazurets // CEUR Workshop Proceedings, 2139. – 2018. – P. 245–254.

Рецензія/Peer review : 19.05.2019 р.

Надрукована/Printed : 23.07.2019 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Сорокати́й Р. В.

СИСТЕМА ЗВ'ЯЗКУ З QPSK МОДУЛЯЦІЄЮ І СИНХРОНІЗАЦІЄЮ НЕСУЧОЇ

Для підвищення ефективності роботи цифрових систем зв'язку використовують кола синхронізації. Стаття присвячена дослідженню системи зв'язку з QPSK модуляцією і синхронізацією несучої. Фазова помилка несучої викликає поворот в проекціях простору сигналу. Компенсація зсуву фази несучої виконується шляхом обертання вихідних сигналів узгодженого фільтра зі зниженою частотою дискретизації. Робота системи синхронізації заснована на петлі фазової автопідстройки частоти. ФАПЧ несучої фази формується шляхом замкнутого контуру, створеного фазовим детектором, контурним фільтром і DDS. ФАПЧ спрацьовує, коли сигнал помилки обнуляється. Сигнал помилки генерується блоком «Обчислення фазової помилки» з використанням проекцій відкорегованого простору сигналу і оцінок символів даних. Блок «Обчислення фазової помилки» складається з двох подільників, двох блоків обчислення функції арктангенс і підсумовувача. Проаналізовані сигнали на виході цих структурних блоків, оцінена смуга утримування ФАПЧ, зроблений висновок про величину вектора помилки синхронізації в залежності від відхилення частоти. Хоча детекторна характеристика лінійна, ФАПЧ має фазову невизначеність $\pi/2$. В межах смуги утримання ФАПЧ, значення EVM не перевищує 10%, що говорить про придатний рівень спотворень констеляційної діаграми. За отриманою залежністю можна зробити висновок, що система зв'язку з синхронізацією несучої може працювати в діапазоні частот від 510 кГц до 690 кГц з номінальним значенням несучої частоти 600 кГц.

Ключові слова: програмно кероване радіо, QPSK, синхронізація несучої.

I.S. PYATIN, V.V. MISHAN, O.O. KUHARETS

Khmelnitskyi National University

COMMUNICATION SYSTEM WITH QPSK MODULATION AND CARRIER SYNCHRONIZATION

To increase the efficiency of digital communication systems use a carrier synchronization and symbol synchronization. The article is devoted to the study of communication systems with QPSK modulation and carrier synchronization. The carrier phase error causes a rotation in the projections of the signal space. Carrier phase shift compensation is performed by rotating the output of a matched filter with a reduced sampling rate. The synchronization system is based on a phase locked loop. The PLL of the carrier phase is formed by a closed loop created by a phase detector, a loop filter, and DDS. The PLL is triggered when the error signal is reset. The error signal is generated by the "Phase error calculation" block using projections of the corrected signal space and data symbol estimates. The "Phase error calculation" block consists of two accomplices, two blocks for calculating the arctangent function and adder. The signals at the output of these structural blocks are analysed, the PLL content band is estimated, the conclusion is made about the magnitude of the synchronization error vector magnitude on the frequency deviation. Although the detector response is linear, the PLL has a $\pi/2$ phase uncertainty. Phase ambiguity is a byproduct of removing the phase-induced landslides from the received signal. Within the PLL holding band, the EVM value does not exceed 10%, which indicates an acceptable level of distortion of the constellation diagram. Based on the obtained dependence, it can be concluded that the communication system with carrier synchronization can operate in the frequency range from 510 kHz to 690 kHz with a nominal value of the carrier frequency of 600 kHz.

Keywords: software defined radio, QPSK, carrier synchronization.

Постановка задачі

Технологія SDR здатна замінити спектр існуючих і розроблених конструкцій радіоприймачів і трансиверів на декілька уніфікованих. Такі пристрої можуть підтримувати будь-які діючі і новостворені види модуляції і методи кодування, багато сервісних функцій. В даний час практично весь частотний діапазон розподілений і ліцензований, однак при цьому експлуатується недостатньо ефективно. Істотно підвищити коефіцієнт застосування спектра дозволяє механізм динамічного управління, згідно з яким вторинним користувачам, які не закріплені за даним частотним діапазоном, надається можливість передавати повідомлення в діапазоні первинних користувачів в той час, поки він не зайнятий штатною роботою передавальних пристроїв. Подібний механізм динамічного управління спектром, що називають когнітивним радіо, складний технічно і може застосовуватися в інтелектуальних радіосистемах. Змінні характеристики платформ SDR роблять їх широко застосовними в різних засобах бездротового зв'язку [1].

Для підвищення ефективності роботи цифрових систем зв'язку використовують кола синхронізації. Стаття присвячена дослідженню системи зв'язку з QPSK модуляцією і синхронізацією несучої.

Аналіз досліджень та публікацій

Всі системи цифрового зв'язку вимагають певної синхронізації сигналів, що надходять в приймач. Фазова помилка несучої викликає поворот в проекціях простору сигналу [1]. Якщо обертання досить велике, проекції простору сигналів для кожного можливого символу лежать в області неправильного рішення. Як наслідок, помилки прийняття рішення виникають навіть при ідеальній синхронізації символів і за відсутності адитивного шуму. Робота системи синхронізації заснована на петлі фазової автопідстройки частоти, або PLL.

У QPSK прийнятий сигнал має зсув фази на 90° через дані. Цей фазовий зсув є доповненням до невідомої фази несучої. Сигнал з QPSK модуляцією на вході приймача дискретизується зі швидкістю $F_s = 1/T$ вибірок в секунду. N -а вибірка прийнятого сигналу може бути представлена у вигляді [2]:

$$r(nT) = G_a \sum_k \left\{ a_0(k) p(nT - kT_s) \sqrt{2} \cos(\Omega_0 n + \Theta) - a_1(k) p(nT - kT_s) \sqrt{2} \sin(\Omega_0 n + \Theta) \right\} + w(nT),$$

де $a_0(k)$ і $a_1(k)$ – синфазна і квадратурна складові k -го символу, $p(t)$ – форма імпульсу одиничної енергії, T_s – час тривалості символу, ω_0 – центральна частота в радіанах за секунду, Θ – невідоме зміщення фази несучої, $w(t)$ – адитивний білий гаусовий шум. Константа G_a представляє всі підсилення і втрати амплітуди у антені, середовищі поширення, підсилувачі, змішувачі, фільтрах та інших радіочастотних компонентах, $\Omega_0 = \omega_0 T$ радіан на вибірку.

Для оцінки фази несучої Θ в обробці, використовують квадратурні синусоїди з фіксованою частотою і фазою для виконання переходу сигналу від смуги радіочастоти до основної смуги синфазної і квадратурної компонентів. Структурна схема кола синхронізації несучої приведена на рис. 1. Компенсація зсуву фази несучої виконується шляхом обертання вихідних сигналів узгодженого фільтра зі зниженою частотою дискретизації, щоб усунути обертання і зсув фази несучої [2].

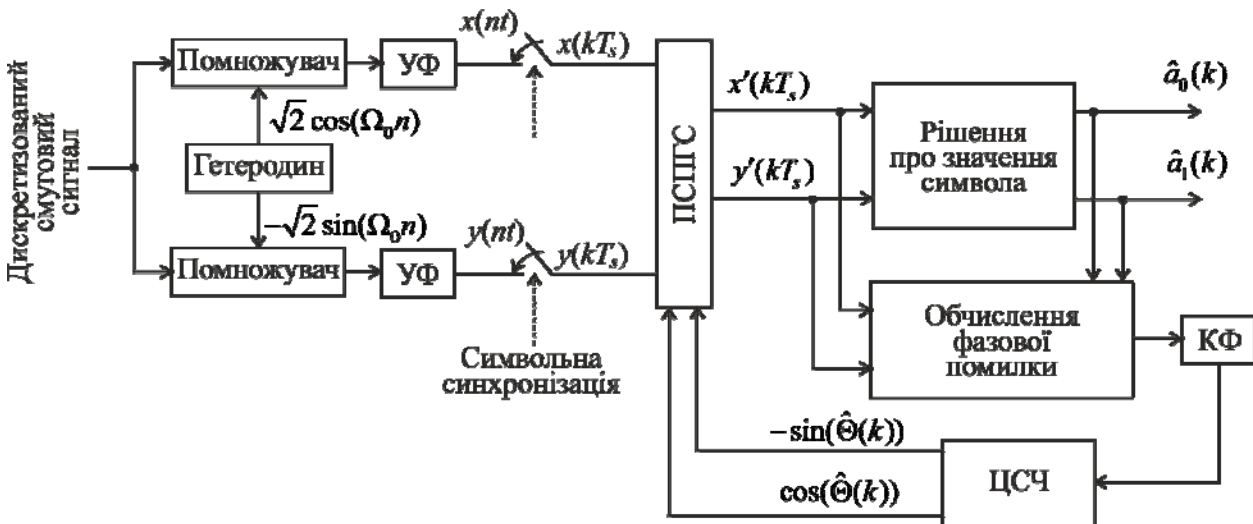


Рис. 1. Синхронізація фази несучої з використанням операції повороту сузір'я після узгодженого фільтра (УФ – узгоджений фільтр; ПСПГС – поворот сузір'я проти годинникової стрілки; КФ – контурний фільтр; ЦСЧ – цифровий синтезатор частоти)

Сигнал на вході приймача перетворюється з пониженням частоти з використанням квадратурних синусоїд $\sqrt{2} \cos(\Omega_0 n)$ і $-\sqrt{2} \sin(\Omega_0 n)$, отриманих за допомогою цифрового синтезатора частоти (ЦСЧ). На виході помножувачів виділяємо синфазні і квадратурні компоненти, в яких можна знехтувати подвійними частотними складовими. Синфазні і квадратурні компоненти фільтруються узгодженим фільтром, імпульсний відгук якого дорівнює $p(-nT)$. Математичні моделі синфазного і квадратурного сигналів на виході узгодженого фільтра мають вигляд [2]:

$$x(nT) = \frac{G_a}{T} \sum_k \left\{ \left[a_0(k) \cos(\Theta - \hat{\Theta}(n)) - a_1(k) \sin(\Theta - \hat{\Theta}(n)) \right] r_p(nT - kT_s) \right\} + v_I(nT),$$

$$y(nT) = \frac{G_a}{T} \sum_k \left\{ \left[a_0(k) \sin(\Theta - \hat{\Theta}(n)) + a_1(k) \cos(\Theta - \hat{\Theta}(n)) \right] r_p(nT - kT_s) \right\} + v_Q(nT),$$

де $r_p(u)$ – автокореляційна функція формувача імпульсу,

$v_I(nT) = p(-nT) \cdot w_I(nT)$ і $v_Q(nT) = p(-nT) \cdot w_Q(nT)$. Припускаючи ідеальну часову синхронізацію,

$x(nT)$ і $y(nT)$ дискретизуються при $n = kT_s/T = kN$, щоб отримати проекцію простору сигналу, відповідну k -му символу. Коли форма імпульсу задовольняє умові Найквіста про відсутність міжсимвольної інтерференції, $r_p(0) = 1$ і $r_p(mT_s) = 0$ для $m \neq 0$, так що матричне рівняння має вигляд [2]:

$$\begin{bmatrix} x(kT_s) \\ y(kT_s) \end{bmatrix} = K \begin{bmatrix} \cos(\Theta) & -\sin(\Theta) \\ \sin(\Theta) & \cos(\Theta) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a_0(k) \\ a_1(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} v_I(kT_s) \\ v_Q(kT_s) \end{bmatrix}, \quad (1)$$

де $K = G_a/T$.

Точка $(x(kT_s), y(kT_s))$ є повернутою версією точки $(a_0(k), a_1(k))$. Кут повороту є некомпенсованою фазовою похибкою $(\Theta - \hat{\Theta}(kN))$ в напрямку проти годинникової стрілки. Точка, що обертається, масштабується на K і зрушується від свого положення обертання адитивним шумом.

Відліки з виходу узгодженого фільтра $(x(kT_s), y(kT_s))$ піддаються повороту сузір'я за допомогою оціненого зміщення фази несучої $\hat{\Theta}(k)$, ЦСЧ надає оцінку фази несучої як $\cos(\hat{\Theta}(k))$ і $-\sin(\hat{\Theta}(k))$. Точка $(x(kT_s), y(kT_s))$ повертається на $-\hat{\Theta}(k)$ для формування проекції первинного положення простору сигналів. З використанням (1) повернута проекція простору сигналів може бути представлена виразом:

$$\begin{bmatrix} x'(kT_s) \\ y'(kT_s) \end{bmatrix} = K \begin{bmatrix} \cos(\Theta - \hat{\Theta}(k)) & -\sin(\Theta - \hat{\Theta}(k)) \\ \sin(\Theta - \hat{\Theta}(k)) & \cos(\Theta - \hat{\Theta}(k)) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0(k) \\ a_1(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} v'_1(kT_s) \\ v'_2(kT_s) \end{bmatrix}. \quad (2)$$

Це співвідношення визначає операцію «поворот проти годинникової стрілки» за рис. 1. У виразі (2) оцінка фази $\hat{\Theta}$ дискретизується при $1/T_s$ вибірок в секунду. Це показує, що проекції $(x(kT_s), y(kT_s))$ є поверненими версіями точки сузір'я $(a_0(k), a_1(k))$, де кут повороту є фазовою помилкою $\Theta - \hat{\Theta}(k)$.

Формулювання цілей

Метою статті є дослідження Simulink моделі системи зв'язку з модуляцією QPSK і синхронізацією несучої, аналіз фазового детектора, визначення його детекторної характеристики і сигналів на виході структурних блоків моделі. Важливо також визначити придатний рівень спотворень констеляційної діаграми системи зв'язку, діапазон утримування системи ФАПЧ.

Синхронізація фази несучої для QPSK

ФАПЧ несучої фази формується шляхом замкнутого контуру, створеного фазовим детектором, контурним фільтром і DDS, як показано на рис. 1. ФАПЧ спрацьовує, коли сигнал помилки обнуляється. Сигнал помилки генерується блоком «Обчислення фазової помилки» з використанням проекцій відкорегованого простору сигналу і символів даних (або оцінок символів даних). Сигнал помилки пропорційний некомпенсованій фазовій помилці $\Theta - \hat{\Theta}(k)$. Таким чином, ФАПЧ спрацьовує, коли $\hat{\Theta}(k)$ дорівнює Θ . ФАПЧ працює з одною вибіркою на символ. Коли детектор фазової помилки використовує оцінки символів для обчислення фазової помилки, результуюча ФАПЧ називається контуром, орієнтованим на прийняття рішення. Синхронізація фази несучої для QPSK починається з розробки детектора фазової помилки, заснованого на евристичних міркуваннях, заснованих на основних принципах того, що повинно бути досягнуто. Потім вводиться детектор фазової помилки максимальної правдоподібності [3].

Розглянемо схему синхронізації несучої QPSK, що приведена на рис. 1. Виходи синфазного і квадратурного узгодженого фільтра, $x(kT_s)$ і $y(kT_s)$, повертаються на $-\hat{\Theta}(k)$, щоб вирівняти проекцію простору сигналу $(x'(kT_s), y'(kT_s))$ з одним з чотирьох точок сузір'я як $(\pm A, \pm A)$. За відсутності шуму взаємозв'язок між проекцією простору сигналу $(x'(kT_s), y'(kT_s))$ і символами переданих даних $(a_0(k), a_1(k))$ визначається виразом:

$$\begin{bmatrix} x'(kT_s) \\ y'(kT_s) \end{bmatrix} = K \begin{bmatrix} \cos(\Theta - \hat{\Theta}(k)) & -\sin(\Theta - \hat{\Theta}(k)) \\ \sin(\Theta - \hat{\Theta}(k)) & \cos(\Theta - \hat{\Theta}(k)) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0(k) \\ a_1(k) \end{bmatrix}. \quad (3)$$

Припустимо на даний момент, що детектор фазової помилки знає символи даних. Фазова помилка визначається шляхом обчислення різниці фаз між $(x'(kT_s), y'(kT_s))$ і переданою точкою сузір'я $(a_0(k), a_1(k))$.

Розглянемо обчислення фазової помилки на I - Q площині, як показано на рис. 2. Фазовий кут вихідних сигналів узгодженого фільтра визначається виразом:

$$\Theta_r(k) = \arctg \left\{ \frac{y'(kT_s)}{x'(kT_s)} \right\}. \quad (4)$$

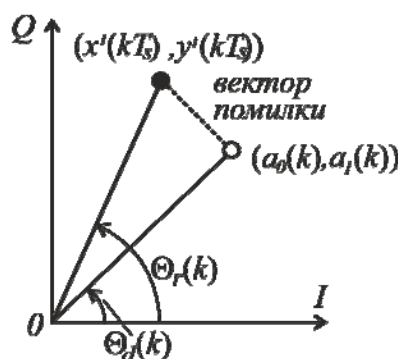


Рис. 2. Геометричне представлення визначення фазової помилки і вектора помилки для QPSK

і фазовий кут переданої точки сузір'я дорівнює

$$\Theta_d(k) = \arctg \left\{ \frac{a_1(k)}{a_0(k)} \right\}. \quad (5)$$

Вихід детектора фазової помилки для k -го символу, таким чином, визначається виразом [4]:

$$e(k) = \Theta_r(k) - \Theta_d(k) = \arctg \left\{ \frac{y'(kT_s)}{x'(kT_s)} \right\} - \arctg \left\{ \frac{a_1(k)}{a_0(k)} \right\}. \quad (6)$$

Сигнал помилки (6) вимагає знання символів, що передаються. Синхронізатор фази несучої, орієнтований на прийняття рішень, використовує рішення даних для обчислення фазової помилки. Фазова помилка витягується з точки $(x'(kT_s), y'(kT_s))$ шляхом обчислення залишкової різниці фаз між $(x'(kT_s), y'(kT_s))$ і найближчою точкою сузір'я $(a_0(k), a_1(k))$. Таким чином, синхронізатор фази несучої, спрямований на рішення, замінює $a_0(k)$ і $a_1(k)$ в (6) рішеннями $\hat{a}_0(k)$ і $\hat{a}_1(k)$.

$$e(k) = \arctg \left\{ \frac{y'(kT_s)}{x'(kT_s)} \right\} - \arctg \left\{ \frac{\hat{a}_1(k)}{\hat{a}_0(k)} \right\}. \quad (7)$$

Для QPSK рішення можуть бути представлені у вигляді:

$$\begin{aligned} \hat{a}_0(k) &= A \cdot \text{sign}\{x'(kT_s)\}, \\ \hat{a}_1(k) &= A \cdot \text{sign}\{y'(kT_s)\}. \end{aligned} \quad (8)$$

Simulink модель системи зв'язку з модуляцією QPSK і синхронізацією несучої наведена на рис. 3.

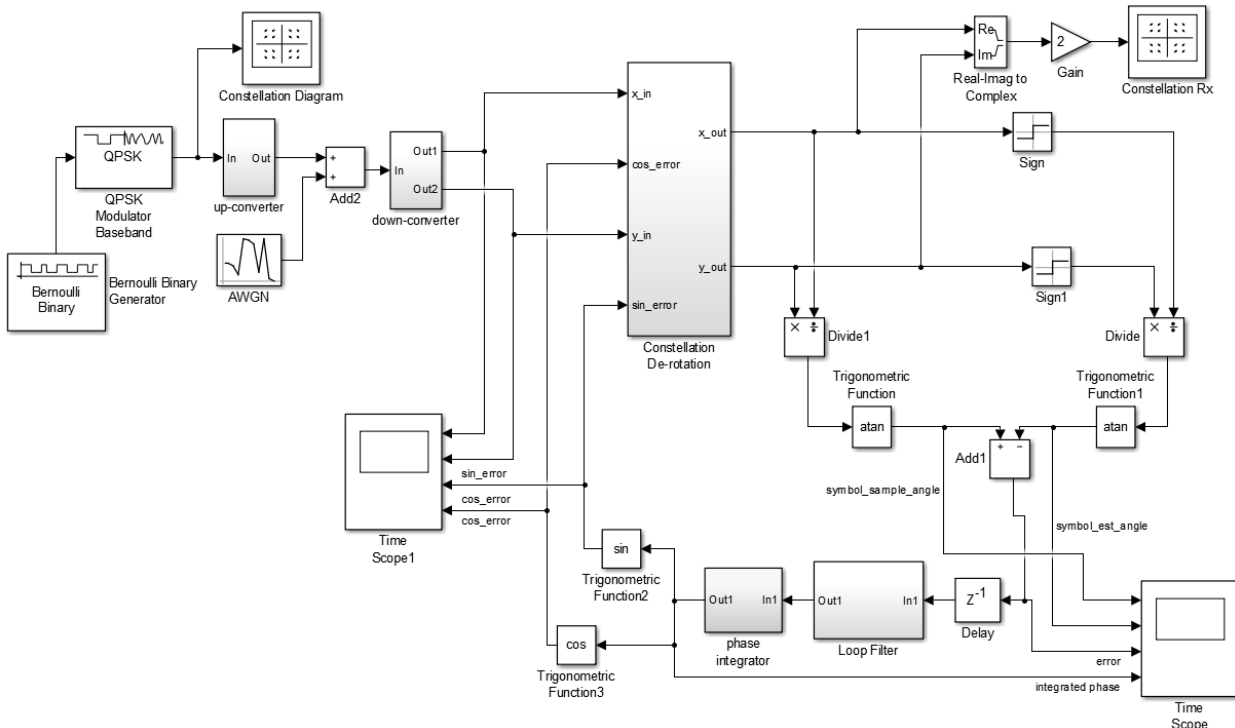


Рис. 3. Simulink модель системи зв'язку з модуляцією QPSK і синхронізацією несучої

Вихідний сигнал детектора фазової помилки також може бути виражений через фазову помилку Θ_e і символи даних. Графік залежності $e(k)$ від Θ_e називається S-кривою (детекторною характеристикою) і позначається $g(\Theta_e)$. Функція $g(\Theta_e)$ є нелінійною функцією детектора фазової помилки.

Для випадку з даними, S-крива виходить з (6) шляхом представлення проєкцій розгорнутого простору сигналу через Θ_e і підстановки в (6). Повернуті проєкції простору сигналу можуть бути виражені через фазову помилку і символи даних за допомогою виразу:

$$\begin{bmatrix} x(kT_s) \\ y(kT_s) \end{bmatrix} = K \begin{bmatrix} \cos(\Theta) & -\sin(\Theta) \\ \sin(\Theta) & \cos(\Theta) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0(k) \\ a_1(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} v_I(kT_s) \\ v_Q(kT_s) \end{bmatrix} \quad (9)$$

Підстановка цього виразу для $x'(kT_s)$ і $y'(kT_s)$ в (6) приводить до виразу:

$$g(\Theta_e, a_0(k), a_1(k)) = \arctg \left\{ \frac{a_0(k) \sin(\Theta_e) + a_1(k) \cos(\Theta_e)}{a_0(k) \cos(\Theta_e) - a_1(k) \sin(\Theta_e)} \right\} - \arctg \left\{ \frac{a_1(k)}{a_0(k)} \right\} \quad (10)$$

Середня S-крива ($\bar{g}(\Theta_e)$) виходить з $g(\Theta_e, a_0(k), a_1(k))$ шляхом усереднення за чотирма можливими

символами $(a_0(k), a_1(k))$ належить множині $\{\pm A, \pm A\}$. Після перетворень результат має вигляд:

$$\bar{g}(\Theta_e) = \Theta_e. \quad (11)$$

Середня S-крива (детекторна характеристика) (11) показана на рис. 4, де видно, що цей фазовий детектор є ідеальним лінійним фазовим детектором з $K_p = 1$.

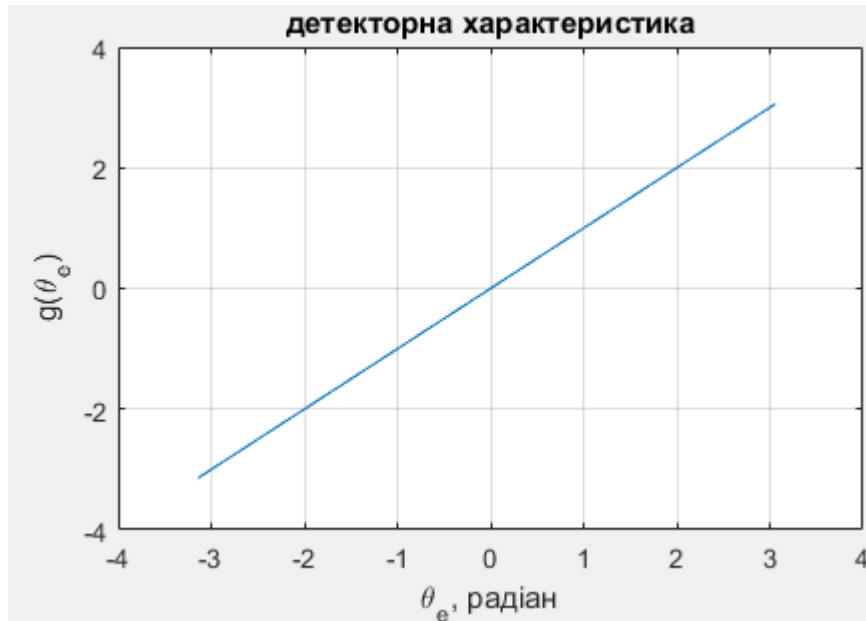


Рис. 4. Середня S-крива (детекторна характеристика) фазового детектора ФАПЧ

Як наслідок, ФАПЧ фази несучої QPSK може синхронізуватися на $\pm 90^\circ$ від фази з істинною фазою несучої або на 180° від фази з істинною фазою несучої. Ця ФАПЧ володіє так званою фазовою невизначеністю $\pi/2$. Неоднозначність фази є побічним продуктом видалення викликаних даними зсувів фази з прийнятого сигналу. Сузір'я QPSK має обертальну симетрію $\pi/2$; слід очікувати двозначності фази.

Початкові дані для моделювання: несуча частота $f_c = 6 \cdot 10^5$ Гц; відхилення від несучої частоти $f_e = \pm 1 \cdot 10^3$ Гц. Коефіцієнт інтерполяції і децимації формуючих фільтрів $\text{interp}=48$.

Відкореговане сузір'я Constellation Rx моделі, зображеної на рис. 3 наведено на рис. 5.

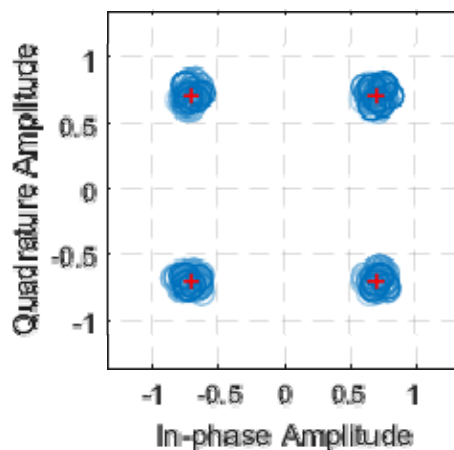


Рис. 5. Відкореговане сузір'я Constellation Rx

Осцилограми, що відображає блок Time Score моделі (рис. 3) представлені на рис. 6. Перші дві осцилограми – сигнали на виході блоків визначення функції арктангенс, третя осцилограма – результати, що повертає підсумовував, четверта – сигнал на виході інтегратора фази. З них можна зробити висновок, що час спрацьовування кола ФАПЧ складає 5 мс.

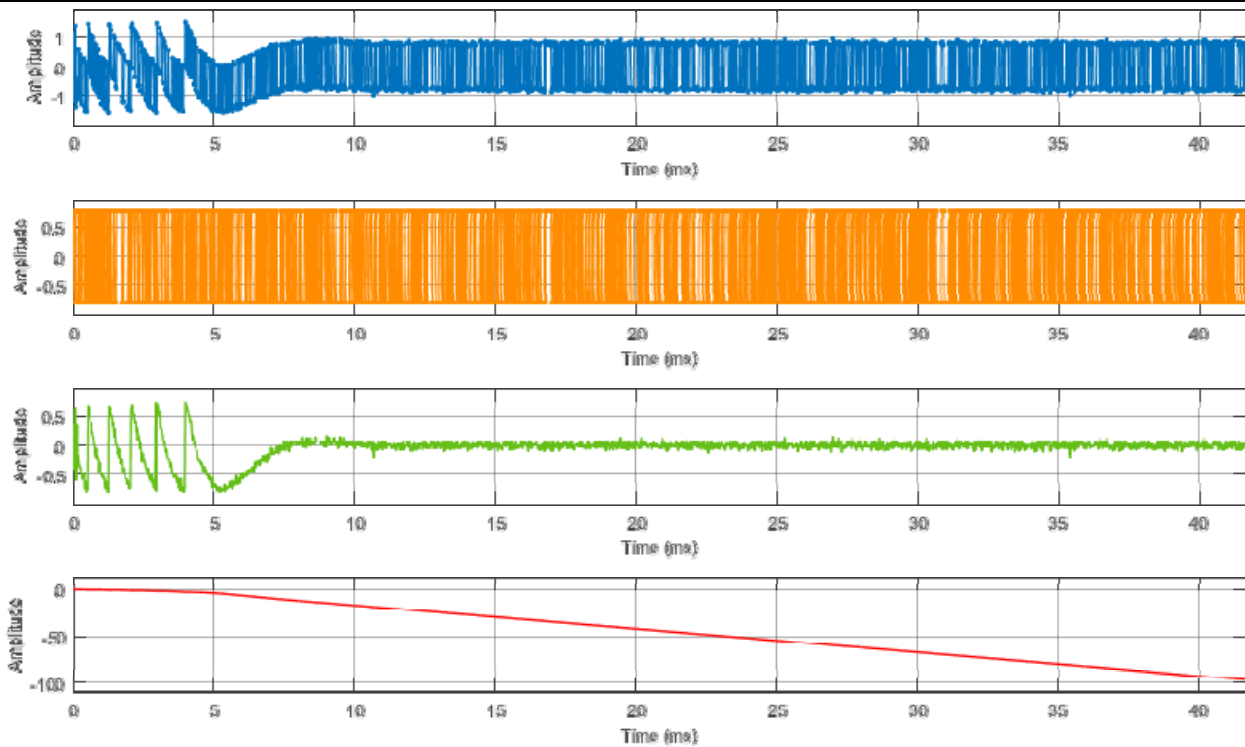


Рис. 6. Осцилограми, що відображає блок Time Scope

Для моделі, зображеної на рис. 3 проаналізовано значення EVM в діапазоні частот. Від величини EVM залежить зовнішній вигляд відкорегованого сузір'я Constellation Rx, що зображено на рис. 5.

Величина вектора помилки (EVM) – це вимір продуктивності модулятора або демодулятора при наявності спотворень. По суті, EVM – це різниця векторів в даний момент часу між ідеальним (переданим) сигналом і вимірним (прийнятим) сигналом. При правильному використанні ці вимірювання можуть допомогти у визначенні джерел погіршення сигналу, таких як фазовий шум, I-Q дисбаланс, нелінійність амплітуди і спотворення, що вносить фільтр.

Ці типи вимірювань корисні для визначення продуктивності у системах зв'язку. Наприклад, для визначення того, чи відповідає система цифрового зв'язку стандартам радіопередачі, вимагається вимірювання точних значень RMS, EVM, пікового EVM і 95-го перцентиль для вимірювань EVM.

Середньоквадратичне значення величини вектора помилки визначається виразом:

$$EVM_{RMS} = \sqrt{\frac{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N e_k}{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (I_k^2 + Q_k^2)}} \cdot 100,$$

де $e_k = (I_k - \tilde{I}_k)^2 + (Q_k - \tilde{Q}_k)^2$

I_k – синфазне значення k -го символу в пакеті

Q_k – квадратурне значення фази k -го символу в пакеті

N – довжина вхідного вектора

I_k і Q_k представляють ідеальні (довідкові) значення.

Для цифрових систем зв'язку значення EVM має бути не більше 10%. Залежність середньоквадратичного значення вектора помилки (EVM) від відхилення частоти зображена на рис. 7. Коефіцієнт інтерполяції і децимації формуючих фільтрів $interp=48$. В межах смуги утримання ФАПЧ, значення EVM не перевищує 10%, що говорить про придатний рівень спотворень констеляційної діаграми. За отриманою залежністю можна зробити висновок, що система зв'язку з синхронізацією несучої може працювати в діапазоні частот від 510 кГц до 690 кГц з номінальним значенням несучої частоти 600 кГц.

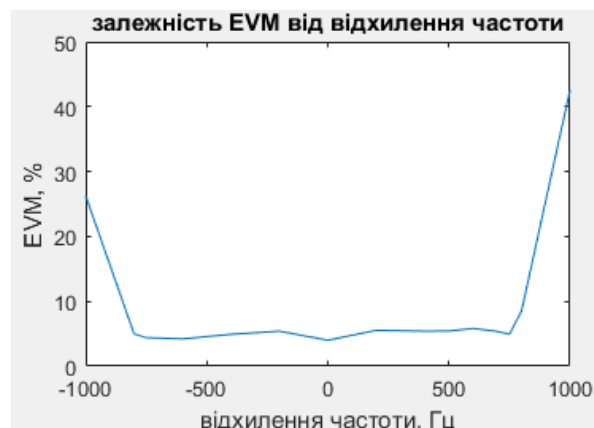


Рис. 7. Залежність EVM від відхилення частоти

Висновки

Досліджена система зв'язку з QPSK модуляцією і синхронізацією несучої. Встановлено, що фазова помилка несучої викликає поворот в проєкціях простору сигналу. Компенсація зсуву фази несучої виконується шляхом обертання вихідних сигналів узгодженого фільтра зі зниженою частотою дискретизації. Робота системи синхронізації заснована на петлі фазової автопідстройки частоти. ФАПЧ несучої формується шляхом замкнутого контуру, створеного фазовим детектором, контурним фільтром і DDS. Сигнал помилки генерується блоком «Обчислення фазової помилки» з використанням проєкцій відкорегованого простору сигналу і оцінок символів даних. Проаналізовані сигнали на виході цих структурних блоків, оцінена смуга утримування ФАПЧ, зроблений висновок про величину вектора помилки синхронізації в залежності від відхилення частоти. Хоча детекторна характеристика лінійна, ФАПЧ має фазову невизначеність $\pi/2$. В межах смуги утримання ФАПЧ, значення EVM не перевищує 10%, що говорить про придатний рівень спотворень констеляційної діаграми. За отриманою залежністю можна зробити висновок, що система зв'язку з синхронізацією несучої може працювати в діапазоні частот від 510 кГц до 690 кГц з номінальним значенням несучої частоти 600 кГц.

Література

1. Склад Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение / Б. Склад ; пер. с англ. – Изд. 2-е, испр. – Москва : Издательский дом «Вильямс», 2003. – 1104 с.
2. Прокис Д. Цифровая связь / Д. Прокис ; пер. с англ. ; под ред. Д.Д. Кловского. – Москва : Радио и связь, 2000. – 800 с.
3. Бойко Ю.М. Особливості квазікогерентної обробки сигналів у засобах телекомунікацій з частотною маніпуляцією / Ю.М. Бойко, І.С. Пятін // Телекомунікаційні та інформаційні технології. – 2018. – № 1. – С. 107–119.
4. Бойко Ю. М. Теоретичні аспекти підвищення завадостійкості й ефективності обробки сигналів в радіотехнічних пристроях та засобах телекомунікаційних систем за наявності завад [Електронний ресурс] : монографія / Ю. М. Бойко, В. А. Дружинін, С. В. Толюпа. – Київ : Логос, 2018. – 227 с. Режим доступу : <http://elar.khnu.km.ua/jspui/handle/123456789/6291>.

References

1. Sklyar B. Cifrovaya svyaz. Teoreticheskie osnovy i prakticheskoe primeneniye / B. Sklyar ; per. s angl. – Izd. 2-e, ispr. – Moskva : Izdatelskij dom «Vilyams», 2003. – 1104 s.
2. Prokis D. Cifrovaya svyaz / D. Prokis ; per. s angl. ; pod red. D.D. Klovsckogo. – Moskva : Radio i svyaz, 2000. – 800 s.
3. Boiko J.M. Osoblyvosti kvazikoherentnoi obrobky syhnaliv u zasobakh telekomunikatsii z chastotnoiu manipulyatsiieiu / J.M. Boiko, I.S. Piatin // Telekomunikatsiini ta informatsiini tekhnolohii. – 2018. – № 1. – S. 107–119.
4. Boiko J. M. Teoretychni aspekty pidvyshchennia zavadostiikosti y efektyvnosti obrobky syhnaliv v radiotekhnichnykh prystroiakh ta zasobakh telekomunikatsiinykh system za naiavnosti zavad [Elektronnyi resurs] : monohrafiia / J. M. Boiko, V. A. Druzhynin, S. V. Toliupa. – Kyiv : Lohos, 2018. – 227 s. Rezhym dostupu : <http://elar.khnu.km.ua/jspui/handle/123456789/6291>.

Рецензія/Peer review : 25.05.2019 р.

Надрукована/Printed : 23.07.2019 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Ю.М. Бойко

В.Т. КОНДРАТОВ

Институт кибернетики им. В.М. Глушкова НАН Украины

**ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ МЕТРОЛОГИЯ: МАГНИТОПОЛЕВАЯ ТЕОРИЯ
ИЗМЕРЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЯВЛЕНИЯ ПЕРЕНОСА ЭНЕРГИИ И
ИНФОРМАЦИИ СКВОЗЬ МАТЕРИАЛ ИЛИ ВЕЩЕСТВО
ЧАСТЬ 8. ИЗМЕРЕНИЕ УДЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ПРОВОДЯЩИХ
И СЛАБО ПРОВОДЯЩИХ МАТЕРИАЛОВ**

Настоящая статья является дальнейшим развитием магнитополевой теории и методов измерений физических величин на основе явления переноса энергии и информации сквозь материал. В статье изложена сущность метода косвенных измерений удельной электропроводности проводящих и слабо проводящих материалов, а также метода сравнения, основанных на новом физической принципе измерений. Описан магнитополевой измеритель удельной электропроводности, реализующий косвенный метод измерений. Показаны возможности измерения не только удельной электропроводности, но и других физических величин, характеризующие исследуемый материал: плотность тока в контуре волновода, объем материала волновода, количество электронов в этом объеме, а также число электронов в 1 м^3 этого материала. Работа представляет интерес для метрологов, специалистов, магистров и аспирантов, изучающих магнитополевые эффекты и явления, методы и средства измерения энергии Ферми материалов в макромире.

Ключевые слова: магнитополевые методы, измерения, электроны, удельная электропроводность материалов.

V.T. KONDRATOV

V.M. Glushkov Institute of Cybernetics of National Academy of Science of Ukraine

**FUNDAMENTAL METROLOGY. THE MAGNETIC-FIELD THEORY OF MEASUREMENTS WITH USE THE
PHENOMENON OF TRANSFER OF ENERGY AND INFORMATION THROUGH MATERIAL OR SUBSTANCE
PART 8. MAGNETIC-FIELD METHODS FOR MEASURING THE ELECTRICAL CONDUCTIVITY OF
CONDUCTIVE AND WEAKLY CONDUCTIVE MATERIALS**

This paper is a further development of magnetic-field theory and measurement methods of physical quantities based on the phenomenon of energy and information transfer through the material. The paper describes the essence of the method of indirect measurements of specific electrical conductivity of conductive and weakly conductive materials, as well as the comparison method based on the new physical measurement principle. The magnetic-field conductivity meter, which implements an indirect measurement method, is described. The focus is on the description of the essence of the indirect measurement method, its features and functionality. It is established that a significant influence on the value of the specific electrical conductivity of a material introduces an interval of the electron free path along the closed contour of the waveguide, depending on the structure and on the value of the lattice constant of the material. It is shown that a feature of the comparison method is the use, in accordance with the classical measurement theory, of an exemplary waveguide made from a material with normalized dimensions and parameters, and also the possibility of predicting factors affecting the significant conductivity of materials. The possibilities of measuring not only conductivity, but also other physical quantities characterizing the material under study are shown: current density in the waveguide circuit, volume of the waveguide material, number of electrons in this volume, and number of electrons in 1 m^3 this material. The circuit design of a magnetic-field meter for the specific electrical conductivity of materials that implements an indirect measurement method is described. The basis of this meter is a magnetic-field measuring transducer, which differs from the ones described earlier by the inclusion of a current meter in the circuit of the waveguide. The paper is of interest to metrologists, specialists, masters and graduate students who study magnetic-field effects and phenomena, methods and means of measuring the specific electrical conductivity of materials in the macrocosm.

Keywords: magnetic-field methods, measurements, electrons, specific electrical conductivity of materials.

Введение. Настоящая статья является дальнейшим развитием магнитополевой (МП) теории измерений (ТИ) в части измерения удельной электропроводности проводящих и слабо проводящих материалов. Ниже изложена сущность метода косвенных измерений удельной электропроводности материалов, а также метода сравнения, основанные на новом физической принципе измерений. Описан магнитополевой измеритель удельной электропроводности, реализующий косвенный метод измерений.

Объектом исследований являются магнитополевые (МП) методы измерения физических величин на основе явления переноса энергии и информации сквозь материал.

Предметом исследований являются магнитополевые методы измерения удельной электропроводности проводящих и слабо проводящих материалов.

По-прежнему актуальной является задача разработки и описания сущности МП методов измерений удельной электропроводности проводящих и слабо проводящих материалов и соответствующих схмотехнических решений магнитополевых измерителей (МПИ).

Результаты исследований

1. Проводниковые, диэлектрические (изоляционные) и полупроводниковые материалы как объекты исследований

Проводниковые материалы — это такие материалы, особенностью которых является наличие в их составе свободно передвигающихся заряженных частиц, которые распространены по всему объему

материала [1].

К проводниковым относятся материалы имеющие [2]: а) низкое удельное сопротивление ($10^{-6} - 10^{-3}$) Ом·см (высокую удельную электропроводность); б) (как правило) положительный температурный коэффициент сопротивления (ТКС); в) перекрытие зоны проводимости и валентной зоны (запрещенная зона отсутствует).

Различают два рода проводниковых материалов: проводники, обладающие проводимостью за счёт свободных электронов (1-го рода) и проводники, обладающие ионной проводимостью (2-го рода). К проводниковым материалам 1-го рода относятся чистые металлы и сплавы, а также некоторые оксиды, соли и ряд органических веществ. В качестве последних можно назвать, например, проводящие органические полимеры, эластичный полиацетилен, полипиррол, политиофен и др. Электропроводность проводников I рода не сопровождается химическими процессами, она обусловлена движением электронов.

К проводниковым материалам 2-го рода относятся электролиты (твёрдые оксидные электролиты, растворы солей, кислот, щелочей, материалы и вещества с ионным строением молекул и др.). В них прохождение тока связано с химическими процессами и обусловлено движением положительных и отрицательных ионов [3].

Все проводниковые материалы, как проводники электрического тока, характеризуются такими электрическими свойствами, как показателем сопротивления и показателем электропроводности.

Физически сопротивление возникает в результате столкновения части движущихся электронов с атомами и ионами материала (вещества).

Электропроводность — способность проводникового материала проводить электрический ток. Важным свойством проводникового материала является низкое сопротивление потоку движущихся электронов и, следовательно, высокая электропроводность.

Электропроводность материала определяется направленным движением электронов под действием внешнего электрического или импульсного магнитного поля высокой частоты. Движение электронов под действием внешней силы связано с изменением их энергии, что возможно при наличии свободных энергетических уровней валентной зоны [4].

Кроме указанных проводниковых материалов существует целая группа технических тканей и нетканых материалов, способных проводить электрический ток. Такие материалы называются токопроводящими. Их производят из особых волокон, способных проводить электричество [5]. Токопроводящие ткани используются для: обеспечения экранирующих свойств при пошиве спецодежды и защиты от электромагнитных полей; обеспечения шунтирующих свойств при пошиве спецодежды; защиты от наведенного напряжения; соединения различных электрических устройств на одежде; использования в одежде с подогревом (углеродные нити) и т.д. [5].

Измерение удельной электропроводности технических тканей и нетканых материалов является самостоятельной, особо важной и актуальной научно-технической задачей.

Диэлектрики — это такие изоляционные материалы (вещества), в которых при низких температурах отсутствуют электрические заряды. Диэлектрики имеют удельное электросопротивление ($10^9 - 10^{19}$) Ом·см и ширину запрещенной зоны более 3,0 эВ.

Диэлектрическими принято называть материалы, имеющие низкую плотность подвижных носителей заряда (ионов и электронов) [6]. В состав диэлектрических материалов входят лишь атомы нейтрального заряда и молекулы. Заряды нейтрального атома тесно связаны друг с другом и поэтому лишены возможности свободного перемещения по всему материалу.

Согласно [6], у диэлектриков энергия возбуждения для перехода электронов на уровни проводимости превосходит 5 эВ. При воздействии на диэлектрик или диэлектрический материал электрическим или импульсным магнитным полем высокой частоты в нем развивается как процесс поляризации, так и процесс сквозной электропроводности. В случаях экстремальных воздействий развитие указанных процессов может привести к потере энергии электрического поля или к пробое диэлектрика.

Электропроводность диэлектриков определяется, в основном, перемещением ионов. На концентрацию ионов оказывают влияние не только состав материала и его температура, но и облучение этого материала частицами высоких энергий.

В некоторых изоляционных материалах свободные электрические заряды присутствуют в небольших количествах. Они возникают в результате тепловых колебаний электронов. Повышение температуры изоляционного материала в некоторых случаях провоцирует отрыв электронов от ядра.

Существуют материалы, которые отличаются большим числом «оторванных» электронов, что свидетельствует об их плохих изоляционных свойствах. Измерение их удельной электропроводности также является актуальной научно-технической задачей.

Концентрация подвижных носителей заряда в полярных материалах, как правило, выше, чем в неполярных. Это связано с тем, что ионы примесей электрически взаимодействуют с дипольными моментами полярных молекул [6].

Электрические свойства изоляционных материалов определяются их способностью к поляризации. Поляризация диэлектриков — явление, связанное с ограниченным смещением связанных зарядов в диэлектрике или поворотом электрических диполей под воздействием: а) внешнего электрического поля; б)

внешнего магнитного поля; в) внешних сил иной физической природы (механических, воздействием температуры и т.д.); г) спонтанное (самопроизвольное) проявление поляризации. Поляризацию изоляционных (диэлектрических) материалов характеризует вектор электрической поляризации, представляющий собой дипольный момент, отнесенный к единице объема диэлектрика [7].

Поляризация не изменяет суммарного заряда в любом макроскопическом объеме внутри однородного диэлектрика. Однако она сопровождается появлением на его поверхности связанных электрических зарядов с некоторой поверхностной плотностью.

Известные типы поляризации приведены ниже в таблице по данным работы [7].

Анализ показал, что в диэлектрических материалах с указанными в таблице типами поляризации электроны и другие заряженные квазичастицы присутствуют в том или ином виде. Это дает возможность предположить, что теоретически и практически возможно осуществить генерацию тока в волноводах, выполненных из диэлектрических материалов, при воздействии на них соленоидальным импульсным магнитным полем заданной высокой частоты и напряженности, в том числе модулированным по напряженности и/или частоте и по фазе. При этом для каждого диэлектрического материала должны быть известными (и что следует учитывать) их собственные резонансные частоты и даже спектры. Для решения задачи генерации тока в диэлектрических материалах предстоит огромная научно-исследовательская работа по изучению и практическому приложению явления переноса энергии и информации сквозь материал.

Таблица 1

Типы поляризации

№ п/п	Типы поляризаций	Определение
1	Электронная	— смещение электронных оболочек атомов под действием внешнего электрического или импульсного магнитного поля. Самая быстрая поляризация (время протекания до 10^{-15} с). Электронная поляризация не связана с потерями.
2	Ионная	— смещение узлов кристаллической решетки под действием внешнего электрического или импульсного магнитного поля, причем смещение происходит на значение, меньшее, чем значение постоянной решетки. Время протекания 10^{-13} с без потерь.
3	Дипольная (ориентационная)	— протекает с потерями на преодоление сил связи и внутреннего трения. Связана с ориентацией диполей во внешнем электрическом поле.
4	Электронно-релаксационная	— ориентация дефектных электронов во внешнем электрическом или импульсном магнитном поле.
5	Ионно-релаксационная	— смещение ионов, слабо закрепленных в узлах кристаллической структуры, либо находящихся в междузлиях.
6	Структурная	— ориентация примесей и неоднородных макроскопических включений в диэлектрике. Самый медленный тип поляризации.
7	Спонтанная (самопроизвольная)	— возникает в отсутствие внешнего электрического поля.
8	Резонансная	— ориентация частиц, собственные частоты колебания которых совпадают с частотами внешнего электрического или импульсного магнитного поля.
9	Миграционная	Обусловлена наличием в материале слоев с различной проводимостью, образованию объёмных зарядов, особенно при высоких градиентах напряжения. Имеет большие потери и является поляризацией замедленного действия.

Полупроводники занимают промежуточное место между диэлектриками и проводниками. Их главное отличие заключается в зависимости электропроводности от температуры и количества примесей в их составе. При этом таким материалам свойственны характеристики и диэлектрика, и проводника.

Полупроводники имеют удельное электросопротивление ($10^{-2} - 10^9$) Ом·см и ширину запрещенной зоны от 0,1 эВ до 3,0 эВ.

В полупроводниках, из-за малой ширины запрещенной зоны, возможен переход электрона из валентной зоны в зону проводимости под действием внешнего электрического поля, импульсного магнитного поля, теплового, светового, ионизирующего излучения и т.п. [4].

В общем случае удельная электропроводность полупроводникового материала может быть описана уравнением величин:

$$\sigma = N_0 q_e \mu_e \text{ Ом}^{-1} \text{ м}^{-1}, \quad (1)$$

где N_0 — концентрация носителей заряда; q_e — заряд электрона; μ_e — подвижность носителей заряда, например, электронов.

Под подвижностью понимают дрейфовую скорость частицы v_d в электрическом поле напряженностью $E = 1 \text{ В/см}$:

$$\mu_e = \frac{v_d}{E} \frac{\text{м}^2}{\text{В} \cdot \text{с}}. \quad (2)$$

Как видно из (1), удельная электропроводность зависит от дрейфовой скорости частицы в электрическом поле, т.е. от подвижности заряженных частиц в этом поле.

Различают собственную проводимость, проводимость n -типа и проводимость p -типа. Собственная проводимость полупроводникового материала — это электропроводность, обусловленная генерацией пар носителей заряда «электрон-дырка». Согласно [4], собственная электропроводность полупроводникового материала определяется уравнением величин:

$$\sigma = q_e N_i \mu_n + q_e P_i \mu_p, \quad (3)$$

где N_i, μ_n, P_i, μ_p — концентрации и подвижности электронов и дырок, соответственно.

Удельная электропроводность полупроводников n -типа приблизительно определяется уравнением величин

$$\sigma_n \approx q_e N_i \mu_n, \quad (4)$$

а p -типа — уравнением величин

$$\sigma_p \approx q_e P_i \mu_p, \quad (5)$$

На практике удельная электропроводность образца материала определяется согласно уравнению величин [4]:

$$\sigma = h I_x / s U_0, \quad (6)$$

где h — толщина образца, м; s — площадь образца, м²; I_x — ток, протекающий через образец, А; U_0 — напряжение на образце, В. Так, например, при $h = 3,0 \cdot 10^{-4} \text{ м}$, $s = 4,9 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2$, $I_x = 15 \cdot 10^{-5} \text{ А}$, $U_0 = 0,027 \text{ В}$ получим

$$\sigma = \frac{3,0 \cdot 10^{-4} \cdot 15 \cdot 10^{-5}}{4,9 \cdot 10^{-5} \cdot 2,7 \cdot 10^{-2}} = 34 \cdot 10^{-3} \text{ См/м}. \quad (7)$$

Теоретический и практический интерес представляет задача измерения удельной электропроводности проводниковых, изоляционных и полупроводниковых материалов при воздействии на них импульсным магнитным полем высокой частоты.

2. Магнитопольные методы измерения удельной электропроводности проводниковых материалов

2.1. Косвенный метод измерения

Сущность магнитопольного метода косвенных измерений удельной электропроводности материалов заключается в следующем. Во-первых, в изготовлении из исследуемого материала, удельная электропроводность которого определяется, волновода априори заданной конфигурации, строго симметричной формы, заданных размеров и качества обработки поверхности. В частности, например, в изготовлении плоского волновода в виде двухконтурной физической (механической) системы замкнутого типа, выполненного с использованием технологии лазерной резки материалов. Только в этом случае в волноводе создаются все физические (конструктивно-технологические) условия выполнения закона сохранения механической энергии и закона сохранения электромагнитной энергии. Во-вторых, в использовании идентичных катушек одинаковой по значению индуктивности ($\{L_1\} = \{L_2\} = \{L_3\} = \{L_4\} = \{L_0\}$), которые располагаются перпендикулярно площади поверхности волновода и соосно его контурам, обеспечивая, тем самым, эффективное действие закона электромагнитной индукции. В-третьих, в выполнении в заданной последовательности физических операций формирования соленоидального импульсного магнитного поля высокой частоты и периодическом его воздействии на свободные электроны материала. В-четвертых, в использовании нового уравнения измерений, согласно которому осуществляется вычисление значений удельной электропроводности материалов.

Рассмотрим сущность метода более подробно. Поскольку переменное магнитное поле той или иной частоты создается в катушке индуктивности переменным током соответствующей частоты, то первоначально формируется ток с заданными параметрами, например, ток прямоугольной формы (типа меандр), заданной высокой или сверхвысокой частоты ω_0 ($\{\omega_0\} \geq 2\pi \cdot 10^7 \text{ с}^{-1}$) и амплитуды I_m импульсов. Математически этот ток описывается уравнением величин

$$i(t) = I_m \left[\frac{k_1}{k_2} + \sum_{n=1}^{n \rightarrow \infty} \frac{\sin(k_2 n - k_1) \omega_0 t}{k_2 n - k_1} \right], \quad (8)$$

где $k_1 = 1, k_2 = 2; n$ — целое число $1, 2, 3, \dots; I_m$ — амплитудное значение тока.

Следует отметить, что амплитуда импульсов может устанавливаться в широком диапазоне значений и изменяться в зависимости от вида исследуемого материала.

Полученным высокочастотным током периодически воздействуют с низкой частотой Ω на электроны, например, первого контура волновода.

Пачки импульсов тока (рис. 1) математически описываются уравнением величин

$$i_1(t) = I_m \left[\frac{k_1}{k_2} + \sum_{n=1}^{n \rightarrow \infty} \frac{\sin(k_2 n - k_1)\omega_0 t}{k_2 n - k_1} \right] \cdot \left[\frac{k_1}{k_2} + \sum_{n=1}^{N \rightarrow \infty} \frac{\sin(k_2 N - k_1)\Omega t}{k_2 N - k_1} \right]. \quad (9)$$

Отношение высокой частоты к низкой выбирается, как правило, равным $\{\omega_0\} / \{\Omega\} = 10^4 \dots 10^6$.

Ток (9), протекающий через высокочастотную катушку индуктивности, возбуждает в ней соленоидальное импульсное магнитное поле (сверх)высокой частоты ω_0 с энергией

$$W_{0M} = L_0 (i_1(t))^2 / k_2, \quad (10)$$

где L_0 — индуктивность катушки индуктивности, зависящей как от индуктивности, так и от частоты и амплитуды импульсов тока.

Сформированным соленоидальным импульсным магнитным полем высокой частоты действуют на электроны исследуемого материала первого контура волновода, причем под прямым углом к его поверхности. В результате происходит принудительное движение электронов вдоль замкнутого контура волновода, например, слева на право, и распространение по нему высокочастотной электромагнитной волны, создаваемой за счет поперечных колебаний электронов и передачи их энергии.

Весьма важно, чтобы между парам высокочастотных колебательных контуров были установлены тесные емкостные связи с электрическими емкостями, соответственно, первого и второго плоских контуров волновода. Эти связи должны быть максимальными, чтобы исключить погрешность формирования электродвижущей силы и преобразования ее в высокочастотное напряжение. Получение тесных емкостных связей достигается за счет установления точного значения 90-го угла между горизонтальной плоскостью поверхности волновода и осями катушек индуктивности. От этого зависит точность формирования как тока I_x в контуре волновода, так и наведенных напряжений U_{o1} и U_{o2} .

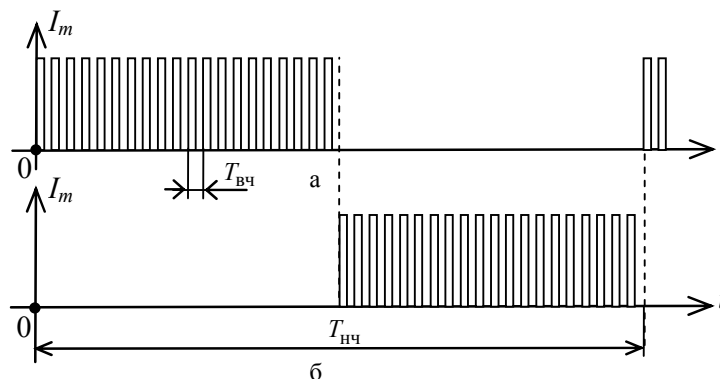


Рис. 1. Графическое изображение «пачек» высокочастотных импульсов тока прямоугольной формы (типа меандр)

В описываемом магнитополем методе соленоидальное импульсное магнитное поле (сверх)высокой частоты ω_0 формируется в нечетные полупериоды низкой частоты Ω следования пачек импульсов (9) (рис. 1), причем только в левой катушке индуктивности. Это обусловлено тем, что под действием каждого импульса силового магнитного поля высокой частоты электроны, расположенные в левом контуре волновода, начинают двигаться по всему замкнутому контуру волновода за счет действия на каждый из них силы Лоренца. Последняя всегда перпендикулярна вектору скорости движения электронов и других заряженных квазичастиц и не совершает работы, поскольку не меняет скорость и кинетическую энергию электронов.

Поскольку сила Лоренца действует перпендикулярно вектору скорости и направлению поля, то она создает центростремительное ускорение, т.е. изменяет направление движения электронов, не изменяя значения скорости. Поэтому электроны двигаются в магнитном поле по замкнутому кругу.

Благодаря формированию соленоидального импульсного магнитного поля (сверх)высокой частоты в нечетные полупериоды этой частоты, обеспечивается, при силовом действии этого поля, направленное движение электронов. В четные полупериоды (сверх)высокой частоты, т.е. при отсутствии действия магнитного поля, электроны с массой m_e движутся по инерции. Согласно второго закона Ньютона, это движение является равноускоренным, потому что, как доказано Ньютоном, ускорение пропорционально силе, вызывающей это ускорение.

Равноускоренное движение электронов сохраняется лишь на коротких участках пути (рис. 2, а,

участки $0-l_0, l_{k_2 0}-l_0, l_{k_3 0}-l_{k_2 0}$ и т.д.), ограниченных во времени четными полупериодами тока (или импульсного магнитного поля) (сверх)высокой частоты (рис. 2, б). Тогда среднее значение скорости устанавливается пропорциональным ускорению. Таким образом в волноводе формируется ток пропорциональный числу и скорости движения сорентированных электронов.

Генерируемый ток остается пропорциональным скорости в случаях, когда участки $0-l_0, l_{k_2 0}-l_0, l_{k_3 0}-l_{k_2 0}$ являются малыми и равномерными. Любая неравномерность участков приводит к нелинейности энергии, отдаваемой электронами ($mv^2/2$). В этом случае потенциалы у проводникового материала волновода станут неравномерными. Это может привести к локальному нагреву или даже перегреву проводникового материала. Равномерность распределения потенциалов является важным условием того, чтобы назвать ту или иную среду электрическим проводником.

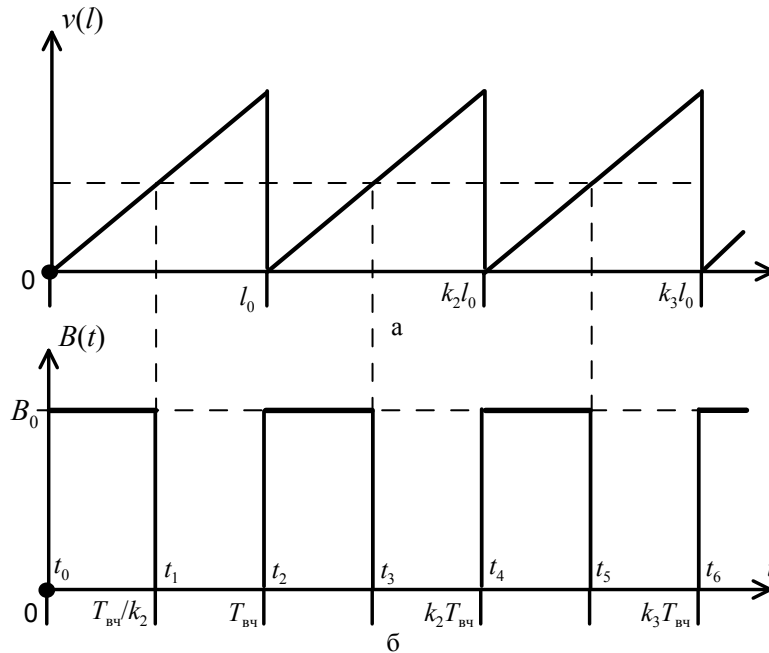


Рис. 2. Эпюры изменения средней скорости движения электронов в проводниках на коротких участках пути при действии импульсного магнитного поля (сверх)высокой частоты (типа меандр)

В металлах это условие выполняется автоматически благодаря строгой периодичности кристаллической решётки.

Сила тока в волноводе зависит от заряда q_e и концентрации N электронов, от средней скорости $\overline{v_{cp}}$ упорядоченного движения электронов, а также от площади S сечения и формы материала волновода, сквозь который течет ток. При $N = const$ и $\overline{v_{cp}} = const$

$$I_x = q_e N v_{cp} S \cos \alpha, \tag{11}$$

где α — угол между направлением скорости электронов и вектором нормали к плоской поверхности волновода.

Необходимо подчеркнуть, что ток остается пропорциональным скорости движения электронов только при условии, когда скорость периодически скидывается в нуль. Это имеет место в четные полупериоды высокочастотного тока, создающего магнитное поле (рис. 2, б). В таком случае ток через материал волновода характеризуется средней длиной $\overline{l_e}$ свободного пробега электронов, которая определяется при условии, что

$$aT_0 = k_2 v_{cp}, \text{ и } \overline{l_e} = v_{cp} T_0 = k_2 v_{cp}^2 / a \text{ или} \tag{12}$$

$$\overline{l_e} = \frac{k_2 m_e}{H q_e} \left(\frac{\gamma^*}{\sigma} \right)^2,$$

где $k_2 = 2$, H — напряженность магнитного поля, а a — ускорение, $\gamma^* = 10^6 \gamma$; γ — плотность тока, [А/м²].

Высокочастотная электромагнитная волна, возникающая при вращательно-колебательно-поступательном движении электронов по замкнутому контуру волновода, наводит во входной и выходной высокочастотных катушках индуктивности электродвижущую силу, которая трансформируется, выпрямляется, усредняется и измеряется, а полученные значения напряжений U_0 и U_x запоминаются.

Напряжение U_0 характеризует (косвенно) энергию высокочастотного магнитного поля на передающем конце волновода (в первом контуре), а напряжение U_x — энергию этого поля на приемном конце волновода (во втором контуре).

При движении по замкнутому контуру плоского волновода часть электронов теряет свою энергию за счет столкновения с атомами кристаллической решетки и с некоторыми ее электронами. Поэтому при идентичных высоко-частотных катушках индуктивности, $\{U_x\} < \{U_0\}$.

Следует отметить, что структура кристаллической решетки разных материалов отличается одна от другой и, в основном, обуславливает электропроводность того или иного материала.

Как отмечалось выше, высокочастотные колебания, которые появляются на выходах высокочастотных колебательных контуров, трансформируются. Коэффициент трансформации выбирается, как правило, равными единице. Это обеспечивает полную симметрию преобразования сигналов и повышает точность измерений напряжений U_0 и U_x .

Одновременно с измерением напряжений U_0 и U_x , измеряют действительное значение тока I_x , обусловленного движением электронов в замкнутом контуре волновода. Причем измерения осуществляются в месте наибольшей плотности электронов, т.е. в месте соединения первого и второго контуров плоского волновода проводниками, которые, как правило, выбираются нормированными по значениям площади сечения. Это необходимо для дальнейшего определения плотности тока. Для примера на рис. 3 приведены чертежи плоского двухконтурного волновода, где в разрезе A-A показаны площадь сечения $\Delta S_0 = 1\text{мм}^2$ и толщина волновода $\Delta h_0 = 1\text{мм}$.

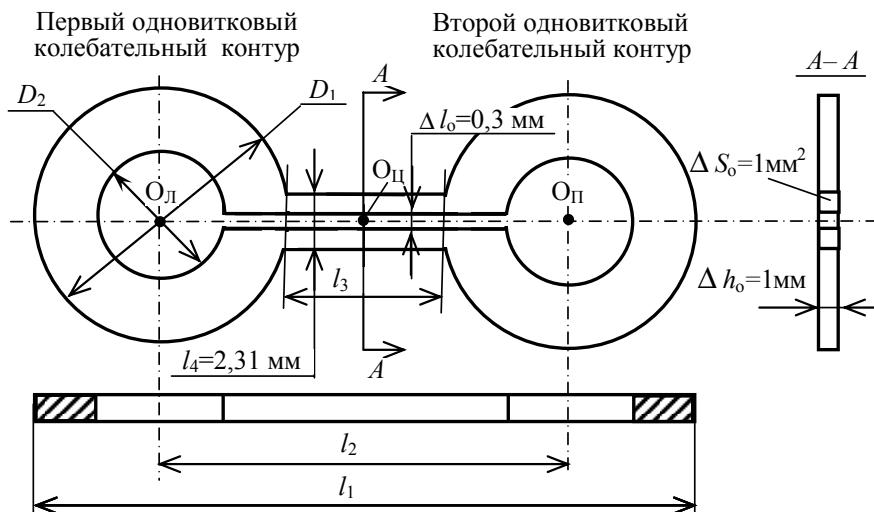


Рис. 3. Чертежи образцового плоского двухконтурного волновода

Согласно данному магнитопольного метода измерения, кроме токов и напряжений, определяется средняя длина \bar{l}_e свободного пробега электронов. Она определяется исходя из предположения, что длина свободного пробега не превышает половину периода кристаллической решетки (для проводниковых материалов с периодической структурой, т.е. при вероятности столкновения электронов с атомами кристаллической решетки равной 50%). Определение средней длины пробега электронов осуществляется согласно уравнению величин $\bar{l}_e = b / k_2$ [м], где $k_2 = 2$; b — период кристаллической решётки материала, из которого изготовлен волновод.

Об удельной электропроводности исследуемого материала судят по уравнению измерений

$$\sigma_x = \frac{I_x}{U_{x2}} \cdot \frac{1}{\bar{l}_e} \text{ См/м}. \tag{13}$$

Предположим, что в процессе измерений получены следующие результаты: $I_x = 9,8 \cdot 10^{-3} \text{ А}$, $U_{x2} = 0,92 \text{ В}$ и $\bar{l}_e = b / 2 = 0,1807 \cdot 10^{-9} \text{ м}$. Подставим их в (13) и получим числовое значение удельной электропроводности исследуемого материала, из которого выполнен плоский двухконтурный волновод:

$$\sigma_m = \frac{1}{0,1807 \cdot 10^{-9} \text{ м}} \cdot \frac{9,8 \cdot 10^{-3} \text{ А}}{0,92 \text{ В}} = \frac{9,8}{0,166} \cdot 10^6 = 59,04 \cdot 10^6 \text{ См/м} = 59,04 \text{ МСм/м}. \tag{14}$$

Дополнительно определяется значение плотности тока в контуре волновода:

$$J_x = \frac{I_x}{\Delta S_0} \left[\frac{\text{А}}{\text{м}^2} \right] = \frac{9,8 \cdot 10^{-3}}{1 \cdot 10^{-6}} = 9,8 \text{ А/м}^2 = 9,8 \text{ мА/мм}^2, \tag{15}$$

где $\Delta S_0 = 1 \text{ мм}^2 = 1 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$ — априори заданная площадь поперечного сечения волновода (в месте разрыва контура).

Покажем возможность определения числа электронов в объеме материала волновода, а также число электронов в 1 м^3 этого материала.

Вычислим дополнительные параметры и характеристики волновода изготовленного, например, из меди. Площадь поверхности волновода определяется по его геометрическим размерам (рис. 3). Допустим $S_x = 750 \text{ мм}^2 = 0,75 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$. Объем волновода определяется согласно уравнению измерений

$$V_x = S_x h_0 = 750 \text{ мм}^2 \cdot 1 \text{ мм} = 750 \text{ мм}^3 = 0,75 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3. \quad (16)$$

Предположим, что молярная масса меди $M_{Cu} = 0,0635 \text{ кг/моль}$, а плотность $\rho_{Cu} = 8,89 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$. Известно, что число молекул равно произведению количества вещества ν на число Авогадро N_A ($N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$) и определяется в соответствии с уравнением величин

$$N = \nu N_A. \quad (17)$$

С другой стороны, количество вещества ν равно отношению массы меди к ее молярной массе, т.е. $\nu = m_{Cu} / M_{Cu}$. Масса меди равна произведению плотности на объем, т.е. $m_{Cu} = \rho_{Cu} V_{Cu}$. Тогда количество вещества определяется по уравнению величин $\nu = \rho_{Cu} V_{Cu} / M_{Cu}$. Подставим V в (17) и получим уравнение величин для определения число молекул в объеме V_{Cu} плоского двухконтурного волновода в виде

$$N = N_A \frac{\rho_{Cu} V_{Cu}}{M_{Cu}}. \quad (18)$$

Поскольку число Авогадро $N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$, $V_x = 0,75 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$, а плотность меди марки М00 $\rho_{Cu} = 8,94 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$, то число молекул (и электронов) в исследуемом материале волновода

$$N = N_A \frac{\rho_{Cu} V_{Cu}}{M_{Cu}} = 6,022 \cdot 10^{23} \frac{8,94 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3 \cdot 0,75 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3}{0,0635 \text{ кг/моль}} = 6,022 \cdot 10^{23} \frac{8,94 \cdot 10^3 \cdot 0,75 \cdot 10^{-6}}{6,35 \cdot 10^{-2}} = 0,636 \cdot 10^{23}, \quad (19)$$

а в 1 м^3 исследуемого материала образца меди содержится

$$N = \frac{N_x}{V_{Cu}} = \frac{6,358 \cdot 10^{22}}{0,75 \cdot 10^{-6}} = 8,477 \cdot 10^{28} \text{ электронов}. \quad (20)$$

Таким образом, описанный магнитолевой метод обеспечивает измерение не только удельной электропроводности материала, из которого изготовлен плоский двухконтурный волновод, но и плотность тока в контуре волновода, объем материала волновода, число электронов в этом объеме и в 1 м^3 этого материала.

2.2. Метод сравнения

Точность измерений и функциональные возможности описанного магнитолевого (косвенного) метода определения удельной электропроводности материалов можно расширить, если использовать метод сравнения со стандартным образцом материала волновода, т.е.: 1) использовать второй плоский двухконтурный волновод, изготовленный из того же материала, но с нормированными по значениям механическими величинами; 2) дополнительно выполнить ряд операций измерения механических величин или определить их значения по результатам вычислений.

До проведения измерений проводят дополнительные работы по изготовлению двух плоских двухконтурных волноводов, — образцового и исследуемого, например, из меди. Для изготовления образцового волновода используют наилучшую по электропроводности медь, например, безкислородную листовую медь марки М00 толщиной 1 мм. Такая медь содержит 99.99% Cu, до 0.008% примесей и не более 0,001% кислорода.

Из чистого материала с минимальным количеством примесей дополнительно изготавливается стандартный

образец плоского двухконтурного волновода с нормированными по значениям параметрами: массой m_0 [кг], площадью S_0 [м²], толщиной Δh_0 [м], зазором Δl_0 [м], плотностью ρ_0 [кг/м³] и площадью сечения ΔS_0 [мм²].

Из исследуемого образца листовой меди неизвестной марки изготавливают второй (рабочий, исследуемый) идентичный по размерам и конфигурации плоский двухконтурный волновод. Как и в предыдущем случае, одним из известных методов определяют значения таких механических величин плоского двухконтурного волновода, как масса m_x [кг], площадь S_x [м²], толщина Δh_x [м], зазор Δl_x [м] между участками соединения плоских контуров волновода и плотность ρ_x [кг/м³] материала волновода и площадь сечения ΔS_0 [мм²]. Оба волновода изготавливаются по чертежам, приведенным, например, на рис. 3.

Полученные значения механических величин образцового и исследуемого волноводов сравниваются между собой, т.е. определяются неравенства: $m_x \neq m_0$ или $m_x = m_0$; $S_x \neq S_0$ или $S_x = S_0$; $\Delta h_x \neq \Delta h_0$ или $\Delta h_x = \Delta h_0$; $\Delta l_x \neq \Delta l_0$ или $\Delta l_x = \Delta l_0$; $\bar{l}_{ex} \neq \bar{l}_{e0}$ или $\bar{l}_{ex} = \bar{l}_{e0}$; $I_{x1} \neq I_{x0}$ или $I_{x1} = I_{x0}$; $U_{x2} \neq U_{02}$ или $U_{x2} = U_{02}$; $\Delta S_x = \Delta S_0$ или $\Delta S_x \neq \Delta S_0$.

С использованием стандартного образца материала волновода измеряются и запоминаются действительное значение тока I_0 , обусловленного движением электронов, и действующие значения напряжений U_{01} и U_{02} . В методе сравнения об удельной электропроводности исследуемого материала судят по уравнению величин

$$\sigma_x = \sigma_0 \frac{I_x U_{02} \bar{l}_{e0}}{I_0 U_{x2} l_e} \text{ МСМ/М} = \sigma_0 \frac{I_x U_{02} \bar{l}_{e0}}{U_{x2} I_0 l_e} \text{ МСМ/М} = \sigma_0 \frac{R_0 \bar{l}_{e0}}{R_x l_e} \text{ МСМ/М}. \quad (21)$$

При этом принимается во внимание следующее:

1) $\sigma_x = \sigma_0$ при $\bar{l}_{ex} = \bar{l}_{e0}$, $I_x = I_0$ и $U_{x2} = U_{02}$, причем ток I_x и напряжение U_{x2} обусловлены движением с заданной скоростью того же количества электронов, что и в образцовом волноводе, а также переносом энергии электронов в течении заданного времени и по тому же пути;

при $m_x \neq m_0$, $S_x = S_0$, $\Delta h_x = \Delta h_0$ и $\Delta l_x = \Delta l_0$ ток I_x обусловлен разностью масс волноводов, а значит числом электронов, напряжение U_{x2} обусловлено движением по тому же пути с заданной скоростью иного числа электронов в течении заданного интервала времени, поэтому $\sigma_x \neq \sigma_0$;

при $S_x \neq S_0$, $m_x = m_0$, $\Delta h_x = \Delta h_0$ и $\Delta l_x = \Delta l_0$ ток I_x обусловлен разностью площадей поверхностей волноводов, а напряжения U_{x2} — движением электронов с заданной скоростью по замкнутому контуру иной длины, поэтому $\sigma_x \neq \sigma_0$;

при $\Delta h_x \neq \Delta h_0$, $m_x = m_0$, $S_x = S_0$, и $\Delta l_x = \Delta l_0$ ток I_x и напряжение U_{x2} обусловлены разностью толщин материала волноводов разным числом электронов, которые движутся с заданной скоростью по замкнутому контуру, поэтому $\sigma_x \neq \sigma_0$;

при $\Delta l_x \neq \Delta l_0$, $m_x = m_0$, $S_x = S_0$ и $\Delta h_x = \Delta h_0$ ток I_x и напряжение U_{x2} обусловлены разностью (или разницей?) промежутков между элементами конструктивной ёмкости в волноводах, что приводит к изменению параметров второго контура волновода и изменению скорости движения электронов по замкнутому контуру, поэтому $\sigma_x \neq \sigma_0$;

при неидентичности (разности значений) двух и более одноименных механических величин сравниваемых волноводов, $I_x \neq I_0$ и $U_{x2} \neq U_{02}$, поэтому $\sigma_x \neq \sigma_0$.

При сравнении параметров двух волноводов, выполненных из материалов, разных по составу примесей, а значит и по структуре кристаллической решетки, длину свободного пробега электронов по замкнутому контуру исследуемого материала можно найти по уравнению величин

$$\bar{l}_e = \bar{l}_{e0} \frac{\sigma_0 I_x U_0}{\sigma_x U_x I_0}. \quad (22)$$

Определение удельной электропроводности исследуемого материала методом сравнения обеспечивает существенное повышение точности измерений. Кроме того, данный метод обеспечивает получение дополнительной информации о плотности тока в контуре волновода, о числе электронов в объеме исследуемого материала волновода и в 1 м3 этого материала, о напряженности электрического поля между крайними точками водновода, о длине пути свободного пробега электронов и т.д. Кроме того, метод сравнения обеспечивает возможность прогнозирования: какие механические величины, одна или несколько, приводят к изменениям удельной электропроводности материала, на сколько процентов и в какую сторону увеличивается или уменьшается их разность. Все это свидетельствует о широких функциональных возможностях описанного метода.

3. Магнитопольный измеритель удельной электропроводности материалов

Основу магнитопольного измерителя удельной электропроводности проводящих и слабо проводящих материалов, комбинированная схема которого приведена на рис. 4, составляет магнитопольный измерительный преобразователь, подробно описанный в работах [8, 9]. В приведенной комбинированной схеме используются следующие обозначения: КИП — кодоуправляемый источник питания; ПТК — преобразователь «ток-код»; ДВ1 и ДВ2 — двухполупериодные выпрямители; МК — микроконвертор; ЦОУ — цифровое отсчетное устройство; КЛ — клавиатура; БС1 и БС2 — ферритовые броневые сердечники; WG — плоский двухконтурный волновод; $L1, L2, L3, L4$ — многovitковые катушки индуктивности; $L5, L6$ — одновитковые плоские контура волновода; Тг — триггер; $VT1$ и $VT2$ — транзисторы; WQ — кварцевый резонатор; $R1$ и $R2$ — резисторы; $C1$ и $C2$ — конденсаторы. Все функциональные блоки и элементы соединены между собой, как показано на рис. 4.

Рассмотрим, вкратце, работу магнитопольного измерителя удельной электропроводности проводниковых материалов, реализующего метод косвенных измерений. После включения кодоуправляемого источника питания КИП, на функциональные блоки Тг, МК, ЦИУ и КЛ подается

напряжение питания. По команде, записанной в память микроконвертора МК, на цифровые входы-выходы КИП с выходов-входов порта P2 микроконвертора МК поступает цифровой сигнал, устанавливающий заданное нормированное значение напряжения на первом выходе КИП, к которому подключены первые выводы катушек индуктивности L2 и L4.

Одновременно счетный триггер Тг и ЦОУ устанавливаются в нуль. На выходе счетного триггера Тг устанавливается сигнал низкой частоты типа меандр (рис. 1). Этот сигнал формируется по программе, записанной в память МК, которая в свои нечетные полупериоды разрешает прохождение сигнала (сверх)высокой частоты с эмиттера транзистора VT1 в катушку индуктивности L2 (с одновременным усилением сигнала по току). Следует отметить, что сигнал (сверх)высокой частоты формируется с использованием кварцевого резонатора WQ на априори заданную частоту. Последний включается в схему кварцованного генератора согласно рис. 4. При смене частоты генерации кварцевый резонатор WQ заменяется другим, — с иной частотой резонанса.

Высокочастотный ток, который течёт через катушку индуктивности L2, намотанной на цилиндрическом каркасе, создает соленоидальное импульсное магнитное поле (сверх)высокой частоты. Это поле периодически воздействует на электроны контура L5 волновода WG. В результате возникает высокочастотная электромагнитная волна, распространяющаяся, как и движущиеся электроны, по замкнутому контуру волновода WG. Эта волна совместно с движущимися электронами создает высокочастотный ток. С помощью преобразователя «ток-код» ПТК осуществляется преобразование, выпрямление и усреднение высокочастотного тока с последующим измерительным преобразованием полученного постоянного тока I_x в код числа N_{I_x} и запоминанием его значения в оперативной памяти микроконвертора МК.

Высокочастотные сигналы, наводимые в катушках индуктивности L2 и L4, трансформируются в катушки индуктивности L1 и L3 соответственно. Выходные сигналы с указанных катушек индуктивности поступают, соответственно, на входы выпрямителей ДВ1 и ДВ2. На выходах выпрямителей ДВ1 и ДВ2 формируются напряжения U_o и U_x . Указанные напряжения поступают, через коммутатор каналов порта P0 на аналого-цифровой преобразователь, встроенный в микроконвертор МК.

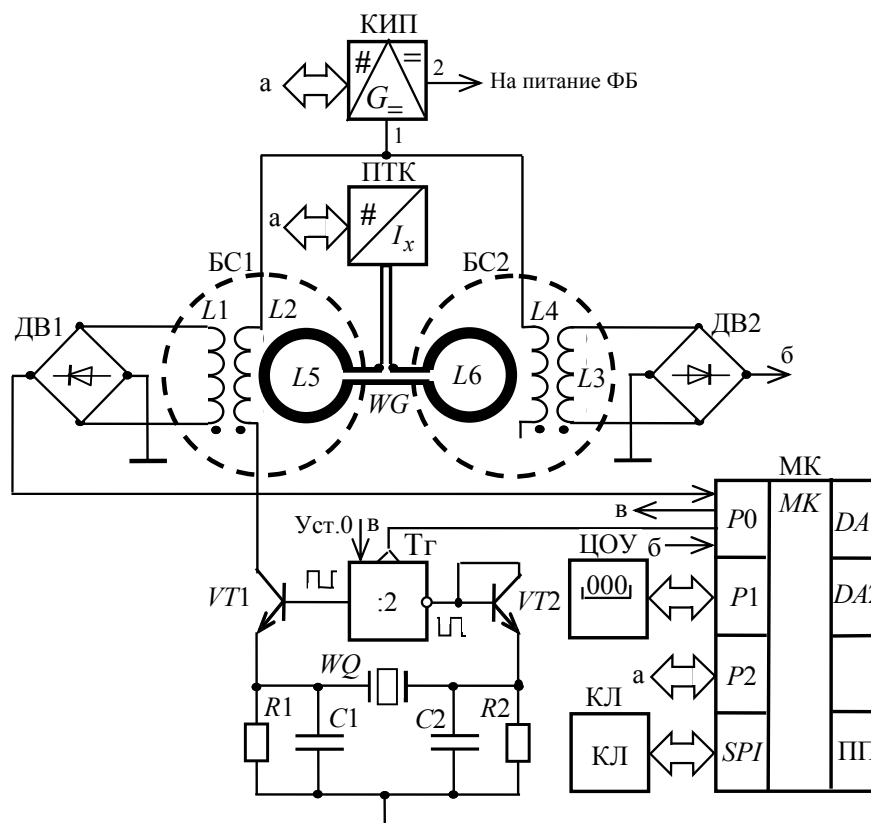


Рис. 4. Комбинированная схема магнитополевого измерителя удельной электропроводности материалов

Полученные коды чисел N_{U_o} и N_{U_x} запоминаются в оперативном запоминающем устройстве микроконвертора МК.

При необходимости, с помощью клавиатуры КЛ устанавливается значение низкой частоты, необходимое для формирования пачек импульсов в определенном диапазоне значений частот.

После завершения процесса измерений, по программе, записанной в микроконвертор МК, осуществляется обработка полученных результатов. Как правило, справочные данные о значениях механических величин априори заносятся в память МК. В случае замены образцового плоского двухконтурного волновода WG на другой, выполненный, например, из другого материала, новые исходные

данные заносятся в память МК с помощью клавиатуры КЛ.

Полученные результаты вычислений обрабатываются и отображаются на экране ЦОУ, подключенного к порту P1 МК.

При измерениях были получены, например, следующие результаты: $N_{I_x} = 9,8 \cdot 10^{-3} \text{ А}$, $N_{U_x} = 0,92 \text{ В}$ и $N_{\bar{l}_e} = 0,1807 \cdot 10^{-9} \text{ м}$.

Об удельной электропроводности исследуемого материала судят по уравнению величин (13). Последнее может быть записано в виде уравнение числовых значений

$$N_{\sigma_x} = \frac{N_{I_x}}{N_{U_x}} \cdot \frac{1}{N_{\bar{l}_e}}. \quad (23)$$

Подставив результаты измерений в (23), получим следующее значение удельной электропроводности исследуемого образца меди:

$$N_{\sigma_x} = \frac{9,8 \cdot 10^{-3} \text{ А}}{0,92 \text{ В}} \frac{1}{0,1807 \cdot 10^{-9} \text{ м}} = \frac{9,8}{0,166} \cdot 10^6 = 59,04 \cdot 10^6 \text{ См/м} = 59,04 \text{ МСм/м}. \quad (24)$$

Описанное техническое решение магнитополевого измерителя имеет достаточно высокую точность измерения удельной электропроводности материалов, поскольку определяется, прежде всего, точностью измерения тока и напряжения приборами определенного (выбранного) класса точности.

Данное техническое решение может быть использовано при измерениях удельной электропроводности любого проводящего или слабо проводящего материала при условии, что из него возможно изготовление плоского двухконтурного волновода заданной конфигурации и размеров.

Магнитолевой измеритель, реализующий косвенный метод измерения, имеет расширенные функциональные возможности в части измерения не только удельной электропроводности материалов, но и плотности тока, напряженности электрического поля в материале, длину свободного пробега электронов и т.д. Для реализации метода сравнения в магнитолевом измерителе все измерительно-преобразовательные операции осуществляются для двух волноводов, изготовленных из исследуемого и образцового материалов.

Выводы

1. Существующие бесконтактные измерители удельной электропроводности материалов основаны на использовании вихревых токов в исследуемом металле. При измерениях слабопроводящих материалов они не обеспечивают высокую точность измерений.

2. Есть все основания полагать, что магнитолевые методы могут использоваться не только для определения удельной электропроводности проводниковых материалов 1-го рода, но и материалов 2-го рода благодаря их периодической структуре.

3. Измерение удельной электропроводности многих диэлектрических (изоляционных) материалов магнитолевым методом возможно, поскольку при воздействии на эти материалы электрическим или импульсным магнитным полем высокой частоты, в них развивается как процесс поляризации, так и процесс сквозной электропроводности.

4. Удельная электропроводность материала зависит от дрейфовой скорости заряженной частицы в электрическом поле, т.е. от их подвижности.

5. Измерение удельной электропроводности полупроводниковых материалов магнитолевым методом не сложно, но требует реализацию операции пространственного инвертирования полупроводникового материала, из которого выполнен волновод.

6. В основу косвенного метода определения удельной электропроводности материала положено измерения силы токов, протекающих сквозь материал волновода, и напряжений, наведенных в высокочастотных контурах, связанных с исследуемым материалом, в результате действия на его заряженные квазичастицы соленоидальным импульсным магнитным полем высокой или сверхвысокой частоты. Ограничением является невозможность изготовления плоского двухконтурного волновода из исследуемого материала (вещества).

7. Метод сравнения основан на измерениях токов и напряжений двух волноводов, изготовленных из исследуемого и образцового материалов.

8. Генерируемый в замкнутом контуре волновода высокочастотный ток пропорционален скорости движения электронов только при условии, когда скорость периодически сбрасывается в нуль, а ток может быть охарактеризован средней длиной свободного пробега электронов.

9. При движении по замкнутому контуру плоского волновода часть электронов теряет свою энергию за счет столкновения с атомами кристаллической решетки и с некоторыми ее электронами. Это является причиной, ограничивающей электропроводность исследуемого материала.

10. Средняя длина свободного пробега электронов определяется исходя из предположения, что она не превышает половины периода кристаллической решетки материала волновода, т.е. предполагается, что вероятность столкновения электронов с атомами кристаллической решетки не превышает 50%.

Метод сравнения обеспечивает возможность устанавливать, какие механические величины приводят к изменениям удельной электропроводности материала, на сколько процентов и в какую сторону увеличивается или уменьшается удельная электропроводность материала.

11. Описанные магнитолевые методы характеризуются высокой точностью измерений и

широкими функціональними можливостями. Эти методы обеспечивают получение дополнительной информации о плотности тока в контуре волновода, о числе электронов в объеме исследуемого материала волновода и в 1 м³ этого материала, о напряженности электрического поля между крайними точками волновода, о длине пути свободного пробега электронов и т.д.

12. В основу технической реализации магнитопольного измерителя удельной электропроводности материала, реализующего косвенный метод измерения, положено техническое решение магнитопольного измерительного преобразователя, описанного в более ранних работах автора.

13. Целесообразно распространение описанных магнитопольных методов измерений и соответствующих технических решений для широкого класса материалов.

14. Есть основания полагать, что теоретически и практически возможно осуществить генерацию тока в волноводах, выполненных из диэлектрических материалов при воздействии на их заряженные квазичастицы соленоидальными импульсными магнитными полями высокой частоты. Для этого следует более глубоко изучить явление переноса энергии и информации сквозь диэлектрический материал.

Литература

1. Что такое проводник и диэлектрик? [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.elektro.ru/articles/detail/chto-takoe-provodnik-i-dielektrik>.

2. Проводниковые материалы [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://electronics.fandom.com/ru/wiki/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B4%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D1%8B%D0%B5_%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%B8%D0%B0%D0%BB%D1%8B.

3. Проводники первого и второго рода [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://fis.wikireading.ru/1590>.

4. Лабораторная работа № 26. Исследование электропроводности полупроводниковых материалов [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://studylib.ru/doc/310234/issledovanie-e-lektroprovodnosti-poluprovodnikovyh>.

5. Технические ткани и материалы, имеющие токопроводящие свойства [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://energo.term.org/products/tehnicheskie_tkani_i_materialyi_imeyushchie_tokoprovodyaschie_svoystva.

6. Электропроводность диэлектриков [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.heuristic.su/effects/catalog/est/byId/description/302/index.html>.

7. Поляризация диэлектриков [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BE%D0%BB%D1%8F%D1%80%D0%B8%D0%B7%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F_%D0%B4%D0%B8%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%B8%D0%BA%D0%BE%D0%B2.

8. Кондратов В.Т. Фундаментальная метрология. Магнитопольная теория измерений с использованием явления переноса энергии и информации сквозь материал или вещество. Часть 4. Магнитопольные методы и измерительные преобразователи / В.Т. Кондратов // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2018. – № 6. – С. 183–197.

9. Патент України на винахід № 119073. Магнітопольний вимірювальний перетворювач / Кондратов В.Т. Бюл. № 8, 25.04.2019.

References

1. Chto takoe provodnik i dielektrik? [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa : <https://www.elektro.ru/articles/detail/chto-takoe-provodnik-i-dielektrik>.

2. Provodnikovye materialy [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa : https://electronics.fandom.com/ru/wiki/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B4%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D1%8B%D0%B5_%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%B8%D0%B0%D0%BB%D1%8B.

3. Provodniki pervogo i vtorogo roda [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa : <https://fis.wikireading.ru/1590>.

4. Laboratornaya rabota № 26. Issledovanie elektroprovodnosti poluprovodnikovyh materialov [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa : <https://studylib.ru/doc/310234/issledovanie-e-lektroprovodnosti-poluprovodnikovyh>.

5. Tehnicheskie tkani i materialy, imeyushchie tokoprovodyaschie svoystva [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa : http://energo.term.org/products/tehnicheskie_tkani_i_materialyi_imeyushchie_tokoprovodyaschie_svoystva.

6. Elektroprovodnost dielektrikov [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa : <http://www.heuristic.su/effects/catalog/est/byId/description/302/index.html>.

7. Polyarizaciya dielektrikov [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa : https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BE%D0%BB%D1%8F%D1%80%D0%B8%D0%B7%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F_%D0%B4%D0%B8%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%B8%D0%BA%D0%BE%D0%B2.

8. Kondratov V.T. Fundamentalnaya metrologiya. Magnitopolevaya teoriya izmereniy s ispolzovaniem yavleniya perenosa energii i informacii skvoz material ili veshstvo. Chast 4. Magnitopolevye metody i izmeritelnye preobrazovateli / V.T. Kondratov // Herald of Khmelnytskyi National University. – 2018. – № 6. – S. 183–197.

9. Patent Ukrainy na vynakhid № 119073. Mahnitopolevyi vymiryuvalniy peretvoriuvach / Kondratov V.T. Biul. № 8, 25.04.2019.

Рецензія/Peer review : 9.06.2019 р.

Надрукована/Printed : 23.07.2019 р.

Рецензент: д.т.н. В.А. Вишинський

РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАСОБУ ПОШУКУ МАКСИМАЛЬНИХ ЗНАЧЕНЬ ДЛЯ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ

Вказано на переваги застосування методу вимірювання повного фазового зсуву (ПФЗ) для вимірювання динамічної в'язкості (ДВ) ротаційним віскозиметром (РВ). Запропоновано математичну модель для опису процесу знаходження максимуму повного фазового зсуву за допомогою засобу пошуку екстремальних значень для РВ. Розроблено алгоритм роботи засобу пошуку екстремальних значень в ротаційному віскозиметрі, у відповідності до якого процес пошуку максимального значення повного фазового зсуву зводиться до постійного його вимірювання і порівняння з попереднім. На основі математичної моделі та алгоритму розроблено засіб пошуку екстремальних значень ПФЗ для РВ, що базується на принципі пошуку максимального значення ПФЗ шляхом порівняння виміряного значення ПФЗ з попереднім значенням і дозволяє з точністю до T_0 встановлювати час вимірювання ДВ розробленим РВ.

Ключові слова: динамічна в'язкість, повний фазовий зсув, ротаційний віскозиметр, екстрематор.

V.S. PETRUSHAK

Khmelnytskyi National University

DEVELOPMENT AND RESEARCH OF MEANS OF SEARCHING MAXIMUM VALUES FOR MEASURING EQUIPMENT

Abstract. Most of the manufacturers of modern rotary viscometers are foreign firms, such as HAAKE and Brookfield. In most of them the improvement of the characteristics is achieved by reducing the parasitic parameters: friction in the mechanical system, not the linearity of the torsion characteristic, electromagnetic motions in the electrical circuit; and an increase in parameters such as: sensor reduction factor, number of electrical circuits. In most cases, this will increase the cost of rotational viscometers, apply them only to a single group of substances and use qualified service personnel. The use of the latest phase-shift methods and principles of full-phase shift measurement in rotary viscometers makes it possible to create versatile devices with extended dynamic range, high accuracy and high degree of automation. The development of a means of increasing the accuracy in a rotational viscometer based on the phase frequency method is due to the need for accurate registration of torques, which makes it possible to study various characteristics of the substance without distorting the measurement results. The problem of measuring the rheological characteristics of a substance is relevant in a wide range of measurement problems, so the search for new methods, the analysis of their errors and the development of means of improving accuracy in rotational viscometers based on the phase frequency method, is promising and has scientific significance and practical value. The advantages of using the full phase shift method for dynamic viscosity measurement with a rotary viscometer are indicated. A mathematical model is proposed to describe the process of finding the maximum of the total phase shift by means of the extreme value finder for rotary viscometer. The algorithm of operation of the tool of search of extreme values in the rotary viscometer is developed, in accordance with which the process of finding the maximum value of the full phase shift is reduced to its constant measurement and comparison with the previous one. On the basis of mathematical model and algorithm a tool for finding extreme full phase shift values for rotary viscometer is developed, based on the principle of finding the maximum full phase shift value by comparing the measured full phase shift value with the previous value and allows to set the measurement time of the developed rotary viscometer with accuracy up to T_0 .

Keywords: dynamic viscosity, full phase shift, rotary viscometer, extremator.

Вступ

Вимірювання реологічних характеристик пов'язане з такими галузями виробництва, як нафтова, металургійна, медична та хімічна промисловості. За результатами дослідження реологічних характеристик рідини можна зробити певні висновки щодо її складу і поведінки за певних умов. Зокрема можна зробити аналіз крові, спинномозкової рідини, що дало б уявлення про однорідність, склад рідини і навіть зробити певні висновки про стан здоров'я людини.

У лакофарбовій промисловості вимірювання реологічних характеристик речовин надає можливість визначення їх стану: густого або рідкого. Текучість має важливе значення під час нанесення лакофарбового матеріалу на виріб. Саме від цього параметру залежить якість покриття та кількість витраченого матеріалу.

Найефективнішим серед методів вимірювання реологічних характеристик являється капілярний метод, коли вимірюють час протікання певного об'єму рідини через трубку визначеного діаметра. Даний метод ефективний для багатьох типів речовин з низькою в'язкістю. Під час дослідження речовин з високою в'язкістю, таких як фарба, капілярний метод є неефективним, оскільки час протікання рідини досить великий і спостерігаються різноманітні паразитні явища, також він не дозволяє вимірювати динамічні реологічні характеристики. В таких випадках доцільним є застосування ротаційного методу з торсіометричним перетворювачем, що базується на визначенні кута закручування торсіона, який прямо пропорційний реологічним характеристикам речовини [1].

Застосування фазочастотного методу у різноманітних галузях науки та техніки досить широке. Це зумовлено високими метрологічними характеристиками і інформаційною ємністю таких параметрів, як кут фазового зсуву (КФЗ) – φ та частота сигналу – f . Завдяки цьому частотні та фазові вимірювання завжди використовувались в наукових дослідженнях різних галузей науки і техніки, де первинний інформаційний параметр намагаються перетворити на частоту або фазу електричного сигналу, які забезпечують найвищий рівень точності вимірювань у порівнянні з амплітудними методами.

Використання в ротаційних віскозиметрах (РВ) теорії фазочастотних вимірювань і перетворень

дозволяє створити універсальні прилади з високою точністю, розширеним динамічним діапазоном та високим ступенем автоматизації [2].

Постановка завдання

Під час контролю реологічних характеристик за допомогою ротаційного віскозиметра користуються таким відомим способом, як використання торсіонів з низькою жорсткістю, оскільки при цьому легко визначати найменші зміни реологічних характеристик. Разом з тим характеристики (крім залежності екстремальних і встановлених значень напружень зсуву від швидкості деформації), отримані за методом $\omega = \text{const}$, на ротаційних віскозиметрах з м'якими торсіонами мають тільки якісне значення і в деяких випадках здатні повністю спотворити результати вимірювань. Використання ж торсіонів з високою жорсткістю потребує дуже точних схем реєстрації крутних моментів.

Серед виробників сучасних ротаційних віскозиметрів здебільшого закордонні фірми, це такі відомі фірми, як HAAKE та Brookfield. В більшості з них покращення характеристик досягається шляхом зменшення паразитних параметрів (тертя в механічній системі, не лінійності характеристики торсіону, електромагнітних наведень в електричній схемі) та збільшення параметрів: коефіцієнт редукації сенсорів, кількості розрядів електричної схеми. В більшості випадків це призводить до збільшення собівартості ротаційних віскозиметрів, застосування їх тільки для окремої групи речовин і використання кваліфікованого обслуговуючого персоналу. Застосування в ротаційних віскозиметрах новітніх фазочастотних методів та принципів вимірювання повного фазового зсуву дозволяє створити універсальні прилади із розширеним динамічним діапазоном, високою точністю та високим ступенем автоматизації. Розробка засобу підвищення точності в ротаційному віскозиметрі на базі фазочастотного методу зумовлена необхідністю точної реєстрації крутних моментів, що дає можливість дослідження різноманітних характеристик речовини без спотворення результатів вимірювань. Проблема вимірювання реологічних характеристик речовини є актуальною в широкому колі вимірювальних задач, тому пошук нових методів, аналіз їх похибок та розробка засобів підвищення точності в ротаційних віскозиметрах на базі фазочастотного методу, є перспективною і має наукову значимість і практичну цінність.

Результати дослідження

Для РВ, що розробляється [3], необхідно, щоб цифровий фазометр миттєвих значень (ЦФМЗ) запускався, коли надійде сигнал дозволу з частотного компаратора, а процес визначення реологічних характеристик (РХ) закінчувався, коли буде знайдено значення миттєвого фазового зсуву. Найпростішим пристроєм, що може виконувати такі функції, є засіб пошуку екстремальних значень. Принцип роботи засобу пошуку екстремальних значень полягає в пошуку максимального значення повного фазового зсуву. Це необхідно для точної установки часу вимірювання та підвищення швидкодії ротаційних віскозиметрів.

Алгоритм роботи засобу пошуку екстремальних значень в перетворювачі амплітуди періодичного сигналу в код методом послідовного наближення представлений на рис. 1. Процес пошуку максимального значення повного фазового зсуву зводиться до постійного його вимірювання і порівняння з попереднім. Причому вимірювання повного фазового зсуву відбувається до моменту закручування торсіона на певний кут α . Цей момент і буде максимумом повного фазового зсуву, який буде зафіксовано засобом пошуку екстремальних значень.

Математично процес знаходження максимуму повного фазового зсуву за допомогою засобу пошуку екстремальних значень для РВ можна представити виразом:

$$\Delta\Psi(t) = \text{MAX} \left\{ \Delta\Psi_0 + \sum_{i=0}^k \Delta\Psi_i(t) + \xi_j(\Delta\Psi_j) \right\}, \quad (1)$$

де $\Delta\Psi_0$ – початковий фазовий зсув;

$\sum_{i=0}^k \Delta\Psi_i(t)$ – сума фазових зсувів на i -х часових проміжках;

$\xi_j(\Delta\Psi_j)$ – похибка визначення фазового зсуву на j -му інтервалі часу, $j = \overline{0,1,2,\dots,k}$.

Відповідно цей вираз і буде математичною моделлю, що описує принцип роботи засобу пошуку екстремальних значень в РВ. Також можна зауважити, що такий екстрематор працюватиме з меншим часом визначення фазового зсуву ніж будь-який інший засіб пошуку середніх значень. Мінімальний час пошуку екстремального значення, за умови повної ідентичності сенсорів і максимальної стабільності частоти складатиме $2T_0$.

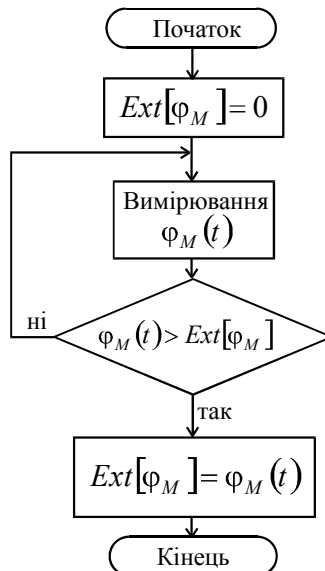


Рис. 1. Алгоритм роботи засобу пошуку екстремальних значень в ротаційному віскозиметрі

На рис. 2 представлена структурна схема засобу пошуку екстремальних значень для ротаційного віскозиметра, яка працює за алгоритмом, представленим на рис. 1, а процес пошуку максимального значення повного фазового зсуву можна описати виразом (1).

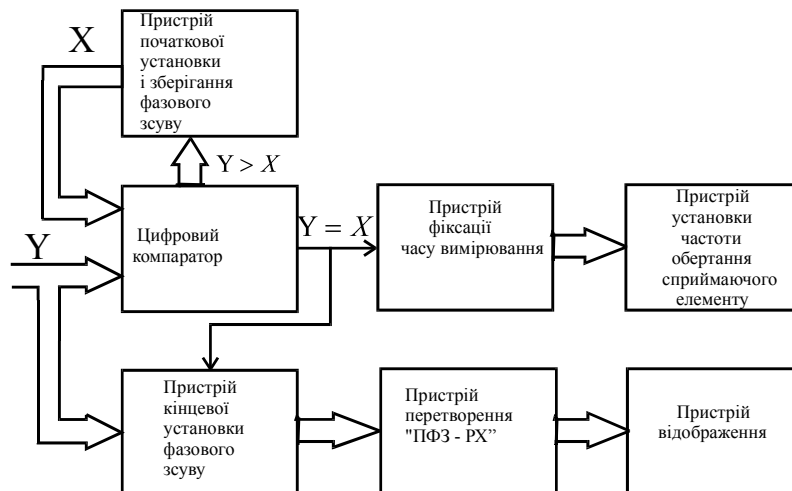


Рис. 2. Структурна схема засобу пошуку екстремальних значень для ротаційного віскозиметра

Робота екстрематора (рис. 2) відбувається за наступною схемою:

Цифровий сигнал з виходу фазочастотного перетворювача надходить на вхід цифрового компаратора.

З пристрою початкової установки і зберігання фазового зсуву надходить початкове значення фазового зсуву рівне нулю у вигляді цифрового коду X .

Цифровий компаратор порівнює дві послідовності X і Y .

У випадку, якщо послідовність X дорівнює послідовності Y одночасно надходить сигнал на пристрій фіксації часу вимірювання і пристрій кінцевої установки фазового зсуву.

З пристрою фіксації часу вимірювання надходить сигнал на пристрій установки частоти обертання, що в свою чергу зупиняє рух сприймаючого елемента.

З пристрою кінцевої установки цифрова послідовність Y надходить на пристрій перетворення "ПФЗ - РХ", де значення повного фазового зсуву перетворюється в значення реологічної характеристики.

В разі, якщо послідовність Y більше послідовності X , то проходить зміна попереднього значення X на прийняте Y і збереження послідовності у вигляді X . Процес пошуку максимуму повторюється доти, доки цифрова послідовність Y не дорівнюватиме цифровій послідовності X . Після чого буде знайдено максимум повного фазового зсуву і перетворено в значення реологічної характеристики.

Принцип роботи засобу пошуку екстремальних значень дещо відрізняється від роботи фазового компаратора, описаного в [4]. Фазові компаратори призначені для порівняння двох фазових зсувів, а засіб пошуку екстремальних значень — для порівняння з попереднім і визначення максимального значення повного фазового зсуву. На рис. 3 зображено функціональну схему засобу пошуку екстремальних значень, яка складається з буферного регістра 1, схеми порівняння 2, формувача 3.

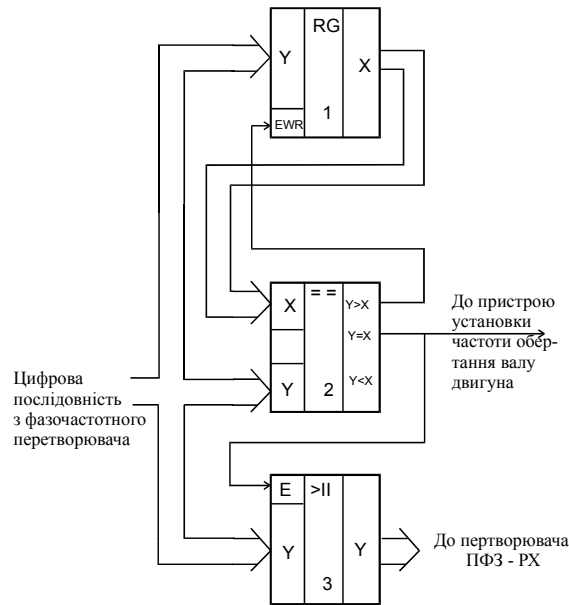


Рис. 3. Функціональна схема засобу пошуку екстремальних значень

На схему порівняння постійно надходить цифрова послідовність з фазового перетворювача. При наявності нуля на вході R на його виході будуть всі нулі. При наявності в'язкого тертя перше число, яке надійде, прийде на вхід схеми порівняння буде більше за нуль, тому на виході $Y > X$ схеми порівняння стане високий рівень, який надійде на вхід дозволу запису буферного регістра і на його виході буде значення записаного числа. Ця послідовність операцій буде повторюватись доти, доки значення повного фазового зсуву, яке буде надходити на вхід схеми порівняння не дорівнюватиме попередньому значенню повного фазового зсуву, тобто:

$$Y_i = Y_{i-1}. \quad (2)$$

При виконанні умови (2) на виході $Y = X$ буде сформовано сигнал логічної одиниці, який надійде на вхід дозволу передачі інформації формувача 3 і максимальне значення повного фазового зсуву з його виходу надійде на вхід перетворювача "ПФЗ - РХ". Також сигнал з виходу $Y = X$ схеми порівняння надійде на пристрій установки частоти обертання валу двигуна, і процес вимірювання РХ на заданій частоті буде зупинено.

Процес знаходження максимального значення повного фазового зсуву за допомогою засобу пошуку екстремальних значень, представленого на рис. 3, характеризується часом затримки, який визначається за формулою:

$$t_z = \sum_{i=1}^k t_{zi} + T_0, \quad (3)$$

де t_{zi} – час затримки на i -й операції пошуку максимального значення повного фазового зсуву.

Повний час вимірювання РХ за допомогою розробленого РВ на частоті обертання валу двигуна ω_0 буде визначатись за співвідношенням:

$$t_k = t_2 + \sum_{i=1}^k t_{zi} + T_0 \quad (4)$$

Для знаходження сумарного часу затримки на i -й операції, необхідно розглянути останній цикл знаходження максимального значення повного фазового зсуву, який буде складатись з наступних операцій:

Зчитування наступного значення Y_i .

Порівняння значення Y_{i-1} зі значенням Y_i за допомогою схеми порівняння.

Запис значення Y_i в буферний регістр.

Зчитування наступного значення Y_{i+1} .

Порівняння значення Y_i зі значенням Y_{i+1} .

Установка високого рівня на вході E формувача.

Передача даних Y_{i+1} з входу передавача на його вихід.

Для 555 серії час апаратної затримки обробки інформації за всіма семи пунктами буде складати приблизно 1 мкс і майже не впливатиме на значення часу вимірювання РХ. Відповідно можна прийняти, що

$$\sum_{i=1}^k t_{zi} = 0. \quad (5)$$

Тоді час вимірювання РХ буде визначатись за формулою:

$$t_k = t_2 + T_0. \quad (6)$$

Тобто час вимірювання залежить від частоти обертання валу двигуна ω_0 і часу, протягом якого відбувається зміна повного фазового зсуву. Часові діаграми роботи екстрематора представлено на рис. 4.

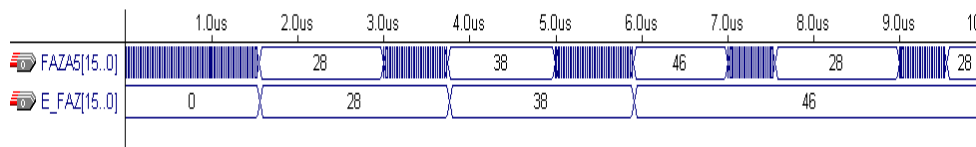


Рис. 4. Часові діаграми роботи екстрематора

З рис. 4 видно, що коли виміряне значення фазового зсуву більше встановленого значення фазового зсуву на виході екстрематора, то на його виході E_FAZ[15..0] встановлюється виміряне значення фазового зсуву, якщо виміряне значення фазового зсуву менше встановленого значення фазового зсуву на виході екстрематора, то на його виході E_FAZ[15..0] значення фазового зсуву не змінюється.

Застосування такого екстрематора у вимірвальній техніці дозволить зменшити об'єм цифрової схеми (кількість тригерів для програмованої інтегральної схеми) та покращити швидкість процесу обробки результатів.

Висновки

Запропоновано математичну модель для опису процесу знаходження максимуму повного фазового зсуву за допомогою засобу пошуку екстремальних значень для РВ.

Розроблено алгоритм роботи засобу пошуку екстремальних значень в ротаційному віскозиметрі, у відповідності до якого процес пошуку максимального значення повного фазового зсуву зводиться до постійного його вимірювання і порівняння з попереднім.

На основі математичної моделі та алгоритму розроблено засіб пошуку екстремальних значень ПФЗ для РВ, що базується на принципі пошуку максимального значення ПФЗ шляхом порівняння виміряного значення ПФЗ з попереднім значенням і дозволяє з точністю до T_0 встановлювати час вимірювання РХ розробленим РВ.

Література

1. Петрушак В. С. Аналіз методів та засобів визначення та контролю динамічної в'язкості речовини / В. С. Петрушак, О. М. Петрушак // Вимірвальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2001. – № 1. – С. 68–71.
2. Петрушак В. С. Фазочастотне представлення вимірювань в'язкості ротаційним віскозиметром з торсіометричним перетворювачем / В. С. Петрушак // Вимірвальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2000. – № 4. – С. 87–90.
3. Петрушак В. С. Фазочастотний метод вимірювання реологічних характеристик в ротаційному віскозиметрі / В. С. Петрушак, О.М. Водяний // Вісник Хмельницького національного університету. – 2016. – № 5. – С. 167–171.
4. Патент США 4322643, МКИ H03D 13/00. Digital phase comparator with improved sensitivity for small phase differences / Preslar D.R. – № 06/144053. – Заявл. 28.04.1980 ; опубл. 30.03.1982.

References

1. Petrushak V. S. Analiz metodiv ta zasobiv vyznachennia ta kontroliu dynamichnoi v'язkosti rechovyny / V.S. Petrushak, O.M. Petrushak // Vymiriuvalna ta obchysliuvalna tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh. – 2001. – № 1. – S. 68–71.
2. Petrushak V. S. Fazochastotne predstavlennia vymiriuvan v'язkosti rotatsiinym viskozimetrom z torsiometrychnym peretvoriuvachem / V. S. Petrushak // Vymiriuvalna ta obchysliuvalna tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh. – 2000. – № 4. – S. 87–90.
3. Petrushak V. S. Fazochastotnyi metod vymiriuvannia reolohichnykh kharakterystyk v rotatsiinomu viskozimetri / V. S. Petrushak, O.M. Vodiani // Herald of Khmelnytskyi National University. – 2016. – № 5. – S. 167–171.
4. Patent SShA 4322643, MKY H03D 13/00. Digital phase comparator with improved sensitivity for small phase differences / Preslar D.R. – № 06/144053. – Zaiavl. 28.04.1980 ; opubl. 30.03.1982.

Рецензія/Peer review : 02.06.2019 р.

Надрукована/Printed : 23.07.2019 р.
Рецензент: д.т.н., проф. С.К. Підченко

ПРОЕКТУВАННЯ СУЧАСНИХ ШИРОКОСМУГОВИХ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ

В роботі здійснено оцінку пропускної здатності телекомунікаційних систем зв'язку з використанням технологій SISO та MIMO. Побудовано імітаційні моделі SISO та MIMO каналів. За допомогою створених імітаційних моделей проведено дослідження стійкості каналу зв'язку технології LTE з використанням SISO- і MIMO-OFDM систем. Результати дослідження показали, що на якість сигналу впливають не тільки зовнішні фактори, але також і методи обробки даних, що використовуються в приймально-передавальному тракті радіоканалу. Для підвищення якості радіосигналу використовують методи багатопозиційної модуляції, просторового кодування сигналу. Експериментальним шляхом доведено, що використання багатоантенної системи MIMO підвищує стійкість радіоканалу. На підставі отриманих даних можна зробити висновок, що застосування технології OFDM підвищує стійкість радіоканалу, сприяючи протистоянню міжсимвольній інтерференції, затуханням, частотно-вибірковим завмиранням. Окреслено ряд переваг та недоліків технології 4G над 3G.

Ключові слова: телекомунікації, мережа, система зв'язку, багатопозиційна модуляція, LTE, SISO, MIMO, 3G, 4G імітаційна модель.

V.I. STETSIUK, V.V. MEDVED
Khmelnyskiy National University

DESIGN OF MODERN BROADBAND TELECOMMUNICATION NETWORKS

The paper assesses the bandwidth of telecommunication communication systems using SISO and MIMO technologies. Simulation models of SISO and MIMO channels are built. Using the created simulation models, the stability of the communication channel of LTE technology using SISO- and MIMO-OFDM systems was investigated. The results of the study showed that the quality of the signal is affected not only by external factors, but also by the data processing methods used in the transceiver path of the radio channel. To improve the quality of the signal use methods of multipoint modulation, spatial encoding of the signal. It has been experimentally proven that the use of a MIMO multi-antenna system increases the stability of the radio channel. Based on the data obtained, we can conclude that the use of OFDM technology increases the stability of the radio channel, contributing to the resistance of inter-character interference, attenuation, frequency-selective fading. There are a number of advantages and disadvantages of 4G over 3G. The most obvious advantage of 4G is its much higher data rate than 3G (0.1-1 Gbps). 4G technology enables high speed subscriber communication (up to 500 km / h). For comparison, 3G devices provide the following parameters: when traveling at low speeds up to 3 km / h, the data transfer rate is 348 Kbps. /with. 3G uses a 15 MHz to 20 MHz bandwidth in the 1800 MHz to 2500 MHz band. Due to the aggregation of 2 to 5 component carriers of 20 MHz, the 4G standard provides the ability to create a broadband data channel with a width of up to 100 MHz. Accordingly, LTE-Advanced subscriber terminals will allow simultaneous reception of one or more component carriers depending on their bandwidth. The frequency range is from 2 GHz to 8 GHz. Another advantage is the ability to work with both FDD and TDD signal processing modes. However, there are drawbacks to 4G technology compared to 3G: 3G networks are available over a large area, 4G networks are only available on new 4G compatible phones, high power consumption of 4G network equipment, low investor activity, as existing 3G networks still have high intensive potential and extensive development.

Keywords: telecommunications, network, communication system, multipoint modulation, LTE, SISO, MIMO, 3G, 4G simulation model.

Вступ

Останнє десятиріччя характеризується інтенсивним розвитком систем бездротового зв'язку (мобільний радіозв'язок, системи бездротового доступу до мережі Інтернет, комп'ютерні радіомережі всередині будівель та ін.) [1–3]. Проявляється тенденція зростання інтересу до бездротових систем передачі інформації. Тому постає питання про покращення технічних параметрів, таких як підвищення швидкості, пропускної здатності, без зменшення якості послуг зв'язку, що надаються. В даний час діапазони частот 2,4-2,4835 ГГц, 3,4-3,6 ГГц, 5,2-5,9 ГГц використовуються в основному новими широкосмуговими системами бездротового радіодоступу, серед яких достатньо нова – технологія Long Term Evolution (LTE). Організація абонентського доступу до мультисервісної мережі на базі 4G актуальна в світлі забезпечення абонентів швидкісною новітньою технологією і новими послугами. Головною особливістю сучасного етапу розвитку систем мобільного зв'язку є перехід до систем четвертого покоління. Однак, як і найчастіше буває, при застосуванні нових технологій, виникає ряд проблем, які необхідно вирішувати. Одним із методів підвищення пропускної здатності та швидкості передачі інформації каналу зв'язку є технологія Multiple Input Multiple Output (MIMO). При цьому системи MIMO добре працюють поза зоною прямої видимості і при наявності розсіюючого середовища. У каналах радіозв'язку таких систем діє комплекс перешкод і спотворень. В першу чергу, необхідно враховувати вплив багатопробежності, причиною якої є наявність відбитків на трасі поширення радіохвиль. Сильні завмирання сигналу в каналі ускладнюють оцінку переданих повідомлень і призводять до спотворень інформації, що передається. Проте, для того, щоб відчути переваги технології MIMO, потрібні потужні процедури обробки сигналів від низки антен в приймачі, з метою підвищення пропускної спроможності каналу і підвищення достовірності прийнятих повідомлень. Основними факторами, що перешкоджають вирішенню поставлених завдань, є адитивні

перешкоди (сигнали заважаючих станцій та флуктуаційний шум) і розсіювання енергії сигналу, що призводить до явища міжсимвольної та міжпоточної інтерференції. Таким чином, розробка і аналіз алгоритмів прийому дискретних повідомлень, основаних на принципі просторово-часового кодування при використанні технології MIMO є досить актуальною темою. Дана робота присвячена дослідженню характеристик телекомунікаційних мереж на основі просторово-часового кодування. Розглянуті ключові питання, що стосуються архітектури мереж LTE, в тому числі із застосуванням технології MIMO.

Основна частина

Історично технології бездротового зв'язку розвивалися за двома незалежним напрямками – системи телефонного зв'язку (стільниковий зв'язок) і системи передачі даних (Wi-Fi, WiMAX). Але останнім часом спостерігається явна тенденція до злиття цих функцій. Більш того, обсяг пакетних даних в мережах стільникового зв'язку третього покоління (3G) вже перевищує обсяг голосового трафіку, що пов'язане з впровадженням технологій HSPA. У свою чергу, сучасні мережі передачі інформації обов'язково забезпечують заданий рівень якості послуг для різних видів трафіку. Реалізується підтримка пріоритетності окремих потоків інформації, причому як на мережевому / транспортному рівнях (на рівні TCP/IP), так і на MAC-рівні (Стандарти IEEE 802.16). Це дозволяє використовувати їх для надання послуг голосового зв'язку, передачі мультимедійної інформації і т. п. У зв'язку з цим саме поняття мереж наступного четвертого покоління (4G) нерозривно пов'язано зі створенням універсальних мобільних мультимедійних мереж передачі інформації.

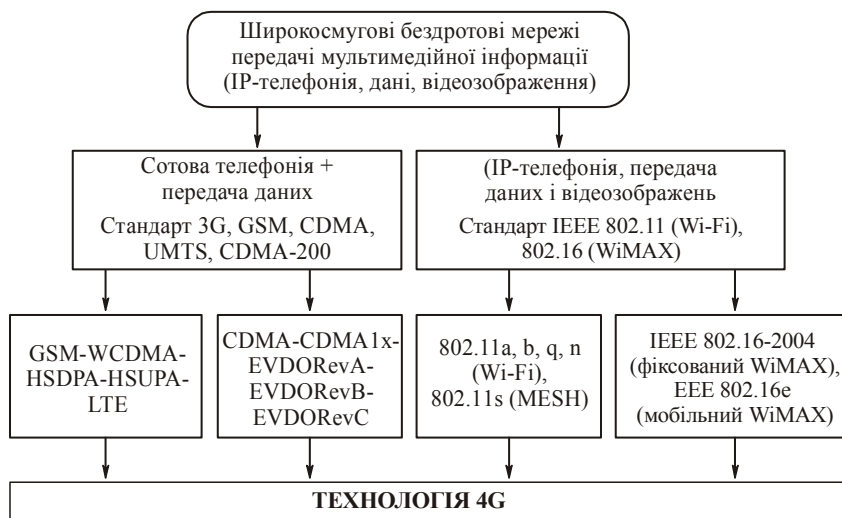


Рис. 1. Основні напрямки розвитку технології широкопasmового зв'язку

На даний момент за пріоритетне право називатися зв'язком 4G борються: технологія WiMax (основана на стандарті IEEE 802.16e) і мобільний протокол передачі даних 3GPP LTE. Існує багато різних варіантів розвитку мереж 4 покоління, але вибір стоїть між мобільним WiMAX і LTE, хоча останнім часом все більше компаній мобільного сектора віддають перевагу саме останньому, особливо модифікації LTE-Advanced, яка в повній мірі може називатися технологією 4

покоління.

Оцінимо пропускну здатність системи зв'язку. Фізичний сенс можливості збільшення швидкості передачі даних можна пояснити за допомогою формули Шеннона. Наприклад, ємність системи SISO (однопотокова передача) визначається теоремою Шеннона-Хартлі:

$$C = \log_2\left(1 + \frac{E_b}{N_0}\right), \tag{1}$$

де E_b/N_0 – середнє відношення сигнал/шум.
Формула ємності системи MIMO:

$$C = \log_2\left[\det\left(I_M + \frac{E_b}{N_0 N_{tr}} \mathbf{H}\mathbf{H}^H\right)\right] = \sum_{i=1}^{\min(N_r, M_r)} \log_2\left(1 + \frac{E_b}{N_0 N_{tr}} \lambda_i\right), \tag{2}$$

де λ_i – це власнє значення $\mathbf{H}\mathbf{H}^H$, $\det(\cdot)$ – визначник матриці.

Власні і сингулярні значення пов'язані виразом $\sigma_i^2 = \lambda_i$. Таким чином, MIMO найкраще працює при високих відношення сигнал/шум (SNR), які найбільш часто доступні в зоні прямої видимості антен, хоча і добре працює поза зоною прямої видимості [4]. Слід також зазначити, що, якщо на передачі канал відомий, він може підсилити сигнал в «кращому» підканалі, тим самим збільшити пропускну здатність.

Безліч робіт [1–3] присвячені завадостійкості каналів зв'язку технології LTE, однак недостатньо відомостей по дослідженню завадостійкості при використанні квадратурної амплітудної модуляції. Мета роботи полягає в проведенні експерименту по дослідженню завадостійкості каналів зв'язку технології LTE за допомогою моделювання в середовищі MatLAB. Таким чином, дослідимо стійкість каналу зв'язку технології LTE з використанням SISO- і MIMO-OFDM систем. Для цього створена програмна реалізація радіоканалу з використанням SISO і MIMO систем в середовищі Simulink пакету прикладних програм MatLAB (рис. 2, 3). Алгоритм роботи досліджуваної імітаційної моделі наступний: джерело сигналу (Bernoulli Binary Generator) генерує випадкову двійкову послідовність, що надходить на вхід згорткового кодера, де за допомогою регістра зсуву проводиться кодування всієї переданої послідовності.

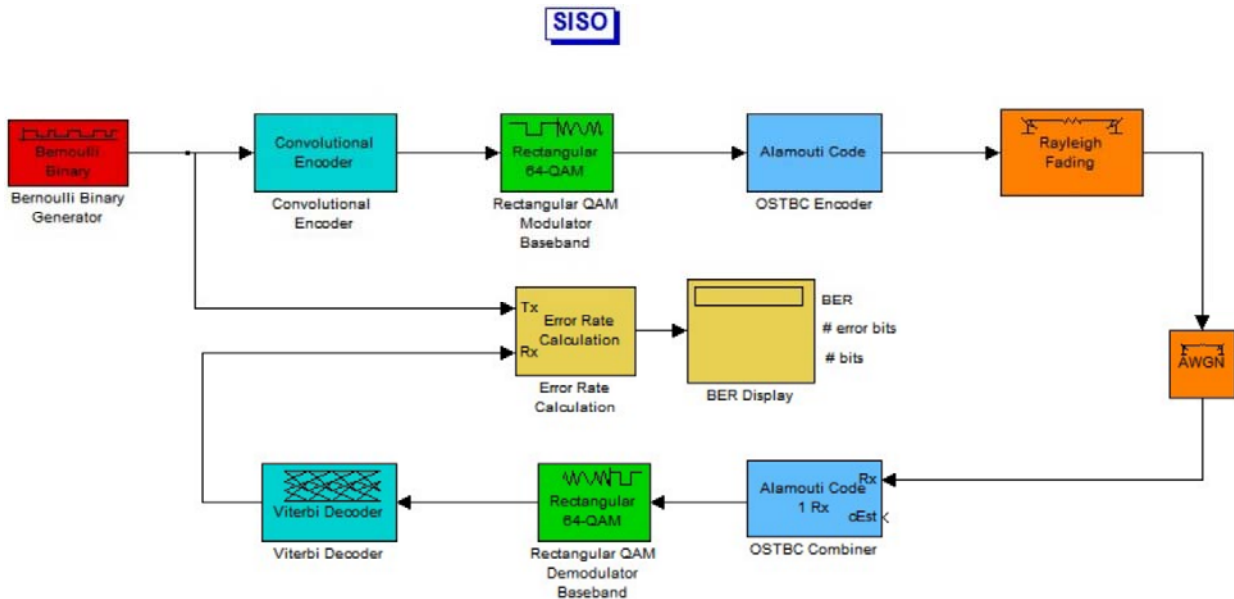


Рис. 2. Побудова імітаційної блок-схеми SISO каналу мережі LTE

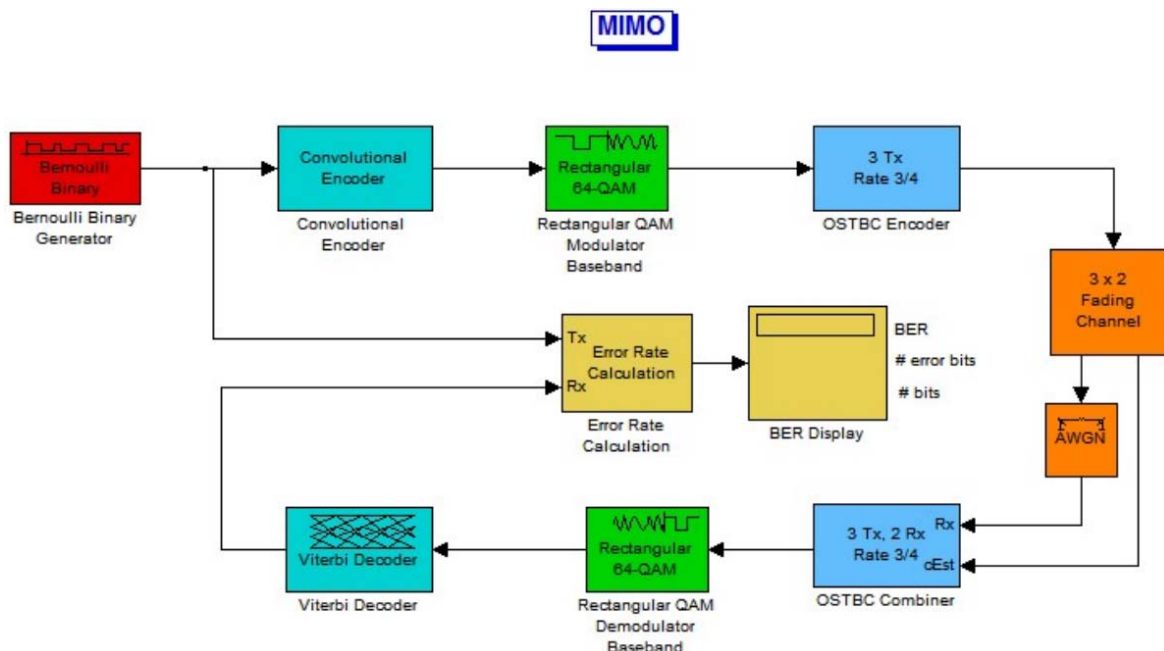


Рис. 3. Побудова імітаційної блок-схеми MIMO каналу мережі LTE

В результаті експерименту отримані графіки залежності ймовірності бітових помилок (BER) від відношення сигнал/шум (SNR) в каналі з системами SISO і MIMO (рис. 4, 5).

Розглянемо переваги технології 4G над 3G. Найбільш очевидною перевагою 4G є набагато більша швидкість передачі даних, в порівнянні з 3G (0,1-1 Гбіт/с). Технологія 4G надає можливість ведення зв'язку на високих швидкостях пересування абонентів (до 500 км/год.). Для порівняння пристрої 3G забезпечують наступні параметри: при переміщенні з малою швидкістю, до 3-х км/год, швидкість передачі даних складає 348 Кбіт/с, а при переміщенні із високою швидкістю, до 120 км/год, швидкість передачі становить 144 Кбіт/с. 3G використовує ширину каналу зв'язку від 15 МГц до 20 МГц у частотному діапазоні від 1800 МГц до 2500 МГц. За рахунок агрегації від 2 до 5 компонентних носійних по 20 МГц, у стандарті 4G закладена можливість створення широкосмугового каналу передачі даних з шириною до 100 МГц. Відповідно абонентські термінали в мережах LTE-Advanced дозволитимуть одночасний прийом однієї або декількох компонентних несучих залежно від їх пропускної здатності. Діапазон частот складає від 2 ГГц до 8 ГГц. Перевагою можна вважати також можливість роботи з обома режимами обробки сигналів – FDD і TDD. Однак є і недоліки технології 4G, в порівнянні із 3G: мережі 3G доступні на більшій території, 4G мережі доступні тільки новим телефонам, сумісним із 4G, високе енергоспоживання апаратури мереж 4G, низька активність інвесторів, так як існуючі мережі 3G ще мають високий потенціал інтенсивного та екстенсивного розвитку. Слід відмітити, що більшість недоліків носять суто тимчасовий характер.

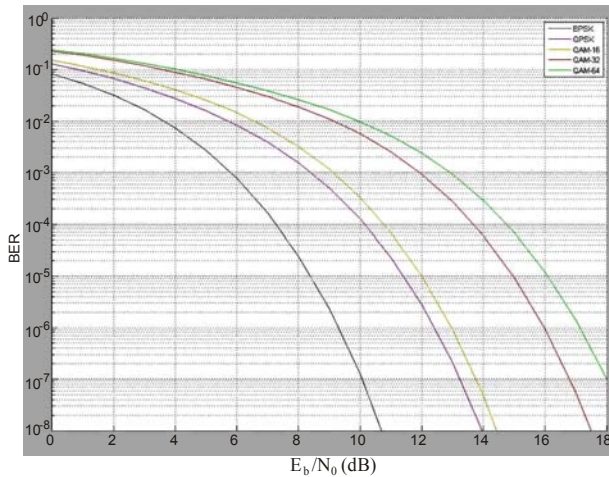


Рис. 4. Криві залежності BER від SNR для різних типів модуляції для каналу з SISO

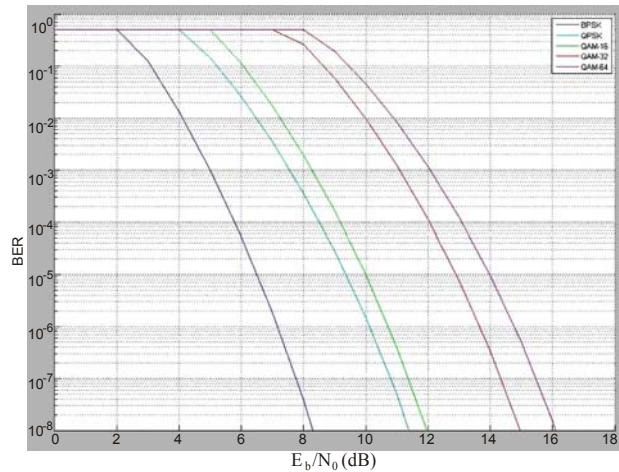


Рис. 5. Криві залежності BER від SNR для різних типів модуляції для каналу з SISO

Висновки

В роботі здійснено оцінку пропускної здатності телекомунікаційних систем зв'язку з використанням технологій SISO та MIMO. Побудовано імітаційні моделі SISO та MIMO каналів. За допомогою створених імітаційних моделей проведено дослідження стійкості каналу зв'язку технології LTE з використанням SISO- і MIMO-OFDM систем. Результати дослідження показали, що на якість сигналу впливають не тільки зовнішні фактори, але також і методи обробки даних, що використовуються в приймально-передавальному тракті радіоканалу. Для підвищення якості радіосигналу використовують методи багатопозиційної модуляції, просторового кодування сигналу. Експериментальним шляхом доведено, що використання багатоантенної системи MIMO підвищує стійкість радіоканалу. На підставі отриманих даних можна зробити висновок, що застосування технології OFDM підвищує стійкість радіоканалу, сприяючи протистоянню міжсимвольній інтерференції, затуханням, частотно-вибірковим завмиранням.

Література

1. Стецюк В. І. Методи контролю інформаційних потоків в телекомунікаційних системах / В. І. Стецюк, В. В. Мішан // Вісник Хмельницького національного університету. Серія: технічні науки. – 2018. – № 6. Том 2. – С. 209–212.
2. Стецюк В. І. Системи автоматизованого управління телекомунікаційних мереж / В. І. Стецюк, В. В. Мішан // Вісник Хмельницького національного університету. Серія: технічні науки. – 2018. – № 6. Том 2. – С. 178–182.
3. Стецюк В. І. Методи багатокритеріальної маршрутизації в телекомунікаційних мережах / В. І. Стецюк, В. Р. Любчик // Вісник Хмельницького національного університету. Серія: технічні науки. – 2018. – № 6. Том 2. – С. 198–201.
4. 3GPP TR 25.892 "Feasibility study for Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) for UTRAN enhancement".

References

1. Stetsiuk V. I. Metody kontroliu informatsiinykh potokiv v telekomunikatsiinykh systemakh / V. I. Stetsiuk, V. V. Mishan // Herald of Khmelnytskyi National University. – 2018. – № 6. Том 2. – seria: tekhnichni nauky. – S. 209-212.
2. Stetsiuk V. I. Systemy avtomatyzovanoho upravlinnia telekomunikatsiinykh merezh / V. I. Stetsiuk, V. V. Mishan // Herald of Khmelnytskyi National University. – 2018. – № 6. Том 2. – seria: tekhnichni nauky. – S. 178-182.
3. Stetsiuk V. I. Metody bahatokryterialnoi marshrutzatsii v telekomunikatsiinykh merezhakh / V. I. Stetsiuk, V. R. Liubchik // Herald of Khmelnytskyi National University. – 2018. – № 6. Том 2. – seria: tekhnichni nauky. – S. 198-201.
4. 3GPP TR 25.892 "Feasibility study for Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) for UTRAN enhancement".

Рецензія/Peer review : 21.05.2019 р.

Надрукована/Printed : 23.07.2019 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

В.О. ПАРХОМЕНКО, В.П. РОЙЗМАН, А.В. ГОРОШКО
Хмельницький національний університет

АКУСТИКО-ЕМІСІЙНИЙ МЕТОД НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ І ПРОГНОЗУВАННЯ МІЦНОСТІ КОМПАУНДОВАНИХ КОНДЕНСАТОРІВ

В роботі запропоновано методи і засоби неруйнівного контролю і прогнозування міцності компаундованих конденсаторів, які піддають перепадам температури від +60 °C до -50 °C, що базуються на використанні методу акустичної емісії. Представлені дослідження поведінки кераміки і компаунда під дією механічного навантаження та в умовах термоцилювання. Обґрунтовано застосування методу акустичної емісії як ефективного засобу попередження про накопичення пошкодженості матеріалу конденсаторів. Встановлено, що показником міцного стану конструкції є прояв ефекту Кайзера після перших двох термоциклів, поява ж акустичної емісії на n-му термоциклі є попередженням про катастрофічне руйнування конструкції конденсатора через п'ять-десять циклів.

Ключові слова: конденсатор, компаунд, кераміка, міцність, термоцикл, акустична емісія, неруйнівний контроль, прогнозування міцності.

V.O. PARKHOMENKO, V.P. ROYZMAN, A.V. GOROSHKO
Khmelnitskyi National University

ACOUSTICAL-EMISSION METHOD OF NON-DESTRUCTIVE CONTROL AND FORECASTING STRENGTH OF COMPOUND CAPACITORS

The methods and means of non-destructive testing and strength prediction of compound capacitors, which are subject to temperature fluctuations from +60 °C till -50 °C, are based on the use of the acoustic emission method. Studies of the behavior of ceramics and compounds under the influence of mechanical loading and in the conditions of thermal cycling are presented. The use of acoustic emission method as an effective means of preventing the accumulation of capacitor material damage is substantiated. Extended temperature range limits by increasing positive temperatures to +90 °C and negative to -60 °C. Separation of AE signals emitted by the compound and ceramic components of the K15-5 capacitor structure by frequency. It is established that the indication of the solid state of the structure is the manifestation of the Kaiser effect after the first two thermocycles, the appearance of the same acoustic emission on the nth thermocycler is a warning of the catastrophic destruction of the design of the capacitor after five to ten cycles.

Keywords: capacitor, compound, ceramics, strength, thermocycling, acoustic emission, non-destructive testing, strength prediction.

Постановка проблеми. Якість і надійність виробів електронної техніки (ВЕТ) у значній мірі залежить від механічної міцності елементів, компонентів, друкованих плат і функціональних вузлів. Залежно від призначення ВЕТ можуть піддаватись різноманітним видам навантаження. Зокрема, виробі військової техніки експлуатуються у жорстких умовах теплових змін, механічних навантажень (статичних, динамічних та ударних), а також змін атмосферного тиску (ВЕТ, що експлуатуються на ракетах і літальних апаратах). Тенденція до зниження ваги і отримання великої щільності монтажу в малих габаритах ВЕТ, яка застосовується у виробках спеціального призначення, призвела до того, що деякі з елементів і компонентів ВЕТ, зокрема конденсатори і резистори, маючи високі радіотехнічні характеристики, виявилися недостатньо механічно міцними. Піддаючись впливу температурних статичних і динамічних навантажень, вони руйнуються, що призводить до відмов окремих вузлів або апаратури в цілому. Поряд з вдосконаленням конструкції функціональних вузлів ВЕТ і елементів, таких як широко поширені керамічні конденсатори, перспективним видається розробка методів і засобів аналізу і прогнозування їх механічної міцності як на етапі виробництва, так і під час експлуатації. Оцінку міцності матеріалу можна давати, використовуючи методи неруйнівного контролю під час випробувань. Такими методами можна також виявляти потенційно ненадійні з точки зору механічної точності ВЕТ, що у перспективі знизить рівень браку і зменшить витрати на ліквідацію наслідків відмов ВЕТ.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У світі проблема механічної міцності ВЕТ є актуальною і вирішується в основному конструкторськими і технологічними методами на етапі виготовлення. Наприклад, у роботі [1] автори застосовують лазерні методи підвищення надійності деяких електричних і електронних компонентів, що включають технологію з'єднання, модифікації поверхні, точного формування і лазерного зварювання. У роботі [2] автори досліджують міцність гнучких елементів ВЕТ і методи забезпечення стійкості до деформації цих гнучких пристроїв, а також шляхи підвищення їх довговічності. В роботі [3] автори пропонують методи розрахунку і оцінювання пошкоджень в електронних паяних з'єднаннях за умов дії випадкової вібрації на друкованій платі. Результати досліджень вітчизняних і закордонних вчених, висвітлені у останніх публікаціях, показують, що на сьогодні відсутні надійні методи неруйнівного контролю і технічного діагностування компаундованих конденсаторів. Існують лише окремі дослідження, направлені на підвищення надійності виготовлення плівкових конденсаторів [4], підвищення міцності на відрив конденсаторів з високою щільністю електричної енергії [5]. У роботах [6, 7] автор на базі накопиченого досвіду у вивченні і усуненні дефектів міцності електронних виробів через механічний вплив розкриває проблеми механічної міцності під час проектування, виготовлення та випробування цих виробів, в тому числі силової електроніки. Представлені теоретичні та експериментальні дослідження статистичної та

динамічної прогнозики типових компонентів: резисторів, конденсаторів, мікросхем друкованої плати та діодів мікромодулів у робочих умовах, запропоновані неруйнівні методи контролю, діагностування та прогнозування міцності елементів ВЕТ з використанням методу акустичної емісії (АЕ). Над цими проблемами працювали також вчені: Цасюк В.В., Ковтун І.І., Петрашук С.А., Горошко А.В. [8, 9].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Під неруйнівним контролем (НК) розуміються такі види контролю, які, не змінюючи якості, параметрів і характеристик виробів, дозволяють за непрямыми «вторинними» ознаками виявляти приховані дефекти або такі особливості, які тягнуть за собою потенційну ненадійність виробів. Методи НК, що використовуються для контролю якості та прогнозування надійності ВЕТ, умовно поділяють на дві групи: загальні методи НК, широко використовувані в різних областях сучасної техніки, і спеціальні методи, пов'язані зі специфічними особливостями і характеристиками ВЕТ, що базуються на деяких особливостях фізичних процесів, що мають місце при їх роботі [8]. Для оцінювання і контролю пошкодження кераміки конденсатора і компаунда в поточний момент часу і для діагностування їх міцності з урахуванням заданого режиму експлуатації був обраний метод АЕ, що встановлює взаємозв'язок кінетики накопичення пошкодження матеріалу зі зміною параметрів сигналів АЕ внаслідок силового впливу. Отже, мета роботи полягала у розробці методики дослідження і прогнозування механічної міцності ВЕТ на основі використання явища АЕ. При цьому необхідно було виявити характерні для керамічних матеріалів джерела АЕ, оцінити вплив низки факторів на параметри АЕ, виявити найінформативніший параметр АЕ крихких керамічних матеріалів, знайти надійний спосіб визначення границі їх міцності σ_b , виявити закономірності деформування і руйнування крихких керамік за допомогою методу АЕ, розробити ефективний метод розрахунку полів напружень по всьому об'єму або поверхні виробу і провести самі розрахунки.

Результати досліджень. Для досягнення мети необхідно було експериментально встановити область використання методу АЕ для виявлення дефектів в керамічних конденсаторах К15-5 (рис. 1), розробити методи і засоби НК і прогнозування міцності конденсаторів з використанням явища АЕ. Конденсатори, які використовувалися для досліджень, мали номінальну постійну напругу 50 кВ, номінальну ємність 470 пФ, допустиму реактивну потужність 10 ВАр, масу 80 г.

В роботі [7] науково обґрунтовано, що однією з основних причин відмови керамічних конденсаторів К10-17 і К15-5 є розтріскування в результаті дії термосилового навантаження, що виникає при різкому перепаді температур. Встановлено, що руйнування кераміки в конструкції К15-5 при термоциклюванні походить від її розтягування в напрямку поздовжніх осей дисків і по майданчиках, нахилених до торців дисків під кутом 45°, через стиснення в радіальних напрямках від дії компаунда (рис. 2, 3). Для глибшого розуміння процесів руйнування компаундів застосовувався метод фрактографії, виконаної за допомогою растрового електронного мікроскопа РЕМП-6 (рис. 4). Розрахунки методом скінчених елементів показали, що максимальні еквівалентні напруження в керамічному блоці конденсатора К10-17 дорівнюють при герметизації компаундом ЕК-23 98 МПа; компаундом УП2191 – 190 МПа; компаундом ЕФП-СБ – 115 МПа.

Випробування зразків компаундів ЕК-23 і ЕК-50, які використовуються для виготовлення конденсаторів, здійснювали з реєстрацією сигналів АЕ і з використанням розривної машини. Для реєстрації та обробки сигналів АЕ використовувалася програмно-апаратна система реєстрації АЕ.

Обробивши експериментальні дані методами математичної статистики, були встановлені порогові рівні напружень у компаунді і кераміці, які є безпечними для конструкції конденсатора.



Рис. 1. Конденсатор К15-5

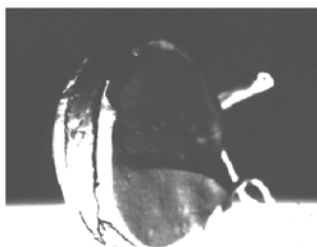


Рис. 2. Вигляд руйнування кераміки конденсатора

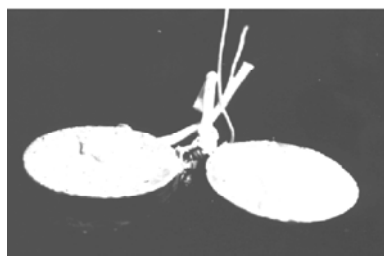


Рис. 3. Рельєф поверхні руйнування конденсатора

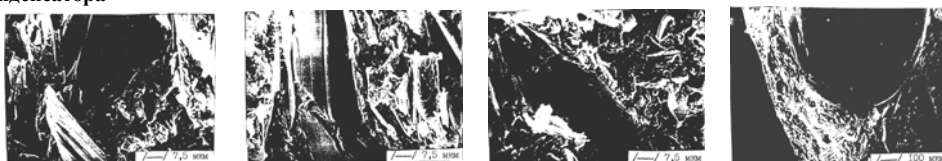
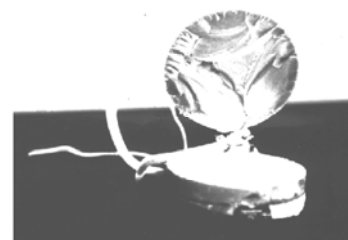


Рис. 4. Фрактографія компаунда ЕК-50

На рис. 5 представлена типова тривимірна діаграма залежності активності сигналів АЕ від часу і координати при розтягуванні зразків компаундів.

Результати випробування конденсаторів навантаженням із записом АЕ представлені на рис. 6–9.

Додатково встановлено, що кераміка і компаунд під час навантаження випромінюють сигнали АЕ

різних частот, а саме кераміка – 650...1000 кГц, компаунд – 130...300 кГц. Цей факт дає змогу диференціювати за частотою сигнали від кераміки і компаунда.

Попередні випробування показали, що датчик П113 працездатний в інтервалі температур від +50°C до -40°C.

Проте при температурах від +50°C до +85°C на покази датчика впливали завади, пов'язані з різницею у коефіцієнтах лінійного розширення матеріалів складових датчика. При переході до від'ємних температур через це ж, а також і через обмерзання в районі від +1,2°C до +5°C також виникали помилкові сигнали АЕ. Щоб не піддавати датчики дії несприятливих для них температур, було вирішено використати хвилеводи.

Для усунення перешкод, пов'язаних з утворенням і розтріскуванням льоду при переході від позитивних температур до від'ємних і назад, було вирішено поставити експеримент в вакуумі. Для цього була виготовлена невелика вакуумна установка (рис. 10), всередині якої розміщувався випробуваний об'єкт із закріпленими на ньому датчиком АЕ і датчиком температури. Розрідження, яке дорівнює 740 мм ртутного стовпа, що створюється в установці, перешкоджало утворенню льоду на тестованому зразку і хвилеводі.

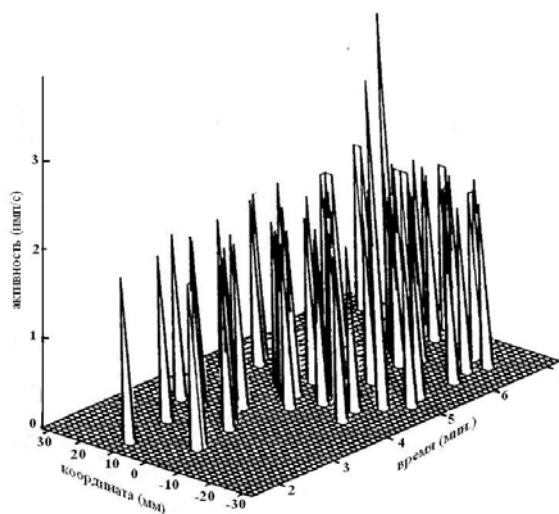


Рис. 5. 3-D діаграма АЕ

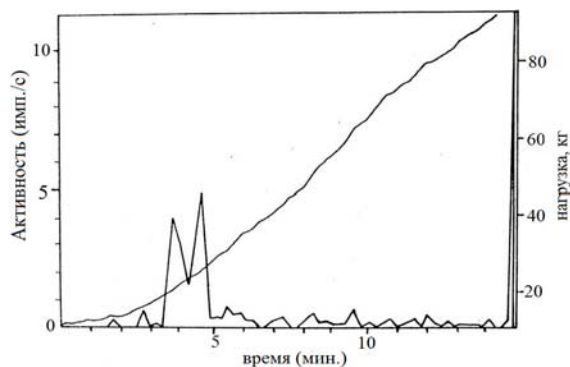


Рис. 6. Залежність активності сигналів АЕ від часу і навантаження при згині зразка конденсатора

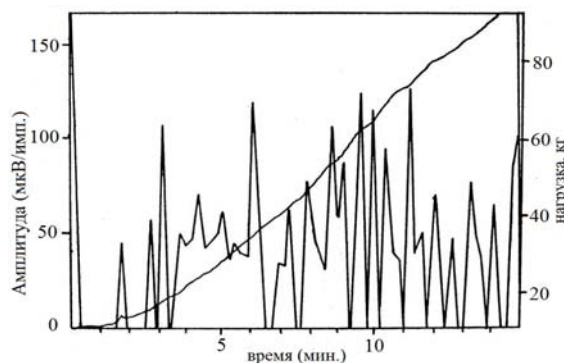


Рис. 7. Зміна амплітуди сигналів АЕ від часу і навантаження при згині зразка конденсатора

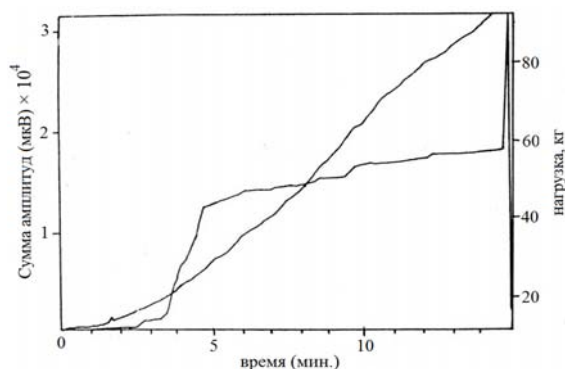


Рис. 8. Сума амплітуд сигналів АЕ при згині зразка конденсатора

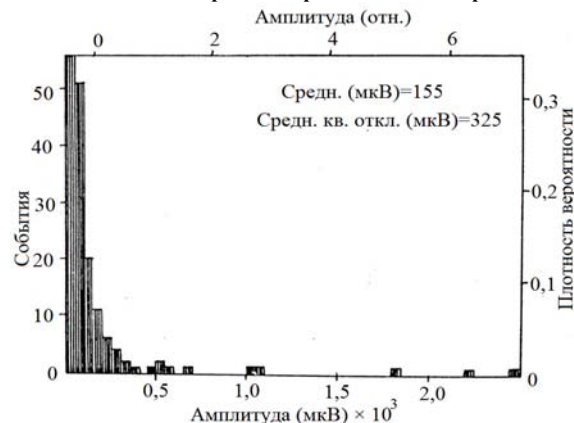


Рис. 9. Амплітудний розподіл сигналів АЕ при згині зразка конденсатора

В результаті досліджень було сформовано методику НК і прогнозування міцності конденсаторів К15-5:

1) прояв ефекту Кайзера, тобто відсутність сигналів АЕ після перших двох термоударів свідчить про нормальний міцний стан конструкції;

2) якщо на n -му термоциклі знову з'являються сигнали АЕ, порівнювані з сигналами, отриманими при першому циклі, це є попередженням про початок процесу катастрофічного руйнування і така конструкція буде зруйнована через п'ять-десять циклів;

3) якщо при підвищенні температури від -50°C до -10°C з'являються сплески АЕ, то це свідчить про наявність і розвиток тріщини в конструкції.

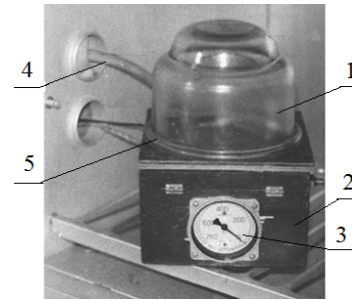
В останніх двох випадках конструкція визнається дефектною.

Висновки

1. Встановлено температурні межі працездатності датчиків АЕ, які містять сталеві, керамічні, пластмасові деталі, здатні випромінювати АЕ при термоциклюванні. Датчик П113 працездатний у діапазоні від -50°C до $+50^{\circ}\text{C}$. Підібрано хвилевод для передачі сигналів АЕ від досліджуваного об'єкта в термокамері до датчика П113 поза неї, що дозволило розширити границі температурного діапазону за рахунок збільшення додатних температур до $+90^{\circ}\text{C}$ і від'ємних до -60°C .

2. Здійснено поділ сигналів АЕ, що випромінюються компаундною і керамічною складовими конструкції конденсатора К15-5 за частотою. Робоча смуга частот сигналів АЕ відповідає для кераміки К-15 $650\dots 1000$ кГц; для компаунда ЕК-242 – $130\dots 300$ кГц.

3. Запропоновано спосіб неруйнівного діагностування і контролю міцності та попередження небезпечних станів конструкції компаундованих керамічних конденсаторів К15-5, що працюють в умовах термоциклювання від $+60^{\circ}\text{C}$ до -50°C . Показником міцного стану конструкції є прояв ефекту Кайзера після перших двох термоциклів, поява АЕ на n -му термоциклі є попередженням про катастрофічне руйнування конструкції конденсатора через п'ять-десять циклів.



1 – вакуумна камера; 2 – основа камери; 3 – вакууметр; 4 – вакуумний шланг; 5 – кабель датчика АЕ

Рис. 10. Вакуумна установка

Література

1. Pawlak R. Durability and reliability enhancement of selected electronic components achieved by laser technologies / R. Pawlak, M. Tomczyk, M. Walczak // 2017 MIXDES-24th International Conference on Mixed Design of Integrated Circuits and Systems. IEEE. – 2017. – P. 459–462.
2. Harris K. D. Flexible electronics under strain: a review of mechanical characterization and durability enhancement strategies / K. D. Harris, A. L. Elias, H-J. Chung // Journal of materials science. – 2016. – P. 2771–2805.
3. Grieu M. et al. Durability modelling of a BGA component under random vibration / Grieu M. et al. // EuroSimE 2008-International Conference on Thermal, Mechanical and Multi-Physics Simulation and Experiments in Microelectronics and Micro-Systems. IEEE. – 2008. – P. 1–8.
4. Samant S. P. et al. Directed self-assembly of block copolymers for high breakdown strength polymer film capacitors / Samant S. P. et al. // ACS applied materials & interfaces. – 2016. – P. 7966–7976.
5. Wen R. et al. Nanocomposite capacitors with significantly enhanced energy density and breakdown strength utilizing a small loading of monolayer titania / W. Rongmei, G. Junmeng, Zh. Chunlin, L. Yanqing // Advanced Materials Interfaces. – 2018. – Т. 5. – № 3. – P. 1701088.
6. Royzman V. Ways to improve strength reliability of electronics elements and systems / Vilen Royzman // Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (IEEE Cat. No. 02EX542). IEEE. – 2002. – P. 187–190.
7. Ройзман В. П. Механика в электронике : [в 3 т.] / В. П. Ройзман. – Хмельницький : ХНУ, 2015.
8. Royzman V. Diagnosing of Technical State of the Products of Electronics by Acoustic Emission method / Vilen Royzman, Andrii Goroshko, Oleg Shinkaruk // TCSET2012, February 21–24, Lviv-Slavske, Ukraine. – 2012.
9. Goroshko A. V. Methods for testing and optimizing composite ceramics-compound joints by solving inverse problems of mechanics / A. V. Goroshko, V. P. Royzman, A. Bubulis, K. Juzėnas // Journal of Vibroengineering. Vol. 16. Issue 5. – 2014. – P. 2178–2187.

References

1. Pawlak R. Durability and reliability enhancement of selected electronic components achieved by laser technologies / R. Pawlak, M. Tomczyk, M. Walczak // 2017 MIXDES-24th International Conference on Mixed Design of Integrated Circuits and Systems. IEEE. – 2017. – P. 459–462.
2. Harris K. D. Flexible electronics under strain: a review of mechanical characterization and durability enhancement strategies / K. D. Harris, A. L. Elias, H-J. Chung // Journal of materials science. – 2016. – P. 2771–2805.
3. Grieu M. et al. Durability modelling of a BGA component under random vibration / Grieu M. et al. // EuroSimE 2008-International Conference on Thermal, Mechanical and Multi-Physics Simulation and Experiments in Microelectronics and Micro-Systems. IEEE. – 2008. – P. 1–8.
4. Samant S. P. et al. Directed self-assembly of block copolymers for high breakdown strength polymer film capacitors / Samant S. P. et al. // ACS applied materials & interfaces. – 2016. – P. 7966–7976.
5. Wen R. et al. Nanocomposite capacitors with significantly enhanced energy density and breakdown strength utilizing a small loading of monolayer titania / W. Rongmei, G. Junmeng, Zh. Chunlin, L. Yanqing // Advanced Materials Interfaces. – 2018. – Т. 5. – № 3. – P. 1701088.
6. Royzman V. Ways to improve strength reliability of electronics elements and systems / Vilen Royzman // Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (IEEE Cat. No. 02EX542). IEEE. – 2002. – P. 187–190.
7. Royzman V. P. Механіка в електроніці : [в 3 т.] / В. П. Ройзман. – Хмельницький : ХНУ, 2015.
8. Royzman V. Diagnosing of Technical State of the Products of Electronics by Acoustic Emission method / Vilen Royzman, Andrii Goroshko, Oleg Shinkaruk // TCSET2012, February 21–24, Lviv-Slavske, Ukraine. – 2012.
9. Goroshko A. V. Methods for testing and optimizing composite ceramics-compound joints by solving inverse problems of mechanics / A. V. Goroshko, V. P. Royzman, A. Bubulis, K. Juzėnas // Journal of Vibroengineering. Vol. 16. Issue 5. – 2014. – P. 2178–2187.

Д.Ю. ЗУБЕНКО, О.Н. ПЕТРЕНКО, В.О. ОРЛОВ
Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова

ТЕПЛОПЕРЕДАЧА ЗОВНІШНЬОГО ВЕНТИЛЯТОРА ОХОЛОДЖЕННЯ В ЕЛЕКТРОДВИГУНІ ВИСОКОЇ НАПРУГИ

У даній роботі досліджуються характеристики теплообміну зовнішнього вентиляційного тракту компактного 4-полюсного електродвигуна, який може бути використаний у транспорті. Обчислювальна модель створена і підтверджена результатами експериментальних випробувань. Серія симуляцій виконується на нейронних мережах. Встановлено, що кут відхилення і кут нахилу лопастей вентилятора є ключовими параметрами, що впливають на ефективність охолодження електродвигуна. Оптимальні заходи вживаються шляхом зміни кута відхилення і кута випуску лопастей вентилятора.

Ключові слова: електричний транспорт, електродвигун, підвищення потужності, охолодження електродвигуна, нейронні мережі.

D. ZUBENKO, O. PETRENKO, V. ORLOV
O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv

HEAT TRANSMITTER OF EXTERIOR COOLING FAN IN HIGH VOLTAGE ELECTRIC MOTOR VEHICLE

This paper investigates the heat exchange characteristics of an external ventilated tract of a compact 4-pole electric motor that can be used in transportation. The computational model was created and validated by experimental results. A series of simulations run on neural networks. It is found that the deflection angle and the angle of the fan blades are key parameters that affect the cooling efficiency of the motor. Optimal measures are taken by varying the deflection angle and the exhaust fan blade angle. With the development of technology, the design of electric motors with high efficiency and high specific power is increasingly used in transport. The compact high voltage motor has the advantages of: compact structure, high power density and high electromagnetic component. However, increasing the power density will inevitably lead to more serious consequences, namely the problem of overheating, which will reduce engine power and efficiency. As a solution controlling the range, increasing temperature, which is a key factor, affects the performance and efficiency of the overall design. Therefore, it is necessary to analyse the flow field and the exact temperature field and improve the cooling system, which gives the ability to ensure reliable operation of the engine and its ventilation. Currently, many researchers focus their research interests on heat transfer and engine cooling. The article deals with the issue of heat transfer of an external cooling fan in a high voltage electric motor and the processing of the obtained information by means of neural networks. Studies have shown that the velocity at the outlet and the temperature of the internally ventilated varies depending on the load and can be predicted by neural networks. The accuracy of the simulation and simulation method is proved by calculations. The results of the study can provide an effective tool for the design of induction motors with high specific power.

Keywords: electric transport, electric motor, increase of power, cooling of electric motor, neural networks.

Вступ. З розвитком технологій дизайн електричних електродвигунів з високою ефективністю і високою питомою потужністю все частіше використовують у транспорті. Компактний двигун високої напруги має переваги: компактна структура, висока щільність потужності і висока електромагнітна складова. Проте, збільшення щільності потужності неминуче призведе до більш серйозних наслідків, а саме до проблеми перегріву, яка зменшить потужність двигуна і ефективність. В якості вирішення, контролюючого діапазон, підвищення температури, що є ключовим фактором, впливає на продуктивність і ефективність загального дизайну [1]. Тому необхідно проаналізувати поле потоку і точне температурне поле і поліпшення системи охолодження, що дає здатність забезпечити надійну роботу двигуна та його вентиляції [2]. В даний час багато дослідників фокусують свої дослідницькі інтереси на теплопередачі і охолодженні двигуна [3]. Теплові характеристики закритого двигуна з повітряним охолодженням з використанням експериментальних та чисельних методів моделювання виявили, що оптимальна конструкція охолоджуючого вентилятора може підвищити надійність роботи двигуна [4]. Вплив охолоджуючого вентилятора було детально вивчено рядом дослідників [5–7]. Було встановлено, що товщина лопаті вентилятора впливає на продуктивність і охолоджуючий ефект вентиляційної конструкції. Встановлено, що чим вище температура, тим більше теплова напруга, і це призводило до поломки стрижня і впливало на підвищення температури двигуна і термін служби [8–10].

В роботах [11–15] було проведено чисельне моделювання впливу нагріву потоку з повітряним зазором на теплові характеристики статора і обмоток асинхронних двигунів великої потужності. Потік повітря з підігрівом було визначені і класифіковані на три стани: недогрів, перегрів і подальші дослідження було проведено, щоб визначити вплив перегріву і стану перегріву повітряного зазору на статорі і обмотках. Тому актуальним є пошук оптимальних систем теплопередачі для охолодження електродвигунів. Потрібно розв'язати задачу теплопередачі зовнішнього вентилятора охолодження в електродвигуні високої напруги.

Експериментальна частина

Зовнішній вентиляційний тракт компактного високовольтного двигуна включає в себе зовнішній вентилятор і кулер. Кулер – це місце, в якому теплообмін буде відбуватися між гарячим повітрям внутрішнього вентиляційного тракту і холодним повітрям зовнішнього вентиляційного тракту. Внутрішній вентиляційний тракт – закрита конструкція і зовнішній вентиляційний тракт, з'єднаний з повітрям біля стінки коробки кулера.

Тим часом, потік рідини має турбулентність. Тому необхідно ввести рівняння турбулентності [1–5]. Обертання ефекту в середньому потоці може зробити обчислені результати більш точними [12–15]. Тому ми вибираємо його в якості моделі рішення:

$$\frac{\partial(pk)}{\partial t} + \frac{\partial(pku_1)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[(\alpha_k \mu_{eff}) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - p\varepsilon - Y_M, \quad (1)$$

$$\frac{\partial(p\varepsilon)}{\partial t} + \frac{\partial(p\varepsilon u_1)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[(\alpha_\varepsilon \mu_{eff}) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + G_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} (G_k + G_{3\varepsilon} G_b), \quad (2)$$

$$\begin{cases} \mu_{eff} = \mu + \mu_t \\ \mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \end{cases}, \quad (3)$$

де k – турбулентна кінетична енергія, ε – швидкість дисипації турбулентної кінетичної енергії, G_k – турбулентна енергія, вироблена середнім градієнтом швидкості, μ_{eff} – коефіцієнт еквівалентної в'язкості.

Таким чином продуктивність зовнішнього вентилятора поліпшується шляхом зміни кута відхилення ($a = 42^\circ$) і кута нахилу ($b = 53^\circ$) лопастей вентилятора.

ККД зовнішнього вентилятора поліпшений з 28,80% до 29,96% і вихідний потік збільшився на 0,08 м³/с. Пропонуються деякі оптимальні заходи для поліпшення продуктивності кулера, такі як регулювання висоти пластин, що змінює форму похилої пластини.

Обробка отриманих даних була зроблена за допомогою нейронних мереж.

За умови, якщо $Y_i = 0$, значить $y_{ij} = 0$; якщо пакет X_i є позитивним, то хоча б один екземпляр в X_i буде

позитивним, тобто, якщо $Y_i = 1$, тоді $\sum_{j=1}^{m_i} y_{ij} \geq 1$. Найскладніша проблема в MIL полягає в тому, що мітка

примірника не вказана. У MINN існує дві стратегії: перша полягає в тому, щоб вивести мітку примірника в мережі, тобто поставити ймовірності примірника позитивного в якості прихованого рівня в мережі; друга – вивчити уявлення кластера в мережі і безпосередньо виконувати класифікацію даних без обчислення ймовірності примірника. Перша стратегія була вивчена в [8, 9, 15]. Друга стратегія знову пропонується в цій статті. У наступних підрозділах ми дамо опис MINN.

Розглянемо налаштування одного пакета X_i з декількома екземплярами x_{ij} , який проходить через MINN. MINN складається з L шарів, кожен з яких містить нелінійне перетворення H^l , де L індексує шар. $H^l(\cdot)$ може бути складовою частиною таких операцій, як внутрішній продукт (або повне з'єднання), випрямлені лінійні одиниці (ReLU) [2–9] або пропонуваній пул MIL. Позначимо висновок 1-го шару примірника x_{ij} як x_{ij}^1 . Спочатку ми розглядаємо традиційні нейронні мережі з декількома екземплярами [8, 9, 14], які називаються mi-Net. Як показано, кожен екземпляр в кластері спочатку подається на кілька повністю пов'язаних (FC) шарів з функцією активації (в цій статті ми використовуємо чотири шари FC з активацією ReLU [9]). Ми отримуємо функцію примірника, позначену як x_{ij}^{L-2} в $(L-2)$ рівня і ймовірності примірника, позначеної як p_{ij}^{L-1} . p_{ij}^{L-1} є скаляром в діапазоні від [0, 1] і виводиться з x_{ij}^{L-2} індивідуально.

В останньому шарі є пул MIL Pooling Layer, який приймає ймовірності примірника в якості входних і виведених сумарною ймовірності, позначених як $P^L(X_i)$.

Ці перші шари $L-2$ можуть вивчити деякі більш семантичні особливості примірника в порівнянні з оригінальним x_{ij} (Вищий рівень, що відповідає більш високим семантичним ознаками). Після вивчення цих особливостей примірника використовується рівень FC, який має тільки один нейрон з сигмовидною активацією для прогнозування позитивності примірників.

На відміну від традиційних нейронних мереж, для mi-Net у нас є тільки дані відмов для навчання, але ярлики примірників недоступні. Щоб вирішити цю проблему, ми розглядаємо мітки екземпляра як приховані змінні і виводимо їх під час мережевого навчання. Ми створюємо шар для підсумовування балів примірників в кластері. Тут MIL Pooling Layer використовується для об'єднання цих примірників в кінцеву позитивність пакета.

Метод об'єднання MIL задовольняє обмеженням MIL: якщо кластер позитивний, повинен бути хоча б один екземпляр з великою позитивністю. В іншому випадку всі екземпляри в кластері повинні мати низьку позитивність. Коли об'єднаний шар інтегрований в нейронну мережу, функція об'єднання повинна бути диференційованою. Типовий пул MIL представлений таким чином, що mi-Net можна сформулювати так:

$$\begin{cases} x_{ij}^l = H^l(x_{ij}^{l-1}), \\ p_i^l = M^L(p_{ij|j=1..m_i}^{l-1}). \end{cases} \quad (4)$$

У mi-Net формулювання останніх двох шарів: $P_i^l = M^l (P_{ij|j=1..m_i}^{l-1})$. P_i^l – це ймовірність пакета даних та M^l є MIL оператором. Таким чином, нейрони від другого до останнього шару (тобто $(L-1)$ -го рівня) представляють ймовірності примірників.

Ми пропонуємо серію нових нейронних мереж з декількома екземплярами, які не покладаються на висновок ймовірності примірника. Мережі безпосередньо вивчають уявлення кластера і виробляють кращу точність класифікації даних. Ці методи відносяться до категорії вбудованих просторових алгоритмів MIL, визначених в огляді [2]. Дотримуючись стилю іменування в [10], ми називаємо цю мережу як MI-Net.

Показана проста MI-Net з трьома повністю пов'язаними шарами і одним пулом MIL. Зміна структури мережі призводить до того, що мережа фокусується на поданні даних навчання, а не на прогнозі ймовірності примірника. Незалежно від того, скільки вхідних примірників є, MIL Pooling Layer об'єднує їх в один вектор функцій як уявлення пакета. Нарешті, шар FC з тільки однією нейронною і сигмоїдною активацією приймає подання даними в якості вхідного сигналу і прогнозує ймовірність даними. Цей простий MI-Net сформульований так:

$$\begin{cases} x_{ij}^l = H^l(x_{ij}^{l-1}), \\ x_i^l = M^L(x_{ij|j=1..m_i}^{l-1}). \end{cases} \quad (5)$$

Різниця між MI-Net або mi-Net. По-перше, ми можемо порівняти 1 і 2, щоб знайти різницю між mi-Net і MI-Net. У mi-Net є кілька вузлів, що представляють екземпляри. В MI-Net немає лічильників та примірників; замість цього він містить вектор функцій з даними. З точки зору вивчення особливостей, mi-Net фокусується на поданні навчального примірника; в той час як MI-Net вивчає подання примірників і уявлення сум. У нас є явна мотивація проектування MI-Net. Оскільки mi-Net пророкує рахунок примірника на основі окремого примірника, і оцінка сум залежить від кількості примірників, класифікація пакетів не буде виконана, якщо класифікатори примірників помиляються. Наша мотивація MI-Net полягає в тому, щоб отримати більш багате уявлення.

Агрегуючи всі можливості примірника, даємо більш надійне передбачення, засноване на уявленні підсумовування. Коли навчання з використанням декількох екземплярів – це слабо контрольована проблема навчання, або явно, або неявно викликаючи ймовірність примірника, він завжди ризикує зробити помилку. Однак в MI-Net основна увага приділяється завданню пакетів; таким чином, слабо контрольована проблема MIL стає повністю контрольованою меншою ціною робіт по ремонту. Саме з цієї причини MI-Net має тенденцію давати кращу точність класифікації даних, як показано в експериментах. Однак в MI-Net є обмеження; він не може дати можливість примірника. У додатках, що вимагають ймовірності примірника, щоб контролювати мережі (DSN) [13], ми додаємо глибокі спостереження в MI-Net. Тобто кожен середній рівень FC, який може вивчати функції примірника, супроводжується шаром пулу MIL і рівнем FC для прогнозування сумарного балу. Під час навчання додається на кожен рівень. Крім того, під час тестування ми обчислюємо середній бал для кожного рівня. MI-Net з глибоким спостереженням формулюється так:

$$\begin{cases} x_{ij}^l = H^l(x_{ij}^{l-1}), \\ x_i^l = M^L(x_{ij|j=1..m_i}^{l-1}), k \in \{1, 2, 3\}, \end{cases} \quad (6)$$

де індекс k в $X_i^{l,k}$, k і означає, що ми вивчаємо безліч функцій сум з усіх рівнів можливостей примірника за допомогою пулу MIL. MI-Net з глибоким спостереженням може використовувати кілька ієрархій, щоб отримати кращу точність класифікації даних. Його можна інтерпретувати з двох точок зору. У процесі навчання функція примірника в нижніх шарах може отримувати більш ретельний контроль; і (2) при тестуванні ми можемо усереднити ймовірність множинних сум, щоб отримати більш міцні дані. У цій статті ми встановлюємо ваги різних рівнів однаково.

Останнім часом глибоке залишкове навчання було запропоновано в [14] і продемонструвало вражаюче поліпшення розпізнавання зображень за рахунок використання дуже глибоких нейронних мереж. Ми вивчаємо залишкові з'єднання в MI-Net, MI-Net з залишковими сполуками формулюється так:

$$\begin{cases} x_{ij}^l = H^l(x_{ij}^{l-1}), \\ x_i^l = M^L(x_{ij|j=1..m_i}^{l-1}) \\ x_i^l = M^L(x_{ij|j=1..m_i}^{l-1}) + X^{l-1}, l > 1, \end{cases} \quad (7)$$

На відміну від вихідного залишкового навчання в [14], в якому вивчаються залишки репрезентацій з використанням згортки, нормалізації партії і ReLU, ми вивчаємо залишки уявлення сум через повністю зв'язані шари, об'єднання ReLU і MIL. В кінці мережі уявлення фінального кластера пов'язано з етикеткою даними через шар FC з однією нейронною і сигмоїдною активацією.

Загальний підхід полягає в тому, щоб звести до мінімуму нормалізовану втрату квадратів помилок щодо коефіцієнтів користувача $V = (v_j)_{j=1}^J$.

$$\min_{U,V} \sum_{i,j} (r_{i,j} - u_i^T v_j)^2 + \lambda_u \|u\|^2 + \lambda_v \|v\|^2, \tag{8}$$

де λ_u і λ_v є параметрами регуляризації. $r_{ij} > 0$, якщо користувач i , номінальна позиція j , і $r_{ij} = 0$ інакше матрична факторизація може бути узагальнена як імовірнісна модель шляхом розміщення нульового середнього сферичного гаусового впливу на латентні фактори користувачів і предметів [1–5], який може бути далі описаний як наступний генеративний процес, для кожного користувача i , зображений як векторний латентний користувач $u_i \sim N(0, \lambda_u^{-1} E_k)$. Для кожної позиції j , зобразити елемент латентного вектору $v_j \sim N(0, \lambda_v^{-1} E_k)$; для кожної пари користувача-елемента (i,j) , набрати дані $r_{ij} \sim N(u_i^T v_j, c_{ij}^{-1})$, де c_{ij} служить параметром надійності для r_{ij} . Якщо c_{ij} є забагато, r_{ij} вірне рівняння. Загалом, $c_{ij} = a$, якщо $r_{ij} > 0$ і $c_{ij} = b$, якщо $r_{ij} = 0$, а a та b є налаштуванням параметрів satisfying $ab \geq 0$. Таким чином, імовірнісна матрична факторизація (PMF) може мати справу з незаперечними рейтингами. PMF можна легко розширити, щоб включити упередження для різних користувачів, елементів і контекстів, щоб отримати більш надійні моделі латентних факторів [6–12].

Традиційні періодичні нейронні мережі, що виникають із проблеми довготривалої залежності в моделюванні послідовності. GatedRNN (GRNN) вводять рекурентні одиниці (наприклад, LSTM і GRU), щоб полегшити кожну одиницю, щоб запам'ятати наявність певної функції в потоці введення для довгої серії кроків, а також автоматично закриті контекстні шляхи, які обходять декілька тимчасових кроків до уникнення зникаючих градієнтів [13–15]. Тут ми приймаємо замкнуту рекурентну одиницю (GRU).

Формально, враховуючи послідовність S , оновлення повторюваного прихованого стану в GRU-RNN узагальнюється, як показано нижче [3–9]. Для кожного j -го підрозділу GRU активації h_t^j як шаг t є:

$$h_t^j = (1 - z_t^j) h_{t-1}^j + z_t^j \tilde{h}_t^j, \tag{9}$$

де z_t^j є воротами оновлення і обчислено за:

$$z_t^j = \delta(W_z s_t + M_z h_{t-1}^j) \tag{10}$$

Де функція δ може брати *sigmoid* або *tanh*. Активація параметра h_t^j обчислюється шляхом:

$$h_t^j = \tanh(W_s s_t + M(d_t \circ h_{t-1}^j)) \tag{11}$$

де d_t являє собою набір перезавантажувальних воріт і означає елементний помножувач. Ворота скидання d_t^j обчислюються як:

$$d_t^j = \delta(W_d s_t + M_d h_{t-1}^j) \tag{12}$$

З огляду на набір навчальних програм, ми хочемо визначити оцінку Maximum a posteriori (MAP) U, V, W^* , тому ми можемо використовувати U та V для прогнозування відсутніх записів у R та використовувати прогнози для надання рекомендацій. Для вивчення параметрів DRMF ми розробляємо алгоритм EM-стилю, подібний до [15]. Максимізація заднього рівня еквівалентна максимізації повної логарифмічної вірогідності формули 5, тому ми можемо вивести цільову функцію наступним чином

$$\begin{aligned} L(U, V, W_1, W_2) = & - \sum_i \sum_j \frac{c_{i,j}}{2} (r_{ij} - u_i^T v_j)^2 \\ & - \frac{\lambda_u}{2} \sum_i (u_i - \phi_i)^T (u_i - \phi_i) - \frac{\lambda_v}{2} \sum_j (v_j - \theta_j)^T (v_j - \theta_j) \\ & - \frac{\lambda_u}{2} \left(\sum_k W_1^k + \sum_k W_2^k \right). \end{aligned}$$

Спочатку виправляємо значення θ та ϕ (а саме, виправити параметри W_1, W_2 в перетворенні $dnn(W_1, X), dnn(W_2, Y)$) вирішити та V . Для u_i, v_j максимізація виконується аналогічно матричній факторизації. Взяття градієнта L до відношення до u_i, v_j і встановлення його до нуля допомагає знайти u_i, v_j . Вирішення відповідних рівнянь приведе до оновлення правил наступним чином,

$$\begin{aligned} u_i & \leftarrow (VC_i V^T + \lambda_u E_k)^{-1} (VC_i R_i + \lambda_u \phi_i) \\ v_j & \leftarrow (UC_j U^T + \lambda_v E_k)^{-1} (UC_j R_j + \lambda_v \theta_j) \end{aligned} \tag{14}$$

де C_i – діагональна матриця з c_{ij} як діагональний елемент з $R_i = (r_{ij})_{j=1}^J$ для використання i . Для предметів j , C_j і R_j аналогічно визначено c_{ij} є показником надійності роботи r_{ij} . Ми використовуємо таку ж стратегію, як зазначено в [15] to set c_{ij} : $c_{ij} = a$, якщо $r_{ij} > 0$ та $c_{ij} = b$, якщо $r_{ij} = 0$. Комбінація a та b є різницею для завдань прогнозування надійності та безвідмовності роботи.

Висновки

В статті було розглянуто питання теплопередачі зовнішнього вентилятора охолодження в електродвигуні високої напруги та обробки отриманої інформації за допомогою нейронних мереж. Дослідження показали, що швидкість на виході і температура внутрішнього вентиляційного змінюється в залежності від навантаження і може бути прогнозовано за допомогою нейронних мереж. Точність методу

моделювання і симуляції доведена розрахунками. Результати дослідження можуть надати ефективний інструмент для проектування асинхронних двигунів з високою питомою потужністю.

Література

1. Naskar A.K., Sarkar D. Numerical analysis of three dimensional steady state heat conduction in the rotor of an induction motor by finite element method. International Conference on Control, Instrumentation, Energy and Communication, 2014.
2. Dingetal S. Numerical research of wind friction loss for double fed hydro turbine generator, J. Huazhong Univ. Sci. Technol. (2014).
3. Changetal C.C. Air cooling for a large-scale motor, Appl. Therm. Eng. 30 (11– 12) (2010) 1360–1368.
4. Li H. Cooling of a permanent magnet electric motor with a centrifugal impeller, Int. J. Heat Mass Transf. 53 (4) (2010) 797–810.
5. Li H. Flow driven by a stamped metal cooling fan – numerical model and validation, Exp. Therm Fluid Sci. 33 (4) (2009) 683–694.
6. Stafford J., Walsh E., Egan V. Local heat transfer performance and exit flow characteristics of a miniature axial fan, Int. J. Heat Fluid Flow 31 (5) (2010) 952–960.
7. Ding S., Liu J., Zhang L. Fan characteristics of the self-support components of rotor end sand its performance matching, Int. J. Heat Mass Transf. 108 (2017) 1917–1923.
8. Xie Y., Wang Y. 3D temperature field analysis of the induction motors with broken bar fault, Appl. Therm. Eng. 66 (1–2) (2014) 25–34.
9. Herbert W.A. Totally enclosed fan-cooled squirrel-cage induction motor options, IEEE Trans. Ind. Appl. 50 (2) (2014) 1590–1598.
10. Ahmed F., Ghosh E., Kar N.C. Transient thermal analysis of a copper rotor induction motor using a lumped parameter temperature network model, in: IEEE Transportation Electrification Conference and Expo, 2016.
11. Zhangetal Y. Calculation of temperature rise in air-cooled induction motors through 3-D coupled electromagnetic fluid-dynamical and thermal finite element analysis, Magnet. IEEE Trans. 48 (2) (2012) 1047–1050.
12. Kolondzovski Z., Belahcen A., Arkkio A. Multi physics thermal design of a high speed permanent-magnet machine, Appl. Therm. Eng. 29 (13) (2009) 2693– 2700.
13. Kim C., Lee K.S., Kim C., et al. Numerical investigation of the air-gap flow heating phenomena in large-capacity induction motors, Int. J. Heat Mass Transf. 110 (2017) 746–752.
14. Nateghetal S. Thermal modelling of directly cooled electric machines using lumped parameter and limited CFD analysis, IEEE Trans. Energy Convers. 28 (4) (2013) 979–990.
15. Зубенко Д.Ю. Дослідження методів управління проектами ремонту транспортних засобів / Д.Ю. Зубенко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 6 (3). – С. 15–18.

References

1. Naskar A.K., Sarkar D. Numerical analysis of three dimensional steady state heat conduction in the rotor of an induction motor by finite element method. International Conference on Control, Instrumentation, Energy and Communication, 2014.
2. Dingetal S. Numerical research of wind friction loss for double fed hydro turbine generator, J. Huazhong Univ. Sci. Technol. (2014).
3. Changetal C.C. Air cooling for a large-scale motor, Appl. Therm. Eng. 30 (11– 12) (2010) 1360–1368.
4. Li H. Cooling of a permanent magnet electric motor with a centrifugal impeller, Int. J. Heat Mass Transf. 53 (4) (2010) 797–810.
5. Li H. Flow driven by a stamped metal cooling fan – numerical model and validation, Exp. Therm Fluid Sci. 33 (4) (2009) 683–694.
6. Stafford J., Walsh E., Egan V. Local heat transfer performance and exit flow characteristics of a miniature axial fan, Int. J. Heat Fluid Flow 31 (5) (2010) 952–960.
7. Ding S., Liu J., Zhang L. Fan characteristics of the self-support components of rotor end sand its performance matching, Int. J. Heat Mass Transf. 108 (2017) 1917–1923.
8. Xie Y., Wang Y. 3D temperature field analysis of the induction motors with broken bar fault, Appl. Therm. Eng. 66 (1–2) (2014) 25–34.
9. Herbert W.A. Totally enclosed fan-cooled squirrel-cage induction motor options, IEEE Trans. Ind. Appl. 50 (2) (2014) 1590–1598.
10. Ahmed F., Ghosh E., Kar N.C. Transient thermal analysis of a copper rotor induction motor using a lumped parameter temperature network model, in: IEEE Transportation Electrification Conference and Expo, 2016.
11. Zhangetal Y. Calculation of temperature rise in air-cooled induction motors through 3-D coupled electromagnetic fluid-dynamical and thermal finite element analysis, Magnet. IEEE Trans. 48 (2) (2012) 1047–1050.
12. Kolondzovski Z., Belahcen A., Arkkio A. Multi physics thermal design of a high speed permanent-magnet machine, Appl. Therm. Eng. 29 (13) (2009) 2693– 2700.
13. Kim C., Lee K.S., Kim C., et al. Numerical investigation of the air-gap flow heating phenomena in large-capacity induction motors, Int. J. Heat Mass Transf. 110 (2017) 746–752.
14. Nateghetal S. Thermal modelling of directly cooled electric machines using lumped parameter and limited CFD analysis, IEEE Trans. Energy Convers. 28 (4) (2013) 979–990.
15. Zubenko D.Iu. Doslidzhennia metodiv upravlinnia proektamy remontu transportnykh zasobiv / D.Iu. Zubenko // Vostochno-Evropeskiy zhurnal peredovykh tekhnolohiy. – 6 (3). – S. 15–18.

Рецензія/Peer review : 07.06.2019 р.

Надрукована/Printed : 23.07.2019 р.
Рецензент: д. т. н., проф. М.Ф. Смирний

Л.О. КОВТУН, Р. ФРАНЧУК

Хмельницький національний університет

В.М. ТКАЧУК

Вінницький технічний коледж

ВИБІР АРХІТЕКТУРИ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ НАВЧАЛЬНОЇ СИСТЕМИ

Інформаційна насиченість сучасного світу вимагає спеціальної підготовки та певної адаптації навчального матеріалу перед його поданням учням та студентам для того, щоб у візуально доступному для сприйняття вигляді надати основні або необхідні відомості, які будуть зрозумілими, легкодоступними та легкозасвоюваними. Доцільність використання візуалізації навчальної інформації зумовлена необхідністю врахування когнітивних особливостей сучасного покоління учнів та студентів, а також потребою в компактному поданні навчального матеріалу у вигляді, найбільш зручному для його сприйняття, розуміння, засвоєння і запам'ятовування. Використання різних операційних систем в освітньому процесі натикається на певні труднощі, головною з яких є відсутність або не достатній функціонал відповідного програмного забезпечення. Тому актуальним постає питання щодо такого програмного забезпечення, яке могло б функціонувати на різних платформах. У статті показано вибір моделі архітектури програмного забезпечення, що зосереджено на такому технотренді для візуалізації інформації як веб-технології.

Ключові слова: архітектура програмного забезпечення, трирівнева архітектура, веб-технології.

L.O. KOVTUN, R. FRANCHUK

Khmelnyskyi National University

V.M. TKACHUK

Vinnytsia Technical College

SELECTION OF SOFTWARE ARCHITECTURE INFORMATION TRAINING SYSTEM

The rapid penetration of information and communication technologies into human life and the overload of information flows require modern education to adopt new technologies, changes in teaching methods, ways of presenting educational information and the introduction of new learning technologies that would be effective in the present. The informational saturation of the modern world requires special training and some adaptation of the teaching material before it is presented to students and students in order to provide students with essential or necessary information in a visually perceptible form that is clear, easily accessible and easy to digest. The expediency of using visualization of educational information is conditioned by the need to take into account the cognitive characteristics of the current generation of students and students, as well as the need for a compact presentation of educational material in the form most suitable for its perception, understanding, assimilation and memorization. The use of different operating systems in the educational process encounters certain difficulties, the main of which is the lack or lack of sufficient functionality of the corresponding software. Therefore, the question arises as to the kind of software that could function on different platforms. The article illustrates the choice of a software architecture model that focuses on such technology rendering to visualize information as web technology.

Keywords: software architecture, three-tier architecture, web application.

Зародження та розвиток інформаційного суспільства зумовлює вимоги до інформатизації освіти. Це дозволяє розв'язувати головну задачу – підвищення якості освіти на основі використання сучасних інформаційних і комунікаційних технологій. Задоволення інформаційних потреб, розвиток творчого та інтелектуального потенціалу студентів і адекватне використання інформаційних ресурсів в різних сферах людської діяльності можливе при формуванні в освітньому процесі умінь роботи з електронними засобами обробки і передачі інформації.

Згідно з вимогами до інформаційно-освітнього середовища заклад вищої освіти повинен включати в себе комплекс інформаційних освітніх ресурсів, в тому числі цифрових освітніх ресурсів, сукупність технологічних середовищ, інформаційних і комунікаційних технологій, систему сучасних педагогічних технологій, що забезпечують навчання в сучасному інформаційному освітньому середовищі.

Інформаційна навчальна система не може існувати без програмного забезпечення, яке повинно задовольняти інформаційні потреби кожного користувача системи від викладача до студента. Тому вдалий вибір програмного забезпечення та його архітектури є важливим етапом проектування програмного забезпечення інформаційної навчальної системи.

Архітектура програмного забезпечення (ПЗ) (англ. software architecture) – спосіб структурування програмної або обчислювальної системи, абстракція елементів системи на певній фазі її роботи. Система може складатись з кількох рівнів абстракції і мати багато фаз роботи, кожна з яких може мати окрему архітектуру [1].

Дослідженню архітектури ПЗ потрібно приділити значну вагу, оскільки саме на етапі проектування та аналізу розроблюваного ПЗ стає можливим визначити як найкраще розбити систему на частини, яким чином ці частини визначаються та взаємодіють одна з одною, як між ними передається інформація, як ці частини розвиваються поодиночі і як все вище описане найкраще записати, використовуючи формальну чи неформальну нотації. Після етапу дослідження, аналізу та формулювання вимог до архітектури ПЗ розробнику потрібно перейти до проектування архітектури ПЗ, задачею якого є перетворення вимог до

системи у вимоги до ПЗ і побудова на їх основі архітектури системи.

Побудова архітектури системи здійснюється шляхом визначення цілей системи, її вхідних і вихідних даних, декомпозиції системи на підсистеми, компоненти або модулі та розроблення її загальної структури. Існує ряд методів, що використовуються для проектування архітектури системи, кожний з яких пропонує свій шлях побудови архітектури. Ці методи містять визначення концептуальної, об'єктної й інших моделей за допомогою відповідних конструктивних елементів (блок-схем, графів, структурних діаграм тощо).

Архітектури залежно від кількості рівнів, компонентів та способів їх подання та об'єднання в систему можна поділити на чотирирівневі та трирівневі. Один зі шляхів архітектурного проектування, який має назву загальносистемний, – традиційний неформальний підхід до визначення архітектури системи, її компонентів, способів їхнього подання й об'єднання в систему. Така архітектура є чотирирівневою і містить у собі системні компоненти, які здійснюють взаємодію з периферійними пристроями комп'ютерів та використовуються під час побудови операційних систем; загальносистемні компоненти, які забезпечують взаємодію з універсальними сервісними системами середовища роботи прикладної системи, такими як операційні системи, СКБД, системи баз знань, системи керування мережами і т.п.; специфічні компоненти певної прикладної області, що входять до складу компонентів програмної системи і призначені для розв'язання задач в межах означеної області; прикладні програмні системи, що призначені для виконання завдань з обробки інформації, які постають перед окремими групами споживачів інформації з різних предметних областей (офісні системи, системи бухгалтерського обліку й ін.) і можуть використовувати компоненти нижчих рівнів [2–4].

Компоненти кожного з виділених рівнів використовуються, як правило, на своєму або вищому рівні. Кожен рівень відбиває відповідний набір знань, умінь і навичок фахівців, що створюють або використовують компоненти. Цей набір визначає відповідний розподіл фахівців програмної інженерії на аналітиків, системників, прикладників, програмістів й ін. В ході проектування архітектури програмна система розглядається як композиція компонентів третього рівня з доступом до компонентів першого і другого рівнів. Тобто архітектурне проектування – це розроблення компонентів третього рівня, визначення вхідних і вихідних даних рівнів ієрархії компонентів і їхніх зв'язків. Результат проектування — архітектура й інфраструктура, що містять у собі набір об'єктів, з яких можна формувати деякий конкретний вид архітектурної схеми для конкретного середовища виконання системи, а також набір елементів керування і контролю. Проектування архітектури системи завершується створенням опису, в якому відображені зафіксовані проектні рішення, логічна і фізична структура системи, а також способи взаємодії об'єктів.

Для реалізації веб-застосунків використовується архітектура клієнт/сервер, яка передбачає обмін даними з сервером бази даних, на якому у формі процедур розташовується основна частина бізнес-логіки, або з виділеним файловим сервером. Тобто програмний код додатку буде розміщений на віддаленому комп'ютері – сервері. Доступ до серверу має клієнт – це комп'ютер, який використовується користувачем для доступу до серверу. Цей доступ відбувається передачею даних використовуючи браузер, за допомогою якого відбувається надсилання запиту на віддалений сервер, де розміщені файли цього сайту. На стороні сервера відбувається обробка цього запиту і сформується відповідь, яку отримає клієнт, а саме користувач. За допомогою браузера, користувач може переглянути відповідь у вигляді веб-сторінки або іншого файлу.

Перевагами такого архітектурного стилю клієнт/сервер є велика безпека (всі дані зберігаються на сервері, який зазвичай забезпечує більший контроль безпеки, ніж клієнтські комп'ютери); централізований доступ до даних (адміністрування доступу до даних набагато простіше, ніж в інших архітектурах, оскільки дані зберігаються тільки на сервері); простота обслуговування (ролі і відповідальність обчислювальної системи розподілені між декількома серверами, що взаємодіють один з одним по мережі, тому клієнт не відчуватиме впливу подій, що відбуваються з сервером, таких як ремонт, оновлення або переміщення).

Недоліками архітектурного стилю клієнт/сервер є те, що несправність сервера зробить систему недоступною для користувачів, а при недостатньо потужному сервері з'являються сильні затримки в роботі системи.

З огляду на всі переваги та недоліки описаних архітектур для побудови інформаційної навчальної системи було прийнято рішення використовувати трирівневу архітектуру клієнт/сервер, схема роботи якої наведена на рис. 1.

Трирівнева клієнт-серверна архітектура передбачає відділення прикладного рівня від управління даними. Виокремлюється окремий програмний рівень, на якому зосереджується прикладна логіка застосування. Програми проміжного рівня можуть функціонувати під управлінням спеціальних серверів застосувань, але запуск таких програм може здійснюватися і під управлінням звичайного веб-сервера. Нарешті, управління даними здійснюється сервером даних. Наприклад, на клієнтському рівні для роботи з системою користувач використовує стандартне програмне забезпечення – звичайний браузер. Це позбавляє його необхідності завантажувати та інстальювати спеціальні програми (хоча інколи така необхідність все-таки виникає). Середній рівень (middleware) — рівень обробки



Рис. 1. Схема роботи архітектури клієнт-сервер

запиту: сервер викликає серверні програмні модулі, які забезпечують обробку запиту і в разі потреби звертаються до сервера даних. На рівні даних сервер даних здійснює операції з даними, що зберігаються в системі та складають її інформаційну основу. Зокрема, він може здійснити вибірку з інформаційної бази відповідно до запиту та передати її модулю проміжного рівня для подальшої обробки. Дані, з якими працює сервер даних, найчастіше організовані як реляційна база даних. Найчастіше сервер даних і серверні модулі проміжного рівня розміщуються на одному комп'ютері, хоч і являють собою окремі і логічно незалежні програмні модулі.

Тобто алгоритм роботи веб-сторінки навчальної інформаційної системи буде наступний:

- запит клієнтом надсилається на веб-сервер;
- запит клієнта отримується веб-сервером;
- запит піддається певній обробці з уточненнями;
- відповідний запит від веб-сервера надсилається до бази даних;
- база даних формує певний результат (робить вибірку по вказаних критеріях) і відправляє його на веб-сторінку або веб-застосунок;
- відповідь на основі отриманих результатів запиту формується у зручному для клієнта вигляді.

На основі викладених міркувань та аналізу алгоритму роботи веб-сторінки було створено ПЗ інформаційної навчальної системи, що базується на основі тривірневої архітектури. Діаграма станів входу користувача зображена на рис. 2.



Рис. 2. Діаграма станів входу користувача

Як видно з діаграми, можна виділити наступні стани входу користувача: введення даних користувачем шляхом натиснення кнопки «SIGN IN». Наступним кроком є перевірка даних на валідність. Якщо перевірка не пройшла, то алгоритм почнеться заново з введення даних. Якщо дані валідні, то відбувається перевірка на існування користувача у системі. Якщо користувач у системі знайдений, то алгоритм починається з початку. В іншому випадку алгоритм має успішне завершення.

На рис. 3 зображено діаграму реєстрації на курс.

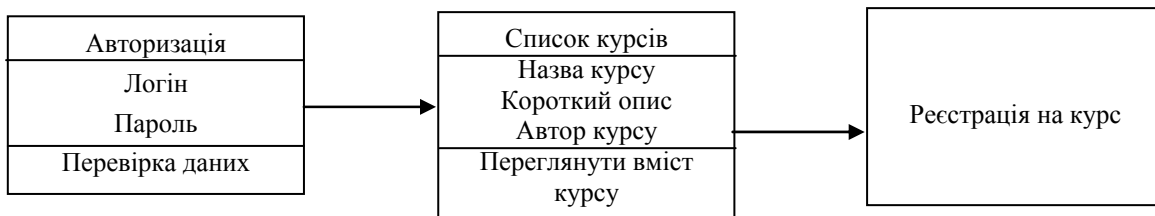


Рис. 3. Діаграма реєстрації користувача на курс

Для того, щоб розмежувати ролі користувачів у системі (наприклад, викладач, студент, адміністратор), у базі даних створена додаткова таблиця «ролі», яка пов'язана з таблицею «користувачі». Ці ролі надаються адміністратором після реєстрації користувача. Таблиці пов'язані між собою за ключовим полем «UserID». Організація бази даних, що містить відомості про користувачів та їх ролі у системі, наведена на рис. 4.

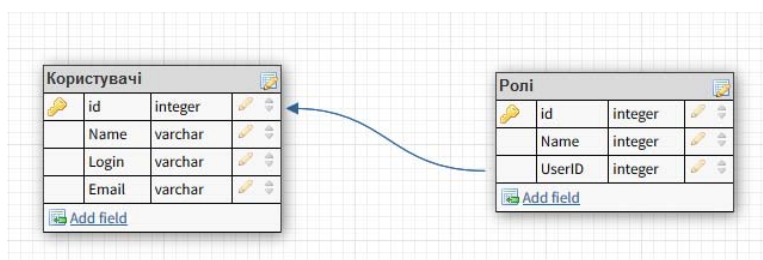


Рис. 4. Організація бази даних, що містить дані про користувачів та їх ролі в системі

Кожен користувач з роллю «викладач» матиме можливість доповнити або видалити непотрібні на його думку дані з курсу. Для кожного курсу у базі даних створена таблиця «курси», з якою пов'язана

таблиця «розділи». До таблиці «курси» доступ матимуть користувачі. Але залежно від ролі це буде або звичайний перегляд, або можливість додавання змін до курсу. Організація бази даних, що містить курси, відомості про авторів, розділи курсів, тести із запитаннями до них та варіанти відповідей на запитання зображені на рис. 5.

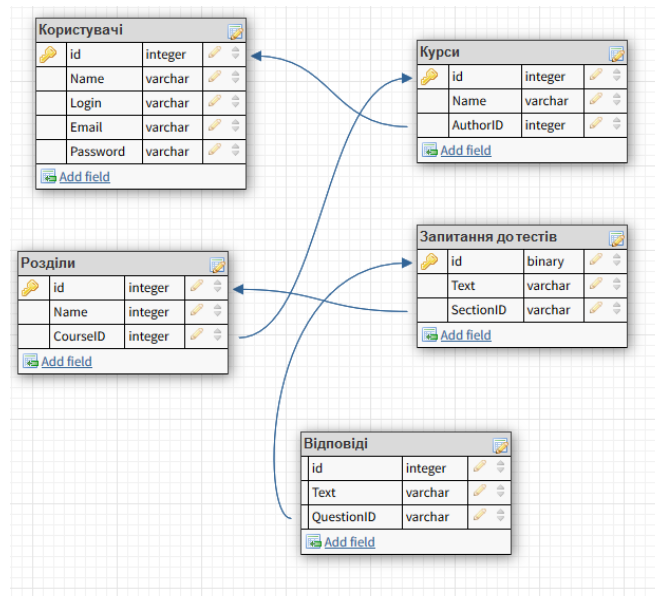


Рис. 5. Організація бази даних, що містить курси, відомості про їх авторів, розділи, запитання до них та варіанти відповідей на запитання

Отже, використання трирівневої архітектури для побудови інформаційної навчальної системи дозволило забезпечити виконання поставленого завдання – створити інформаційну навчальну систему, що розділяє користувачів за їх ролями в інформаційній навчальній системі на тих, хто може доповнювати даними систему та їх оновлювати (викладач), а також на тих, хто цими даними буде користуватись (студенти).

Висновки. Під час створення інформаційної навчальної системи дуже важливим є складання правильної і стабільної функціональної спеціалізації. Враховуючи зручність використання для побудови системи було вирішено використовувати трирівневу архітектуру побудови. За рахунок використання даної архітектури вдається розмежувати програмні рівні один від одного. Це є дуже важливим при подальшому супроводі і вдосконаленні системи і в разі спрощує її підтримку, спрощує пошук помилок (у випадку, коли такі були виявлені в системі).

Література

1. Пройдаков Е. М. Англо-Український глумачний словник з обчислювальної техніки, Інтернету і програмування / Е. М. Пройдаков, Л. А. Теплицький. – Київ : СофтПрес, 2005. – 552 с. – ISBN 966-530-070-9.
2. Лавріщева К. М. Програмна інженерія / К. М. Лавріщева. – Київ, 2008. – 319 с.
3. Чорна О.В. Теорія та методика електронного навчання / О.В. Чорна, Н.А. Хараджян, С.В. Шокалюк, Н.В. Моїсеєнко – Кривий Ріг : Видавничий відділ КМІ, 2013. – Том IV. – С. 272–284.
4. Никсон Р. Создаем динамические веб-сайты с помощью PHP, MySQL, JavaScript, CSSиHTML5 / Р. Никсон. – СПб : Питер, 2016. – 816 с.

References

1. Proidakov E. M. Anghlo-Ukrainskyi tlumachnyi slovnyk z obchysliuvalnoi tekhniky, Internetu i prohramuvannia / E. M. Proidakov, L. A. Teplytskyi. – Kyiv : SoftPres, 2005. – 552 s. – ISBN 966-530-070-9.
2. Lavrishcheva K. M. Prohramna inzheneriia / K. M. Lavrishcheva. – Kyiv, 2008. – 319 s.
3. Chorna O.V. Teoriia ta metodyka elektronnoho navchannia / O.V. Chorna, N.A. Kharadzhan, S.V. Shokaliuk, N.V. Moiseienko – Kryvyi Rih : Vydavnychiy viddil KMI, 2013. – Tom IV. – S. 272–284.
4. Nikson R. Sozdaem dinamicheskie veb-sajty s pomoshyu PHP, MySQL, JavaScript, CSSиHTML5 / R. Nikson. – SPb : Piter, 2016. – 816 s.

Рецензія/Peer review : 20.06.2019 р.

Надрукована/Printed : 23.07.2019 р.
Рецензент: д.т.н., проф. В.В. Мартинюк

РОЗРОБКА КІБЕРФІЗИЧНИХ БІОСЕНСОРНИХ СИСТЕМ ДЛЯ МЕДИКО-БІОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

У роботі розглянуто перспективні напрямки розвитку кіберфізичних систем, що застосовують у медичних цілях створення високо стабільних сенсорних пристроїв на основі штучних аналогів біологічних рецепторів, що поєднують високу селективність при розпізнаванні різноманітних аналітів з високою стабільністю, властивою синтетичним матеріалам за жорстких умов зберігання та використання. Представлено досліджувані системи, які можуть бути інтегровані у різноманітні аналітичні системи та в організм людини для безперервного моніторингу ряду речовин та метаболітів. Описано важливий метод неінвазивної діагностики як напрямок розвитку сучасних кіберфізичних систем, що не передбачає пошкодження шкіри та слизових оболонок при відборі проб для аналізу. Розглянуто кіберфізичні системи для медико-біологічних досліджень, зокрема портативні системи для забезпечення моніторингу фізіологічної інформації в режимі реального часу за допомогою динамічних, неінвазивних вимірювань біохімічних маркерів в біологічних рідинах, таких як піт, слюзи, сліна та інтерстиціальні рідини. Наведено кіберфізичні системи для медико-біологічних досліджень для комплексного моніторингу біохімічних показників. Представлено схематичну ілюстрацію біосенсорів глюкози, лактату, натрію, калію та температури для мультиплексованого аналізу зонного потоку, включаючи іон-селективні електроди, полівінілбутирал, глюкозооксидазу та лактатоксидазу. Розглянуто графенові біосенсори, які імплантовані в зуб для дистанційного моніторингу дихання і виявлення бактерій в сліні. Представлена функціональна схема кіберфізичної системи для медико-біологічних досліджень та результат чисельного моделювання електричного сигналу з перетворювача, який характеризує кількість флуоресцюючих пікселів.

Ключові слова: кіберфізична система, біосенсор, імуносенсор, наносенсор.

A.S. SVERSTIUK, O.A. BAGRIY-ZAYATS, A.B. HORKUNENKO, Z.V. MAYHRUK

I. Horbachevsky Ternopil National Medical University

O.V. MOISEIENKO

Ivano-Frankivsk National Medical University

DEVELOPMENT OF CYBER-PHYSICAL BIOSENSOR SYSTEMS FOR MEDICAL-BIOLOGICAL RESEARCH

In the work considered promising direction of cyber-physical systems used in medical applications to create highly stable sensor devices based on synthetic analogues of biological receptors, combining high selectivity in recognizing different analytes with high stability inherent in synthetic materials for the hard conditions of storage and use. The systems that can be integrated into various analytical systems and into the human body for continuous monitoring of a number of substances and metabolites are presented. An important method of non-invasive diagnostics and as a direction is described development of modern cyber-physical systems, which does not involve damage to the skin and mucous membranes when sampling for analysis. In the work considered cyber-physical systems and for biomedical research, including portable system for monitoring physiological data mode and real time with dynamic, non-invasive measurement of biochemical markers in biological fluids such as sweat, tears, saliva and interstitial fluid. A cyber physical systems and for biomedical research for complex monitoring of biochemical parameters. A schematic illustration of biosensors of glucose, lactate, sodium, potassium and temperature for multiplex analysis of band flux, including ion-selective electrodes, polyvinyl butyral, glucose oxidase and lactate oxidase. Graphene biosensors that are implanted in the tooth for remote monitoring of respiration and detection of bacteria in saliva are considered. Functional diagram of cyber-physical systems and for biomedical research is presented, as well as the result of numerical simulation of an electrical signal from a converter that characterizes the number of fluorescent pixels

Keywords: cyber-physical system, biosensor, immunosensor, nanosensor.

Вступ

Сьогодні активно розвивається концепція створення кіберфізичних систем (КФС) для різноманітних сфер людської діяльності. КФС розглядаються як інтелектуальні системи, в яких інтегровано фізичні об'єкти, зовнішні пристрої, процесори, мережеве обладнання. Основна мета створення КФС – контроль за поведінкою фізичних об'єктів як компонентів таких систем у реальному часі. Це системи, в яких відбувається взаємодія кібернетичних засобів (вимірювальних, обчислювальних, комунікаційних, керуючих, виконавчих) з фізичними процесами у довільних об'єктах [1, 2]. Перспективним є поширення концепції КФС на біомедичну галузь. У таких КФС фізичні об'єкти – це біооб'єкти (БО): від найпростіших до людини включно. Моніторинг поведінки БО кібернетичними методами, автоматичне отримання їх параметрів і характеристик у реальному часі забезпечують надійну взаємодію з БО, а специфіка використання та фізичні особливості БО визначають особливості проектування та розроблення відповідних КФС.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Сьогодні біосенсори активно застосовуються у багатьох сферах людської діяльності. Перш за все, це медична діагностика, зокрема лабораторний аналіз, контроль інтенсивної терапії, а також проведення аналізів у домашніх умовах. Іншою великою галуззю застосування біосенсорів є моніторинг довкілля, а саме контроль води, повітря щодо наявності токсичних хімічних сполук [3]. Широко застосовуються такі пристрої у біотехнології, зокрема у контролі процесів

ферментації [4]. У харчовій промисловості біосенсори застосовуються як у контролі самого виробництва, так і у контролі якості та свіжості продукції [5]. Крім того, біосенсори використовуються у системах безпеки (для виявлення наркотиків та вибухових речовин), а також у криміналістиці [6].

Сенсори медичного призначення становлять найбільшу частину ринку біосенсорів. Окрім глюкози медичні біосенсори використовуються для визначення інших метаболітів для діагностики різноманітних порушень обміну речовин, до яких окрім цукрового діабету належать подагра, підвищений вміст холестерину у крові та ін. Такі сенсори створено для визначення сечовини [7], сечової кислоти [8], лактату [9], креатиніну [10], гормонів [11] та інших речовин. Створено також сенсори для діагностики інфекційних захворювань. Біосенсори застосовуються для розв'язання як прикладних задач, так теоретичних проблем хімії білків та нуклеїнових кислот [12].

Кіберфізичні біосенсорні системи для медико-біологічних досліджень. Портативні кіберфізичні біосенсорні системи (КФБСС), отримують значний науковий інтерес завдяки їхньому потенціалу для забезпечення безперервного моніторингу фізіологічної інформації в режимі реального часу за допомогою динамічних, неінвазивних вимірювань біохімічних маркерів в біологічних рідинах, таких як піт, слюзи, слина і інтерстиціальна рідина. Останні розробки зосереджувалися на електрохімічних та оптичних біосенсорах, а також на досягненні неінвазивного моніторингу біомаркерів, включаючи метаболіти, бактерії та гормони. Поєднання мультиплексної біочутливості, мікрофлюїдного відбору проб і транспортних систем були інтегровані в мініатюрні пристрої та поєднані з гнучкими матеріалами для поліпшення зносостійкості та простоти експлуатації. Точний та надійний моніторинг фізіологічної інформації в реальному часі за допомогою біосенсорних технологій має надзвичайно важливе значення у нашому повсякденному житті (рис. 1).

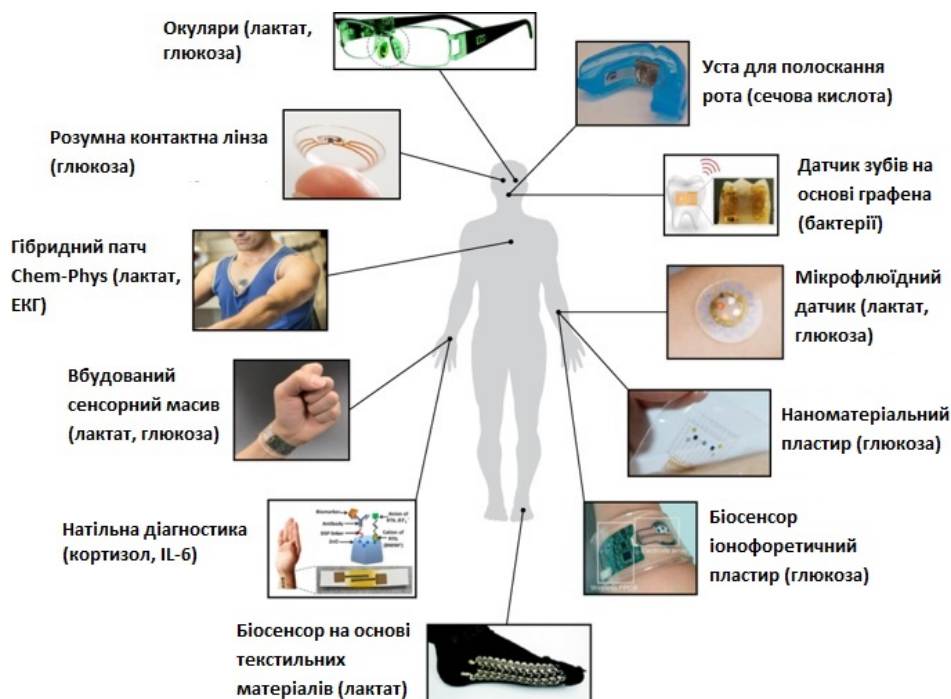


Рис. 1. Біосенсори для моніторингу в галузі охорони здоров'я

Стимулом до бурхливого розвитку біосенсорики були потреби медицини. Першим біосенсором був глюкозний біосенсор, створений для швидкого визначення рівня глюкози у крові в домашніх умовах у хворих на цукровий діабет, який є небезпечним через його ускладнення, що виникають при несвоєчасному корегуванні рівня глюкози у крові. До найбільш небезпечних ускладнень діабету належать порушення кровообігу, погіршення зору та гіперглікемічна кома. Зважаючи на це такі пацієнти потребують щоденного контролю та корегування рівня цукру у крові.

КФБСС для комплексного моніторингу біохімічних показників. На рис. 2 зображено схематичну ілюстрацію біосенсорів глюкози, лактату, натрію, калію та температури для мультиплексованого аналізу зонного потоку, включаючи іон-селективні електроди (ISE), полівінілбутирал (PVB), глюкозооксидазу (GOx) і лактатоксидазу (LOx). Суб'єкт, що закріплює "розумну пов'язку" та "розумний браслет" під час стаціонарного велосипедного руху має можливість спостерігати в реальному часі рівні аналізу поту та температури шкіри під час тренування.

Інтегрування наносенсорів з біоматеріалами призводить до більш точного моніторингу якості здоров'я і адаптивному виявленню загроз людині. В роботі [13] показано, що графен може бути надрукований на водорозчинному шовку, який в свою чергу дозволяє нанести графенові наносенсори на біоматеріали, включаючи зубну емаль (рис. 3). Результатом роботи є повністю біосумісна система зондування, яка може бути налаштована на виявлення цільових речовин. Наприклад, американськими

вченими продемонстровано біоселективне виявлення бактерій на рівні одноклітинних за допомогою розміщення антимікробних пептидів на графені. Зокрема, вчені демонструють інтеграцію графенових біосенсорів в зуб для дистанційного моніторингу дихання і виявлення бактерій в слині. В цілому, така стратегія взаємодії графенових наносенсорів з біоматеріалами представляє собою універсальний підхід при дослідженні біохімічних об'єктів.

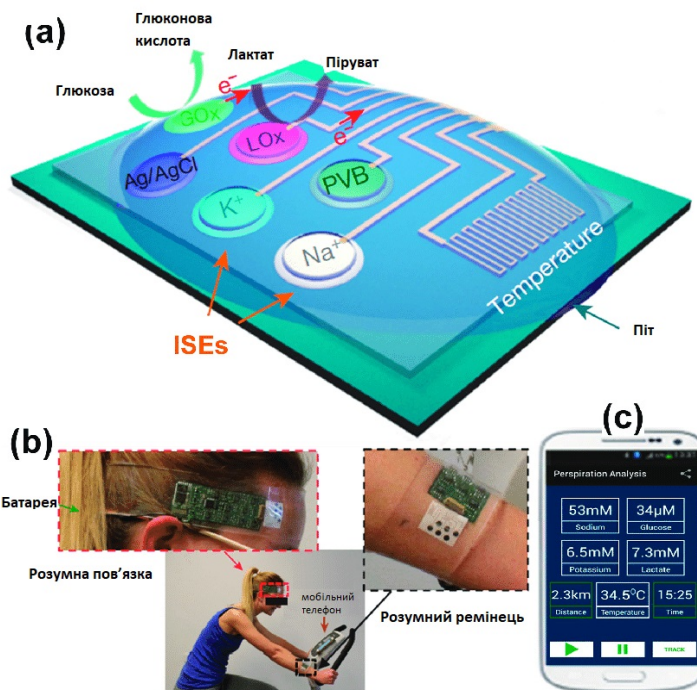


Рис. 2. "Розумна пов'язка" та "розумний браслет"

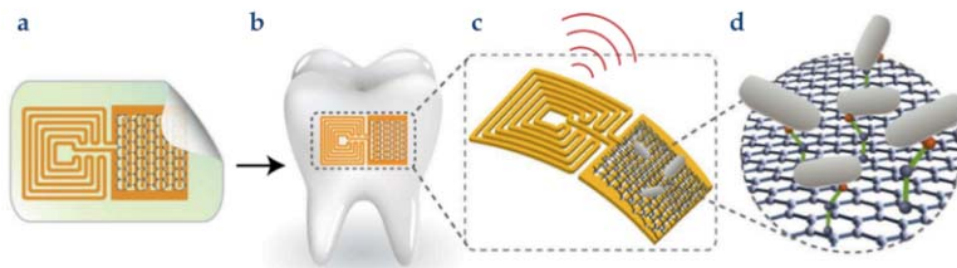


Рис. 3. Наносенсор для моніторингу бактерій в ротовій порожнині (а), біосенсор розташований на зубі (b), безпроводова передача сигналу під час аналізу взаємодії з чутливим до графенового шару сенсором (c) і (d)

Ліки стають цифровими



Рис. 4. Цифрові таблетки

Фірма Proteus Digital Health працює над розробкою процесів тонкого налаштування малих за розмірами біосенсорів, які людина може проковтнути. Їх активація настає при контакті зі слиною або шлунковими соками. Вони посилають сигнали моніторам з допоміжними засобами, які закріплені на грудях. Звідти дані надсилаються через смартфон або комп'ютер медичним працівникам, які контролюють процеси отримання та аналізу даних.

Отримані дані можуть бути у вигляді інформації чи насправді пацієнт приймає лікарські засоби та в якій кількості, а також контролювали біохімічний аналіз крові та інші життєво важливі показники (рис. 4).

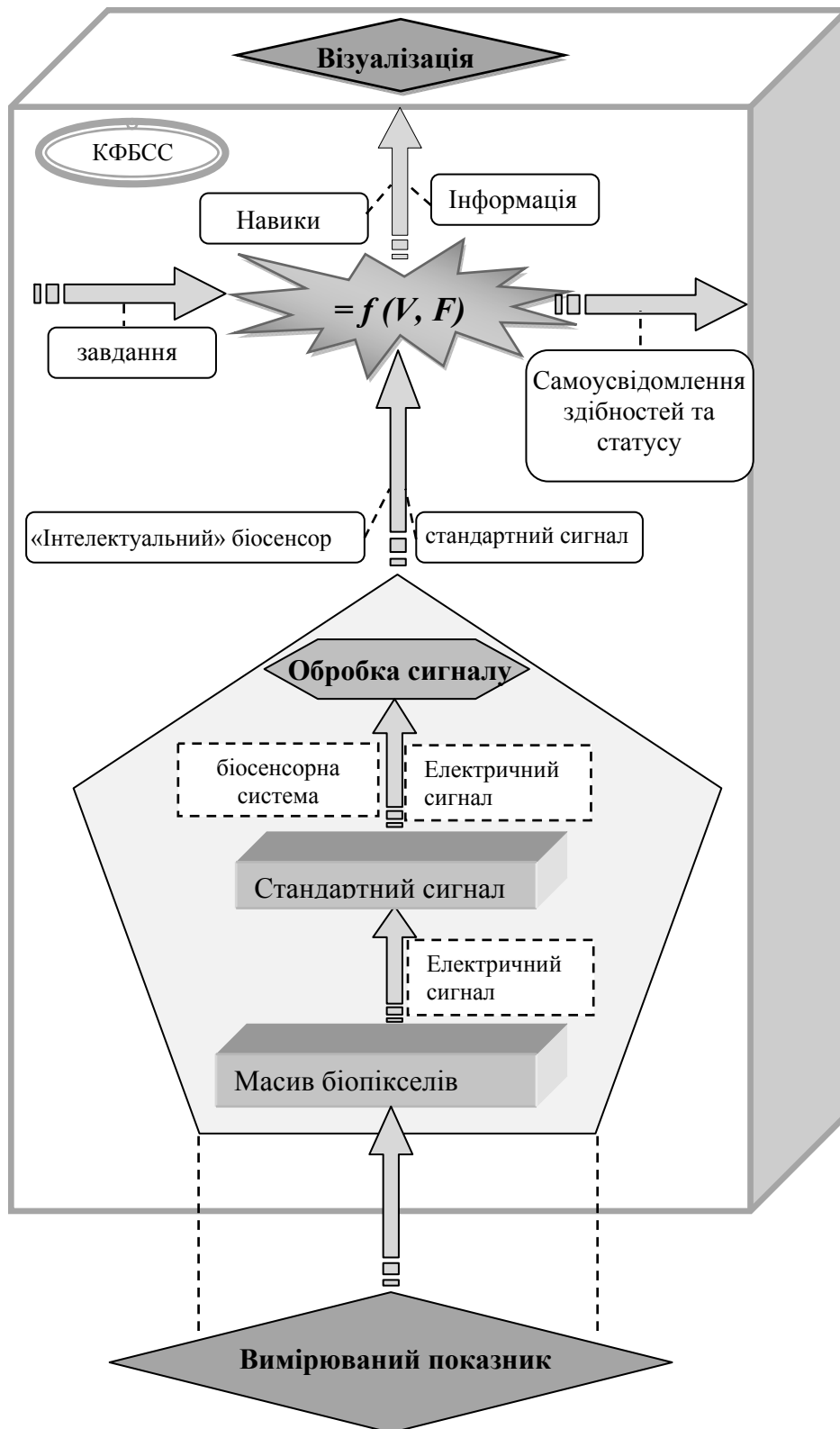


Рис. 5. Функціональна схема КФБСС

Функціональна схема кіберфізичної біосенсорної системи (КФБСС) для медико-біологічних досліджень. У роботі [14] запропоновано загальну структуру КФСС. При застосуванні цього підходу у

випадку КФБСС можна виокремити три види завдань: отримати загальну інформацію про біосенсор; виміряти біологічні показники з перетворенням одиниць та калібруванням; забезпечити взаємодію з іншими біосенсорами.

У роботах [15–18] проведено розробку та дослідження КФБСС.

В основі функціональної схеми КФБСС для медико-біологічних досліджень (зовнішній прямокутник на рис. 5) покладено концепцію КФСС з врахуванням особливостей інтелектуальних біосенсорів.

З додатковими навиками (пунктирна лінія) біосенсор розширюється до КФБСС.

Для контролю та керування процесом вимірювання у КФБСС надзвичайно велике значення має результат комп'ютерного моделювання електричного сигналу (рис. 6), який характеризує число флуоресцюючих пікселів, що дає змогу оцінити їх кількість та вимірюваний медико-біологічний показник.

Аналізуючи вигляд електричного сигналу на рис. 6, видно, що при зміні кількості флуоресцюючих пікселів змінюється рівень електричного сигналу з перетворювача.

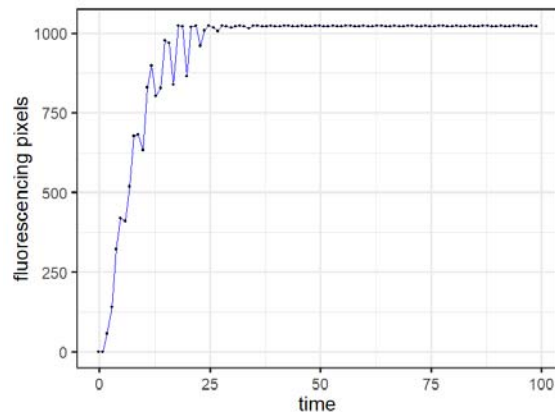


Рис. 6. Електричний сигнал з перетворювача, який характеризує кількість флуоресцюючих пікселів в КФБСС

Висновки

КФБСС є важливим напрямком сучасної аналітичної біотехнології, нагальна потреба у якій зумовлена необхідністю створення простих у застосуванні пристроїв для контролю стану здоров'я людини, а також контролю якості води, продуктів харчування, безпечності доквілля у режимі реального часу у домашніх чи польових умовах. Перспективним напрямком розвитку КФБСС є створення високо стабільних сенсорних пристроїв на основі штучних аналогів біологічних рецепторів, що поєднують високу селективність при розпізнаванні різноманітних аналітів з високою стабільністю, властивою синтетичним матеріалам за жорстких умов зберігання та використання. КФБСС пристрої можуть бути як інтегровані у різноманітні аналітичні системи, так і в організм для безперервного моніторингу ряду речовин та метаболітів. Одним з найважливіших напрямків розвитку сучасних КФБСС є неінвазивна діагностика, яка не передбачає пошкодження шкіри чи слизових оболонок при відборі проб для аналізу.

У роботі розглянуто КФБСС для медико-біологічних досліджень, зокрема портативні системи для забезпечення безперервного моніторингу фізіологічної інформації в режимі реального часу за допомогою динамічних, неінвазивних вимірювань біохімічних маркерів в біологічних рідинах, таких як піт, слюзи, слина і інтерстиціальні рідини. Точний та надійний моніторинг фізіологічної інформації в реальному часі за допомогою біосенсорних технологій має надзвичайно важливе значення у нашому повсякденному житті. Наведено КФБСС для комплексного моніторингу біохімічних показників. Представлено схематичну ілюстрацію біосенсорів глюкози, лактату, натрію, калію та температури для мультиплексованого аналізу зонного потоку, включаючи іон-селективні електроди (ISE), полівінілбутирал (PVB), глюкозооксидазу (GOx) і лактатоксидазу (LOx). Розглянуто графенові біосенсори, які імплантовані в зуб для дистанційного моніторингу дихання і виявлення бактерій в слині. Представлена функціональна схема КФБСС для медико-біологічних досліджень та результат чисельного моделювання електричного сигналу з перетворювача, який характеризує кількість флуоресцюючих пікселів.

Література

1. Мельник А.О. Кіберфізичні системи: проблеми створення та напрями розвитку / А.О. Мельник // Вісник Нац. ун-ту "Львівська політехніка". – 2014. – № 806: Комп'ютерні системи та мережі. – С. 154–161.
2. Melnik A. Cyber-physical systems multilayer platform and research framework / Anatoliy Melnik // Advances in cyber-physical systems. – 2016. – Volume1. Number 1. – P. 1–6.
3. Zhang W. Nanomaterial-Based Biosensors for Environmental and Biological Monitoring of Organophosphorus Pesticides and Nerve Agents / W. Zhang, A. M. Asiri, D. Liu, et al. // TrAC Trends in Analytical Chemistry. – 2014. – Vol. 54. – P. 1–10.
4. Zeravik J. Various Instrumental Approaches for Determination of Organic Acids in Wines / J. Zeravik, Z. Fohlerova, M. Milovanovic, et al. // Food Chemistry. – 2016. – Vol. 194. – P. 432–440.
5. Arugula M. A. Biosensors for Detection of Genetically Modified Organisms in Food and Feed / M. A. Arugula, A. L. Simonian // Genetically Modified Organisms in Food. – 2016. – P. 97–110.
6. Yáñez-Sedeño P. Biosensors in Forensic Analysis. A Review / P. Yáñez-Sedeño, L. Agüí, R. Villalonga, et al. // Analytica Chimica Acta. – 2014. – Vol. 823. – P. 1–19.
7. Zhybak M. Creatinine and Urea Biosensors Based on a Novel Ammonium Ion-Selective CopperPolyaniline Nano-Composite / M. Zhybak, V. Beni, M.Y. Vagin, et al. // Biosensors and Bioelectronics. –

2016. – Vol. 77. – P. 505–511.

8. Ghosh T. A Novel Third Generation Uric Acid Biosensor Using Uricase Electro-Activated with Ferrocene on a Nafion Coated Glassy Carbon Electrode / T. Ghosh, P. Sarkar, A. P. Turner // *Bioelectrochemistry*. – 2015. – Vol. 102. – P. 1–9.

9. Rathee K. Biosensors Based on Electrochemical Lactate Detection: A Comprehensive Review / K. Rathee, V. Dhull, R. Dhull, et al. // *Наука та наукознавство. Biochemistry and Biophysics Reports*. – 2016. – № 3. – 2016. – Vol. 5. – P. 35–54. – ISSN 0374-3896

10. Zinchenko O. A. Application of Creatinine-Sensitive Biosensor for Hemodialysis Control / O. A. Zinchenko, S. V. Marchenko, T. A. Sergeeva, et al. // *Biosensors and Bioelectronics*. – 2012. – Vol. 35. – P. 466–469.

11. Bahadır E. B. Electrochemical Biosensors for Hormone Analyses / E. B. Bahadır, M. K. Sezgentürk // *Biosensors and Bioelectronics*. – 2015. – Vol. 68. – P. 62–71.

12. Comparison of Biosensor Platforms in the Evaluation of High Affinity AntibodyAntigen Binding Kinetics / D. Yang, A. Singh, H. Wu, et al. // *Analytical Biochemistry*. – 2016. – Vol. 508. – P. 78–96.

13. Manu S. Mannoer. Graphene-based wireless bacteria detection on tooth enamel / Manu S. Mannoer // *Nature Communications*. – 2012. – Volume 3. – Article number: 763.

14. Berger C. Characterization of Cyber-Physical Sensor Systems / C. Berger, A. Hees, S. Braunreuther, G. Reinhart // *Procedia CIRP*. – 2016. – Vol. 41. – P. 638–643.

15. Martsenyuk V. Cyber-physical model of the immunosensor system at the hexagonal lattice with the use of differential equations of the population dynamics / A. Sverstiuk // *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*. – 2019. – № 1. – P. 75–83.

16. Сверстюк А.С. Моделювання кібер-фізичної імуносенсорної системи на прямокутній решітці з використанням решітчастих диференціальних рівнянь із запізненням / А.С. Сверстюк // *Сенсорна електроніка та мікросистемні технології*. – 2019. – № 2. – С. 53–65.

17. Сверстюк А.С. Про кібер-фізичну модель імуносенсорної системи на прямокутній решітці з використанням різницевого рівняння популяційної динаміки / А.С. Сверстюк // *Вісник ТНТУ*. – 2018. – № 4. – С. 147–161.

18. Марценюк В.П. Про модель кібер-фізичної системи з атаками стану та вимірювань на основі стохастичних різницевого рівнянь / А.С. Сверстюк // *Захист інформації*. – 2019. – Том 21, № 1. – С. 5–12.

References

1. Melnyk A.O. Kiberfizychni systemy: problemy stvorennia ta napriamy rozvytku / A.O. Melnyk // *Visnyk Nats. un-tu "Lvivska politehnika"*. – 2014. – № 806: *Kompiuterni systemy ta merezhi*. – S. 154–161.

2. Melnik A. Cyber-physical systems multilayer platform and research framework / Anatoliy Melnik // *Advances in cyber-physical systems*. – 2016. – Volume 1. Number 1. – R. 1–6.

3. Zhang W. Nanomaterial-Based Biosensors for Environmental and Biological Monitoring of Organophosphorus Pesticides and Nerve Agents / W. Zhang, A. M. Asiri, D. Liu, et al. // *TrAC Trends in Analytical Chemistry*. – 2014. – Vol. 54. – P. 1–10.

4. Zeravik J. Various Instrumental Approaches for Determination of Organic Acids in Wines / J. Zeravik, Z. Fohlerova, M. Milovanovic, et al. // *Food Chemistry*. – 2016. – Vol. 194. – P. 432–440.

5. Arugula M. A. Biosensors for Detection of Genetically Modified Organisms in Food and Feed / M. A. Arugula, A. L. Simonian // *Genetically Modified Organisms in Food*. – 2016. – P. 97–110.

6. Yáñez-Sedeño P. Biosensors in Forensic Analysis. A Review / P. Yáñez-Sedeño, L. Agüí, R. Villalonga, et al. // *Analytica Chimica Acta*. – 2014. – Vol. 823. – P. 1–19.

7. Zhybak M. Creatinine and Urea Biosensors Based on a Novel Ammonium Ion-Selective CopperPolyaniline Nano-Composite / M. Zhybak, V. Beni, M.Y. Vagin, et al. // *Biosensors and Bioelectronics*. – 2016. – Vol. 77. – P. 505–511.

8. Ghosh T. A Novel Third Generation Uric Acid Biosensor Using Uricase Electro-Activated with Ferrocene on a Nafion Coated Glassy Carbon Electrode / T. Ghosh, P. Sarkar, A. P. Turner // *Bioelectrochemistry*. – 2015. – Vol. 102. – P. 1–9.

9. Rathee K. Biosensors Based on Electrochemical Lactate Detection: A Comprehensive Review / K. Rathee, V. Dhull, R. Dhull, et al. // *Наука та наукознавство. Biochemistry and Biophysics Reports*. – 2016. – № 3. – 2016. – Vol. 5. – P. 35–54. – ISSN 0374-3896

10. Zinchenko O. A. Application of Creatinine-Sensitive Biosensor for Hemodialysis Control / O. A. Zinchenko, S. V. Marchenko, T. A. Sergeeva, et al. // *Biosensors and Bioelectronics*. – 2012. – Vol. 35. – P. 466–469.

11. Bahadır E. B. Electrochemical Biosensors for Hormone Analyses / E. B. Bahadır, M. K. Sezgentürk // *Biosensors and Bioelectronics*. – 2015. – Vol. 68. – P. 62–71.

12. Comparison of Biosensor Platforms in the Evaluation of High Affinity AntibodyAntigen Binding Kinetics / D. Yang, A. Singh, H. Wu, et al. // *Analytical Biochemistry*. – 2016. – Vol. 508. – P. 78–96.

13. Manu S. Mannoer. Graphene-based wireless bacteria detection on tooth enamel / Manu S. Mannoer // *Nature Communications*. – 2012. – Volume 3. – Article number: 763.

14. Berger C. Characterization of Cyber-Physical Sensor Systems / C. Berger, A. Hees, S. Braunreuther, G. Reinhart // *Procedia CIRP*. – 2016. – Vol. 41. – P. 638–643.

15. Martsenyuk V. Cyber-physical model of the immunosensor system at the hexagonal lattice with the use of differential equations of the population dynamics / A. Sverstiuk // *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*. – 2019. – № 1. – P. 75–83.

16. Sverstiuk A.S. Modeliuvannia kiber-fizychnoi imunosensornoii systemy na priamokutnii reshittsi z vykorystanniam reshitchastykh dyferentsialnykh rivnian iz zapiznenniam / A.S. Sverstiuk // *Sensorna elektronika ta mikrosystemni tehnolohii*. – 2019. – № 2. – S. 53–65.

17. Sverstiuk A.S. Pro kiber-fizychnu model imunosensornoii systemy na priamokutnii reshittsi z vykorystanniam riznytsevykh rivnian populiatsiinoi dynamiky / A.S. Sverstiuk // *Visnyk TNTU*. – 2018. – № 4. – S. 147–161.

18. Martseniuk V.P. Pro model kiber-fizychnoi systemy z atakamy stanu ta vymiriuvan na osnovi stokhastychnykh riznytsevykh rivnian / A.S. Sverstiuk // *Zakhyst informatsii*. – 2019. – Том 21, № 1. – С. 5–12.

Рецензія/Peer review : 17.06.2019 р.

Надрукована/Printed : 23.07.2019 р.

Рецензент: д.т.н., проф. С.А. Лупенко

К.Л. ГОРЯЩЕНКО, О.В. ШЕВЧУК
Хмельницький національний університет

ВИКОРИСТАННЯ ПРОГРАМНО-КОНФІГУРОВАНИХ МЕРЕЖ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ МЕРЕЖ В СТАНДАРТІ TMN

Стандарт TMN розроблено для апаратного та програмного забезпечення реалізації функціонування механізму виявлення пошкоджень лінії. Усунення пошкоджень в мережі забезпечується за рахунок використання програмно-конфігурованих мереж.

Ключові слова: надійність лінії, TMN.

K.L. HORIASCHENKO, O.V. SHEVCHUK
Khmelnitskyi National University

THE USE OF SOFTWARE-DEFINED NETWORKS FOR PROVIDING HIGH RELIABILITY FOR TMN STANDARD

The standard of TMN is worked out for the vehicle and programmatic providing of realization of functioning of mechanism of exposure of damages of line. The removal of damages in a network is provided due to the use of the programmatic-configured networks. The article analyses the existing network architecture and identifies the shortcomings of the existing model. Based on the results of the analysis, a topical and up-to-date solution has been proposed – switching to software-defined networks. This network structure is described by the TMN standard. In the course of the study, the basic concepts of the SDN concept have been studied and described, which offer solutions to the problems of the existing Internet network architecture, which will allow to modernize the network, reduce the costs of development and operation, accelerate the introduction of new network services.

Keywords: reliability of line, TMN.

Актуальність теми. Підвищення якості функціонування мереж зв'язку за рахунок поліпшення надійності є складною науково-технічною і економічною проблемою. Це обумовлено тим, що до мереж з новими технологіями, таких як мережі (SDN), що програмно-конфігуруються, нині пред'являють високі вимоги щодо надійності (відмовостійкості) у тому числі до характеристик відновлення мережі після відмови. Під час розробки заходів, що підвищують надійність, доцільна постановка завдання максимально можливого підвищення якості функціонування мережі при мінімальному часі відновлення зв'язку.

Високий рівень відмовостійкості мережі забезпечується за рахунок швидкого виявлення ушкоджень і усунення їх наслідків за короткий час. Існуючі методи забезпечення надійності в мережах SDN можна підрозділити на два самостійні класи: захисне перемикання (резервування) і відновлення (перемаршрутизація). Звідси слідує, що для системного підходу до дослідження методів забезпечення надійності SDN доцільно використати засоби математичного моделювання. Дослідження механізмів забезпечення надійності SDN розглядається у ряді робіт як вітчизняних, так і зарубіжних. Проте в цих роботах не робиться порівняльний аналіз використання механізмів забезпечення відмовостійкості, а також комбінації цих механізмів. Так само у ряді робіт не враховуються економічні показники використання цих механізмів.

Існуюча архітектура мережі та її недоліки

У класичній мережевій архітектурі завдання побудови маршруту (control plane) і реалізація маршруту (data plane) об'єднані в мережевому пристрої маршрутизаторі. Площина управління (control plane) в маршрутизаторі обробляє пакет і приймає рішення, куди його передавати далі (операція routing). У площині передачі даних (data plane) вирішується проблема просування пакету від вхідного порту на певний вихідний (операція «forwarding»). Усі ці операції визначаються закладеними в маршрутизатор конкретними протоколами [1].

Існує безліч різних протоколів (близько 700), множина з цих протоколів бере участь у функціонуванні мережі, але при цьому кожен має різні цілі, виконує різні завдання, має свої достоїнства і недоліки [2]. До того ж на сьогодні будь-який протокол може мати декілька програмних реалізацій, приміром: один і той же протокол реалізований різними компаніями, має різні характеристики. На ефективність взаємодії пристроїв впливає логіка роботи протоколу, якість програмних рішень (реалізацій компаній), а також якість сукупності протоколів (стека або набору протоколів). Завдання передачі різного трафіку по мережі породжує проблеми, пов'язані з різними вимогами до якості обслуговування. Виникає особлива складність поєднання в одній мережі мультимедійного і традиційного трафіку [3].

Основною характеристикою телекомунікаційної мережі є її здатність обслуговувати трафік, що поступає, із заданою інтенсивністю при заданій якості інформаційного обміну. Усе зводиться до необхідності передачі інформації, представленої у вигляді різного трафіку, якнайшвидше, з високою надійністю і достовірністю. Останнє має на увазі мінімізацію помилок на стороні прийому, визначаючи тим

самим вимоги до устаткування і ПО. Враховуючи тенденцію до підвищення вимог користувача до швидкості передачі, об'єму і затримок, головним стає завдання підтримки необхідної якості, що може бути здійснено нарощуванням, модернізацією або розподілом мережевих ресурсів шляхом відповідного управління мережею [4].

У існуючій традиційній архітектурі є різні труднощі: статичне (ручне) виділення і перерозподіл мережевих ресурсів; окреме налаштування кожного мережевого пристрою; складність і ресурсоємність під час впровадження і зміни мережевих політик, конфігурацій, нових сервісів та іншого; багатовекторність і пропріетарність деяких функцій [5].

Програмно-конфігуровані мережі. Основні положення

Мережа (SDN – software-defined networking – програмно-визначувана мережа), що програмно-конфігурується, – мережа передачі даних, в якій рівень управління мережею відокремлений від облаштувань передачі даних і реалізується програмно [6]. Традиційна трирівнева архітектура (доступ - агрегація - ядро) і необхідність робити безліч дій під час обробки трафіку в кожному вузлі представляються надмірно надмірними для великих постачальників інтернет сервісів, які потребують високопродуктивної інфраструктури для організації взаємодії між безліччю серверів і велетенських ЦОД.

Концепція SDN передбачає:

- відокремити в маршрутизаторі управління мережевим устаткуванням від управління передачею даних; управління винести на окремий комп'ютер, який знаходиться під контролем адміністратора мережі;
- перейти від управління окремим екземпляром мережевого устаткування до управління мережею в цілому;
- створити інтелектуальний програмно-керований інтерфейс між мережевим застосуванням і транспортним середовищем (рис. 1) [7].

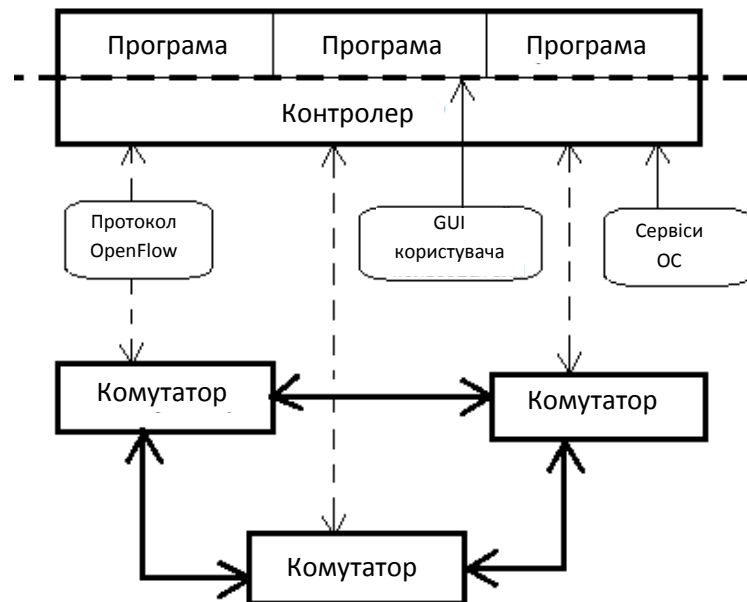


Рис. 1. Принцип реалізації концепції SDN

Таким чином, реалізація концепції SDN – розділення управління мережею (площини управління) і механізму просування даних (площини даних), перенесення функцій управління в окремі обчислювальні пристрої, звані SDN-контролерами, призводить до заміни традиційної розподіленої моделі маршрутизації централізованою моделлю, перетворюючи процес управління мережею, що включає створення маршрутів, в процес програмування мережі в цілому [8].

У теорії концепція мереж, що програмно-конфігуруються, має багато достоїнств:

- підвищується продуктивність (за рахунок прискорення переміщення трафіку);
- знижуються витрати на побудову і супровід мережі (за рахунок віртуалізації управління мережею);
- підвищується зручність управління, безпека і спрощується виконання ряду інших завдань (на централізованому контролері системний адміністратор може спостерігати усю мережу як єдине ціле);
- необмежені можливості до розширення і масштабованості залежно від поставлених завдань та ін. [9].

При практичному впровадженні SDN виникли деякі критичні зауваження від виробників мережевого устаткування, які стурбовані занадто радикальними змінами, які несе нова технологія. Це і значна вартість нового устаткування, і ризики, що виникають із-за недостатнього тестування нового устаткування, яке повинне впроваджуватися у клієнтів. На додаток до усього збільшаться витрати на перенавчання ІТ фахівців, яким доведеться працювати з новими мережами [10].

Але головною підозрою фахівців є те, що централізоване управління мережею, реалізоване в концепції SDN, є уразливістю цієї технології. У разі відсутності зв'язку між контролером SDN і комутаторами мережі, комутатори переходять в дефолтний стан і стають некерованими або зовсім перестають працювати (якщо які-небудь налаштування комутатора вимагали постійної роботи контролера). Тобто контролер ПКС є єдиною точкою відмови.

Щоб здолати вказаний недолік, необхідно враховувати різні механізми забезпечення відмовостійкості мережі.

Забезпечення надійності мереж

Забезпечення надійності мереж засноване на виявленні відмови і резервуванні. Причому в мережах з новими технологіями відновлення повинне робитися за час, що не перевищує 50 мс. Сучасною тенденцією в мережах з програмним завданням конфігурації являється перенесення основного навантаження з підвищення надійності з фізичного на більш високі рівні, аж до прикладного. Це відповідає переходу від апаратного способу резервування до програмного способу [11].

Якщо виконати перехід від резервування на фізичному (апаратному) рівні до резервування на більш високих рівнях моделі OSI, з'являється ряд нових переваг. По-перше, при програмних способах є значно більше можливостей для резервування, ніж при апаратних. Крім того, операції резервування на верхніх рівнях є прозорими відносно нижніх рівнів моделі.

Наприклад, якщо після спроби резервування на фізичному рівні (SDH) були зафіксовані негативні результати такого резервування, то вимагалось виконувати додаткове резервування на мережевому рівні, причому ця операція повинна починатися з деякою розрахунковою затримкою, що підвищує час перемикання і досить складно реалізується [12].

Тому резервування в мережах SDN, при якому рішення про резервування приймається на прикладному рівні (у площині управління SDN), а його реалізація виконується в площині даних SDN, найбільшою мірою знімає залежність від резервування на інших рівнях і підвищує швидкість перемикання. Високий рівень надійності (відмовостійкості) мережі забезпечується за рахунок швидкого виявлення ушкоджень і усунення наслідків від цих ушкодження, тобто відновлення зв'язку за малий час [13].

Усі механізми забезпечення відмовостійкості мережі підрозділяються на два самостійних:

- захисне перемикання (чи резервування);
- відновлення (чи перемаршрутизація).

Процес резервування відбувається шляхом перенаправлення трафіку підготовленим до встановлення з'єднання резервним шляхом. А відновлення відбувається шляхом пошуку нового шляху (перемаршрутизації) після відновлення відмови.

У кожного з механізмів забезпечення відмовостійкості є свої достоїнства і недоліки (таблиця 1).

Таблиця 1

Достоїнства і недоліки механізмів забезпечення відмовостійкості мережі

Механізм	Достоїнства	Недоліки
Захисне перемикання (резервування)	– швидке відновлення зв'язку	– необхідність в додатковій пропускнув спроможності
Відновлення (перемаршрутизація)	– краще використання пропускнув спроможності мережі	– вимагає більше часу на відновлення зв'язку; – виникає ризик нестабільності мережі

Обидва ці методи дозволяють забезпечити потрібний користувачем показник готовності з'єднання або показник готовності різних послуг, що надаються. В ході вибору мережевого сервісу готовність послуги є важливішим показником, навіть важливішим ніж інші QoS-параметри (приміром, такі як затримка, втрата пакетів та інше). Якщо проаналізувати сучасний ринок телекомунікаційних послуг, то можна помітити таку картину: більше половини користувачів чекають 99,9% доступності, тому вимагається забезпечити K_g близько 0,999999 (для бізнес-сегменту), що відповідає часу простою трохи більше 50 мс [14].

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити ряд завдань, а саме:

- виконати побудову схеми досліджуваної мережі згідно з концепцією SDN;
- розглянути застосування механізмів забезпечення надійності;
- зробити оцінку впливу резервування контролера SDN;
- запропонувати розв'язок задачі перемаршрутизації з обмеженнями;
- зробити головні висновки і пропозиції щодо подальшого дослідження.

Надійність функціонування мережевої інфраструктури забезпечується шляхом використання алгоритмів резервування і відновлення зв'язку між мережевими вузлами і засобами підвищення надійності самих вузлів, в першу чергу, комутаторів. Сьогодні усі серйозні технічні рішення вимагають модулі управління, які характеризуються надмірністю різних підсистем з можливістю їх швидкої заміни в «гарячому» режимі [15].

Для підвищення надійності телекомунікаційних систем і елементів використовують резервування, що полягає в застосуванні того або іншого виду надмірності. Види резервування діляться на 4 типи: структурне, інформаційне, тимчасове і програмне. У інформаційному резервуванні використовує надмірну

інформацію. Тимчасове резервування – застосування надмірного часу. Програмне резервування – застосування надмірних програм [16]. Усі ці види резервування в системі використовуються в цілому або окремо. На сьогодні в практиці найбільше поширюється вид структурного резервування (рис. 1).

Види резервування за схемою включення елементів діляться на постійне, роздільне, резервування із заміщенням, ковзаюче резервування. При постійному резервуванні резервні елементи працюють разом з основними і є найбільш надійними методами з перелічених (рис. 2) вище. При постійному резервуванні при відмові не потрібні особливі конструкції для включення резервних елементів в роботу.

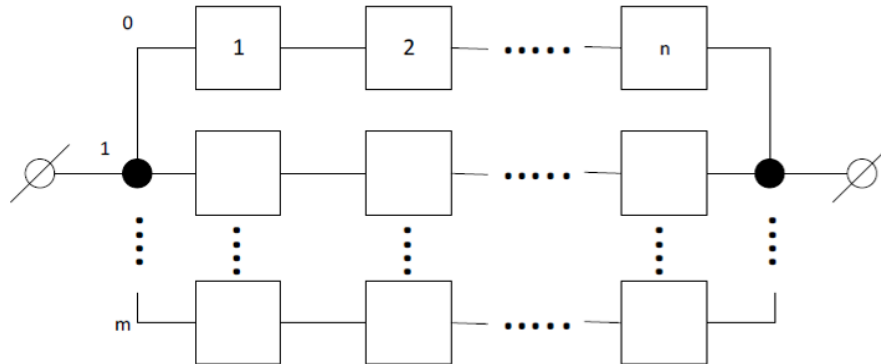


Рис. 2. Загальне резервування з постійним резервом

Роздільним резервуванням називається метод підвищення надійності, за якого резервуються окремо елементи системи. При ковзаючому резервуванні група основних елементів резервується одним або декількома резервними елементами, існує можливість змінити елемент, що відмовив, у будь-якій з груп основної системи (рис. 3).

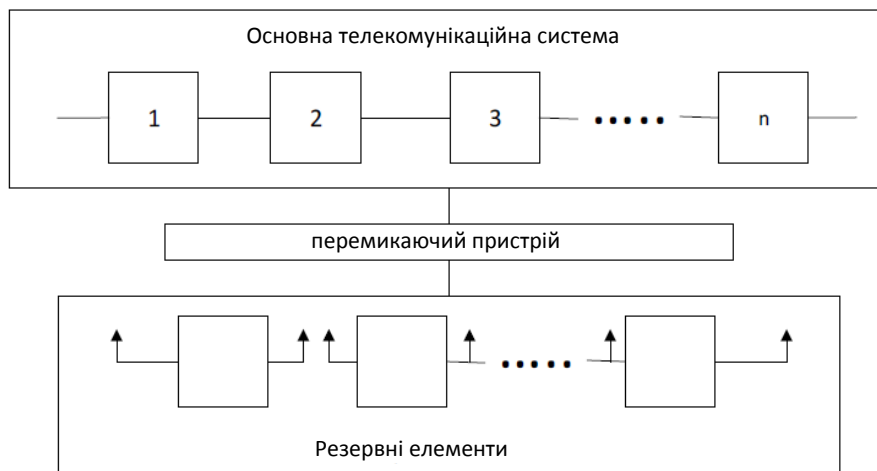


Рис. 3. Схема ковзаючого резервування

Резервуванням називають метод підвищення надійності об'єкту шляхом введення надмірності. Завдання включення надмірності – забезпечення нормального функціонування системи після виникнення відмов в її елементах. Структурне резервування (чи апаратне) передбачає використання надмірних елементів телекомунікаційних систем. Суть такого виду резервування полягає в тому, що в мінімально необхідний варіант системи, елементи якої називають основними, вводяться додаткові елементи, вузли, пристрої або навіть замість однієї системи передбачається використання декількох ідентичних систем [18].

Залежно від режиму роботи розрізняють:

– навантажений резерв – резервний елемент знаходиться в тому режимі роботи, що і основний; при цьому приймається, що характеристики надійності резервних елементів в період їх перебування в якості резервних і в період використання замість основних після відмови останніх залишаються незмінними;

– полегшений резерв – резервний елемент знаходиться в менш навантаженому режимі, ніж основний. Приймається, що характеристики надійності резервних елементів в період їх перебування в якості резервних вище, ніж в період їх використання замість основних після відмови останніх.

Скорочення часу повідомлення T_3 – ймовірно основний аспект під час проектування методів захисту для мережі. Час повідомлення залежить від часу поширення між вузлами сигналу про відмову T_p і від відстані $D(i, a)$, яка може бути визначена як кількість ділянок мережі (ребер) між вузлом, що виявив відмову (вузол a), і вузлом, відповідальним за перемикання (вузол i) [14].

Ошибка! Объект не может быть создан из кодов полей редактирования.

Якість обслуговування – також важливий критерій для клієнтів, і відповідно, для постачальників послуг. Існуючі призначені для користувача угоди про рівень послуг (SLA – Service Level Agreement), що надаються, дозволяють користувачам пред'являти гарантійні претензії при невиконанні договору постачальником або не якісному наданні послуг. Гарантійні претензії впливають на прибуток, а також об'єми продажів із-за незадоволення клієнтів. Щоб мінімізувати кількість претензій, виробники постійно підвищують надійність своїх продуктів.

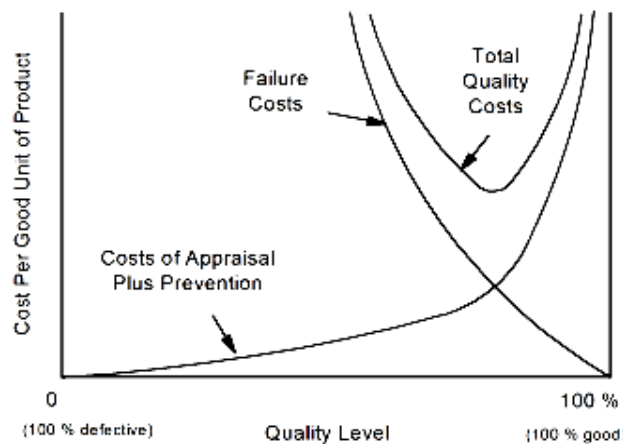


Рис. 4. Залежність функцій оцінок витрат від рівня якості

Висновки

Забезпечення реалізації концепції SDN вимагає використання SDN контролерів, а розміщення цих контролерів стає важливим завданням. У роботах [17] розглядаються питання розміщення контролерів з метою максимізації надійності мереж управління. Надається нова метрика, що називається відсоток втрат в тракці управління, щоб охарактеризувати надійність мереж управління SDN. При правильному розташуванні контролерів надійність мереж управління значно покращується без впровадження неприйнятних затримок між комутаторами і контролерами.

У роботі проаналізована існуюча архітектура мережі і виявлені недоліки існуючої моделі. Виходячи з результатів аналізу запропоновано актуальне і сучасне рішення – перехід до програмно-конфігурованих мереж. Така структура мереж описана стандартом TMN.

В ході дослідження були вивчені і описані основні положення концепції SDN, що пропонують розв'язок проблем існуючої архітектури мережі Інтернет, які дозволять модернізувати мережу, понизити витрати на розвиток і експлуатацію, прискорити впровадження нових мережевих послуг.

Література

1. Смелянский Р.Л. Технология программно-конфигурируемых сетей и виртуализация сетевых сервисов: новые возможности для телекоммуникаций [Электронный ресурс] / Р.Л. Смелянский // Вестник Связи. – 2014. – № 1. – Режим доступа : <http://arccn.ru/media/1132> (20.01.2017)
2. ISO 9001:2015. Quality management systems - Requirements, IDT [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.iso.org/home.html> (22.01.2017)
3. Шлиончак Е.Т. Требования, предъявляемые к современным вычислительным сетям [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://compnets.narod.ru/1-11.html#1.6.5>. Поддержка разных видов трафика (10.02.2017)
4. Легков К. Е. Современные требования к показателям качества информационного обмена в сетях беспроводного доступа специального назначения [Электронный ресурс] / К. Е. Легков, А. А. Донченко // Т-Comm. – 2009. – № 4. – Режим доступа : <http://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-trebovaniya-k-pokazatelyam-kachestva-informatsionnogo-obmena-v-setyah-besprovodnogo-dostupa-spetsialnogo-naznacheniya> (15.02.2017).
5. Найденов А. Эволюция в сетях Дата-Центров. Программно-определяемые сети SDN / «Хабрахабр» – крупнейший в Европе ресурс для IT-специалистов [Электронный ресурс] – Режим доступа : <http://habrahabr.ru/company/ibm/blog/211208> (11.01.2017)
6. Будылдина Н.В., Шувалов В.П. Сетевые технологии высокоскоростной передачи данных : [учебное пособие для вузов] / под ред. ВП. Шувалова. – Москва : Горячая линия – Телеком, 2016. – 343 с.
7. SDN&NFV [Электронный ресурс] // Bellintegrator. – Режим доступа : <http://www.bellintegrator.ru/services-sdn-nfv.html> (10.02.2017)
8. Барсков А. SDN: кому и зачем это надо? [Электронный ресурс] / А. Барсков // Журнал сетевых решений / LAN. – 2012. № 12. – Режим доступа : <https://www.osp.ru/lan/2012/12/13033012> (12.02.2017)
9. Смелянский Р. Л. Программно-конфигурируемые сети [Электронный ресурс] / Р. Л. Смелянский // Открытые системы. СУБД. – 2012. – № 9. – С. 3843. – Режим доступа :

<http://www.osp.ru/os/2012/09/13032491> (26.02.2017)

10. Панеш А.Х. Достоинства и недостатки программно-конфигурируемых компьютерных сетей [Электронный ресурс] / А.Х. Панеш // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 4: Естественно-математические и технические науки. – 2016. – № 3 (186). – Режим доступа : <http://cyberleninka.ru/article/n/dostoinstva-i-nedostatki-programmno-konfiguriruemyyh-kompyuternyyh-setey>

11. Зейбот Р. Резервирование в информационной системе — стандартные решения [Электронный ресурс] / Р. Зейбот // Intelligent enterprise. – 2010. – № 11. – Режим доступа : <https://www.iemag.ru/platforms/detail.php?ID=16464> (21.02.2017)

12. Aganval S., Kodialam M., Lakshman T.V. Traffic Engineering in Software Defined Networks. 2013 Proceedings IEEE INFOCOM, paper no. 06567024, pp. 2211–2219.

13. Амосов А. Отказоустойчивые ИТ-системы: принципы построения [Электронный ресурс] / А. Амосов // PC Week/RE. – 2016. – № 7. – Режим доступа : <https://www.pcweek.ru/infrastructure/article/detail.php?ID=186752> (12.03.2017)

14. Егунов М.М. Резервирование и восстановление в телекоммуникационных сетях [Электронный ресурс] / М.М. Егунов, В.П. Шувалов // Вестник СибГУТИ. – 2012. – № 2. – Режим доступа : http://vestnik.sibsutis.ru/uploads/1349761574_6392.pdf (11.03.2017)

15. Половко А.М., Гуров С.В. Основы теории надёжности / Половко А.М., Гуров С.В. – Петербург : БХВ, 2008. – 560 с.

16. Матвеевский В.Р. Надежность технических систем : учебное пособие / Матвеевский В.Р. / Московский государственный институт электроники и математики. – М., 2002. – 113 с.

17. Heller B., Sherwood R., McKeown N. On Reliability-optimized Controller Placement for Software-Defined Networks. Rev., 2009, vol. 38, no. 2, pp. 69–74.

References

1. Smelyanskij R.L. Tehnologiya programmno-konfiguriruemyyh setej i virtualizaciya setevyyh servisov: novye vozmozhnosti dlya telekommunikacij [Elektronnyj resurs] / R.L. Smelyanskij // Vestnik Svyazi. – 2014. – № 1. – Rezhim dostupa : <http://arccn.ru/media/1132> (20.01.2017)

2. ISO 9001:2015. Quality management systems - Requirements, IDT [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa : <https://www.iso.org/home.html> (22.01.2017)

3. Shlionchak E.T. Trebovaniya, predyavlyayemye k sovremennym vychislitelnyim setyam [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa : <http://compnets.narod.ru/1-11.html#1.6.5>. Podderzhka raznykh vidov trafika (10.02.2017)

4. Legkov K. E. Sovremennye trebovaniya k pokazatelyam kachestva informacionnogo obmena v setyah besprovodnogo dostupa specialnogo naznacheniya [Elektronnyj resurs] / K. E. Legkov, A. A. Donchenko // T-Comm. – 2009. – № 4. – Rezhim dostupa : <http://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-trebovaniya-k-pokazatelyam-kachestva-informatsionnogo-obmena-v-setyah-besprovodnogo-dostupa-spetsialnogo-naznacheniya> (15.02.2017).

5. Najdenov A. Evolyuciya v setyah Data-Centrov. Programmno-opredelyayemye seti SDN / «Habrahabr» – krupnejshij v Evrope resurs dlya IT-specialistov [Elektronnyj resurs] – Rezhim dostupa : <http://habrahabr.ru/company/ibm/blog/211208> (11.01.2017)

6. Budyldina N.V., Shuvalov V.P. Setevye tehnologii vysokoskorostnoj peredachi dannykh : [uchebnoe posobie dlya vuzov] / pod red. VP. Shuvalova. – Moskva : Goryachaya liniya – Telekom, 2016. – 343 s.

7. SDN&NFV [Elektronnyj resurs] // Bellintegrator. – Rezhim dostupa : <http://www.bellintegrator.ru/services-sdn-nfv.html> (10.02.2017)

8. Barskov A. SDN: komu i zachem eto nado? [Elektronnyj resurs] / A. Barskov // Zhurnal setevyyh reshenij / LAN. – 2012. № 12. – Rezhim dostupa : <https://www.osp.ru/lan/2012/12/13033012> (12.02.2017)

9. Smelyanskij R. L. Programmno-konfiguriruemyye seti [Elektronnyj resurs] / R. L. Smelyanskij // Otkrytye sistemy. SUBD. – 2012. – № 9. – S. 3843. – Rezhim dostupa : <http://www.osp.ru/os/2012/09/13032491> (26.02.2017)

10. Panesh A.H. Dostoinstva i nedostatki programmno-konfiguriruemyyh kompyuternyyh setej [Elektronnyj resurs] / A.H. Panesh // Vestnik Aдыгейского государственного университета. Seriya 4: Estestvenno-matematicheskie i tehicheskie nauki. – 2016. – № 3 (186). – Rezhim dostupa : <http://cyberleninka.ru/article/n/dostoinstva-i-nedostatki-programmno-konfiguriruemyyh-kompyuternyyh-setey>

11. Zejbot R. Rezervirovanie v informacionnoj sisteme — standartnye resheniya [Elektronnyj resurs] / R. Zejbot // Intelligent enterprise. – 2010. – № 11. – Rezhim dostupa : <https://www.iemag.ru/platforms/detail.php?ID=16464> (21.02.2017)

12. Aganval S., Kodialam M., Lakshman T.V. Traffic Engineering in Software Defined Networks. 2013 Proceedings IEEE INFOCOM, paper no. 06567024, pp. 2211–2219.

13. Amosov A. Otkazoustojchivye IT-sistemy: principy postroeniya [Elektronnyj resurs] / A. Amosov // PC Week/RE. – 2016. – № 7. – Rezhim dostupa : <https://www.pcweek.ru/infrastructure/article/detail.php?ID=186752> (12.03.2017)

14. Egunov M.M. Rezervirovanie i vosstanovlenie v telekommunikacionnykh setyah [Elektronnyj resurs] / M.M. Egunov, V.P. Shuvalov // Vestnik SibGUTI. – 2012. – № 2. – Rezhim dostupa : http://vestnik.sibsutis.ru/uploads/1349761574_6392.pdf (11.03.2017)

15. Polovko A.M., Gurov S.V. Osnovy teorii nadyozhnosti / Polovko A.M., Gurov S.V. – Peterburg : BHV, 2008. – 560 s.

16. Matveevskij V.R. Nadezhnost tehicheskikh sistem : uchebnoe posobie / Matveevskij V.R. / Moskovskij gosudarstvennyj institut elektroniki i matematiki. – M., 2002. – 113 s.

17. Heller B., Sherwood R., McKeown N. On Reliability-optimized Controller Placement for Software-Defined Networks. Rev., 2009, vol. 38, no. 2, pp. 69–74.

Рецензія/Peer review : 4.06.2019 р.

Надрукована/Printed : 23.07.2019 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

DOI 10.31891/2307-5732-2019-277-5-264-269
УДК 621.314

О.О. РУБАНЕНКО, В.П. ЯНОВИЧ

Західночеський університет

А.А. ВИДМИШ

Вінницький національний аграрний університет

АНАЛІЗ РОБОТИ ВДЕ В РОЗПОДІЛЬНИХ МЕРЕЖАХ ТА ШЛЯХИ КОМПЕНСАЦІЇ ЇХ НЕСТАБІЛЬНОСТІ

В статті проаналізовано інформацію щодо встановленої потужності відновлюваних джерел енергії в Україні, що використовують енергію сонця, вітру, води і біоресурсів, за даними міжнародного агентства з відновлювальної енергетики. Досліджено результати генерації електроенергії СЕС і ГЕС у Вінницькій області станом, виявлено місяці з максимальною і мінімальною генерацією. Аналіз отриманих графіків дав можливість зробити висновок, що сучасні малі гідроелектростанції (МГЕС) мають великий потенціал розвитку через збільшення інтересу до відновлюваних ресурсів та розподіленого виробництва енергії; однак, змінні гідрологічні умови, які знаходяться в проектах ГЕС, базованих на річках, вимагають виконання операцій з розширення потоків води та відхилень потоків. Тому в статті запропоновано вдосконалити будову елементів гідро-комплексів та їх систем керування. Для приватних домогосподарств запропоновано удосконалити конструкцію мікрогідроелектростанцій.

Ключові слова: сонячні електричні станції, відновлювальні джерела енергії, гідравлічні електричні станції, мікрогідроелектростанції.

O.O. RUBANENKO, V.P. YANOVYCH

University of West Bohemia, Plzen, Czech Republic

A.A. VYDMUSH

Vinnitsia National Agrarian University

ANALYSIS OF WORKING RES IN THE DISTRIBUTION GRIDS AND WAYS OF COMPENSATION OF THEIR INSTABILITY

The article analyses information on installed capacity of renewable energy sources in Ukraine, for example solar, wind, water and bioresources energy, data according to the International Renewable Energy Agency. The results of power generation of solar power plants (SPP) and hydroelectric power plants (HPP) in Vinnytsia region are determined, and the months with maximum and minimum generation are revealed. In Ukraine, there are «green» tariffs for power generated by economic entities, which using renewable energy sources and surcharges to green tariffs, while maintaining the level of use of Ukrainian production equipment. The tariff for power supply to the power market for RPS is on average at the level of 12-15 euro cents per 1 kWh for NPP (nuclear power plants) - 1.8 euro cents. This poses certain risks to the stability of not only the distribution grids but also the energy system as a whole. The analysis of the obtained graphs has made it possible to conclude that modern small HPPs have a great potential for development due to increasing interest in renewable resources and distributed power generation; however, the variable hydrological conditions found in river-based hydropower projects require operations to expand water flows and divert flows. Therefore, the article proposes to improve the structure of elements of hydro-complexes and their control systems. Improved design of micro-HPP is proposed for private households. It is offered to use foreign experience of using an innovative concept of hydropower integration, which operates at a variable speed and is operated by a specially adapted program that increases the overall efficiency and operational range of the HPP. The hydropower designs used in the proposed solution will improve the efficiency of the HPP by expanding the operating range.

Keywords: solar power plants, renewable energy sources, hydro power stations, micro hydro power plants.

Вступ

Стрімке нарощування потужностей відновлювальних джерел енергії, потребує наявності систем резервування, акумулювання та додаткових можливостей компенсації нестабільності негарантованих джерел енергії. ВЕС та СЕС прийнято вважати електростанціями негарантованої потужності за певних погодних умов (існує можливість припинення видавання їх активної потужності в мережу: для ВЕС при швидкості вітру < 3–5 м/с, а для СЕС при сонячній радіації < 200 Вт·м²) [1]. За даними Міжнародного агентства з відновлювальної енергетики (IRENA) (міжурядової організації, яка підтримує країни в їх переході до сталого енергетичного майбутнього і досліджує всі типи відновлюваних джерел енергії, включаючи біоенергетику, геотермальну, гідроенергетичну, океанську, сонячну та вітрову енергію, для досягнення сталого розвитку, доступу до енергетики, енергетичної безпеки та використання низьковуглецевих технологій генерації електроенергії зазначено швидкі темпи нарощування встановленої потужності ВДЕ (відновлюваних джерел енергії), що показано в табл. 1 та рис. 1 [2].

Таблиця 1

Встановлена потужність ВДЕ, МВт

Рік	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Встановлена потужність ВДЕ, МВт	4647	4691	4945	5241	5769	6048	6199	6494	7989

Insights on Renewables

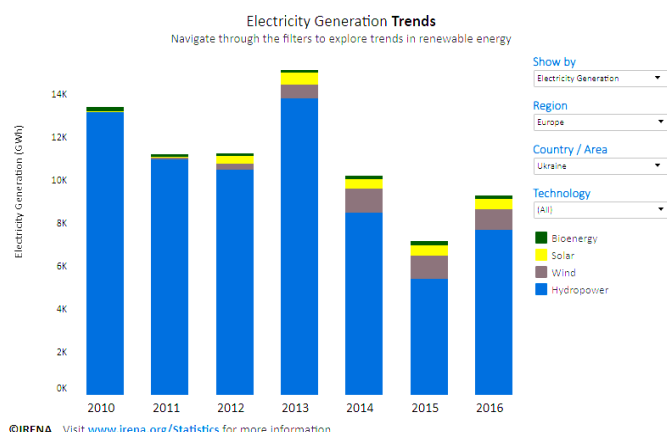


Рис. 1. Розподіл генерації в залежності від типу ВДЕ за даними міжнародного агентства з відновлювальної енергетики

В Україні діють «зелені» тарифи на електричну енергію, вироблену суб'єктами господарювання на об'єктах електроенергетики, що використовують альтернативні джерела енергії, та надбавки до «зелених» тарифів за дотримання рівня використання обладнання українського виробництва. Тариф на відпуск електроенергії в енергоринок для ВДЕ в середньому знаходиться на рівні 12–15 євроцентів за 1 кВт-год для АЕС - 1,8 євроцентів.

Це викликає певні ризики забезпечення стабільності не тільки розподільних електричних мереж, а й енергетичної системи в цілому. Зокрема, в статті [3] зазначено, що з метою декарбонізації, тобто зменшення викидів усіх видів парникових газів від спалювання викопного палива, в першу чергу вугілля, при виробництві теплової та електричної енергії, що становлять близько 40% загального обсягу світових викидів просувалась ідея тотального домінування відновлювальних джерел електроенергії над традиційною енергетикою. Але на думку автора це призводить до руйнування надійних енергетичних систем.

Тому актуальною є задача дослідження генерації електроенергії РДЕ в конкретному регіоні і розробка шляхів покращення роботи РДЕ (розосереджених джерел енергії) за рахунок вдосконалення їх конструкції, підвищення ефективності їх використання, забезпечення взаєморезервування [4, 5].

Аналіз генерації електроенергії СЕС і ГЕС у Вінницькій області

Найбільш продуктивними місяцями року для малих ГЕС Вінницької області є березень та листопад. На рис. 2 показана діаграма з найбільш продуктивного березневого дня, та показана діаграма для дня з найменшою генерацією.

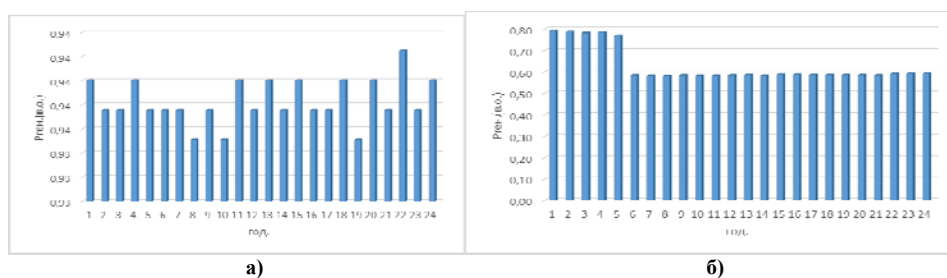


Рис. 2. Максимальна а) та мінімальна б) добова погодинна генерація відносно встановленої потужності ГЕС в березні

В посушливі місяці, наприклад серпень, ситуація ще гірша, як показано на рис. 3.

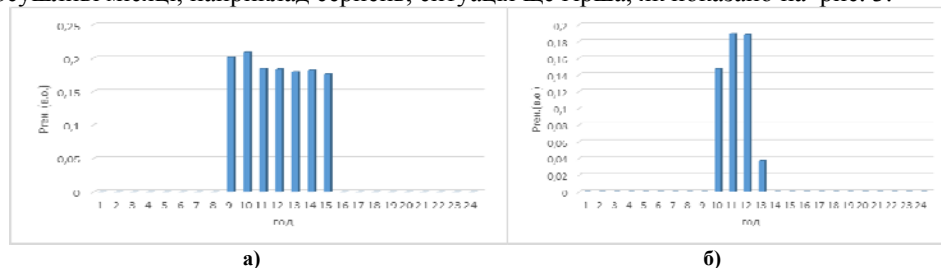


Рис. 3. Максимальна (а) та мінімальна (б) погодинна генерація відносно встановленої потужності ГЕС в серпні

Деталізовані добові графіки днів з мінімальною і максимальною генерацією відносно встановленої потужності СЕС Вінницької області в червні наведені на рис. 4.

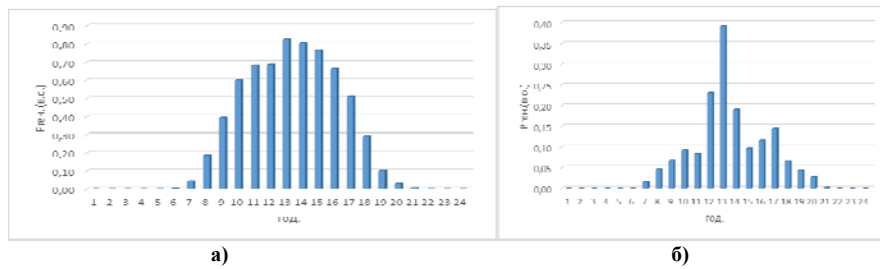


Рис. 4. Мінімальна погодинна генерація відносно встановленої потужності СЕС в червні

Деталізовані добові графіки днів з мінімальною і максимальною генерацією відносно встановленої потужності СЕС Вінницької області в грудні наведені на рис. 5.

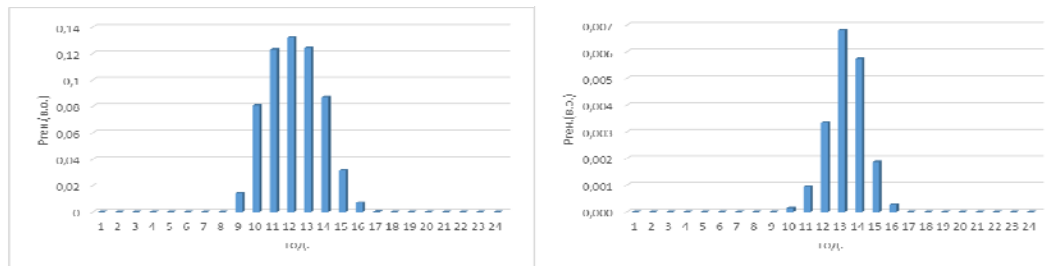


Рис. 5. Максимальна та мінімальна погодинна генерація відносно встановленої потужності СЕС в грудні

Використання МГЕС для компенсації нестабільності СЕС

Аналіз отриманих графіків дає можливість зробити висновок, що сучасні малі гідроелектростанції (МГЕС) мають великий потенціал розвитку через збільшення інтересу до відновлюваних ресурсів та розподіленого виробництва енергії; однак, змінні гідрологічні умови, які знаходяться в проектах ГЕС, базованих на річках, вимагають виконання операцій з розширення потоків води та відхилення потоків. Для підтримки високої ефективності перетворення енергії необхідні спеціальні методи контролю топології систем [6]. Крім того, у вигляді децентралізованих джерел енергії, розташованих поблизу своїх клієнтів, МГЕС покращують стабільність мережі за рахунок диверсифікації системи електропостачання та зменшення втрат на транспортування. Тому доцільно досліджувати МГЕС, що використовують інноваційні генераторні установці (гідро-комплекси): гвинтові турбіни інтегровані з синхронним генератором, який працює з змінною швидкістю в системі, підключеної до мережі. Цей спосіб вдосконалення будови МГЕС запропонували Dariusz Borkowski та Tomasz Wegiel в статті [7], де описали основні елементи цієї системи перетворення енергії. Запропонована та перевірена спеціальна стратегія контролю та керування. Всі представлені тут результати походять від фактичної МГЕС потужністю 150 кВт, що містить два інноваційних гідро-комплекси, що працюють паралельно на одній річці.

Рентабельність МГЕС багато в чому залежить від їх розташування та гідрологічних характеристик місцевості [6]. МГЕС – це, насамперед, «річкові» електричні станції, які можуть зберігати невелику кількість або взагалі не зберігають воду. Економічна експлуатація вимагає широкого потоку і високої ефективності через значні коливання річкових потоків протягом року [6]. Подвійна регульована турбіна Каплана зазвичай відповідає цій вимозі; однак, це рішення не є економічним для МГЕС через складність механічної системи і високу пошкоджуваність окремих елементів, відсутність якісних та недорогих систем онлайн діагностування. Альтернативним підходом є система змінної швидкості (СЗШ), яка змінює швидкість турбіни по відношенню до фактичних гідравлічних умов для максимізації ефективності турбіни [7]. Пропелерна турбіна з СЗШ з фіксованими лопатями є найбільш перспективним підходом для низьконапірних вузлів. Ця конструкція значно спрощує механічну систему, але вимагає в системі перетворення енергії наявність силового електронного блоку (СЕБ), щоб відповідати навантаженню і контролювати потік потужності від генератора до мережі. Синхронний генератор з постійним магнітом (СППМ) є найбільш зручним з числа типів генераторів, які використовуються у МГЕС, тому що має велику кількість полюсів і високу ефективність при широкому діапазоні навантажень.

Адаптація зарубіжного досвіду вдосконалення будови гідро-комплексів

Використання гідро-комплексу: СППМ, інтегрований з пропелерною турбіною, що працює зі змінною швидкістю, дасть змогу працювати МГЕС ефективніше. На додаток до вище зазначених переваг, запропонована інтеграція виключає зовнішній вал і зменшує розміри гідрокомплексу, створюючи тим самим модульну і компактну структуру. Таке інноваційне рішення було представлено в [8] як експериментальна електростанція, що містить два гідрокомплекси загальною потужністю 150 кВт. У цій роботі запропоновано аналіз ефективності СППМ та СЕБ. Крім того, вона представляє модифіковані стратегії управління процедурою зберігання об'єму води, їх роботою та реальними характеристиками потужності та крутного моменту. Блок-схема системи перетворення енергії представлена на рис. 6.

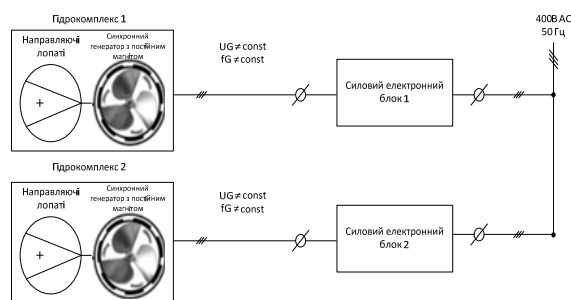


Рис. 6. Блок-схема перетворення енергії у МГЕС, що включає два гідро-комплекси та силові електричні блоки

Будова гідро-комплексу та його властивості

Запропонований гідрокомплекс виконаний у трубоподібній формі. Його елементи зображені на рис. 7. Основними елементами є інтегровані турбіна та генератор.

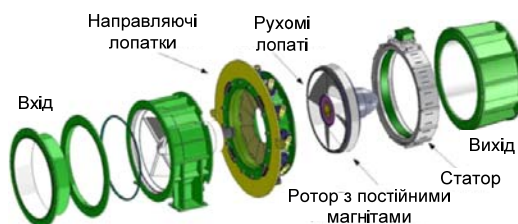


Рис. 7. Основні елементи гідрокомплексу

Статор СГПМ має класичну трифазну будову; однак, він повинен бути спеціально розроблений з відповідними розмірами, щоб відповідати гідрологічним умовам (ширина та напір потоку води, рис. 8 (в)), а його обмотки повинні бути захищені від вологи спеціальною герметизуючою сполукою. Це ущільнення є критично важливим для підтримання електричної ізоляції генератора і його слід періодично контролювати, щоб гарантувати безпечну роботу. Ротор інтегрований з пропелерною турбіною; постійні магніти прикріплюються безпосередньо до зовнішнього кільця турбіни (рис. 8 (б)), тим самим передаючи крутний момент від турбіни до ротора і кільця без необхідності зовнішнього валу. Такий підхід виключає складність створення і підтримки системи вала і зменшує механічні втрати (рис. 8 (г)).

Додатковою перевагою такого підходу є ефективність охолодження, викликана водою, яка протікає через зазор між ротором і статором і збільшує перевантажувальну здатність генератора. Іншим важливим елементом гідрокомплексу є набір направляючих апаратів, які керують потоком води (рис. 8 (а)). Регульовані направляючі лопаті усувають зміни потоку, що виникають внаслідок зміни гідрологічних умов і забезпечують безперервне виробництво енергії в широкому діапазоні потоку води.



Рис. 8. Елементи експериментального гідрокомплексу на 75 кВт: а) направляючі лопаті; б) ротор з інтегрованою пропелерною турбіною; в) статор СГПМ та г) експериментальний гідрокомплекс на 75 кВт

Але адаптувати зарубіжний досвід до українських гідроресурсів можливо тільки при розробці сучасних адаптованих систем керування за допомогою програмного забезпечення LabView і MATLAB Simulink, що й планується реалізувати у майбутньому.

Удосконалення конструкцій мікрогідроелектростанцій

Також, актуальним є удосконалення конструкцій мікрогідроелектростанцій, які використовуються для приватних домогосподарств, що можливе шляхом використання електрогенератора серійного виробництва, підвищення потужності на одиницю маси, зменшення розмірів маси і вартості установки при підвищенні ефективності її функціонування. Дана тенденція прослідковується в гідроелектроенергетичній установці, яка містить гідродвигун з вертикальним валом і траверсами, до яких приєднано вертикальні лопаті під кутом атаки, що може змінюватись для підвищення ефективності сприймання енергії рухомої води в залежності від швидкості течії, електрогенератор постійного струму з автоматичним регулюванням напруги, який з'єднується з вертикальним валом через двоступінчатий редуктор і генерує електроенергію для постійної підзарядки акумуляторів, що розміщені у споживача, концентратор енергії течії рухомої води, який змонтовано у вигляді пластини, що на шарнірах приєднано до ребер шестигранного трубчатого корпусу установки, сітку захисну, яка монтована на двох передніх сторонах шестигранного корпусу і захищає ротор гідродвигуна від сміття і сторонніх предметів, які несе течія.

Схематично гідроелектроенергетична установка представлена на рис. 9 [9].

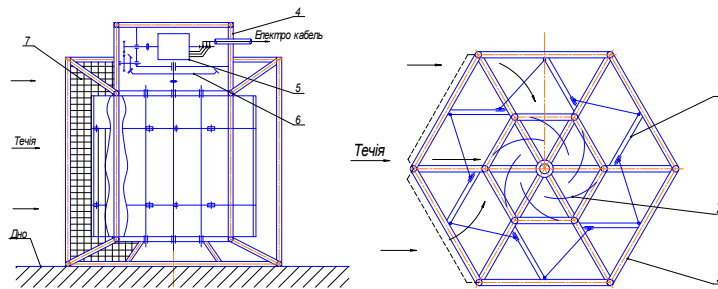


Рис. 9. Загальний вигляд гідроелектроенергетичної установки: 1 – пластина концентратора, 2 – вертикальний гідродвигун, 3 – трубчастий шестигранний корпус установки, 4 – герметизований ящик електроживлення, 5 – електрогенератор, 6 – двохступеневий редуктор, 7 – захисна сітка

Установка працює наступним чином: при відкритті каналів подачі води пластинами 1 концентратора потік направляється на вигнуті поверхні лопаті вертикального гідродвигуна 2, заставляючи їх обертати вертикальний вал під дією сили потоку, відцентрової сили і кінетичної енергії маси течії та її швидкості. Обертальний момент валу передається на двохступінчатий редуктор 6, який збільшує частоту обертання вала та передає її на вал електрогенератора 5 постійного струму з автоматичним регулюванням напруги, що генерує електроенергію і постійно підзаряджає акумулятори, які забезпечують безперервне електроживлення споживачів. При цьому ефективність сприймання енергії течії лопатями гідро двигуна регулюється кутом атаки відхилення лопаті від напрямку дії течії, а потужність течії регулюється пластинами концентратора, які відкривають канали подачі води на гідро двигун. Захист вертикального гідродвигуна від плаваючих на воді сторонніх предметів, деревини та бруду здійснюється захисною сіткою 7, що закріплена на передніх гранях шестигранного корпусу назустріч течії. Розміщення мінігидравлічної установки в руслі струмка, гірської річки чи потічка, а також демонтаж і транспортування здійснюється вручну завдяки мінімальним розмірам, масі та зручному корпусу. Таким чином застосування гідроелектроенергетичної установки «Струмок» дозволяє отримати високоефективне електроенергетичне забезпечення віддалених польових, лісових та гірських споживачів малої потужності.

Висновки

Збільшення частки ВЕС та СЕС, які прийнято вважати електростанціями негарантованої потужності, в генерації електроенергії потребує вирішення низки задач, пов'язаних з забезпеченням надійної та стабільної роботи електричних мереж. Перспективним в цьому напрямку є використання малих ГЕС, за умови вдосконалення їх будови та оптимізації алгоритмів керування ними. Це можна зробити за допомогою використання сучасного програмного забезпечення, такого як LabView і MATLAB Simulink, що дасть змогу здійснювати моделювання і, як наслідок прогнозування стабільної роботи електричних мереж з врахуванням технічного стану обладнання, погодних умов та графіків споживання і генерації, що й планується реалізувати у майбутньому.

Запропоновано використовувати зарубіжний досвід використання інноваційної концепції інтеграції гідроустановки, що працює зі зміною швидкістю і управляється спеціально адаптованою програмою, яка підвищує загальну ефективність та робочий діапазон МГЕС. Конструкція гідроустановки, що використовується в запропонованому рішенні, дозволить покращити ефективність роботи МГЕС, шляхом розширення робочого діапазону. Розрахунковий ККД гвинтової турбіни становить 85% номінальних параметрів; однак ця величина залежить від швидкості турбіни і може знизитися до 75%. Таким чином, загальна ефективність системи перетворення енергії коливається від 65% до 80%. Цей результат можна порівняти зі стандартними рішеннями, але запропоноване в [8] рішення забезпечує ширший робочий діапазон (від 30% до 120% номінального потоку) та високу ефективність. Тому є доцільним подальше вивчення цього питання та впровадження на МГЕС України. Крім того, з двома гідроагрегатами, що працюють паралельно на одній річці, нижня межа і робочий діапазон зменшиться до 15% від номінального потоку, і загальна ефективність буде значно покращена. На додаток до цих експлуатаційних переваг запропонована інтеграція гвинтової турбіни з ПМСГ, що виключає складність проектування та обслуговування механічних систем для управління лопатями, валом та ротором; це спрощення має значний позитивний вплив на інвестиційні витрати та надійність ГЕС в цілому.

В статті запропоновано рішення щодо вдосконалення конструкції мінігидравлічних установок для приватних домогосподарств, що дасть можливість частково розвантажити розподільні електричні мережі і заощадити кошти власникам.

Література

1. Вимоги до вітрових та сонячних електростанцій при їхній роботі паралельно з об'єднаною енергетичною системою України (Проект) [Електронний ресурс] : СОУ НЕК XX.XXX : 2017. – Офіц. вид. – Державне підприємство «Національна енергетична компанія «Укренерго», 2017. – 43 с. – Режим доступу : https://ua.energy/wp-content/uploads/2017/02/Vymogy-do-VES-ta-SES_2-red_08112017.pdf

2. IRENA (2019), Renewable capacity statistics 2019, International Renewable Energy Agency (IRENA), Abu Dhabi [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.irena.org/publications/2019/Mar/Renewable-Capacity-Statistics-2019>

3. Лосєв А. Безвуглецева енергетика – вітер у кишенях споживача або ядерне заощадження (2019) [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.unian.ua/economics/energetics/10477752-bezvugleceva-energetika-viter-u-kishenyah-spozhyvacha-abo-yaderne-zaoshchadzhennya.html>

4. Рубаненко О.О. Використання біоресурсів для компенсації нестабільності вітрових і сонячних електричних станцій з метою забезпечення незалежного електропостачання підприємств АПК / О.О. Рубаненко // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Технічні науки. Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України. – 2018. – № 196. – С. 8-9.

5. Рубаненко О.О. Створення мікроелектромереж для забезпечення надійного електропостачання підприємств АПК на прикладі Уладово-Люлинецької дослідно-селекційної станції / О.О. Рубаненко, А.А. Видмиш, В.В. Явдик // Вібрації в техніці та технологіях. – 2019. – № 1(92). – С. 23–29.

6. Кульматицький С.О. Використання малих ГЕС для покращення електропостачання підприємств / С.О. Кульматицький, А.С. Кульматицька // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2018. – № 4. – С. 155–158.

7. Borkowski D. Small hydropower plant with integrated turbine-generators working at variable speed / Dariusz Borkowski, Tomasz We' giel // IEEE Transactions on energy conversion. – 2013. – № 28(2). – P. 452–459.

8. We' giel T. Variable speed small hydropower plant / Tomasz We' giel, Dariusz Borkowski // Proc. 3rd Int. Symp. PEDG, Aalborg, Denmark. – 2012. – P. 167–174.

9. Пат. 69829 Україна, МПК⁵¹ H02K 17/00. Гідроелектроенергетична установка (СТРУМОК) / Янович В.П., Жданович Л.О., Верля Н.Й., Дунська Т.Л. ; заявник і власник Вінницький національний аграрний університет. – Заявл. 28.11.11 ; опубл. 10.05.12, Бюл. № 9.

References

1. Вимоги до вітрових та сонячних електростанцій при їхній роботі паралельно з об'єднаною енергетичною системою України (Проект) [Електронний ресурс] : СОУ НЕК KhKh.KhKhKh : 2017. – Ofits. vyd. – Derzhavne pidpriemstvo «Natsionalna enerhetychna kompaniia «Ukrenerho», 2017. – 43 s. – Rezhym dostupu : https://ua.energy/wp-content/uploads/2017/02/Vymogy-do-VES-ta-SES_2-red_08112017.pdf

2. IRENA (2019), Renewable capacity statistics 2019, International Renewable Energy Agency (IRENA), Abu Dhabi [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.irena.org/publications/2019/Mar/Renewable-Capacity-Statistics-2019>

3. Losiev A. Bezvuhletseva enerhetyka – viter u kysheniakh spozhyvacha abo yaderne zaoshchadzhennia (2019) [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.unian.ua/economics/energetics/10477752-bezvugleceva-energetika-viter-u-kishenyah-spozhyvacha-abo-yaderne-zaoshchadzhennya.html>

4. Rubanenko O.O. Vykorystannia bioresursiv dlia kompensatsii nestabilnosti vitrovikh i soniachnykh elektrychnykh stantsii z metoiu zabezpechennia nezalezhnogo elektropostachannia pidpriemstv APK / O.O. Rubanenko // Visnyk Kharkivskoho natsionalnogo tekhnichnogo universytetu silskoho hospodarstva imeni Petra Vasylenka. Tekhnichni nauky. Problemy enerhozabezpechennia ta enerhozberezhennia v APK Ukrainy. – 2018. – № 196. – S. 8-9.

5. Rubanenko O.O. Stvorennia mikroelektromerezh dlia zabezpechennia nadiinogo elektropostachannia pidpriemstv APK na prykladi Uladovo-Liulynetskoj doslidno-selektsiinoi stantsii / O.O. Rubanenko, A.A. Vydmysh, V.V. Yavdyk // Vibratsii v tekhnitsi ta tekhnolohiiakh. – 2019. – № 1(92). – S. 23–29.

6. Kulmatytskyi S.O. Vykorystannia malykh HES dlia pokrashchennia elektropostachannia pidpriemstv / S.O. Kulmatytskyi, A.S. Kulmatytska // Herald of Khmelnytskyi National University. – 2018. – № 4. – S. 155–158.

7. Borkowski D. Small hydropower plant with integrated turbine-generators working at variable speed / Dariusz Borkowski, Tomasz We' giel // IEEE Transactions on energy conversion. – 2013. – № 28(2). – P. 452–459.

8. We' giel T. Variable speed small hydropower plant / Tomasz We' giel, Dariusz Borkowski // Proc. 3rd Int. Symp. PEDG, Aalborg, Denmark. – 2012. – P. 167–174.

9. Pat. 69829 Ukraina, MPK⁵¹ H02K 17/00. Hidroelektroenerhetychna ustanovka (STRUMOK) / Yanovych V.P., Zhdanovych L.O., Verlia N.I., Dunska T.L. ; zaiavnyk i vlasnyk Vinnytskyi natsionalnyi ahraryni universytet. – Zaiavl. 28.11.11 ; opubl. 10.05.12, Biul. № 9.

Рецензія/Peer review : 14.06.2019 р.

Надрукована/Printed : 23.07.2019 р.

Рецензент: д.т.н., проф. М.І. Стаднік

OPTIMIZATION OF CONNECTION SCHEMES AND OPERATING MODES FOR RENEWABLE ENERGY SOURCES IN LOCAL ELECTRIC SYSTEMS

The problems of upgrading of work of renewable energy sources is examined in this work, namely decline of level of losses and increase of level of quality of electric power. For receipt results was modelling the mode optimality conditions for local electric systems with renewable energy sources by complex criteria, as well as developing a mathematical model for evaluation of power losses sensitivity in local electric systems to changes of renewable energy sources power generation will allow to create conditions for providing efficient local electric systems functioning. The presented method showed that the consideration was reduced by the disappearance of renewable energy sources by the criterion of electricity operation and by the criterion of loss of electricity in its transportation, the effective functions of the functioning of the related energy sources in the local electrical systems at the design stage. As a result, the values of the weighting coefficients were obtained, which optimally set the renewable energy sources power in local electric systems and optimize their daily modes. In parallel to this study, it was shown that in order to calculate electricity losses, it is necessary to take into account the bidirectional flow of electricity during the calculation of the load factor shape factor.

Keywords: renewable energy sources, local electrical systems, power losses, modes, network.

О.Б. БУРИКІН, Ю.В. МАЛОГУЛКО, К.О. ПОВСТЯНКО
Вінницький національний технічний університет

ОПТИМІЗАЦІЯ СХЕМ ПРИСДІЛАННЯ ТА РЕЖИМІВ ФУНКЦІОНУВАННЯ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ В ЛОКАЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМАХ

У даній роботі розглядається питання підвищення якості роботи відновлюваних джерел енергії, а саме зниження рівня втрат і підвищення рівня якості електроенергії. Задля отримання даних було проведено моделювання умов оптимальності режиму локальної електричної системи з відновлюваними джерелами енергії за комплексним критерієм, який враховує прибуток від продажу електроенергії, її якості та втрати на транспортування електричними мережами, а також розроблено математичну модель для оцінювання чутливості втрат потужності в локальних електричних системах до змін потужності генерування відновлюваних джерел енергії. В результаті отримали значення вагових коефіцієнтів, за яких досягається оптимально встановлена потужність відновлюваних джерел енергії в локальних електричних системах та оптимізації їх добових режимів.

Ключові слова: відновлювані джерела енергії, локальні електричні системи, втрати електроенергії, режими, мережа.

Introduction

Problem of renewable energy sources (RES) functioning optimization in local electric systems with the aim to increase revenue, providing qualitative power supply to consumers and decrease of power losses nowadays is still not much studied [1]. Important thing here is studying RES influence to local electrical systems (LES) operating modes, and also considering interference of LES parameters, at the same time.

RES owners are often forced to compensate baselessly overstated normative power losses to electric power market or to third parties. For example, for small hydropower plant (SH) compensation of losses may reach up to 20% from supplied electric power. This, in its turn, leads to reduction of profitability expected from investments to SH building and restoration.

Studying of RES functioning with the aim to optimize the place of their connection by the criteria of minimal power losses in LES, modelling of mode optimality conditions for LES with RES by complex criteria, as well as developing a mathematical model for evaluation of power losses sensitivity in LES to changes of RES power generation will allow to create conditions for providing efficient LES functioning.

So, in this article problems of calculating optimal power of RES in LES and forming optimality conditions of their functioning by complex criteria that considers revenue from electric power sale, its quality and losses for transferring by power networks are solved.

Methods

Considering the specifics of providing LES profitability, it's worth solving the problem of calculating the optimal power of conditionally controlled renewable energy sources P_j^{RES} , $j = 1, 2, \dots, n$ by complex criteria that takes into account conditions of multilevel power market tariff u_j and indexes of LES functioning efficiency. As components of optimality criteria for functioning showings of the mentioned above system it's worth using power quality showings and losses for its transfer by LES networks [2] to provide maximum revenue from their electric power realization.

Depending on the goal set, the mentioned problem may be solved as a design problem – to define optimal established power, and as exploitation one – to optimize daily modes of renewable energy sources operation, according to prognosticated LES load schedule.

Method of calculating optimal established power of renewable energy sources in local electric system

To solve the problem of calculating optimal established power by complex criteria considering the specifics of providing LES profitability, it's worth using such an expression of total revenue from RES functioning,

connected to parallel work in LES:

$$C^{\text{RES}} = \sum_{j=1}^n [z_j \cdot P_j^{\text{RES}} \cdot k_{f_j} \cdot T], \quad (1)$$

where P_j^{RES} – established power of RES j , kW;

z_j – tariff for electric power production by j RES («green tariff»), kop/kW·hour;

k_{f_j} – factor of using established power of j RES;

T – load schedule duration, hour

Considering (2.1), target function of the problem on choosing optimal established power of renewable energy sources in LES looks like:

$$F = C^{\text{RES}} \cdot e^{-z_1} \cdot e^{-z_2} \rightarrow \max \quad (2)$$

with restriction:

$$\sum_{j=1}^n P_j^{\text{RES}} - \sum_{g=1}^m P_{l_g} \leq P_{\text{lim}} \quad (3)$$

where e^{-z_1} , e^{-z_2} – exponential dependencies that determine level of influence of optimality functioning criteria;

$z_1 = k_1 \cdot (1 - \bar{P}(Uy_{\text{allowable}}, T))$ – index of regression equation that considers limitation of revenue from RES functioning by criteria of electric power quality;

$z_2 = k_2 \cdot (1 - \bar{P}(\Delta W_{\text{allowable}}, T))$ – index regression equation that considers limitation of revenue from RES functioning by criteria of electric power losses to its transfer;

k_1, k_2 – weight coefficients of regression equation, for correction of fractional optimality criteria influence to optimization results;

$\bar{P}(Uy_{\text{allowable}}, T)$ – probability of providing normative power deviation for established reporting period T ;

$\bar{P}(\Delta W_{\text{allowable}}, T)$ – probability of providing normative power losses for established reporting period T ;

P_{l_g} – load power of g consumption node, $g = 1, 2, \dots, m$;

P_{lim} – carrying capacity of LES in electric networks that is limited by the weakest area of the network.

Value of RES optimal established power in conditions of multistage power market tariff z_j and keeping limitations on carrying capacity of power lines and power quality in LES will be the solution for optimization problem (2).

So, method of calculating optimal established power of renewable energy sources in a local electric system was suggested, that creates preconditions for increasing functioning efficiency of renewable energy sources in local electric systems at the stage of design. This occurs due taking in consideration limitation of revenue from RES functioning by criteria of electric power quality and criteria of power losses that happen during its transfer, as well as correcting influence of optimality partial criterion to optimization results.

Method of optimization daily generation modes of renewable energy sources in local electric system

Problem of optimization daily modes of renewable energy sources optimization according to prognosticated load schedule of local electric system is shown [2]. Array of n controlled RES (on example of SH) and array of conditionally controlled – wind and solar farms, expected value of total revenue from their functioning is:

$$M_t^{\text{r}} = c_{\text{WF}} M_t^{\text{WF}} + c_{\text{SPP}} M_t^{\text{SPP}}. \quad (4)$$

where c_{WF} – tariff on electric power production by j RES, kop/kW·hour;

c_{SPP} – tariff on electric power production by j SPP, kop/kW·hour.

Conditionally controlled and instable power sources like WF and SPP in target functions and limitations of optimal control problems are presented by expected value of time dependence of electric power generation M_t^{WF} , M_t^{SPP} for time period $t \in [t_0; t_k]$.

In the capacity of control variables, SH electric capacities are taken, as they are the less dependent from influence of environment and may alter within rather wide limits not leading to notable losses of energetic potential of primary energy sources. Components of power losses in LES are determined by conditionally controlled RES and small HPP power flows, they are functions from electric capacities of generating last ones and should be considered in target function (2) for exploitation problem of daily schedules optimization.

To solve the mentioned problem (on time period $[t_0; t_k]$) of controlled energy sources $P_j^{RES}(t), j = 1, 2, \dots, n$ (for example, SHPP) considering modes of conditionally controlled sources, the expression (1) becomes:

$$C^{RES}(t) = \int_{t_0}^{t_k} \left[\sum_{j=1}^n z_j \cdot P_j^{RES}(t) \right] dt + \sum_t M_{C,t} \tag{5}$$

According to (2.5), target function of daily modes optimization problem in renewable energy sources in LES will become:

$$F(t) = C^{RES}(t) \cdot e^{-z_1(t)} \cdot e^{-z_2(t)} \rightarrow \max \tag{6}$$

with limitation:

$$\sum_{j=1}^n P_j^{RES}(t) + M_t^{WF} + M_t^{SPP} - \sum_{g=1}^m P_{lg}(t) \leq P_{lim} \tag{7}$$

where $z_1(t) = k_1 \cdot (1 - \bar{P}(U_{y_{allowable}}, t))$ – index of regression equation that considers limitation of revenue from RES functioning by criteria of electric power quality, at time moment t ;

$z_2(t) = k_2 \cdot (1 - \bar{P}(\Delta P_{allowable}, t))$ – index of regression equation that considers limitation of revenue from RES functioning by criteria of power losses on its transfer at time moment t ;

$\bar{P}(U_{y_{allowable}}, t)$ – probability of providing normative deviation of voltage at time moment t ;

$\bar{P}(\Delta P_{allowable}, t)$ – probability of providing normative power losses at time moment t .

Values of optimal generation powers of single RES P_j^{RES} according to prognosticated LES load schedule by complex functioning criterion will be the solution for optimization problem (6).

Optimization of daily modes expects involvement of controlled energy sources (for example, SHPP) as balancing for capacity to keep optimal total power of the complex of RES in LES according to (6).

To solve problems (2, 6), there is a set of methods and approaches [3] that are widely applied in power industry [4] to find numeral solutions appropriate to an array of incoming data (current vector of system's condition). Algorithm realization and examples of solving mentioned tasks is given in next chapters.

Results

Regression dependencies $e^{-k_1 \cdot (1 - \bar{P}(U_{av_{allowable}}, T))}$, $e^{-k_2 \cdot (1 - \bar{P}(\Delta W_{allowable}, T))}$, suggested in clauses 1 and 2 are exponential functions. Their power indexes consider limitation of revenue from RES functioning due to inadequate electric power quality and electric power losses to its transfer.

Weight factors of regression equation that define the degree of influence of optimality functioning criteria may be defined with the use of expert evaluation method, use of correlation analysis, graphs method, method of extreme and nominal values, methods of regression analysis and other economic and mathematical methods [5].

Considering index dependencies in expressions (2) and (5), it is thought reasonable to use methods of regression analysis [6] that consists in analytical finding of weight factors on regression equation basing on statistical information.

According to rules of using electric power [7], in case of supplying electric power that has quality parameters out of indexes limits mentioned in agreement on power supply, the supplier of electric power by regulated tariff is responsible before consumer in the amount of twenty five percent of cost of such power amount. That means, at certain assumption that profit from RES exploitation for indicated time period will make up 75% from total revenue.

So, value of weight factor k_1 of regression dependence may be defined for extreme conditions

$\bar{P}(U_{av_{allowable}}, T)=0$ and $\bar{P}(U_{av_{allowable}}, T)=1$ from exponential function:

$$e^{-k_1 \cdot (1-0)} = 0,75; \quad k_1 = -\ln(0,75) = 0,288.$$

At condition of keeping normative deviation, in other words, in case when $\bar{P}(U_{av}, T)=1$, established value of weight factor of regression dependence will not influence on optimization results.

With the aim of compliance testing of attained weight coefficient, a set of calculations was made and accordance between statistical data and offered regression dependence was examined (fig. 1). Factor of regression dependence correlation is equal to 0,995, this testifies about high adequacy of formed mathematical model to statistical data.

Weight coefficient k_2 is defined with consideration of «Order of calculating payment for transfer of electric energy of own production at electric power supply by non-regulated tariff» [8]. According to [9] volume of technological expenses at electric power transfer in condition of supplying electric power, for example, to consumers of II class (at voltage degree on limits of balance appliance between power producer and power transfer

organization 0,4 – 10 kV) is defined by formula:

$$W_{lossLossI} = \frac{W_{cnII}}{1 - k_{EFNTEEP}} - W_{cnII}, \quad r \quad (8)$$

where $W_{lossLossI}$ – volume of technological expenses when transferring electric power, MW/hour;

W_{cnII} – volume of consumed electric power by consumers of II class MW/hour;

$k_{EFNTEEP}$ – economic factor of normative technological expenses of electric power to transfer of electric power by networks of II class ($k_{EFNTEEP} = 0,1292$ for PJSC “Vinnytsiaoblenergo” [10]).

Performing the analysis of expression (8), it’s possible to define the rate of normative technological expenses to transfer of electric power in electric network of PJSC “Vinnytsiaoblenergo” by local electric networks for II class of voltage to III - IV quarters of 2017 and I quarter of 2018 that makes up $W_{lossLossI}^* \approx 15\%$ from volume of consumed electric power by consumers of II class MW/hour.

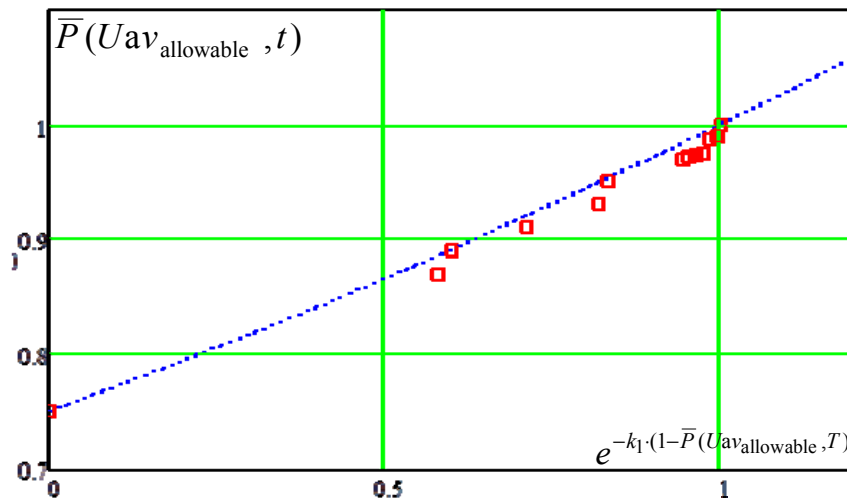


Fig. 1. Graphic display of observation vector for voltage deviation probability and its exponential dependence

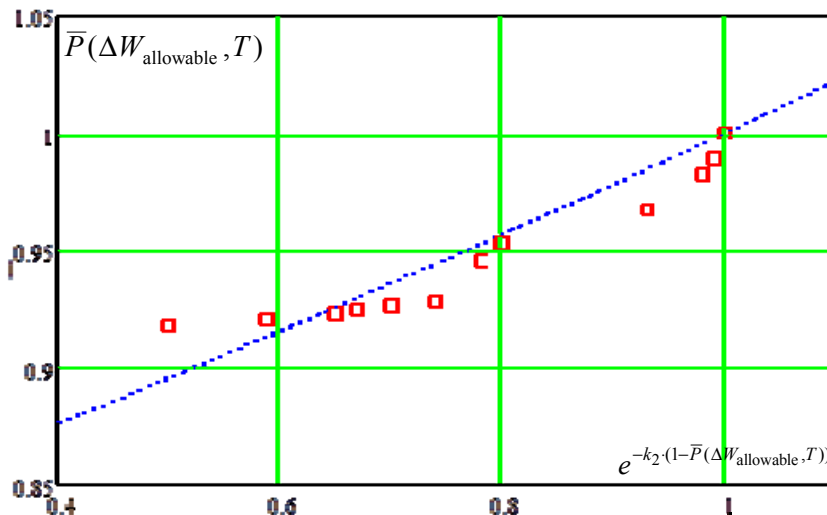


Fig. 2. Graphic display of statistical data of power losses normative deviation and suggested exponential dependency

The mentioned economic factor considers losses to transfer, technological expenses, commercial and other types of expenses related to electric power transfer. That is, relative value of actual losses to electric power transfer by LES networks will not exceed 15%, and normed value is regulated for every distribution network by internal normative documents of electric power supply company according to “Methodical recommendations for defining technological expenses of electric power in transformers and power lines” [10].

So, value of weight factor k_2 of regression dependency may be defined for extreme conditions $\bar{P}(\Delta W_{allowable} T) = 0$ (exceeding of normative technological losses of electric power to transfer of electric

power $E_{conII}^* = 85\%$, $\bar{P}(\Delta W_{allowable} T) = 1$ from exponential function:

$$e^{-k_2 \cdot (1-0)} = 0,85; \quad k_2 = -\ln(0,85) = 0,163.$$

Correlation factor of attained exponential dependency with statistical data equal to 0,955 indicates about high adequacy of formed mathematical model to statistics data (fig. 2).

So, to solve established problems of defining optimal established power of RES in LES and optimization of their daily modes, it's necessary to use weight factors $k_1=0,288$ and $k_2=0,163$. To calculate electric power losses, it's reasonable to consider bidirectional nature of electric power flows during calculation of load schedule form factor, and for algorithm implementation – application of numeral methods for solving optimization problems.

Conclusion

From the results of theoretical studies and practical calculations regarding RES influence to EN operation modes it was found out that the problem of defining optimal power of renewable energy sources in local electric systems is reasonable to be solved by complex criterion that considers revenue from RES functioning, electric power quality factors and losses to its transfer by LES networks. When defining the index of electric power quality, it's worth using the probability of providing normative deviation of voltage and electric power losses for specified report period. This allows to minimize possible disadvantages of design solutions and improve the efficiency of LES functioning.

It was shown that using of provided approach to define optimal established power of renewable energy sources allows to increase the efficiency of local electric systems operation by limiting established RES power, optimal with consideration of electric power quality and power losses, on the stage of design.

References

1. P. D. Lezhniuk, V. O. Komar, S. V. Kravchuk «Reconciliation of generation graphics of renewable energy sources and load with help of morphometric analysis» in International collection of scientific proceedings «European cooperation», Vol. 9, No 16, pp. 26–35. (2016).
2. Lezhniuk P. Optimal management of small hydroelectric plants power generation in local electrical systems / Petro Lezhniuk, Iryna Hunko, Olexander Rubanenko / DSMIE 2018: Advances in Design, Simulation and Manufacturing – P. 289–298. – ISBN 978-3-319-93587-4. – doi: 10.1007/978-3-319-93587-4_30 (Scopus)
3. P. Lezhniuk Optimal control of distributed sources of energy in the local electrical system / P. Lezhniuk, V. Kulyk, O. Kovalchuk // Proceedings of the Institute of Electrodynamics of NAS of Ukraine. Collected works. Special Issue. Part 1. – 2011. – P. 48–55. – ISSN 1727-9895.
4. Mohammadi, M.T., Arab Yar, Faramarzi, M. “PSO algorithm for siting and sizing of distributed generation to improve voltage profile and decreasing power losses”. Electrical Power Distribution Networks (EPDC), 2012, pp. 1–6.
5. Hnatiienko H. M., Snytiuk V. Ye. Expert decision making technologies: monograph. K., 2008. 444 p.
6. Demydenko E.Z. Linear and nonlinear regressions. M.: Finance and statistics. 1981.
7. Litnarovyeh R.M. Construction and research of a mathematical model by sources of experimental data by regression analysis methods. Navchalnyi posibnyk. Rivne. 2011. 70 p.
8. State normative document from 31.07.1996. N 28. On approval of the rules for the use of electric energy. Access mode: <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/z0417-96>.
9. State normative document dated September 28. 2000. No. 1038. Procedure for determining the payment for the transportation of electricity of own production at the electricity supply at unregulated tariffs. Access mode: http://www.uazakon.com/documents/dates_61/pg_gewxw.htm.
10. Order of the Ministry of energy and coal Industry of Ukraine of 21.06.2013 N 399 / About Methodical recommendations for determination of technological losses of electric energy in transformers and transmission lines. Access mode: http://www.leonorm.com/p/NL_DOC/UA/201301/Nak399.htm.

Рецензія/Peer review : 17.06.2019 р.

Надрукована/Printed : 23.07.2019 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Лежнюк П.Д.

Р.В. ХИНЕВИЧ, Д.Є. ЄРМОЛЕНКО, О.Л. ЯВОРСЬКИЙ
Київський національний університет технологій та дизайну

ВІЗУАЛЬНІ ПЛАТФОРМИ ЯК СПОСІБ ПРОСУВАННЯ ВЛАСНОЇ ФОТОТВОРЧОСТІ ТА ВЗАЄМОДІЇ З АУДИТОРІЄЮ

Надано результати дослідження існуючих візуальних платформ. Метою стало проведення аналізу і систематизація методів та технологій просування авторського фотомистецтва в Instagram. В ході дослідження визначено принципи SMM-просування. Наведено характеристику сутності та послідовність опрацювання різних видів фотографій власного профілю в Instagram.

Ключові слова: візуальні платформи, SMM-просування, контент-план, профіль в Instagram.

R.V. KHYNEVYCH, D.E. YERMOLENKO, O.L. YAVORSKIY
Kyiv National University of Technologies and Design

VISUAL PLATFORMS AS A WAY OF PROMOTING YOUR OWN PHOTO-CREATIVITY AND INTERACTION WITH AUDIENCE

The paper presents the results of existing types of image processing. The purpose was to analyse and systematize the post-processing methods and technologies in the context of modern visual platforms. In the course of the study, the principles of grouping images with the use of modern graphical software environments have been determined. The description of the essence and sequence of different processing photos kinds processing in visual platforms is given. During the study the following tasks were solved: generating general information about visual platforms; coverage of the promotion of photo art on visual platforms; promoting copyrighted photo art on Instagram; analysis of your own Instagram profile statistics. Every photographer, sooner or later, is faced with a situation where it is necessary to expand the circle of communication and seek new clients. This can happen for various reasons: getting started in a new genre, raising the cost of services, etc. Today, the easiest way to do this is through social networks, as millions of people use them and it can be free to move. SMM promotion is useful for this. The basics of a successful SMM are: first, a careful study of the social network audience is required (for example, if the optimizer spins a paintball club site, then the success of optimization will be very doubtful at the cross-stitch forum - however, it all depends on the optimizer's talent); secondly, in large social networks like Facebook and Twitter, you need to choose your target audience. It does take a long time, but its costs are usually paid back not just by all interested parties, but only by interested parties; thirdly, according to experts, the greatest success is achieved by the optimizers, who spend their efforts not only on the optimization of their site, but also on the development of the resource in which they carry out SMM promotion. Based on the analysis of modern types of visual platforms, all the information that may be useful for a novice student who intends to present their portfolio and an experienced photographer looking for ways to expand their audience and their interest in photographic work has been selected and summarized. Further research will focus on analysing statistics on individual photographs, reviewing the coverage of individual publications, and identifying factors that contribute to the promotion of particular photographs.

Key words: visual platforms, SMM-promotion, content-plan, profile in Instagram.

Постановка проблеми

Актуальність даного дослідження полягає в потребі сучасних фотохудожників донести свою фототворчість аудиторії за допомогою візуальних платформ, якими користується досить велика кількість людей. З появою інтернету стало простіше продемонструвати свої фотороботи широкому загалу, але зі зростанням кількості фотомитців постає питання проблематики просування власної творчості і розширення аудиторії. У свою чергу, це впливає на кількість відгуків, поширень, замовлень тощо.

У ході дослідження вирішувалися наступні завдання:

- формування загальних відомостей про візуальні платформи;
- висвітлення питання просування фотомистецтва на візуальних платформах;
- просування авторського фотомистецтва в Instagram;
- аналіз статистичних даних власного профілю в Instagram.

Аналіз останніх джерел

В процесі дослідження сучасних візуальних платформ виникла необхідність визначення поняття «візуальна комунікація».

Візуальна комунікація — зв'язок шляхом засобів візуалізації, що визначається як передача ідей та інформації у формах, які можна прочитати або розглянути [1]. Візуальна комунікація частково або повністю покладається на зір, і в основному представлена або виражена двовимірними зображеннями. Вона включає в себе знак, типографіку, графіку, графічний дизайн, ілюстрацію, промисловий дизайн, рекламу, цифрову анімацію та електронні ресурси. Вона також досліджує ідею, що візуальне повідомлення супровідного тексту має велику силу інформувати, освітлювати або переконувати людину чи людей.

Новий виток в історії візуального спілкування відноситься до появи фотографії. Вона стала носієм універсального коду, який зчитується глядачем без особливої підготовки або спеціальних знань. Наступним етапом розвитку візуальних комунікацій стали новітні технології. Комп'ютер повністю змінив процес візуального спілкування. Інтернет, соціальні медіа та ЗМІ додали до візуальних комунікацій ще одну функцію – розкриття потенціалу особистості через контент, яким він ділиться в мережі через візуальні платформи [1, 2].

Візуальні платформи щодня відвідують сотні тисяч, а в деяких випадках – мільйони людей. Тут викладають свої портфоліо і вже визнані професіонали, і новачки, які ще тільки шукають свій стиль і дуже

потребують оцінки з боку. Більше того, багато відомих фотографів зобов'язані своїй славі саме цим ресурсам. Завдяки відкритому портфолію і вдало обраній площадці для його розміщення про цих фотографів говорять відомі ЗМІ, а вже потім їх починають запрошувати на виставки та конкурси [2].

Фотограф має використовувати різні інструменти і канали, щоб заявити про себе, поділитися своєю творчістю зі світом, і отримати нових клієнтів. Один з таких інструментів – портфолію, що складається з відібраних фотографій. Крім систематизації робіт і складання портфолію, що відображає естетику і специфіку творчості, слід подбати про рекламу і просування [3].

Мета роботи: проведення аналізу і систематизація методів та технологій просування авторського фотомистецтва в соціальній мережі Instagram.

Виклад основного матеріалу

В ході даного дослідження було проведено аналіз ТОП-10 візуальних платформ, які на сьогоднішній день є найвдалішим варіантом, якщо фотограф матиме за мету презентувати свою творчість великій кількості людей, а саме: 1. Flickr; 2. 500px; 3. DeviantArt; 4. Pinterest; 5. Fotoblur; 6. Behance; 7. Facebook; 8. Instagram; 9. Photobucket; 10. Tumblr [4].

Кожен фотограф, рано чи пізно, стикається з ситуацією, коли необхідно розширювати коло спілкування і шукати нових клієнтів. Це може відбуватися з різних причин: початок роботи в новому жанрі, підняття вартості послуг і т.д. На сьогоднішній день найпростіше це зробити за допомогою соцмереж, оскільки ними користуються мільйони людей і просуватися в них може бути безкоштовним. Для цього корисне SMM-просування.

SMM – аббревіатура англomовної фрази “social media marketing”, що описує просування сайтів в соціальних мережах, на форумах, на порталах і так далі. Таким чином, SMM – метод залучення трафіку користувачів на сайт, що просувається, напряму, а не через пошукові машини.

Основи вдалого SMM полягають у наступному: по-перше, потрібне ретельне вивчення аудиторії соціальної мережі (наприклад, якщо оптимізатор розкручує сайт пейнтбольного клубу, то на форумі вишивання хрестиком успіх оптимізації буде вельми сумнівним, втім, все залежить від таланту оптимізатора); по-друге, у великих соціальних мережах, подібних згаданим Facebook і Twitter, потрібно вибирати свою цільову аудиторію. На це потрібно чимало часу, але його витрати, як правило, повертаються дієвою увагою не всіх користувачів підряд, а тільки зацікавлених осіб; по-третє, за свідченням фахівців, найбільшого успіху досягають оптимізатори, які витрачають зусилля не тільки на оптимізацію свого сайту, але і на розвиток того ресурсу, в якому здійснюють просування SMM [5].

Гарна комунікація з фотографом – це половина успішної фотографії. Тож твори фотомистецтва та пости на візуальних платформах мають бути персоналізовані та відкриті для спілкування.

Серед відомих візуальних платформ все більшу популярність набуває Instagram. Тому в даній роботі Instagram було обрано для дослідження просування авторського фотомистецтва.

Instagram – додаток для обміну фотографіями та відеозаписами. Незалежно від наявності реальних друзів в мережі, Instagram дозволяє «показувати» особисті знімки широкому колу читачів з усього світу. Або переглядати тисячі фотографій від різних користувачів.

Опція розширеного пошуку «працює» завдяки хештегам, які вказуються під фотографією. Натискаючи на хештег, впливає маса схожих фотографій, що об'єднує конкретне слово. Що примітно, фото будуть зібрані з усіх куточків світу. Так, за секунду можна заглянути на вечірку в Китай, опинитися в Альпах з відомими мандрівниками або потрапити на кухню до домогосподарки з Житомира.

Поява Instagram стала свого роду відкриттям для користувачів соціальних мереж, тим більше, що більшість не уявляло, що таке Instagram і навіщо він потрібен, якщо і так вже існують інші соціальні мережі. Однак, в короткий час було доведено, що його поява була цілком виправданою. Всі соціальні мережі між собою відрізняються дизайном, функціями і правилами. Кожна з них розрахована на певну цільову аудиторію. Instagram спочатку цікавив тільки молодих людей зі смартфоном в руках. Вони регулярно робили фото і викладали їх в мережу. Серед людей старшого віку існувала думка, що це дуже обмежена програма для тих, хто не може написати більше двох рядків, а здатний тільки натиснути на кнопку фотоапарата.

Поступово все змінилося, і зараз вже багато людей оцінили можливості Instagram, оскільки додаток дозволяє:

- ділитися фотографіями і відеозаписами, швидко викладаючи їх з телефону на свою персональну сторінку;
- робити опис до зображень, ділитися думками і емоціями;
- знімати короткі відео по 15 секунд і фото в реальному часі, розміщувати їх в сторіс;
- обробляти зображення, додавати стікери, смайли, графічні ефекти, геолокацію, хештеги;
- проводити прямі ефіри для всіх бажаючих;
- підписуватися і стежити за новинами цікавих людей;
- спілкуватися за допомогою коментарів і особистих повідомлень в діректі;
- проводити опитування;
- просувати свій бізнес, продавати товари і послуги.

Обмін інформацією в Instagram все більше наближається до живого спілкування. Можна кожного дня знімати короткі ролики і робити знімки, щоб друзі і знайомі знали, чим ви живете, про що думаєте, де

буваєте [6, 7].

Щоб зрозуміти, для чого потрібен Instagram, необхідно розібратися, що це таке. Спочатку це був лише безкоштовний додаток, за допомогою якого через встановлені фільтри можна було редагувати фотографії і розміщувати їх в соціальних мережах. Важко припустити, що уявляли собі засновники Facebook, яким і належить Instagram, що вже в короткий час новий додаток стане не тільки затребуваним для практичних завдань обробки фотографій, а й об'єднає тих, хто готовий не розповідати про життя, а реально його показувати, зафіксувавши найбільш цікаві моменти. Сьогодні Instagram є, по суті, ще однією соціальною мережею, що об'єднала майже півмільярда користувачів, де обмін інформацією йде за допомогою фото. Для багатьох це значно зручніше: не потрібно витратити час на листи і коментарі – досить розмістити фото або «лайкути» те, що надіслали тобі.

Як і будь-яка інша соціальна мережа, Instagram дозволяє своїм користувачам заробити кількома способами, серед яких:

- заробіток на рекламі;
- на біржі передплатників;
- через співпрацю з різними компаніями;
- заробіток на торгівлі.

Варто зауважити, що в соціальних мережах найбільш поширеним способом заробітку є збільшення числа підписників, однак щоб отримати суттєвий дохід, необхідно чітко уявляти, скільки потрібно підписників в Instagram, щоб заробляти. Як показує практика, сьогодні це зробити значно складніше, ніж це було на момент його старту. Якщо спочатку, щоб стати популярним, було достатньо всього 3-4 сотні підписників, то сьогодні популярність, а з нею і можливість заробітку реальна із 500–600 тис. активних користувачів, що мають доступ до вашого облікового запису.

Підписники в Instagram допомагають вирішувати кілька завдань:

- розширювати горизонти знайомств і спілкування;
- збільшувати можливість отримання прибутку;
- набувати популярності серед інтернет-користувачів.

Але так як набрати таку кількість підписників в короткий час просто не реально (підраховано, щоб зібрати 400 тис. потрібно більше двох років активної роботи), багато хто звертається на біржу, де купують їх необхідну кількість, що дозволяє не тільки швидко збільшити популярність в мережі, але і створити можливості для торгівлі та заробітку з великими компаніями. Таким чином, стає зрозуміло, навіщо потрібні підписники в Instagram [8].

Також, як і Facebook, Instagram не хоче, щоб ви пропустили важливі пости друзів і членів сім'ї, наприклад, запрошення на весілля. Ось чому контент від кращих друзів завжди виявляється в топі видачі.

Instagram аналізує минулі взаємодії, щоб виявити близькі вам аккаунти. Томас Дімсон розповів, що Instagram визначає кращих друзів наступним чином:

- Люди, контенту яких ви ставите лайки
- Люди, яким ви пишете особисті повідомлення
- Люди, яких ви шукаєте
- Люди, яких ви знаєте в реальному житті

Таким чином, соціальна мережа вважає користувачів, з якими ви регулярно взаємодієте, вашими найкращими друзями. Тому їх контент буде займати більш високі позиції в стрічці.

Якщо людина проводить в соцмережі всього пару хвилин, Instagram буде намагатися показати їй тільки найважливіше. Тим користувачам, які довго вивчають стрічку, Instagram запропонує більше свіжого контенту [10].

Активне просування профілю в Instagram неможливе без таргетингової реклами та інших відповідних витрат. Однак є так зване органічне просування – безкоштовні дії, які допоможуть залучити нову аудиторію і більш активно взаємодіяти з поточною.

У даній роботі визначено особливості специфіки вдалого просування в Instagram.

1. Правильний опис профілю

Перше, що бачать в профілі – інформацію про людину або організацію. Тому в описі профілю коротко потрібно вказати, про що він, навіщо на вас потрібно підписатися. Якщо це бренд – що він продає. Якщо особистий блог – про що він.

Причому зробити це потрібно якомога захоплююче, щоб користувач відрізнив вас від інших. Не просто «Пишу про подорожі», а наприклад, «Розповідаю, як подорожувати по всьому світу зі 100 доларами в кишені».

Якщо після вкладених грошей в рекламу, людина перейшла в профіль і не побачила опису, вона не зрозуміє, про що цей аккаунт. Реклама буде неефективною, а конверсія в передплати – маленька (рис. 1).



Рис. 1. Приклад оформлення опису профілю

2. Залучення аудиторії

Головне, що потрібно знати – пости аккаунта можуть побачити не всі підписники. Алгоритм ранжування залежить від активності користувачів в профілі: якщо вони ставлять «лайки» і коментують публікацію з першої ж хвилини її виходу, з великою ймовірністю вона з'явиться в стрічці інших підписників. У зворотному випадку може залишитися невидимою.

3. Спілкування з аудиторією на одній мові

Мовою маркетингу це називається tone of voice, тобто, як бренд, блогер або фотограф звертається до передплатників. Можливо, через зменшувально-пестливі конструкції або, навпаки, через офіційну лексику. У читачів є з цього приводу певні очікування.

Щоб підібрати правильний «тон», потрібно вивчити цільову аудиторію. Можна скласти портрет вашого звичайного підписника, обов'язково детально розписати його характеристики. Можна навіть підібрати в інтернеті випадкове фото, яке його візуалізує, і дати йому (їй) ім'я. Умовно, це Андрій, йому 25-35 років, він працює менеджером, має середній дохід, раз на рік відпочиває і так далі.

4. Створення різноманітного контенту

Чим краще контент, тим більше лайків, тим частіше профіль буде показуватися в стрічці і в рекомендованих. Щоб урізноманітнити контент, бренд може публікувати пости про свій продукт, а також про людей, які за ним стоять, про те, як їх товари застосовуються в житті (рис. 2).

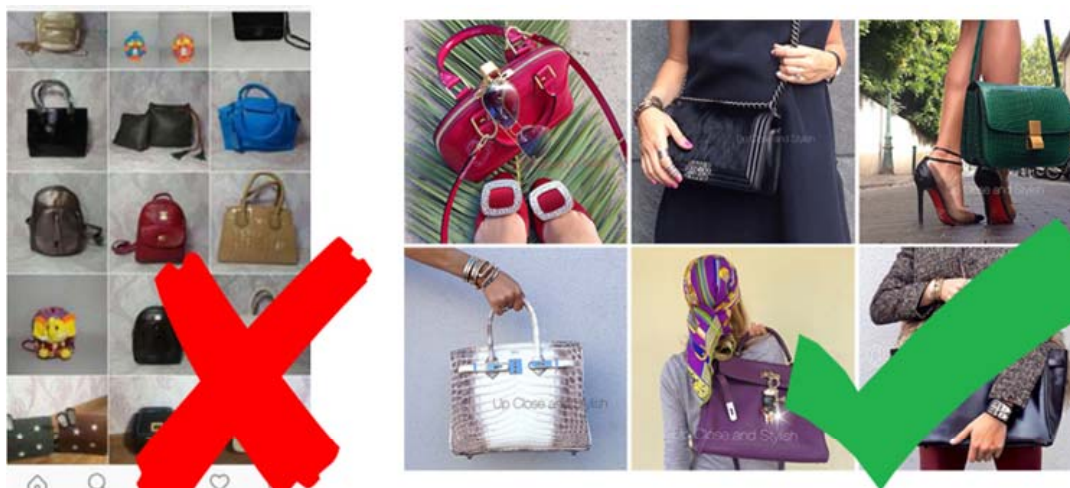


Рис. 2. Приклади одноманітних та різноманітних фотографій

5. Використання Stories

Цей інструмент Instagram зараз просувається дуже активно. Соціальна мережа сама зацікавлена, щоб користувачі створювали контент в розділі. На відміну від постів, «історії» показуються всім передплатникам. Також, під час перегляду стрічки користувач бачить рядок з не переглянутих «історіями» між постами. Тому зараз дійсно потрібно ловити момент і використовувати розділ Stories по максимуму (рис. 3).

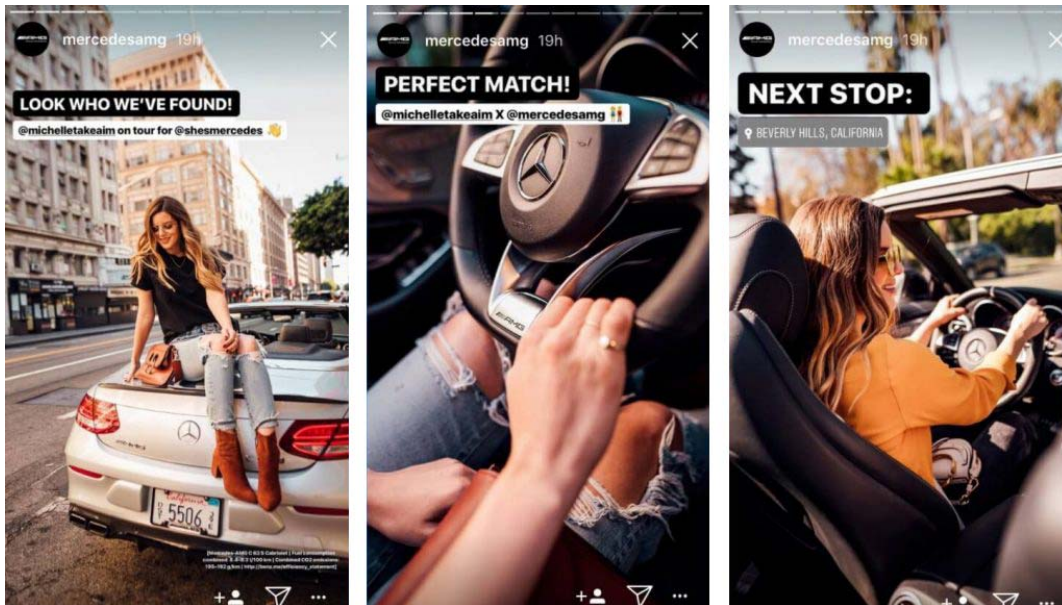


Рис. 3. Приклади використання фотографій у сторіз

6. Складення контент-плану з часом виходу постів

Якщо подивитися статистику профілю в Instagram, то можна побачити, що в певний час ваші підписники найбільш активні. Тому є сенс публікувати пости саме в цей час.

7. Співпраця з іншими аккаунтами

Перш за все, це соцмережа, яка вимагає взаємодії між людьми. Це стосується і тих людей, хто активно прагне просувати власну творчість або продукт. Так, в Instagram можна знайти блогера, розвиваючого аккаунт зі схожою цільовою аудиторією і який не є вашим конкурентом. Наприклад, йому можна запропонувати взаємний піар у профілі чи у сторіз (не варто плутати з рекламою у блогерів, зірок і т.д.).

8. Відповіді на коментарі

Навіть на найбезглуздіші або негативні коментарі потрібно відповідати і, причому, завжди коректно. Відповідаючи на коментарі, ви залучаєте підписників в діалог і піднімаєте активність в профілі, що впливає на ранжування в стрічці.

9. Використання хештегів-рубрикаторів

Хештеги як самостійний інструмент для залучення аудиторії не дає приголомшливих результатів. За ним не приходять сотні підписників. Однак в профілі дуже часто виграно виглядають хештеги-рубрикатори, які допомагають користувачеві орієнтуватися між постами. Він може пройти хештегами і почитати пости на зацікавлену ним тему і, можливо, щось прокоментувати. Хештеги потрібні тематичні, але не високорелевантні, тобто за якими не буде тисячі постів в день в загальному пошуку.

10. Створення профілю в єдиному стилі

Обробляючи фотографії перед публікацією, можна використовувати єдиний фільтр (максимум два, але схожих). Не варто «перестрибувати» з фільтра на фільтр, інакше візуально контент не буде поєднуватися за стилем. А для багатьох користувачів принципово важливо заходити в профіль, продуманий до деталей. І якщо йому подобається аккаунт, він в ньому залишається [11].

Приклад практичної реалізації даних досліджень можна переглянути за адресою: https://www.instagram.com/dima_yermolenko/

Наразі на цей ресурс підписано близько 3000 тисяч людей, кожен пост набирає від 300 до 1500 лайків, до 30 коментарів, що дозволяє мати постійну аудиторію, яка зацікавлена в оригінальній фототворчості.

Висновки. На основі аналізу сучасних видів візуальних платформ було відібрано та узагальнено всю інформацію, що може бути корисною як студенту-початківцю, котрий має намір презентувати своє портфоліо, так і досвідченому фотографу, який шукає шляхи розширення своєї аудиторії та її зацікавленості у фототворчості. Подальші дослідження будуть направлені на аналіз статистичних даних окремих фотографій, огляд охоплення дій окремих публікацій та визначення факторів, які сприяють просуванню тих чи інших фотографій.

Література

1. Візуальна комунікація [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://uk.wikipedia.org/wiki/Візуальна_комунікація
2. 10 кращих сайтів для просування портфоліо фотографа [Електронний ресурс]. – 2017. – Режим доступу : <https://blog.depositphotos.com/ru/here-s-how-you-can-promote-your-photography-business-online.html>

3. Burns L. M. The 6 Best Social Platforms For Photographers [Електронний ресурс] / Lisa Michele Burns. – 2017. – Режим доступу : <https://www.thewanderinglens.com/6-best-social-platforms-photographers/>.
4. Ваше портфоліо в Instagram: 10 кращих сайтів для фотографів [Електронний ресурс] // PRESSFOTO. – 2014. – Режим доступу : <https://studio.everypixel.com/ru/blog/10-photo-sharing-websites-for-photographers/>.
5. SMM [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://igroup.com.ua/seo-articles/smm/>.
6. SMM. Як просунуться фотографу? Лайфхак [Електронний ресурс] // Futureinapps. – 2018. – Режим доступу : <https://futureinapps.com/ru/blog/smm-kak-prodvinutsya-fotografu-laifhak?pid=LDNuAvec0I>.
7. Гайворонська С. Що таке Інстаграм і навіщо він потрібен? [Електронний ресурс] / Світлана Гайворонська // Блог Василя Блінова. – 2019. – Режим доступу : <https://iklife.ru/socialnye-seti/instagram/chto-takoe-instagram-i-zachem-on-nuzhen.html>.
8. Що таке Інстаграм і навіщо він потрібен? [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://kak-bog.ru/chto-takoe-instagram-i-zachem-nuzhen>.
9. Мазур А. Instagram алгоритм: 7 способів отримати більше переглядів [Електронний ресурс] / Артем Мазур // Блог Артема Мазура. – 2018. – Режим доступу : <https://artemmazur.ru/instagram/instagram-algoritm-prosmotri.html>.
10. Ія Пфанштіль. Як працює алгоритм Instagram: це потрібно знати [Електронний ресурс] / Ія Пфанштіль // RUSABILITY. – 2018. – Режим доступу : <https://rusability.ru/internet-marketing/kak-rabotaet-algoritm-instagram-v-2018-eto-nuzhno-znat/>.
11. Просування в Instagram: 10 безкоштовних методів [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://womenbz.ru/articles/Prodvizheniye-v-Instagram-Kak-eto-delat-bez-deneg/>.

References

1. Vizualna komunikatsiia [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : https://uk.wikipedia.org/wiki/Vizualna_komunikatsiia
2. 10 krashchykh saitiv dlia prosuvannia portfolio fotohrafa [Elektronnyi resurs]. – 2017. – Rezhym dostupu : <https://blog.depositphotos.com/ru/here-s-how-you-can-promote-your-photography-business-online.html>
3. Burns L. M. The 6 Best Social Platforms For Photographers [Elektronnyi resurs] / Lisa Michele Burns. – 2017. – Rezhym dostupu : <https://www.thewanderinglens.com/6-best-social-platforms-photographers/>.
4. Vashe portfolio v Instagram: 10 krashchykh saitiv dlia fotohraviv [Elektronnyi resurs] // PRESSFOTO. – 2014. – Rezhym dostupu : <https://studio.everypixel.com/ru/blog/10-photo-sharing-websites-for-photographers/>.
5. SMM [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <http://igroup.com.ua/seo-articles/smm/>.
6. SMM. Yak prosunutys fotohrafu? Laifhak [Elektronnyi resurs] // Futureinapps. – 2018. – Rezhym dostupu : <https://futureinapps.com/ru/blog/smm-kak-prodvinutsya-fotografu-laifhak?pid=LDNuAvec0I>.
7. Haivoronska S. Shcho take Instahram i navishcho vin potriben? [Elektronnyi resurs] / Svitlana Haivoronska // Bloh Vasylyia Blynova. – 2019. – Rezhym dostupu : <https://iklife.ru/socialnye-seti/instagram/chto-takoe-instagram-i-zachem-on-nuzhen.html>.
8. Shcho take Instahram i navishcho vin potriben? [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <http://kak-bog.ru/chto-takoe-instagram-i-zachem-nuzhen>.
9. Mazur A. Instagram alhorytm: 7 sposobiv otrymaty bilsh perehliadiv [Elektronnyi resurs] / Artem Mazur // Bloh Artema Mazura. – 2018. – Rezhym dostupu : <https://artemmazur.ru/instagram/instagram-algoritm-prosmotri.html>.
10. Iia Pfanshtil. Yak pratsiuie alhorytm Instagram: tse potribno znaty [Elektronnyi resurs] / Iia Pfanshtil // RUSABILITY. – 2018. – Rezhym dostupu : <https://rusability.ru/internet-marketing/kak-rabotaet-algoritm-instagram-v-2018-eto-nuzhno-znat/>.
11. Prosuvannia v Instagram: 10 bezkoshtovnykh metodiv [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <https://womenbz.ru/articles/Prodvizheniye-v-Instagram-Kak-eto-delat-bez-deneg/>.

Рецензія/Peer review : 20.06.2019 р.

Надрукована/Printed : 23.07.2019 р.
Рецензент: к.т.н., доцент Овчарек В.С.

АЛГОРИТМ ФУНКЦІОНУВАННЯ АДАПТИВНОЇ СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОЇ ПІДТРИМКИ ПАРКІВ ТЕХНІКИ ДПСУ

У дослідженні автором проведено аналіз можливості забезпечення адаптації системи технічної підтримки парків техніки органів Державної прикордонної служби до умов її функціонування. Запропоновано алгоритм функціонування системи, який забезпечує усунення існуючого прихованого конфлікту та чотирирівневу адаптацію системи до змін у середовищі функціонування.

Ключові слова: система технічної підтримки, системний аналіз, конфлікт, адаптивна система, парк техніки, технічне обслуговування і ремонт.

S.L. BUKOIEMSKYI

Administration of the State Border Service of Ukraine

ALGORITHM OF FUNCTIONING ADAPTIVE SYSTEM OF TECHNICAL SUPPORT OF VEHICLES FLEET OF THE STATE BORDER GUARD SERVICE

The author of the publication analysed the state of functioning of the adaptive system of technical support of vehicles fleet of the State Border Guard Service. The analysis showed the presence of a hidden conflict in the system. The basis of the conflict is a mismatch between the capabilities of the system and the need for technical effects on the vehicles. Therefore there is a need to ensure the possibility of adapting the system of technical support of vehicles fleet to the operating conditions. The peculiarity of the system is the need to ensure the autonomy of the individual components. Each component must have a separate structure. Each individual structure should provide their own methods of combination of technical effects on vehicles. An array of combinations will form the administrative impact that will achieve the goal of functioning of the system of technical support of vehicles fleet of the State Border Guard Service. It must also be possible to adapt the individual elements of the system and the system of technical support of vehicles fleet of the State Border Guard Service as a whole. The choice of a rational combination of methods of technical influences on the machine will change the structure of the system. This will ensure the adaptation of the system at its various levels. The algorithm proposed by the author of the system of technical support of vehicles fleet of the State Border Guard Service functioning allows for adaptation at four levels. Each of the adaptation levels provides different system adaptation speeds. It allows to choose the optimal level of adaptation to the system of technical support of vehicles fleet of the State Border Guard Service, depending on the ultimate management goal. It also provides the adjustment of the management objectives.

Key words: technical maintenance support, system analysis, conflict, adaptive system, vehicles fleet, technical maintenance and repair.

Постановка проблеми у загальному вигляді

Побудова та аналіз дерева поточної реальності функціонування системи технічної підтримки парку техніки Державної прикордонної служби України у цілому [1] підтвердили існування прихованого конфлікту у системі. Аналіз діаграми можливого вирішення системного конфлікту надав можливість виокремити декілька методів його подолання. Суть першого методу полягає у тому, що весь парк техніки кожного із окремих органів Державної прикордонної служби обслуговується у місці дислокації такого органу, другого – у тому, що вся техніка кожного із окремих органів Державної прикордонної служби обслуговується у місцях дислокації відповідних підрозділів та третього – у тому, що уся техніка кожного із окремих органів Державної прикордонної служби обслуговується на ремонтних підприємствах або пунктах сервісної мережі виробника чи постачальника за місцями дислокації відповідних підрозділів та кожного з органів Державної прикордонної служби. У кожному із перерахованих методів існує потреба у мінімізації часу, протягом якого зразок перебуває на обслуговуванні, часу, необхідного для здійснення його доставки до місця обслуговування, та максимізації загальної кількості технічно справних зразків. Крім того, встановлено, що для кожного окремого органу Державної прикордонної служби найефективнішою буде індивідуальна комбінація окремих функціональних елементів системи. У кожному із випадків визначальним фактором є сукупність зовнішніх умов функціонування окремого органу Державної прикордонної служби України та рівень автономності функціонування системи технічної підтримки парку техніки кожного окремого органу Державної прикордонної служби України. Залежно від рівня автономності функціонування системи передбачатиметься різні її реакції на зміни як у внутрішньому, так і зовнішньому середовищі її функціонування. За умови забезпечення повної автономності системи вона реагуватиме лише на істотні зміни у зовнішньому середовищі. У випадку, коли рівень автономності системи буде мінімальним, система активно впливатиме як на зовнішнє, так і внутрішнє середовище її функціонування. Таким чином у обох випадках виникає необхідність здійснювати адаптацію системи до середовища її функціонування.

Аналіз останніх досліджень чи публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми

Методи удосконалення системи експлуатації техніки досліджували такі вчені: С. А. Абрамов, С. А. Волков, В. А. Зорін, А. П. Ковальов, А. К. Рейш та інші. У їх роботах показано зв'язок ефективності з питаннями надійності, раціонального підбору техніки, обслуговування і ремонту. Разом з тим вказані роботи не розглядають питання забезпечення багаторівневої адаптації системи експлуатації до змін у зовнішньому та внутрішньому середовищах функціонування. Загальні питання забезпечення адаптації складних систем розглянуті у роботах Растригина Л. А. та Голдратта Е. проте у роботах даних авторів не розглядаються

питання забезпечення різних рівнів автономності функціонування окремих складових системи, які представляють собою окремі підсистеми та забезпечують можливість комбінування різних методів управління системою у цілому, що, у свою чергу, забезпечуватиме можливість вибору раціональної комбінації управлінських впливів на процес досягнення кінцевої мети функціонування системи.

Формулювання цілей статті (постановка завдання)

Метою даного дослідження є побудова алгоритму функціонування системи технічної підтримки парків техніки органів Державної прикордонної служби України на основі здійсненого аналізу та оцінки реального процесу функціонування такої системи у Державній прикордонній службі України, який забезпечить здійснення адаптації системи до умов її функціонування.

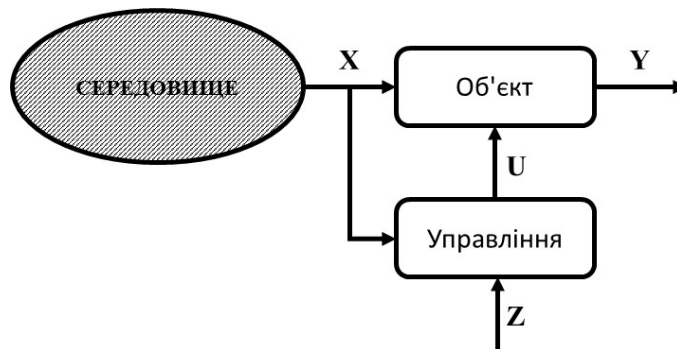
Виклад основного матеріалу дослідження

Розглянемо детальніше систему технічної підтримки парків як об'єкт адаптації. Система технічної підтримки парків техніки Державної прикордонної служби України перебуває у тісній взаємодії із деяким середовищем. Таке середовище можна представити у вигляді потоку заявок на здійснення технічних впливів на зразки [2]. Зміна характеристик самої системи технічної підтримки парків, її еволюція, а також постійна зміна кількісного та якісного складу парків техніки кожного із органів Державної прикордонної служби можуть бути віднесені до факторів дії середовища функціонування системи. Рівень автономності функціонування системи та потік задач, які вирішує система стосовно постійного підтримання рівня готовності парку техніки до застосування за призначенням не нижче нормативного, визначають режим роботи системи (комбінацію окремих функціональних елементів системи), оскільки для розв'язання саме цих задач створена дана система. Загалом система технічної підтримки парків являє собою певну систему масового обслуговування, яка задовольняє або відхиляє заявки, які надходять у систему. Модель функціонування окремого органу технічної підтримки парку техніки (який є основною структурною одиницею системи технічної підтримки парку техніки) як систему масового обслуговування із неординарним вхідним потоком запитів та обмеженою чергою на обслуговування представлено у [2]. Відповідно, для оптимізації роботи системи технічної підтримки парків техніки необхідно забезпечити відображення специфіки надходження не лише одиночних запитів у систему, а також їх груп (заявок), у загальній структурі системи технічної підтримки парків техніки Державної прикордонної служби України. Крім того, система повинна перебувати у жорсткій відповідності до умов (вимог) середовища її функціонування. Таким чином виникає потреба не тільки у компенсації [3] впливу середовища функціонування системи, а також забезпечення її постійної адаптації [3] до нього. Компенсація, як управління системою (рис. 1), можлива лише за відомого стану системи $\{X\}$. Таким чином, для здійснення управління системою технічної підтримки парків необхідні:

- чітка оцінка стану X середовища;
- сформована модель $F(X, U)$ об'єкту управління, де U – управління об'єктом;
- вирішена задача математичного програмування:

$$Q(X, U) \rightarrow \min_{U \in S} \Rightarrow U_x^* \tag{1}$$

де Q – згортка функціоналів компенсації; S – набір параметрів середовища $S = (S_1, \dots, S_e)$.



Y – стан об'єкту управління; Z – мета суб'єкта управління.

Рис. 1. Схема компенсації впливу середовища на об'єкт управління

Адаптація (рис. 2), хоч і синтез управління також може бути записаний у вигляді виразу (1), не є задачею математичного програмування, оскільки ні стан середовища, ні модель об'єкту управління наперед невідомі, а доступні для спостереження лише оцінки значень функціоналів. Задача адаптації у даному випадку ускладнюється тим, що залежно від економічних, політичних, фізико-географічних та інших умов адміністрація Державної прикордонної служби України змінює формулювання кінцевої мети функціонування системи технічної підтримки парків (особливо це стосується забезпечення рівня автономності функціонування системи), що відповідно призводить до зміни структури функціоналів

адаптації системи у цілому.

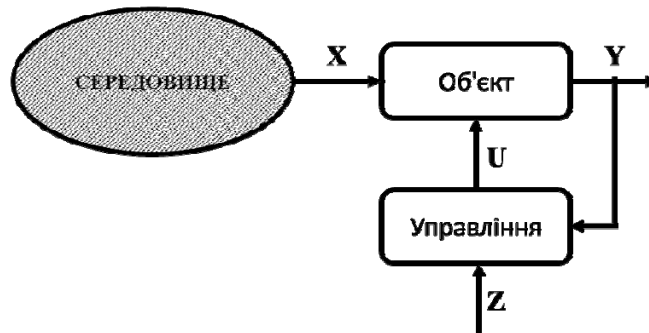


Рис. 2. Схема адаптації об'єкту управління до впливу середовища

Крім того, здійснити прогноз структури окремих заявок на здійснення технічних впливів на зразки, навіть у межах одного окремого органу Державної прикордонної служби, які формують специфіку потоку задач, практично не можливо. Така специфіка виявляється у процесі обслуговування, коли заявка надійшла у систему. Це пов'язано із тим, що спектр необхідних технічних впливів на зразки, які надходять у систему для обслуговування настільки широкий, а невизначеність витрат часу на їх обслуговування настільки велика, що побудова статистичних моделей діяльності окремих підрозділів органу Державної прикордонної служби, як користувачів, практично не можлива. Дійсно, навіть за наявної чіткої інформації про виробничі можливості кожного із органів технічної підтримки, який задовольняє потреби органу Держприкордонслужби у підтриманні рівня готовності не нижче нормованого, час для здійснення необхідного комплексу технічних впливів на зразок завжди невідомий, оскільки відсутня можливість завчасного формування точного переліку робіт, які необхідно виконати на складних (комплексних) зразках.

Таким чином спостерігається нестационарність середовища системи технічної підтримки парків техніки. Основними причинами виникнення нестационарності середовища є:

- зміна ймовірнісних показників потоку заявок на здійснення технічних впливів на зразках;
- еволюція системи технічної підтримки парків техніки у зв'язку із модернізацією марочного складу техніки, паркогаражного обладнання та необхідністю залучення «зовнішніх» органів технічної підтримки парків [1];
- амортизацією парку техніки та паркогаражного обладнання, а відповідно нестационарністю потоку несправностей усередині системи технічної підтримки парків техніки.

Відповідно поведінка внутрішнього та зовнішнього середовища функціонування системи технічної підтримки парків техніки має яскраво виражений нестационарний характер, а це призводить до того, що адаптація системи у цілому є необхідною мірою підтримки системи у оптимальній відповідності середовищу функціонування. Крім того, у [3] визначено, що адаптація дозволяє розв'язувати задачі компенсації у той час, коли компенсація не може вирішувати задачі адаптації.

Така поведінка середовища функціонування системи призводить до виникнення необхідності варіації структури системи технічної підтримки парків техніки, що у свою чергу призводитиме до адаптації параметрів її функціонування та їх узгодження із кінцевою метою функціонування системи. Оскільки управління системою жорстко пов'язане із цілями, які формує суб'єкт управління, у нашому випадку адміністрація Державної прикордонної служби України, то необхідно чітко уявляти місце адаптації у системі управління. Загалом розрізняють 5 етапів управління складним об'єктом, послідовність яких наведена на рис. 3, причому нумерація етапів здійснення відповідно до їх ієрархії.

Реалізація управління, навіть у найсприятливішому випадку, коли досягнута мета управління, передбачає повернення до етапу синтезу управління (стрілка 1 рис. 3), оскільки стан середовища функціонування системи постійно змінюється. Зміна мети управління передбачає повернення до вищих рівнів адаптації стрілки 2, 3, 4 та 5 рис. 3.

Так, параметрична адаптація передбачає корекцію або налаштування параметрів моделі об'єкту управління, яка ґрунтується на усуненні невідповідності у поведінці об'єкту та його моделі на кожному кроці управління (стрілка 2 рис. 3).

У випадку, коли корекція моделі об'єкта не забезпечує необхідного рівня адекватності моделі об'єкту реальному процесу, виникає необхідність узгодження структури моделі об'єкту управління із структурою самого об'єкту управління, тобто здійснюється перехід від однієї альтернативної моделі об'єкту до іншої. Відповідно кожна із альтернативних моделей об'єкту потребує здійснення ідентифікації параметрів функціонування системи, яка здійснюється методами параметричного синтезу моделі, тому даний етап пов'язаний із стрілкою 3 (рис. 3).

Коли ж методами структурного синтезу не можливо досягти визначених цілей управління, то необхідно здійснити адаптацію цілей управління. Зміна цілей управління призводить до адаптації (еволюції) самого об'єкту управління, який змінюється таким чином, щоб виникла можливість досягнення нових цілей. Це призводить до необхідності здійснення визначення самого об'єкту управління, відповідно адаптація цілей управління пов'язана зі стрілками 4 та 5 рис. 3.

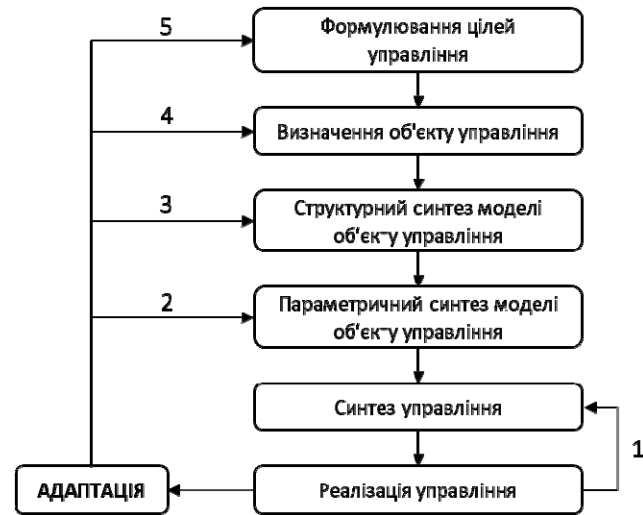


Рис. 3. Місце адаптації у організації управління складним об'єктом

Кожен із рівнів адаптації має постійну часу на декілька порядків вищу за попередній. Таким чином вищий рівень адаптації повинен включатись лише у випадку, коли можливості нижнього вичерпані у повному обсязі.

Процес управління, у такому випадку, слід розуміти як організацію ціленаправленого впливу на об'єкт управління, у результаті якого вказаний об'єкт переводиться у цільовий стан. У такому випадку об'єктом управління є система технічної підтримки парку техніки служби у цілому, а суб'єктом – адміністрація Державної прикордонної служби, яка формує кінцеву мету функціонування підсистем технічної підтримки парків кожного із органів Державної прикордонної служби. Ця мета визначена «Інструкцією з автомобільного та бронетанкового забезпечення в Державній прикордонній службі України» [4] та полягає у забезпеченні утримання машин [4] у стані, який забезпечує готовність органів Держприкордонслужби до виконання завдань за призначенням, яка досягається чітким дотриманням вимог і правил експлуатації машин відповідно до встановленої нормативно-технічної документації, своєчасним і якісним проведенням технічного обслуговування та ремонту машин, своєчасним і повним забезпеченням органів Держприкордонслужби майном та раціональним його використанням, створенням та утриманням у працездатному стані парків та їх елементів, утриманням рухомих засобів технічного обслуговування і ремонту у постійній готовності до використання за призначенням, високим рівнем технічної, спеціальної й автомобільної підготовки водіїв та інших спеціалістів.

Визначення рівня готовності органів Державної прикордонної служби України [5; 6] до виконання завдань за призначенням здійснюється за чітко визначеним переліком критеріїв, при чому загальна оцінка готовності органу Держприкордонслужби не може бути вище оцінки стану озброєння та техніки.

Загальна оцінка стану техніки виводиться за нижчою оцінкою з двох виведених, а саме оцінки за коефіцієнт технічної готовності групи, виду техніки та оцінкою за стан вказаної групи, виду техніки. Основним показником технічного стану парку машин органу Державної прикордонної служби є коефіцієнт технічної готовності.

$$K^{TG} = \frac{N_{спр}}{N_{обл}}, \tag{2}$$

де $N_{спр}$ – кількість справних і працездатних машин; $N_{обл}$ – кількість облікованих машин.

Тоді середовище функціонування системи технічної підтримки парків техніки Державної прикордонної служби України характеризується скінченим набором параметрів:

$$S = (K_1^{TG}, \dots, K_e^{TG}), e = 1, 2, \dots, k \tag{3}$$

де $K_1^{TG}, \dots, K_e^{TG}$ – фактичні коефіцієнти технічної готовності парку техніки кожного окремого органу Державної прикордонної служби; k – загальна кількість окремих органів у складі Державної прикордонної служби України.

Кожен із коефіцієнтів технічної готовності (3) цікавить адміністрацію Держприкордонслужби та може бути змінений залежно від специфіки діяльності певного органу Державної прикордонної служби та вважатимемо, що у кожному із випадків така зміна є контрольованою, тобто залежно від стану реалізації управління об'єктом U отримаємо деякий набір ситуацій:

$$S(U) = (K_1^{TG}(U), \dots, K_e^{TG}(U)). \tag{4}$$

Кожна із ситуацій, за ідеальних умов, повинна відповідати конкретній меті, тобто:

$$Z = (K_1^{TT*}, \dots, K_e^{TT*}), \quad (5)$$

де кожен із цільових параметрів K_e^{TT*} однозначно визначається ситуацією S та відповідно повинен бути не нижчим за визначений у Інструкції [5], тобто існує деякий зв'язок:

$$K_e^{TT*} = \psi_e(S), \quad (6)$$

де $\psi_e(S)$ – функція, яка визначає зв'язок стану середовища S та цільового параметру K_e^{TT*} .

Тоді зв'язок стану середовища та мети управління, яка досягається, можна представити у вигляді:

$$Z = \psi(S). \quad (7)$$

Тоді множину цільових ситуацій можна представити у вигляді:

$$S^* = \begin{cases} \psi_i(K_i^{TT}) \geq K_i^{TT*} & (i = 1, \dots, s) \\ \psi_j(R) \rightarrow \min & (j = s + 1, \dots, k) \end{cases} \quad (8)$$

де R – ресурси, які виділяються для здійснення комплексу технічних впливів на парк техніки. Відповідно, умовою успіху адаптації системи є:

$$S = S(U), \quad (9)$$

$U \in R$

Оскільки зміни у середовищі не відбуваються миттєво, то:

$$S_t = S(U, t), \quad (10)$$

де $S(U, t) \in S^*$.

Структурний синтез моделі системи технічної підтримки паків техніки як об'єкту управління у такому випадку полягатиме у пошуку залежності стану об'єкту Y від некерованого впливу середовища X на його стан та відповідного управлінського впливу на систему адміністрацією Державної прикордонної служби як суб'єкта управління U :

$$Y = F(X, U). \quad (11)$$

де F – модель об'єкту управління.

Аналіз функціонування існуючої системи технічної підтримки парків техніки Державної прикордонної служби [1; 2] показав, що структурно систему необхідно розглядати як ряд підсистем:

- інформаційного забезпечення технічної підтримки парків техніки;
- «внутрішніх» органів технічної підтримки паків техніки;
- «зовнішніх» органів технічної підтримки парків техніки.

Відповідно модель функціонування системи у цілому доцільно будувати у вигляді деякого алгоритму, який поєднує у моделі кожної із розглянутих підсистем. Тоді можна вважати, що модель системи технічної підтримки парків техніки F складається із її структури та відповідного набору параметрів, які характеризують її функціонування:

$$F = \langle St, C \rangle \quad (12)$$

де C – деякий набір параметрів $C = (c_1, \dots, c_k)$.

Тоді, формулювання мети управління здійснюватиме адміністрація державної прикордонної служби України. Мета управління полягатиме у досягненні визначеного рівня автономності кожної із складових системи технічної підтримки парків техніки K_e^{ABT} , який прийматиме два значення 1 – складова системи автономна (здійюються лише «внутрішні» органи технічної підтримки) та 0 – система не автономна (технічні впливи на зразки техніки здійснюють як «внутрішні», так і «зовнішні» органи технічної підтримки), а також K_e^{TT} , який повинен бути не нижче нормованого значення. Таким чином у першому випадку мета управління вважатиметься досягнутою у випадку, коли набір «внутрішніх» органів технічної підтримки забезпечуватимуть досягнення рівня коефіцієнту технічної готовності парку техніки органу Державної прикордонної служби не нижче нормованого, у другому – коли забезпечення необхідного рівня технічної готовності парку досягатиметься комбінацією «внутрішніх» та «зовнішніх» органів технічної підтримки. У першому випадку об'єктом управління будуть парки техніки органів Державної прикордонної служби, у другому – комбінування таких парків із «зовнішніми» органами технічної підтримки.

У обох випадках основним завданням підсистеми інформаційного забезпечення технічної підтримки є вибір можливих форм організації здійснення технічних впливів на парки техніки органів Державної прикордонної служби [1], збір та узагальнення фактичних значень коефіцієнтів технічної готовності парків органів Державної прикордонної служби, інтенсивності потоку заявок λ_i , які надходять

до кожного із органів технічної підтримки та сумарної продуктивності усіх каналів обслуговування $n_i \mu_i$ кожного із органів технічної підтримки [2]. На основі отриманих даних обирається раціональна комбінація форм організації здійснення технічних впливів на парки техніки органів Державної прикордонної служби (рис. 4).

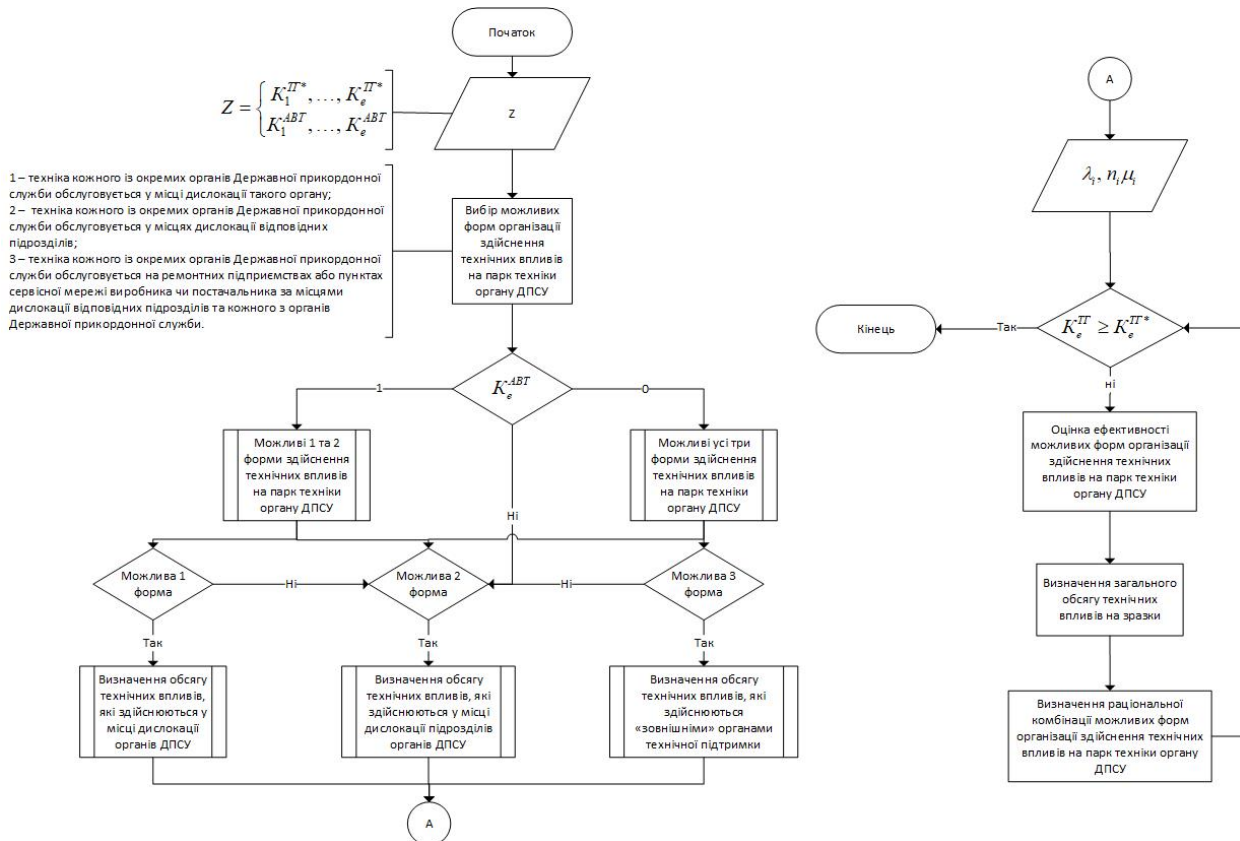


Рис. 4. Пропонований алгоритм функціонування системи технічної підтримки парків техніки Державної прикордонної служби України

Таким чином, на першому етапі адаптації системи технічної підтримки (стрілка 2 рис. 3) здійснюється корегування загальної кількості органів технічної підтримки, які входять у систему, здійснюється їх переоснащення, що дозволить збільшити сумарну продуктивність каналів обслуговування усіх органів технічної підтримки обраної раціональної комбінації форм організації здійснення технічних впливів на парки техніки. На другому етапі, у випадку, коли корегування не надає можливості забезпечити необхідний рівень технічної готовності парку техніки, здійснюється структурний синтез моделі (стрілка 3 рис. 3), який полягає у генерації нової комбінації форм організації здійснення технічних впливів на парки техніки органу Державної прикордонної служби залежно від нормованого рівня автономності системи. Коли ж отриманий масив можливих форм організації здійснення технічних впливів також не надає можливості забезпечити необхідний рівень технічної готовності парку техніки, здійснюється перегляд існуючого рівня автономності функціонування системи (стрілка 4 рис. 3). У випадку коли, попередні рівні адаптації системи не надають можливості досягти мети управління, здійснюється перегляд самої мети управління (стрілка 5 рис. 3), який полягає у зміні нормованих значень коефіцієнтів технічної готовності парків кожного із органів Державної прикордонної служби.

Висновки

Пропонований алгоритм функціонування комбінованої адаптивної системи технічної підтримки парків техніки органів Державної прикордонної служби України дозволяє забезпечити адаптацію системи до зовнішніх та внутрішніх умов її функціонування. Алгоритм дозволяє реалізувати чотири рівні адаптації системи. Найоперативнішим із них є перший рівень, оскільки дозволяє отримати ефект за мінімальний проміжок часу, стратегічним буде четвертий рівень, оскільки він передбачає зміну структури самої системи та мети управління, яке здійснюється.

Література

1. Букоємський С. Л. Оцінка стану функціонування системи технічної підтримки парку автобронетанкової техніки / А. Л. Башинський, С. А. Осташевський, С. Л. Букоємський // Вісник Хмельницького національного університету. Серія: технічні науки : наукове видання. – Хмельницький : Видавництво ХНУ, 2019. – № 2(271). – С. 49–56.

2. Букоємський С. Л. Модель функціонування органу технічної підтримки парку автобронетанкової техніки / С. Л. Букоємський // Автошляховик України. – К. : ДП «Державний автотранспортний науково-дослідний і проєктний інститут», 2019. – № 2. – С. 24–30.

3. Растрин Л. А. Адаптация сложных систем / Растрин Л. А. – Рига : Зинатне, 1981. – 375 с.

4. Інструкція з автомобільного та бронетанкового забезпечення в Державній прикордонній службі України : наказ Міністерства внутрішніх справ України від 09.07.2018 р. № 577. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/ru/z0886-18>.

5. Інструкція про порядок проведення комплексних перевірок (інспектування) озброєння, техніки і особового складу технічних служб, підрозділів, частин, з'єднань Прикордонних військах України : наказ Державного комітету у справах охорони державного кордону України від 25.07.1995 р. № 300.

6. Про затвердження змін до Інструкції про порядок проведення комплексних перевірок (інспектування) озброєння, техніки і особового складу технічних служб, підрозділів, частин, з'єднань Прикордонних військах України : наказ Державного комітету у справах охорони державного кордону України від 06.02.2003 р. № 69.

References

1. Bukoiemskiy S. L. Otsinka stanu funktsionuvannya systemy tekhnichnoi pidtrymky parku avtobronetankovoi tekhniki / A.L. Bashynskiy, S. A. Ostashevskiy, S. L. Bukoiemskiy // Herald of Khmelnytskyi National University. – Khmelnytskyi : Vydavnytstvo KhNU, 2019. – № 2(271). – S. 49–56.

2. Bukoiemskiy S. L. Model funktsionuvannya orhanu tekhnichnoi pidtrymky parku avtobronetankovoi tekhniki / S.L. Bukoiemskiy // Avtoshliakhovik Ukrainy. – K. : DP «Derzhavnyi avtotransportnyi naukovo-doslidnyi i proektnyi instytut», 2019. – № 2. – S. 24–30.

3. Rastrigin L. A. Adaptatsiya slozhnykh system / Rastrigin L. A. – Riga : Zynatne, 1981. – 375 s.

4. Instrukttsiia z avtomobilnoho ta bronetankovoho zabezpechennia v Derzhavni prykordonnii sluzhbi Ukrainy : nakaz Ministerstva vnutrishnikh sprav Ukrainy vid 09.07.2018 r. № 577. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/ru/z0886-18>.

5. Instrukttsiia pro poriadok provedennia kompleksnykh perevirok (inspektuvannia) ozbroiennia, tekhniki i osobovoho skladu tekhnichnykh sluzhzb, pidrozdiliv, chastyn, ziednan Prykordonnykh viiskakh Ukrainy : nakaz Derzhavnoho komitetu u spravakh okhorony derzhavnoho kordonu Ukrainy vid 25.07.1995 r. № 300.

6. Pro zatverdzhennia zmin do Instrukttsii pro poriadok provedennia kompleksnykh perevirok (inspektuvannia) ozbroiennia, tekhniki i osobovoho skladu tekhnichnykh sluzhzb, pidrozdiliv, chastyn, ziednan Prykordonnykh viiskakh Ukrainy : nakaz Derzhavnoho komitetu u spravakh okhorony derzhavnoho kordonu Ukrainy vid 06.02.2003 r. № 69.

Рецензія/Peer review : 15.06.2019 р. Надрукована/Printed : 23.07.2019 р.

Рецензент: д.т.н., доцент С. Осташевський

СИЛЬНА, СЛАБКА ТА ЕЛЕКТРОМАГНІТНА СКЛАДОВІ МАСИ ЕЛЕКТРОНА, ПРОТОНА ТА НЕЙТРОНА, РОЗРАХОВАНІ ЗА УМОВИ ВИРІВНЮВАННЯ ВІДПОВІДНИХ ЕЛЕКТРОЗАРЯДОВИХ ТА МАГНІТНОЗАРЯДОВИХ РАДІУСІВ ЦИХ ПСЕВДОЕЛЕМЕНТАРНИХ ЧАСТИНОК

Визначено, що відношення сильної, слабкої та електромагнітної складових маси електрона становить 128:8:1. Для протона та нейтрона аналогічні відношення складають 512:32:1 та 512:32:2 відповідно. Вираховані зарядові радіуси електрона, протона та нейтрона, що становлять відповідно 386,057824 фм; 0,836410555 фм; 0,836791803 фм. Таким чином, відношення зарядових радіусів нейтрона та протона становить 1,000455815 (з точністю до одиниці останнього десяткового розряду в цих записках). Показано, що відношення зарядового та комптонівського радіусів електрона становить 137α , де α – постійна тонкої структури. Розрахунки зроблені на основі запропонованого раніше гідродинамічно-хвильового калібрування потенціалів в рівняннях Максвелла для електромагнітного поля та в їх аналогах для сильного і слабкого полів. При цьому використана умова вирівнювання відповідних електрозарядових та магнітнозарядових радіусів для кожного сорту псевдоелементарних частинок. Отримані результати добре узгоджуються з останніми експериментальними даними щодо зарядового радіусу протона, однак цілком заперечують поширену на сьогодні стандартну модель фундаментальних взаємодій (SM).

Ключові слова: маса, електрон, протон, нейтрон, зарядовий радіус, електричний заряд, магнітний заряд.

YU.P. ZASPA

Khmelnitskyi National University

zaspa_yuriy@ukr.net

STRONG, WEAK, AND ELECTROMAGNETIC COMPONENTS OF ELECTRON, PROTON AND NEUTRON MASSES, CALCULATED UNDER THE CONDITIONS OF THE EQUALIZATION OF THE CORRESPONDING ELECTRIC CHARGE RADII AND THE MAGNETIC CHARGE RADII OF THESE Pseudoelementary Particles

It is determined that the ratio of strong, weak and electromagnetic components of the mass of an electron is 128: 8: 1. For protons and neutrons, the similar ratios are 512: 32: 1 and 512: 32: 2, respectively. The charge radii of electron, proton and neutron, corresponding to 386.057824 fm; 0.836410555 fm; 0.836791803 fm, were calculated. Thus, the ratio of the charge radius of a neutron to charge radius of a proton is 1,000455815 (up to a unit of the last decimal place in these records). It is shown that the ratio of charge and Compton radii of an electron is 137α where α is a constant of fine structure. The calculations were made on the basis of the previously proposed hydrodynamic-wave potential calibration in the Maxwell equations for the electromagnetic field and in their analogues for the strong and weak fields. The equalization condition of the corresponding electric charge and magnetic charge radii for each grade of pseudo-elementary particles was used. The results obtained are in good agreement with the recent experimental data on the proton charge radius, but they completely disprove the standard model of fundamental interactions (SM), which is nowadays common.

Keywords: mass, electron, proton, neutron, charge radius, electric charge, magnetic charge.

Природа маси – одна з найважливіших та досі не вирішених проблем фізики [1, 2]. В роботі [3] у першому наближенні розраховані польові (зарядові) маси псевдоелементарних частинок на основі гідродинамічно-хвильового калібрування потенціалів в рівняннях Максвелла для електромагнітного поля та в їх аналогах для сильного і слабкого полів. В додаток до електричних зарядів як топологічних особливостей електромагнітного поля були розглянуті також кооперативні топологічні особливості в системах сильного і слабкого полів, віднесені до категорії магнітних зарядів. Нижче наводяться уточнювальні розрахунки складових маси електрона, протона та нейтрона, які враховують розділення магнітних зарядів сильного та слабкого полів.

Результати розрахунків. Аналіз спектру мас псевдоелементарних частинок свідчить про те, що введені раніше магнітні заряди [3] стосуються, власне, сильного поля:

$$e_m^S = 8e, \quad (1)$$

де e – елементарний електричний заряд. Крім них слід враховувати також магнітні заряди слабкого поля:

$$e_m^W = 2e. \quad (2)$$

В таких позначеннях відношення сильної, слабкої та електромагнітної складових маси задається виразом:

$$m_S : m_W : m_e = (Z_S \cdot (e_m^S)^2) : (Z_W \cdot (e_m^W)^2) : (Z_e \cdot e^2), \quad (3)$$

де Z_S, Z_W, Z_e – сильне (магнітне), слабе (магнітне) та електричне зарядові числа. Специфічний набір цих чисел (Z_S, Z_W, Z_e) характеризує розподіл маси кожної частинки за трьома фундаментальними полями. Для електрона, протона та нейтрона, відповідно, маємо: (2, 2, 1), (8, 8, 1), (8, 8, 2). Враховуючи

співвідношення (1, 2), вираз (3) доцільно спростити:

$$m_S : m_W : m_e = 64Z_S : 4Z_W : Z_e \quad (4)$$

Отже, для електрона:

$$m_S : m_W : m_e = 128 : 8 : 1 \quad (5)$$

Для протона:

$$m_S : m_W : m_e = 512 : 32 : 1 \quad (6)$$

Для нейтрона:

$$m_S : m_W : m_e = 512 : 32 : 2 \quad (7)$$

Сумарна енергія спокою частинки W та сумарна маса m розраховуються за співвідношенням:

$$W = mc^2 = \frac{Z^* \cdot e^2}{R_Z} \quad (\text{система СГСЕ}) \quad (8)$$

де R_Z – єдиний для всіх полів зарядовий радіус частинки, Z^* – ефективне зарядове число:

$$Z^* = 64Z_S + 4Z_W + Z_e \quad (9)$$

Вираз (8) доцільно використати для обчислення зарядового радіусу частинки за її масою:

$$R_Z = \frac{Z^* \cdot e^2}{mc^2} \quad (\text{система СГСЕ}) \quad (10)$$

Обчислені за цим співвідношення зарядові радіуси становлять:

$$R_Z^e = 386,057824 \text{ фм (електрон)} \quad (11)$$

$$R_Z^p = 0,836410555 \text{ фм (протон)} \quad (12)$$

$$R_Z^n = 0,836791803 \text{ фм (нейтрон)} \quad (13)$$

При цьому відношення зарядових радіусів нейтрона та протона складає величину:

$$R_Z^n / R_Z^p = 1,000455815 \quad (14)$$

Відношення комптонівського радіусу електрона R_c^e до його зарядового радіусу становить:

$$R_c^e / R_Z^e = 1,000262768 = \frac{1}{137\alpha}, \quad (15)$$

де α – постійна тонкої структури [1, 2].

Обчислення виконані з використанням діючих стандартів на фундаментальні фізичні константи [4]. Точність розрахунків (11–15) оцінюється одиницею останнього наведеного десяткового розряду. Отримане значення (12) зарядового радіусу протона добре узгоджується з найновішими експериментальними даними [5–7].

Висновки. Таким чином, гідродинамічно-хвильове калібрування потенціалів в рівняннях Максвелла для електромагнітного поля та в їх аналогах для сильного і слабого полів виявляє топологічні особливості цих полів у вигляді електричного та двох типів магнітних зарядів. Це дозволяє розділити внесок трьох фундаментальних полів у загальну польову масу та обчислити зарядовий радіус псевдоелементарної частинки за її масою. Такий підхід фактично вирішує застарілу проблему маси у фізиці, однак цілком протирічить хибному стандарту в галузі фундаментальних взаємодій – т.з. стандартній моделі (SM).

Література

- Физика микромира. Маленькая энциклопедия / [под ред. Д.В. Ширкова]. – М. : Сов. энц., 1980. – 528 с.
- Физическая энциклопедия : в 5 т. / [под ред. А.М. Прохорова]. – М. : Большая рос. энц., 1999. – 760 с.
- Заспа Ю. П. Кооперативна динаміка, взаємодія, комплексна топологія та гіперкомплексна хронологія вихор-хвильових форм електромагнітного, гравітаційного, сильного і слабого, а також гідродинамічного полів проти хибних стандартів SM та Λ CDM / Ю. П. Заспа // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2019. – № 1. – С. 254–266.
- Fundamental Physical Constants – Complete Listing. URL: <http://physics.nist.gov/cuu/Constants/Table/allascii.txt>
- Pohl R. et al. The size of the Proton. Nature. 2010. V. 466. P. 213–216.
- Bezginov N. et al. A Measurement of the atomic hydrogen Lamb shift and the proton charge radius. Science. 2019. V. 365. P. 1007–1012.
- Xiong W. et al. A Small Proton Charge Radius from an Electron-proton Scattering experiment. Nature. 2019. V. 575. P. 147–150.

References

- Fizika mikromira. Malenkaya enciklopediya / [pod red. D.V. Shirkova]. – M. : Sov. enc., 1980. – 528 s.
- Fizicheskaya enciklopediya : v 5 t. / [pod red. A.M. Prohorova]. – M. : Bolshaya ross. enc., 1999. – 760 s.
- Zaspa Yu. P. Kooperatyvna dynamika, vzaiemoinduktsiia, kompleksna topolohiia ta hiperkompleksna khronolohiia vykhvolyvnykh form elektromahnitnoho, hravitatsiinoho, sylnoho i slabkoho, a takozh hidrodynamichnoho poliv proty khybnykh standartiv SM ta ASDM / Yu. P. Zaspa // Herald of Khmelnytskyi National University. – 2019. – № 1. – С. 254–266.
- Fundamental Physical Constants – Complete Listing. URL: <http://physics.nist.gov/cuu/Constants/Table/allascii.txt>
- Pohl R. et al. The size of the Proton. Nature. 2010. V. 466. P. 213–216.
- Bezginov N. et al. A Measurement of the atomic hydrogen Lamb shift and the proton charge radius. Science. 2019. V. 365. P. 1007–1012.
- Xiong W. et al. A Small Proton Charge Radius from an Electron-proton Scattering experiment. Nature. 2019. V. 575. P. 147–150.

Рецензія/Peer review : 16.06.2019 р.

Надрукована/Printed : 23.07.2019 р.

Рецензент: д. т. н. Каплун П. В.

О.І. ХИЖАН, В.К. БУХТІЯРОВ, Л.О. КОВШУН
Національний університет біоресурсів і природокористування України, Київ

МЕТОДОЛОГІЯ ФОРМУВАННЯ ЕЛЕКТРОННОГО НАВЧАЛЬНОГО КУРСУ З ДИСЦИПЛІНИ ФІЗИЧНА І КОЛОЇДНА ХІМІЯ

У роботі представлено методологію розробки курсу дистанційного навчання з фізичної і колоїдної хімії для студентів спеціальності «Захист і карантин рослин» в оболонці Moodle. Електронний навчальний курс пропонується для організації самостійної роботи студентів. Він включає візитку курсу, загальну інформацію, 5 змістовних модулів і контролюючий блок. Курс містить різні типи елементів: лекції, презентації, глосарій, форум новин, тести, завдання.

Ключові слова: Moodle, курс дистанційного навчання, фізична і колоїдна хімія.

O.I. KHYZHAN, V.K. BUKHTIYAROV, L.O. KOVSHUN
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv

METHODOLOGY OF FORMATION OF ELECTRONIC LEARNING COURSE ON PHYSICAL AND COLLOID CHEMISTRY

In the article analysed the development of e-learning course on physical and colloidal chemistry for students of the specialty "Protection and quarantine of plants" in the Moodle shell. Distance learning course is intended for the organization of independent work of students. It includes: course card, general information, 5 content modules and controlling block. General information contains a work program of the discipline. The work program has the purpose of the course, the prerequisites for studying the course, a description of the course structure. The general information also includes a course schedule, evaluation criteria, a news forum, a list of literature and a glossary. The course contains the following content modules: 1. Chemical thermodynamics. Chemical kinetics. 2. Solutions. 3. Electrochemistry. 4. Surface phenomena. 5. Dispersion systems. There are lectures in each content module. The theoretical information is contained in structured multi-page glossary related text resources. The content module has presentations and videos. The course materials include laboratory work. Each work has a purpose and a task. Student performs laboratory work experimentally in the laboratory. The result is downloaded and evaluated in the distance course. After studying the theoretical material, students need to take a subject test. Tests have been developed that contain questions of different types. These include multiple choice, matching, short or numeric answers. Much of the teaching hours in the study of physical and colloidal chemistry is devoted to independent study. The e-learning course materials contain tasks for self-completion. At the end of the distance learning course there is a test.

Keywords: Moodle, distance learning course, physical and colloid chemistry.

Вступ

Для розвитку агропромислового комплексу необхідна підготовка фахівців, що володіють знаннями хімії, вміють застосовувати сучасні хімічні методи для розробки енергозберігаючих і екологічно чистих технологій, що забезпечують безпеку життєдіяльності людей і їх захист від можливих наслідків аварій, катастроф і стихійних лих, вміють застосовувати способи раціонального використання сировинних, енергетичних та інших видів ресурсів, впроваджують у виробництво передові технології для захисту рослин від шкідників та негативного впливу оточуючого середовища. Реалії сьогодення свідчать про стрімкий розвиток інформаційно-комунікаційних технологій та їх широке впровадження у всі сфери життєдіяльності. Дистанційне навчання сьогодні набуває значної популярності внаслідок спрощення доступу до навчально-методичних матеріалів, економії часу, прозорості навчального процесу. Можна знайти багато переваг як очного, так і дистанційного навчання, але не підлягає сумніву факт визнання дистанційної освіти та усвідомлення її великого значення та попиту в усьому світі [1].

В останні роки у Національному університеті біоресурсів і природокористування України (НУБіП України) на основі використання модулів системи Moodle функціонує система навчання та контролю за ним, яка орієнтована, насамперед, на організацію взаємодії між викладачем та студентами, хоча може ефективно використовуватися і для організації змішаного електронного навчання як для очної, так і заочної (дистанційної) форм навчання. За допомогою цієї системи студент може дистанційно, через інтернет, ознайомитися з навчальним матеріалом, який подається у вигляді різноманітних інформаційних ресурсів (текст, відео, анімація, презентація, електронний посібник), виконати завдання та відправити результати їх виконання на перевірку до тьютора (викладача), пройти електронне тестування в режимі самоконтролю та контролю. Викладач має змогу самостійно створювати дистанційні електронні курси і проводити навчання на відстані, надсилати повідомлення студентам, розподіляти, збирати і перевіряти завдання, вести електронний журнал обліку оцінок та відвідування, налаштовувати різноманітні ресурси навчального курсу тощо [2, 3].

Метою даної роботи стало створення курсу дистанційного навчання з дисципліни «Фізична та колоїдна хімія» для студентів спеціальності «Захист і карантин рослин» на платформі Moodle.

Курс складено за підручником [4] і методичними посібниками [5, 6], які використовуються для викладання у НУБіП України дисципліни «Фізична та колоїдна хімія» для студентів спеціальності «Захист і карантин рослин». У дисципліні «Фізична та колоїдна хімія» передбачається аудиторна (лекційні, лабораторні заняття, модульні контрольні роботи) і самостійна робота студентів. Завданням курсу дистанційного навчання є організація самостійної роботи студентів та виконання контрольних робіт.

Курс дистанційного навчання включає такі елементи: візитка курсу, загальна інформація про курс, п'ять змістовних модулів і контролюючий блок.

У візитці наведено загальну лаконічну інформацію про електронний курс та його авторів, кафедру, спеціальність, курс та семестр навчання, кількість кредитів ECTS та рівень доступу до курсу.

Загальну інформацію про курс представлено на рис. 1. Вона містить:

- робочу програму навчальної дисципліни, де зазначається мета та завдання вивчення курсу, передумови вивчення курсу, опис структури курсу, методичні рекомендації для студентів щодо вивчення дисципліни;

- глосарій – словник, зв'язаний гіперпосиланнями з текстом лекцій, тестів та інших ресурсів;

- календарний план проходження курсу;

- друковані та інтернет-джерела;

- критерії оцінювання, що містять інформацію щодо системи оцінювання навчальних досягнень студентів з дисципліни, як поточних, так і підсумкових. З кожного модуля вказується розподіл балів за виконання завдань та шкала оцінювання. Оцінка за кожен модуль враховує три складові: засвоєння теоретичного матеріалу, вміння практично застосовувати отримані знання та успішність виконання завдань, винесених на самостійне опрацювання;

- новини – інформаційний форум, в якому дається інформація про новини курсу (наприклад, поповнення матеріалів курсу).

У курсі запропоновано такі змістовні модулі: 1. Хімічна термодинаміка. Хімічна кінетика. 2. Розчини. 3. Електрохімія. 4. Поверхневі явища. 5. Дисперсні системи. Вигляд змістовного модулю «Хімічна термодинаміка. Хімічна кінетика» представлено на рис. 2.

Фізична і колоїдна хімія



- [Робоча програма](#)
- [Графік навчання](#)
- [Шкала оцінювання](#)
- [Друковані і інтернет джерела](#)
- [Глосарій Фізична і колоїдна хімія](#)
- [Новини](#)

Рис. 1. Загальна інформація курсу дистанційного навчання

МОДУЛЬ 1. Хімічна термодинаміка. Хімічна кінетика

- [Лекція1. Хімічна термодинаміка](#)
- [Презентація Хімічна Термодинаміка](#) 406.6КБ Презентація Powerpoint
- [Відеоматеріал "Хімічна термодинаміка" <https://www.youtube.com/watch?v=LQQNw0Prmcw>](#)
- [Лекція2. Термохімія](#)
- [Презентація Термохімія](#) 129.8КБ Презентація Powerpoint
- [Лекція3. Хімічна кінетика. Каталіз](#)
- [Презентація Хімічна кінетика](#) 1.9МБ Презентація Powerpoint
- [Відеоматеріал Хімічна кінетика \(англ.\) \[https://www.youtube.com/watch?v=nKqO-aF_3JQ\]\(https://www.youtube.com/watch?v=nKqO-aF_3JQ\)](#)
- [Приклади вирішення задач. Хімічна термодинаміка](#) 117.5КБ Документ PDF
- [Приклади завдань. Хімічна термодинаміка](#) 321.8КБ Документ PDF
- [Приклади завдань. Хімічна кінетика](#) 188.5КБ Документ PDF
- Модульний контроль 1 "Хімічна термодинаміка. Хімічна кінетика"**
- [Контрольні питання Модуля 1](#)
- [Тест для самоконтролю. Хімічна термодинаміка](#)
- [Тест для самоконтролю. Хімічна кінетика](#)
- [Самостійна робота 1](#)
- [Лабораторна робота 1](#)
- [Лабораторна робота 2](#)
- [Лабораторна робота 3](#)
- [Контрольний тест Модуля 1](#)

Рис. 2. Вигляд змістовного модуля Хімічна термодинаміка. Хімічна кінетика

Кожний змістовний модуль включає лекції (модуль Книга). У цьому курсі модуль Книга використано для зберігання лекцій. Цей формат дозволяє викладачу створювати структуровані багатосторінкові текстові ілюстровані ресурси з розділами та підрозділами, зміст яких відображає логіку навчання за курсом і надає студенту теоретичні відомості з модуля у повному обсязі. Інтернет-технології дають можливість інтегрувати в електронний навчальний курс різні електронні елементи, які сприяють ефективному засвоєнню нового матеріалу та формуванню позитивної мотивації до навчання. До таких елементів можна віднести відео- і аудіоролики, анімації, ілюстровані графіки і схеми, інтерактивні навчальні ігри, посилання на інтернет-ресурси, симуляції і всілякі інструменти для спілкування, співпраці та обміну повідомленнями. Тому теоретичний навчальний матеріал містить також мультимедійні презентації лекцій, відеоматеріали.

Усі основні поняття, які зустрічаються у лекціях, мають гіперпосилання та занесені до глосарію (рис. 3). Записи глосарію можуть бути переглянуті за алфавітом або за категоріями, дати або автору.

Ізотонічні розчини

розчини різних речовин неелектролітів, що мають однакову концентрацію при одній і тій же температурі чинять однаковий **осмотичний тиск**. Такі розчини називаються **ізотонічними**.

Ключові слова:

Ізотонічні розчини



Іонна сила розчину

Іонна сила розчину I дорівнює **півсумі добутку концентрацій c_i усіх іонів розчину на квадрат їх зарядів Z_i**

Ключові слова:

Іонна сила розчину



Істинна швидкість реакції

Істиною швидкістю реакції в даний момент називається зміна концентрації віднесеної до нескінченного малого проміжку часу (похідна від концентрації до часу)

Ключові слова:

Істинна швидкість реакції



Рис. 3. Вигляд глосарію курсу дистанційного навчання

Лабораторна робота 1

Лабораторна робота № 1.

Визначення теплоти реакції утворення кристалогідрату солі

Мета роботи: ознайомитися з **калориметричним** методом **вимірювання** теплових **ефектів** реакції, визначити теплоту реакції утворення кристалогідрату солі.

Рективи і обладнання: калориметр, скляна паличка, 7,45 г KCl, дистильована вода, секундомір, термометр, мірний циліндр, піпетки, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, безводна CuSO_4 , $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, безводна Na_2CO_3 .

Методичні рекомендації дивіться у прикріпленому файлі

Хід виконання роботи:

1. Визначити експериментально теплоту реакції утворення кристалогідрату солі ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$).
2. Зробити висновки – якою є реакція утворення кристалогідрату солі ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) **екзотермічною** чи **ендотермічною**.
3. Оформити звіт про виконану роботу.

Форма подання результатів виконаної роботи – письмовий звіт у робочому зошиті

Звіт повинен містити:

- Назву та мету роботи.
- Таблицю з експериментально визначеними температурами **розчинення** KCl, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, безводної CuSO_4 , $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, безводної Na_2CO_3 .
- Розрахунок водяного числа калориметра.
- Розрахунок ентальпії розчинення $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, безводної CuSO_4 , $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, безводної Na_2CO_3 .
- Розрахунок теплоти реакції утворення кристалогідрату солі $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$
- Загальні висновки щодо роботи.

Критерії оцінювання:

Максимальна кількість балів – 10, з них:

- Виконані індивідуальні завдання – 6.
- Загальні висновки – 1 бал.
- Оформлення роботи – 1 бал.

Лабораторна робота 1 Визначення теплоти реакції утворення кристалогідрату солі.docx

Окремі групи: Всі учасники

Рис. 4. Вигляд Лабораторної роботи № 1 Хімічна термодинаміка. Хімічна кінетика

У матеріалах курсу є перелік лабораторних робіт у вигляді окремих ресурсів (рис. 4). До кожної роботи сформульовано мету та завдання, які забезпечують формування вмінь та навичок, необхідних для засвоєння теми, надано методичні рекомендації з їх виконання, форму подання результатів виконаної

роботи, критерії оцінювання кожної роботи, список індивідуальних завдань, завдань для виконання у парах та групами. Лабораторні роботи по фізичній і колоїдній хімії виконуються експериментально в аудиторних умовах, про що зазначається при формулюванні завдання. Результат виконання лабораторної роботи студенти надсилають викладачеві в електронній формі до навчального порталу, подають у паперовому вигляді або усно. Після перевірки та оцінювання виконаних завдань, викладач має виставити бали у відповідну оцінювану діяльність.

Після вивчення теоретичного матеріалу для самоперевірки та перевірки студентам пропонується пройти тест по заданій темі. Цей модуль надає викладачу можливість розробляти тести, які можуть містити питання різних типів, у тому числі множинного вибору, на відповідність, з короткою або числовою відповідями.

Викладач може дозволити декілька спроб проходження тесту, питання можуть перемішуватися або вибиратися випадковим чином з банку питань. Також може бути встановлено обмеження часу на проходження тесту. Кожна спроба оцінюється автоматично, із записом у журналі оцінок. Студентам надається інформація про час відведений на тест, максимальну оцінку і кількість спроб, яка допускається (рис. 5).

Після закінчення тестування висвічується вікно з результатами. Якщо студент незадовільно пройшов тест, йому пропонується уважніше вивчити теоретичний матеріал і пройти тест для самоконтролю ще раз.

Значна частина навчальних годин при вивченні кожної дисципліни відводиться на самостійне опрацювання. У матеріалах електронного навчального курсу розміщено завдання для самостійного виконання та методичний матеріал, який забезпечить його якісне виконання студентами (рис. 6). Завдання формуються у такій формі: текст завдання, форма подання результатів виконання, критерії оцінювання, термін виконання, список додаткових друкованих та інтернет-джерел. Модуль діяльності завдання дозволяє викладачам видавати завдання, збирати роботи, оцінювати їх та залишати відгуки на ці роботи. Студенти можуть відправляти будь-який цифровий контент (файли), такий як текстові документи, електронні таблиці, картинки, аудіо- та відеофайли. Крім того, можна дозволити студентам вводити відповідь безпосередньо у редакторі на сайті. Під час розгляду завдання викладачі можуть залишати текстові відгуки або файли з детальним роз'ясненням по роботі студента. Завдання можуть бути оцінені числовим виразом або за літерною шкалою. Викладач виставляє бали у відповідну оцінювану діяльність.

Фізична і колоїдна хімія

Питання 4

Ще не відповіли

Макс. оцінка до 7.00

Позначити питання

Редагувати питання

Вкажіть на формули електродів першого роду

Виберіть одну або більше:

a. $\text{Cu}|\text{Cu}^{2+}$

b. $\text{Ag}|\text{Ag}^+$

c. $\text{Zn}|\text{Zn}^{2+}$

d. $\text{Hg}, \text{HgSO}_4|\text{SO}_4^{2-}$

e. $\text{Ag}, \text{AgCl}|\text{Cl}^-$

f. $\text{Hg}, \text{Hg}_2\text{Cl}_2|\text{Cl}^-$

Рис. 5. Вигляд тесту третього змістовного модуля “Електрохімія”

Фізична і колоїдна хімія

Самостійна робота 3

Самостійна робота 3

Тема: Електрохімія

1. Методичні рекомендації дивіться у прикріпленому файлі, також необхідно ознайомитися з матеріалом поданим в посібнику "Фізична і колоїдна хімія. Для студентів спеціальності 202 «Захист і карантин рослин». Навчальний посібник/ О.І. Хижан, Л.О.Нестерова – К.: НУБіП України, 2017. – 400 с." (№1 у списку "Друковані та інтернет-джерела", с. 176-221). Також ознайомтеся з додатковими літературними джерелами ((№7 у списку "Друковані та інтернет-джерела" Вовкотруб М.П., Мельничук Д.О., Смик С.Ю., Мельникова Н.М., Бойко Р.С. Практикум з фізичної та колоїдної хімії. – К.: Арістей, 2008. – 256 с., с. 49-85) та ресурсами в Інтернеті (<http://studentam.net.ua/content/view/4382/123/> <https://studfiles.net/preview/5280515/>) а також проведіть самостійний пошук матеріалів в Інтернеті для виконання завдань.

Порядок виконання роботи:

1. Що таке біоелектричний потенціал. Історія його відкриття

<http://studentam.net.ua/content/view/4382/123/>

- 2.Що називають мембранним потенціалом спокою? Чим переважно зумовлене виникнення мембранного потенціалу спокою? Для яких йонів мембрана клітини в стані спокою має найбільшу проникливість? Що називають нервовим імпульсом? Яку основну властивість живих систем забезпечують біопотенціали? (<https://studfiles.net/preview/5280515/>)

3. Розрахуйте ЕРС таких гальванічних елементів (задачі дано в Методичних рекомендаціях в прикріпленому файлі)

Форма подання результатів виконаного завдання: звіт та посилання на відповідні ресурси надіслати word-файлом через систему Elearn. Вимоги до тексту: шрифт – 14 пт, міжрядковий інтервал – 1, розміром до 2 сторінок тексту (6000 знаків)

Критерії оцінювання:

Максимальна кількість балів – 10.

- по 3 балу за виконані завдання 1 та 2;

- 4 бали - за виконане завдання 3.

Рис. 6. Вигляд Самостійної роботи третього змістовного модуля “Електрохімія”

У кінці курсу дистанційного навчання передбачається контрольний тест, який може складатися з тестових завдань для самоконтролю, з завдань тематичних розділів та нових завдань.

Висновки

Таким чином, створено курс дистанційного навчання з фізичної та колоїдної хімії. Курс містить

різні типи елементів: лекції, презентації, глосарій, форум новин, тести, завдання. Використання такого дистанційного курсу активізує самостійну роботу студентів, дозволяє проводити самоконтроль та контроль одержаних знань, збільшувати кількість слухачів дисципліни.

Література

1. Brouwer N. Online Support and Online Assessment for Teaching and Learning Chemistry / N. Brouwer, C. McDonnell // *Innovative Methods of Teaching and Learning Chemistry in Higher Education* / I. Eilks, B. Byers (Eds.). – Cambridge, UK : RSC Publishing, 2009. – P. 123–152.
2. Хижан О.І. Розробка курсу дистанційного навчання з дисципліни «Фізична і колоїдна хімія» в оболонці Moodle / О.І. Хижан, В.К. Бухтіяров, Л.О. Нестерова // *Вісник Хмельницького національного університету*. – 2016. – № 5. – С. 125–128.
3. Морзе Н.В. Методика створення електронного навчального курсу (на базі платформи дистанційного навчання Moodle 3) : навчальний посібник / Н.В. Морзе, О.Г. Глазунова, М.В. Мокрієв. – К., 2016. – 240 с.
4. Фізична і колоїдна хімія / [Стрельцов О. А., Мельничук Д. О., Снітинський В. В. та ін.]. – Львів : Ліга-Прес, 2002. – 456 с.
5. Хижан О.І. Фізична і колоїдна хімія : навчальний посібник / О.І. Хижан, Л.О. Нестерова. – К. : НУБіП України, 2017. – 457 с.
6. Ковшун Л.О. Фізична і колоїдна хімія : навчальний посібник для студентів спеціальності 202 «Захист і карантин рослин» / Л.О. Ковшун, О.І. Хижан. – К. : НУБіП України, 2018. – 503 с.

References

7. Brouwer N. Online Support and Online Assessment for Teaching and Learning Chemistry / N. Brouwer, C. McDonnell // *Innovative Methods of Teaching and Learning Chemistry in Higher Education* / I. Eilks, B. Byers (Eds.). – Cambridge, UK : RSC Publishing, 2009. – P. 123–152.
8. Khyzhan O.I., Buhtiyarov V.K., Nesterova L.O. Rozrobka kursu distancijnogo navchannya z disciplini «Fizichna i koloidna himiya» v obolonci Moodle, *Herald of Khmelnytskyi National University*, 2016. Issue 5. pp. 125–128.
9. Morze N.V., Glazunova O.G., Mokriiev M.V. Metodika stvorennya elektronnoho navchalnogo kursu (na bazi platformi distancijnogo navchannya Moodle 3): Navchalnij posibnik. K., 2016, 240 p.
10. Streltsov O.A., Melnychuk D.O., Snitynskyi V.V. ta in. Fizychna i koloidna khimiiia. Lviv, Liha-Pres, 2002, 456 p.
11. Khyzhan O.I., Nesterova L.O. Fizichna i koloidna himiya. Navchalnij posibnik. K., NUBiP Ukraini, 2017, 457 p.
12. Kovshun L.O., Khyzhan O.I. Fizichna i koloidna himiya. Dlya studentiv specialnosti 202 «Zahist i karantin roslin». Navchalnij posibnik. K., NUBiP Ukraini, 2018, 503 p.

Рецензія/Peer review : 30.06.2019 р.

Надрукована/Printed : 23.07.2019 р.
Рецензент: д.х.н., проф. Максін В. І.

В. І. БУЛЬБА

Регіональна філія «Південна залізниця»

С. В. МИХАЛКІВ

Український державний університет залізничного транспорту

МОДЕЛЮВАННЯ ПОШКОДЖЕНЬ ЕЛЕМЕНТІВ ПІДШИПНИКІВ КОЧЕННЯ ТЯГОВОГО РЕДУКТОРА ЕЛЕКТРОПОЇЗДІВ

У статті здійснене моделювання зосередженого пошкодження для внутрішнього, зовнішнього кілець та роликів підшипника кочення тягового редуктора електропоїздів. Виявлене вібраційне збудження навколо резонансу, який відповідає обраній власній частоті підшипника. Проведене експериментальне дослідження підтвердило наявність аналогічного збудження на широкосмуговому спектрі навколо резонансної частоти у високочастотному діапазоні. Моделювання пошкоджень підшипників дозволяє обирати інформативну частотну смугу справжньої вібрації підшипника для подальшого застосування складних спектральних методів визначення виду пошкодження підшипника кочення.

Ключові слова: вібрація, модель, підшипник, спектр, частота.

V. I. BULBA

Regional branch "Southern Railway"

S. V. MYKHALKIV

Ukrainian State University of Railway Transport

MODELLING OF THE ROLLING BEARING ELEMENT FAULTS FOR THE TRACTION GEARBOX OF ELECTRIC TRAINS

The aim of this paper is the identification the informative frequency band by means of the numerical fault modelling of the inner, outer races and the rollers of a rolling bearing for the vibrodiagnostics purposes. The main advantage of a simulated signal is to avoid the complexity of a real environment, focusing only on the main contributions the developer decided to include. The current modelling of the bearing fault vibrations is an assumption about the series of impulse responses of a single-degree-of-freedom system, where the timing between the impulses has a random component simulating the slippery effect. The results of the modelling of localized faults on the outer, inner races and the rollers have shown the excitation around the resonance that corresponds to the selected natural frequency of the bearing. The conducted experimental research confirmed the presence of the same excitation on the spectrum around the resonance frequency in the high frequency band. The bearing fault modelling enables to select the informative frequency band of the real bearing vibration for the further application of the sophisticated techniques for the identification of the bearing fault type.

Keywords: bearing, frequency, model, spectrum, vibration.

Постановка проблеми

Нині в світі в умовах жорсткої конкуренції висуваються високі вимоги до залізничних компаній із кращого, швидшого й безпечного обслуговування за менші кошти. Залізничний рухомий склад має відповідні вузли з підшипниками кочення та зубчастим зачепленням, на які припадає висока ймовірність відмов, що може призвести до катастрофічних наслідків [1].

Тому впровадження в технологію технічного обслуговування та поточного ремонту рухомого складу достовірних засобів діагностування технічного стану згаданих вузлів є актуальним.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Відомо, що погіршення технічного стану підшипника кочення можна виявити такими підходами:

- вимірюванням температури;
- аналізом продуктів зносу;
- вимірюванням вібрації.

Визначення температури всередині або на поверхні підшипникового вузла є добре вивченим методом і більше пасує до виявлення надмірного навантаження ніж технічного стану.

Для аналізу продуктів зносу набули поширення безліч методів (гравіметричний, ферометричний, магнітний, спектрометричний, радіографічний), спільними недоліками яких є висока вартість, потреба в кваліфікованому персоналі та тривалий процес визначення технічного стану [2].

Де факто підхід із вимірювання та аналізу вібрації став основним у діагностуванні обладнання з вузлами обертання, незважаючи на легке потрапляння завад до зареєстрованої вібрації. Відтоді було запропоновано безліч алгоритмів із усунення завад для отримання корисного сигналу з наявними ознаками технічного стану в часовому, частотному та частотно-часовому просторах [3–6].

Дослідження з вібродіагностування здебільшого зосереджені на моделюванні вібраційних сигналів і вимірювань вібрації на натурних зразках. На жаль, не завжди вдається здійснювати експериментальні дослідження на стендах, де можна розкручувати підшипники кочення та обирати додаткові режими навантаження. Тому останнім часом великої популярності набули онлайн центри даних (університет Кейс Вестерн, США) із численними записами вібраційних реалізацій підшипників кочення [7]. З іншого боку, здатність моделювати вібраційні сигнали за відповідними моделями та програмним забезпеченням позбавлена негативного впливу різноманітних комплексних складових навколишнього середовища. Недолік

подібного моделювання може полягати в занадто спрощеній моделі, яка не обліковує більшість процесів, що протікають протягом реального перекочування елементів підшипників. Модель, що лягла в основу опису вібрацій підшипників кочення, була запропонована МакФадденом та Смітом [8], де підшипник асоціювався з планетарним редуктором, зокрема внутрішнє кільце із сонячною шестірнею, тіла кочення із сателітами, зовнішнє кільце з епіциклом, а сепаратор із водилом. Ця проста модель дозволяла обчислювати частоти, на яких проявляються пошкодження елементів підшипника кочення та брала до уваги ефекти модуляції внаслідок циклічного перекочування тіл кочення через навантажену зону. Недоліком цієї моделі є уявлення про повністю обертальний характер контакту тіл кочень із кільцями підшипника, що ігнорує наявні ефекти проковзування, які спричинені сепаратором. У моделі [9] запропоновано моделювати вібраційні сигнали з ознаками пошкоджень елементів підшипників як послідовність імпульсних відгуків системи з одним ступенем вільності, де тривалість між повтореннями імпульсів містить випадкову компоненту, яка моделює ефект ковзання. Наступний фундаментальний внесок у моделюванні вібрації підшипників був зроблений Антоні та Ренделлом [10], які запропонували для моделювання вібраційного сигналу підшипників кочення використовувати циклостационарний сигнал, який є випадковим процесом із періодичною автокореляційною функцією. Циклостационарність краще описує ефект ковзання і є перспективним для подальших досліджень. На жаль, по мірі деталізації моделей упроваджувати алгоритми їх реалізації стає все важчим, що може спричинити появу сигналів унаслідок неправильного моделювання, які б викривляли результати діагностування протягом експериментальних досліджень. Тому затребувано вважається реалізація такого алгоритму числової реалізації прийнятної моделі вібрації підшипника кочення, яку можна вважати еталонним для здійснення подальших експериментальних досліджень вібрації таких складних вібраційних систем, як тягові редуктори електропоїздів, які сприймають високі динамічні зусилля й можуть спричинити заклинювання колісної пари та ймовірне сходження рухомого складу з рейок.

Постановка завдання

Виявлення інформативного частотного діапазону для цілей вібродіагностування завдяки числовому моделюванню пошкоджень внутрішнього, зовнішнього кільця та тіл кочень роликів підшипника кочення.

Виклад основного матеріалу дослідження

Модель вібраційного сигналу роликів підшипника кочення містить повторення ударних сил, які викликаються контактом пошкоджень одних поверхонь з іншими, що збуджує резонанс у підшипнику та у відповідному обладнанні. Частота повторення згаданих ударів залежить від розташування пошкодження (внутрішнє, зовнішнє кільце або тіла кочення). Вібраційний відгук системи є результатом згортання між структурним резонансом та послідовністю одиничних імпульсних функцій (дельта-функція Дірака) [3]. На відміну від лінійних динамічних систем, у яких система має сталі власні частоти і вібрує на частоті прикладеного зовні гармонічного збудження, у нелінійних системах є амплітудо залежні власні частоти, які називаються «внутрішніми резонансами» і такі системи можуть вібрувати на частоті, яка відрізняється від прикладеного зовні гармонічного збудження. На практиці роликові підшипники кочення тягових редукторів електропоїздів мають внутрішні резонанси, які викликаються різними елементами (взаємодія між валом і підшипником, між роликками й доріжжками кочення), що вібрують на різних частотах з постійними амплітудами і формують нелінійний вібраційний сигнал [5].

Модель вібраційного сигналу пошкодженого підшипника кочення має вигляд [11]

$$x(t) = \sum_{i=-\infty}^{+\infty} h(t-iT-\tau_i)q(iT)+n(t), \quad (1)$$

де $h(t)$ — імпульсний відгук одиничного удару, що реєструється віброакселерометром;

$q(t)$ — обліковує періодичні модуляції, спричинені розподілом навантаження;

T — проміжок часу між двома послідовними ударами;

τ_i — враховує неточності проміжку часу між i -ми ударами внаслідок випадкового ковзання роликів;

$n(t)$ — шум.

Незважаючи на добре виражену гармонічну структуру в моделі (1), наявність незначних випадкових флуктуацій у проміжку між появою ударних імпульсів миттєво перетворює зареєстрований вібраційний сигнал на випадковий. Отже, слабкі гармонічні компоненти розташовуються у низькочастотному діапазоні, а домінуюча високочастотна циклостационарна компонента локалізується у високочастотному діапазоні й скоріше є псевдоциклостационарною.

У міру поширення локалізованого пошкодження зростає площа пошкодженої поверхні елемента підшипника кочення й посилюється вібраційне збудження. Зареєстрована вібраційна реалізація набуває повністю циклостационарних рис і зникають гострі імпульси. Подібна циклостационарність є результатом випадково розподіленої фази внаслідок різних розташувань пошкоджень на елементах підшипника протягом перекочування. Сильні періодичні компоненти генеруються відповідно до обертання валу, коли пошкодження розповсюдилося лише на обмежену ділянку поверхні елемента. Якщо підшипник сильно навантажений, тоді періодична компонента посилюється жорсткістю підшипника, на яку впливає число та розташування тіл кочень відносно навантаженої зони.

Для числової реалізації моделі (1) автори [6] розробили алгоритм, який обліковує широкий діапазон частоти обертання внутрішнього кільця підшипника кочення і, зважаючи на коливання згаданої частоти, моделювання вібраційного сигналу починається з кутового простору з подальшим переходом до часового простору після вибору конкретної величини частоти обертання.

Нехай $\theta(t)$ є кутом обертання внутрішнього кільця підшипника, тоді універсальна характеристика швидкості в кутовому просторі матиме вигляд

$$f_r(\theta) = f_c + 2\pi f_d \int \cos(f_m \theta) d\theta, \quad (2)$$

де f_c — несуча компонента частоти обертання, Гц;

f_d — відхилення частоти, Гц;

f_m — частотна модуляція, Гц.

Зважаючи на кінематичний вираз із обчислення частоти обертання внутрішнього кільця, кут між двома послідовними імпульсами отримується зі згаданої «редукторної» моделі вібраційного сигналу для пошкодження внутрішнього кільця підшипника кочення

$$\Delta\theta_{imp} = \frac{2\pi}{\frac{n_r}{2} \left(1 + \frac{d}{D} \cos\beta\right)}, \quad (3)$$

де n_r — кількість роликів підшипника кочення, од;

d — діаметр роликів, мм;

D — діаметр зовнішнього кільця підшипника кочення, мм;

Цей вираз пасує для отримання кута розташування імпульсів, які мають певну послідовність і незмінну періодичність повторювання, що цілком відповідає детермінованому сигналу. Зважаючи на потребу обліку випадкового ковзання роликів, до виразу (3) потрібно додати згадану випадкову компоненту. Ця компонента отримується генеруванням випадкових чисел, що мають нормальний розподіл із середнім значенням $\Delta\theta_{imp}$ і дисперсією $\sigma_{\Delta\theta}^2$. Оскільки швидкісна характеристика визначається через кут обертання θ за виразом (2), то період між двома імпульсами можна отримати завдяки згаданому генеруванню, с

$$\Delta T_i = \frac{\Delta\theta_i}{2\pi f_r(\theta)}, \quad (4)$$

де $\Delta\theta_i$ — i -й кут між двома послідовними імпульсами, що випадково генеруються і мають середнє значення $\sigma_{\Delta\theta}^2$.

Отже, результатом обчислення за виразом (4) є періодичність появи імпульсів у імпульсній послідовності із кутовою швидкістю, що обчислюється за виразом (2). Цей час визначає появу кожного імпульсного відгуку $h(t-iT-\tau_i)$ в часовій формі сигналу, яка генерується в середовищі MATLAB, як відгук системи з одним ступенем вільності (СОСВ), мм

$$x_{COCB}(t) = \frac{F/m}{\omega_n \sqrt{1-\zeta^2}} e^{-\zeta\omega_n t} \sin(\omega_n \sqrt{1-\zeta^2} t), \quad (5)$$

де F — амплітуда сили, що збуджує СОСВ, м/с²;

m — маса системи, кг;

ζ — коефіцієнт затухання;

ω_n — власна частота, рад/с.

Відгук системи з одним ступенем вільності (СОСВ) з розмірністю віброприскорення є другою похідною виразу (5), м/с²

$$\ddot{x}_{COCB}(t) = \frac{d}{dt} \left(\frac{d}{dt} (x_{COCB}(t)) \right) \quad (6)$$

Числове диференціювання не впливає на появу високочастотного шуму у сигналі, оскільки згенерований сигнал $x_{COCB}(t)$ позбавлений шуму. Схема розглянутої методики наведена на рис. 1. Для додавання до модельованого вібраційного сигналу шумової компоненти, яка є останньою складовою виразу (1), потрібно згенерувати випадково розподілені числа з відповідними значеннями. Потужність шуму можна обирати, змінюючи відношення сигнал-шум (SNR)

$$SNR = 10 \lg \left(\frac{P_{сигнал}}{P_{шум}} \right), \quad (7)$$

де $P_{сигнал}$ — потужність сигналу без шуму;

$P_{шум}$ — потужність шуму.



Рис. 1. Схема числової реалізації розглянутої методики

Обрані параметри моделі вібраційного сигналу роликового підшипника кочення передньої кришки тягового редуктора електропоїзда ЕР2Т для трьох видів пошкоджень наведені в табл. 1, а результати моделювання – на рис. 2.

Таблиця 1

**Параметри вібраційного сигналу для моделювання
вібрації роликового підшипника кочення типу 42520М**

Параметри	Величини
D , мм	180
d , мм	20
n_r , од	17
f_c , Гц	12,6
f_d , Гц	0,98
f_m , Гц	6,12
Жорсткість СОСВ, Н/м	$2 \cdot 10^{13}$
Коефіцієнт затухання СОСВ, s^{-1}	0,05
Власна частота СОСВ, кГц	7,6
SNR, дБ	0,5

Притаманною ознакою усіх трьох видів пошкоджень за результатами моделювання є резонансне збудження навколо власної частоти підшипника кочення. Додавання шумової складової аж ніяк не приховує згадане збудження, а лише рівномірно заповнює широкосмуговий спектр вібрації (рис. 2 г, е, і). Пошкодження внутрішнього кільця характеризується сильно вираженою амплітудною модуляцією (рис. 2 г, е), що проявляється у зміні амплітуд часової форми уздовж відповідної тривалості, що відповідає періодичній зміні розподілу навантаження. Усі часові форми вібрації на рис. 2 обліковують проковзування протягом перекочування роликів у вигляді послідовності імпульсного збудження з різною періодичністю.

Експериментальні дослідження проводились у моторвагонному депо на випробувальному стенді, куди встановлювався колісно-редукторний блок електропоїзда ЕР2Т із пошкодженим внутрішнім кільцем роликового підшипника кочення передньої кришки тягового редуктора, колісна пара розкручувалась до частоти обертання 219 об/хв. Вібрація реєструвалася у широкому частотному діапазоні 0–9 кГц віброакселерометром, що кріпився до поверхні підшипникової кришки тягового редуктора і в цифровому самописці відбувалося перетворення на цифрову форму з частотою дискретизації $f_s = 46$ кГц.

Особливості конструкції вузлів спричиняють появу безлічі шумових компонентів у зареєстрованому вібраційному сигналі, які суттєво ускладнюють процес діагностування. Після застосування фільтра Вінера широкосмуговий спектр вібраційної реалізації (рис. 3) містить резонансний сплеск із частотою 7637 Гц, і, незважаючи на наявну частоту зубозачеплення 268 Гц, йому повністю відповідають результати реалізації алгоритму числового моделювання (рис. 2) [12].

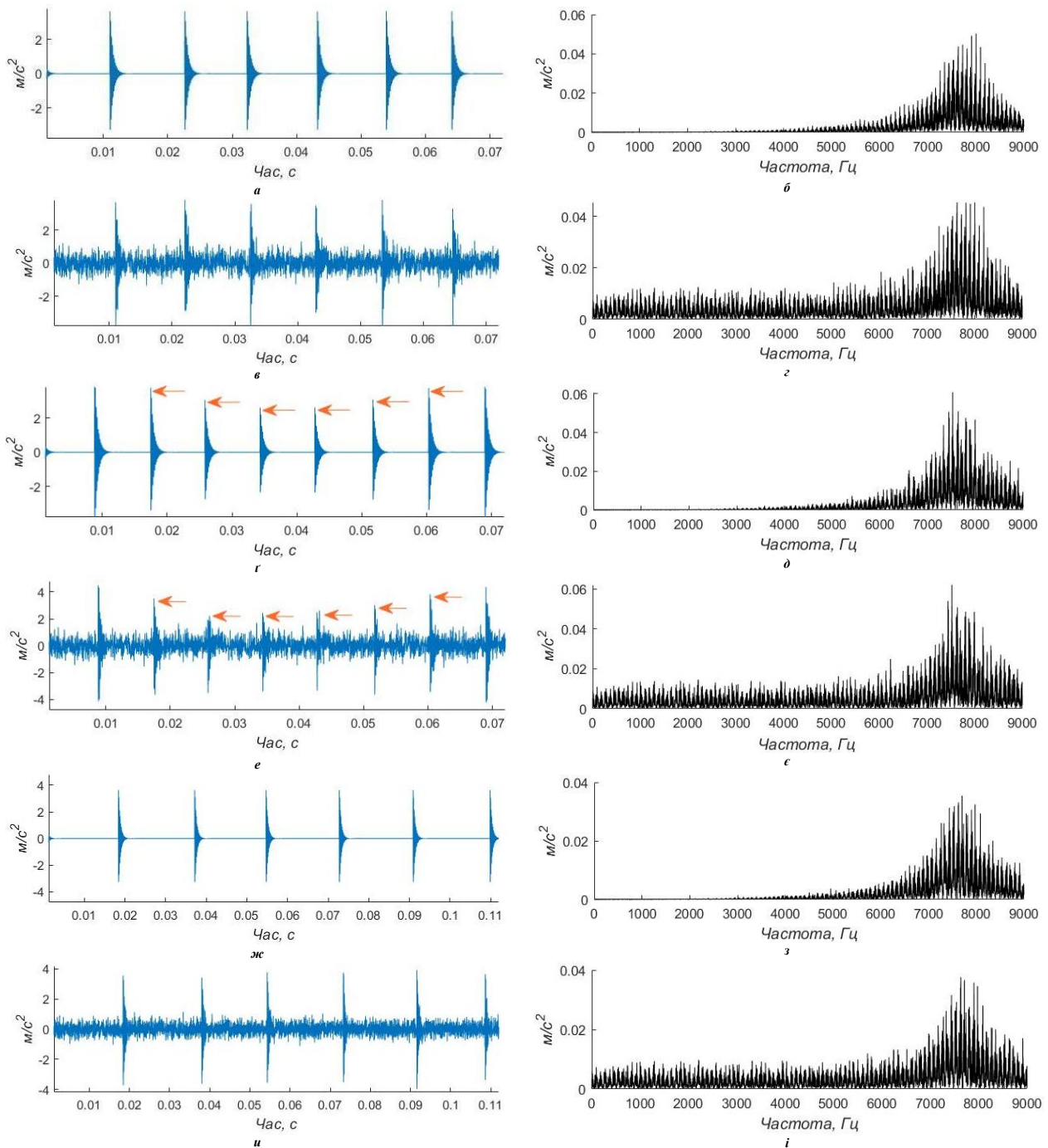


Рис. 2. Результати моделювання вібрації підшипника кочення з пошкодженнями зовнішнього, внутрішнього кільця та ролика: *a* — часова форма вібрації підшипника з пошкодженням зовнішнім кільцем без шуму; *b* — широкосмуговий спектр вібрації підшипника з пошкодженням зовнішнім кільцем без шуму; *e* — часова форма вібрації підшипника з пошкодженням зовнішнім кільцем із шумом; *z* — широкосмуговий спектр вібрації підшипника з пошкодженням зовнішнім кільцем із шумом; *r* — часова форма вібрації підшипника з пошкодженням внутрішнім кільцем без шуму; *d* — широкосмуговий спектр вібрації підшипника з пошкодженням внутрішнім кільцем без шуму; *e* — часова форма вібрації підшипника з пошкодженням внутрішнім кільцем із шумом; *c* — широкосмуговий спектр вібрації підшипника з пошкодженням внутрішнім кільцем із шумом; *ж* — часова форма вібрації підшипника з пошкодженням роликком без шуму; *з* — широкосмуговий спектр вібрації підшипника з пошкодженням роликком без шуму; *u* — часова форма вібрації підшипника з пошкодженням роликком із шумом; *i* — широкосмуговий спектр вібрації підшипника з пошкодженням роликком із шумом

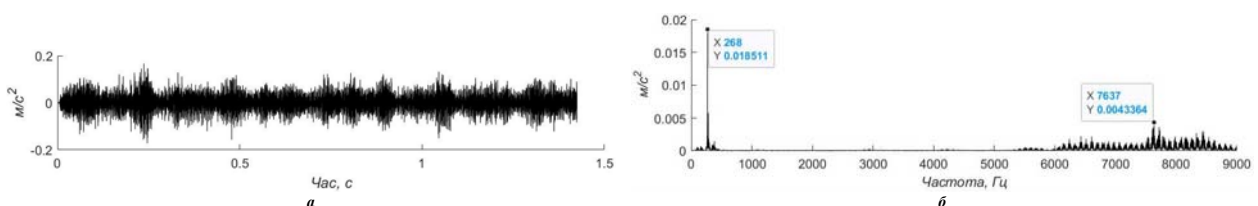


Рис. 3. Зарезонувана вібрація тягового редуктора електропоїзда протягом експериментальних досліджень: *a* — вібраційна реалізація після застосування фільтра Вінера; *b* — широкосмуговий спектр вібрації із характерними складовими зубчастого зачеплення та підшипника кочення

Висновки

Зосереджене пошкодження не елементах підшипника кочення формує відгук системи у вигляді вібрації, яка також залежить від різних типів збуджень і від шляху їх поширення і здебільшого проявляється резонансом у відповідному частотному діапазоні широкопasmового спектра вібрації, енергія якого залежить від розміру пошкодження.

Відхилення між результатами моделювання та експериментальними даними становлять не більше 0,48 %, що повністю підтверджує прийнятність застосованого алгоритму числової реалізації моделі вібрації підшипника кочення, яка обліковує випадкову компоненту в тривалості імпульсів.

Установлено, що широкопasmовий спектр вібрації дозволяє вирізняти шум серед імпульсних складових за різницею амплітуд, незважаючи на спільний частотний діапазон, однак не здатен виявляти вид пошкодження, оскільки корисний сигнал захований в безлічі сторонніх складових: синусоїдах з високою амплітудою, які генерують інші вузли обертання об'єкта, що діагностується. Залучення вузькопasmової фільтрації сигналу навколо резонансного сплеску в діапазоні 6,3–8 кГц дозволить відокремити корисний сигнал, що несе інформацію про технічний стан елементів підшипника кочення, а подальше застосування сучасних спектральних методів забезпечить визначення виду пошкодження.

Література

1. Fernandes H. M. G. Analysis of failures of rolling stock railways rolling bearings / H. M. G. Fernandes. — Porto : Universidade do Porto, 2017. — P. 107.
2. Honarvar F. New statistical moments for diagnostics of rolling element bearings / F. Honarvar, H. R. Martin // Journal of Manufacturing Science and Engineering. — 1997. — Vol. 119(3). — P. 425–432.
3. Dron J.-P. Improvement of the sensitivity of the scalar indicators (crest factor, kurtosis) using a de-noising method by spectral subtraction: application to the detection of defects in ball bearings / J.-P. Dron, F. Bolaers, I. Rasolofondraibe // Journal of Sound and Vibration. — 2004. — Vol. 270(1-2). — P. 61–73.
4. Bolaers F. Comparison of denoising methods for the early detection of fatigue bearing defects by vibratory analysis / F. Bolaers, O. Cousinard, P. Estocq, X. Chimentin, J.-P. Dron // Journal of Vibration and Control. — 2011. — Vol. 17(13). — P. 1983–1993.
5. Caesarendra W. Application of the largest Lyapunov exponent algorithm for feature extraction in low speed slew bearing condition monitoring / W. Caesarendra, B. Kosasih, A. K. Tieu, C. A. S. Moodie // Mechanical Systems and Signal Processing. — 2015. — Vol. 50-51. — P. 116–138.
6. D'Elia G. An algorithm for the simulation of faulted bearings in non-stationary conditions / G. D'Elia, M. Cocconcelli, E. Mucchi // Meccanica. — 2018. — Vol. 53(4). — P. 1147–1166.
7. Smith W. A. Rolling element bearing diagnostics using the Case Western Reserve University data: a benchmark study / W. A. Smith, R. B. Randall // Mechanical Systems and Signal Processing. — 2015. — Vol. 64-65. — P. 100–131.
8. McFadden P. D. Vibration monitoring of rolling element bearings by the high-frequency resonance technique — a review / P. D. McFadden, J. D. Smith // Tribology International. — 1984. — Vol. 17(1). — P. 3–10.
9. Ho D. Optimisation of bearing diagnostic techniques using simulated and actual bearing fault signals / D. Ho, R. B. Randall // Mechanical Systems and Signal Processing. — 2000. — Vol. 14(5). — P. 763–788. — URL : <https://doi.org/10.1006/mssp.2000.1304>
10. Antoni J. A Stochastic Model for Simulation and Diagnostics of Rolling Element Bearings with localized faults / J. Antoni, R. B. Randall // Journal of Vibration and Acoustics. — 2003. — Vol. 125(3). — P. 282–289. — URL : <https://doi.org/10.1115/1.1569940>
11. Antoni J. Cyclic spectral analysis of rolling-element bearing signals: Facts and fictions / J. Antoni // Journal of Sound and Vibration. — 2007. — Vol. 304. — P. 497–529. — URL : <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2007.02.029>
12. Михалків С. В. Застосування спектрального ексцесу для вібродіагностування тягового редуктора електропоїзда / С. В. Михалків, А. П. Фалендиш, В. І. Бульба, А. М. Ходаківський // Технічні науки та технології. — 2019. — № 1(15). — С. 73–79.

References

1. Fernandes H. M. G. Analysis of failures of rolling stock railways rolling bearings / H. M. G. Fernandes. — Porto : Universidade do Porto, 2017. — P. 107.
2. Honarvar F. New statistical moments for diagnostics of rolling element bearings / F. Honarvar, H. R. Martin // Journal of Manufacturing Science and Engineering. — 1997. — Vol. 119(3). — P. 425–432.
3. Dron J.-P. Improvement of the sensitivity of the scalar indicators (crest factor, kurtosis) using a de-noising method by spectral subtraction: application to the detection of defects in ball bearings / J.-P. Dron, F. Bolaers, I. Rasolofondraibe // Journal of Sound and Vibration. — 2004. — Vol. 270(1-2). — P. 61–73.
4. Bolaers F. Comparison of denoising methods for the early detection of fatigue bearing defects by vibratory analysis / F. Bolaers, O. Cousinard, P. Estocq, X. Chimentin, J.-P. Dron // Journal of Vibration and Control. — 2011. — Vol. 17(13). — P. 1983–1993.
5. Caesarendra W. Application of the largest Lyapunov exponent algorithm for feature extraction in low speed slew bearing condition monitoring / W. Caesarendra, B. Kosasih, A. K. Tieu, C. A. S. Moodie // Mechanical Systems and Signal Processing. — 2015. — Vol. 50-51. — P. 116–138.
6. DELIA G. An algorithm for the simulation of faulted bearings in non-stationary conditions / G. DELIA, M. Cocconcelli, E. Mucchi // Meccanica. — 2018. — Vol. 53(4). — P. 1147–1166.

7. Smith W. A. Rolling element bearing diagnostics using the Case Western Reserve University data: a benchmark study / W.A. Smith, R. B. Randall // *Mechanical Systems and Signal Processing*. — 2015. — Vol. 64-65. — P. 100—131.
8. McFadden P. D. Vibration monitoring of rolling element bearings by the high-frequency resonance technique — a review / P.D. McFadden, J. D. Smith // *Tribology International*. — 1984. — Vol. 17(1). — P. 3—10.
9. Ho D. Optimisation of bearing diagnostic techniques using simulated and actual bearing fault signals / D. Ho, R. B. Randall // *Mechanical Systems and Signal Processing*. — 2000. — Vol. 14(5). — R. 763—788. — URL : <https://doi.org/10.1006/mssp.2000.1304>
10. Antoni J. A Stochastic Model for Simulation and Diagnostics of Rolling Element Bearings with localized faults / J. Antoni, R.B. Randall // *Journal of Vibration and Acoustics*. — 2003. — Vol. 125(3). — R. 282—289. — URL : <https://doi.org/10.1115/1.1569940>
11. Antoni J. Cyclic spectral analysis of rolling-element bearing signals: Facts and fictions / J. Antoni // *Journal of Sound and Vibration*. — 2007. — Vol. 304. — R. 497—529. — URL : <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2007.02.029>
12. Mykhalkiv S. V. Zastosuvannya spektralnoho ekstsesu dlia vibrodiahnostuvannia tiahovoho reduktora elektroizoizda / S.V. Mykhalkiv, A. P. Falendysh, V. I. Bulba, A. M. Khodakivskyi // *Tekhnichni nauky ta tekhnolohii*. — 2019. — № 1(15). — S. 73—79.

Рецензія/Peer review : 30.05.2019 р.

Надрукована/Printed : 23.07.2019 р.
Рецензент: д. т. н., проф. О. В. Устенко

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 № 12 від 26.06.2019 р.

Підп. до друку 30.10.2019 р. Ум. друк. арк. 39,65 Обл.-вид. арк. 38,82
Формат 30×42/4, папір офсетний. Друк різнографією.
Наклад 100, зам. № _____

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