

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

# **ВІСНИК**

**КИЇВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ  
ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ**

**№ 1 (130), 2019**

**Частина 2 (серія «Технічні науки»)**

**DOI:10.30857/1813-6796.2019.1**

Наукове фахове видання

Періодичність виходу: 6 разів на рік

Дата заснування: грудень 1999 р.

*Київ 2019*

**Засновником журналу «ВІСНИК Київського національного університету технологій та дизайну» є**

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ**

Науковий фаховий журнал є правонаступником видання «Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности», який видавався з березня 1958 року у Київському технологічному інституті легкої промисловості (СРСР)

**№1 (130), 2019**

Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації: серія KB №19330–9130 ПР від 08.08.2012 р.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи: ДК № 993 від 24.07.2002 р.

**Журнал входить до переліку наукових фахових видань України.** Наказ МОН України від 18.12.2018 № 1412 (додаток 10, рішення щодо подовження) – фаховість із технічних наук ( категорія Б).

**ISSN 1813-6796 print  
ISSN 2617-9105 online**

Журнал зареєстровано в Міжнародному центрі періодичних видань (ISSN International Centre, Париж, Франція)

Журнал реферується та індексується у наступних міжнародних базах даних: Ulrich's Periodicals Directory, EBSCOhost, WorldCat, РИНЦ, Index Copernicus, Research Bible, SJIF, PBN, JIF, OAJI, InfoBase Index, ISI, UIF, CiteFactor, Google Scholar, Crossref

**Засновник і видавець:**

Київський національний університет технологій та дизайну  
Україна, 01011, м. Київ, вул. Немировича-Данченка, 2

**Головний редактор:**

**Грищенко І. М.**, д.е.н., професор, академік НАПН України

**Заступник**

**головного редактора:**

**Злотенко Б. М.**, д.т.н., професор

**Відповідальний  
секретар:**

**Василенко В. М.**, к.т.н.

Тематична спрямованість журналу «Вісник КНУТД»: Мехатронні системи. Ресурсозбереження та енергоефективність. Матеріалознавство індустрії моди, технологій виробництва текстилю, одягу та взуття. Хімічні та біофармацевтичні технології

Видання орієнтоване на науковців, викладачів, аспірантів, студентів, а також науково-практичних працівників і фахівців відповідних галузей промисловості.

**АДРЕСА РЕДАКЦІЇ:**

01011, м. Київ, вул. Немировича-Данченка, 2, корп. 1, к. 1-0252

тел./факс: +38 (044) 256-29-86

e-mail: [vistnuk@knutd.edu.ua](mailto:vistnuk@knutd.edu.ua)

<http://vistnyk.knutd.edu.ua/>

**Рекомендовано до друку Вченою радою Київського національного університету технологій та дизайну, протокол № 7 від 27.02.2019 р.**

Матеріали друкуються мовою оригіналу. Відповідальність за переклад, достовірність фактів, цитат, власних імен, географічних назв, назв підприємств, організацій, установ та іншої інформації несуть автори статей. Передруки та переклади статей дозволяються лише за згодою автора (-ів) та редакції.

**MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE**

# **BULLETIN**

**of the KYIV NATIONAL UNIVERSITY  
of TECHNOLOGIES and DESIGN**

**Issue 1 (130), 2019 Part 2.  
Technical Science Series**

**DOI:10.30857/1813-6796.2018.6**

Scientific Specialized Edition

Issued: 6 times a year

Founded: December, 1999

*Kyiv 2019*

**The owner of «BULLETIN of the Kyiv National University of Technologies and Design» is**

**KYIV NATIONAL UNIVERSITY OF TECHNOLOGIES AND DESIGN**

This Scientific Specialized Journal is the successor of the edition «Proceedings of Higher educational establishments. Technology of the light industry», which was published by Kiev Technological Institute of Light Industry from March, 1958 (USSR)

**№1 (130), 2019**      The state registration of print media is KB № 19330-9130 ПП, originating date 08.08.2012

License for publishing activity is ДК № 993, originating date 24.07.2002

The journal is listed & reregistered in Higher Attestation Commission of Ukraine:

- № 1412, originating date 18.12.2015. Fields: Technical Science.

---

**ISSN 1813-6796 print**  
**ISSN 2617-9105 online**

The journal is registered in ISSN International Centre, Paris.

The journal is abstracted and indexed by Ulrich's Periodicals Directory, EBSCOhost, WorldCat, РИИЦ, Index Copernicus, Research Bible, SJIF, PBN, JIF, OAJI, InfoBase Index, ISI, UIF, CiteFactor, Google Scholar, Crossref

---

**Owner and Publisher:**

Kyiv National University of Technologies and Design  
Ukraine, 01011, Kyiv, 2, Nemyrovych-Danchenka, Str.

---

**Editor-in- Chief:**

**Ivan M. Gryshchenko** - Dr., professor, Member of NAPS of Ukraine

---

**Deputy Editor:**

**Borys M. Zlotenko** - Dr., professor

---

**Executive secretary:**

**Viktoria M. Vasylenko** - PhD

---

Scientific fields: Mechatronic systems. Energy Efficiency and Resource-saving Technologies. Material science in the textile, clothing and footwear manufacturing industries. Chemical and biopharmaceutical technologies

The journal is aimed at a wide range of researchers, professors, students, and graduate students and to bring the results of scientific research carried out under a variety of intellectual traditions and organizations of procedures to the attention of a specialized readership.

**EDITORIAL OFFICE:**

01011, Ukraine, Kyiv, 2, Nemyrovych-Danchenka, Str., office 1-252

Tel./fax: +38 (044) 256-29-86

e-mail: [vistnuk@knutd.edu.ua](mailto:vistnuk@knutd.edu.ua)

<http://vistnyk.knutd.edu.ua/>

---

**Recommendations from Science Council of Kyiv National University of Technologies and Design, Protocol № 7, originating date 27.02.2019.**

---

Articles are published in the original language. The authors are responsible for the translation, authenticity of facts, quotations, proper names, geographic names, names of enterprises and other information.

The Editorial Office's and author's consent is needed prior to republishing or translating the articles.

## **ЗМІСТ**

### **МЕХАТРОННІ СИСТЕМИ. РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ**

1. **ВАСИЛЕНКО В. І.** Інформаційне забезпечення впровадження енергозберігаючих заходів в бюджетних установах міста з використанням рангового аналізу 9
2. **ВОЛЯНИК О. Ю.** Експериментальне дослідження інтенсивності оброблення матеріалу в автоматичній пральній машині 18
3. **СЕБКО В. В., ЗДОРЕНКО В. Г.** Реалізація вихорострумowego методу контролю на основі визначення компонентів різницевого сигналу трипараметрового перетворювача з трубчастим виробом 26

### **МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО ІНДУСТРІЇ МОДИ, ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОБНИЦТВА ТЕКСТИЛЮ, ОДЯГУ ТА ВЗУТТЯ**

4. **АРАБУЛІ С. І., СУПРУН Н. П., ОЧЕРЕТНА Л., АРАБУЛІ А. Т.,  
КУЧЕРЕНКО В. І.** Порівняльний аналіз фізичних властивостей матеріалів для лікарняної постільної білизни 36
5. **ПЕРВАЯ Н. В., НІКОНОВА А. В., АНДРЕЄВА О. А.** Дослідження впливу процесів рідинного оздоблення на властивості натуральної шкіри 46
6. **СЕМЕШКО О. Я.** Дослідження впливу хімічної будови кислотних барвників на світлостійкість забарвлень 56

### **ХІМІЧНІ ТА БІОФАРМАЦЕВТИЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ**

7. **ЧУЛЄЄВА О. В., ПЛАВАН В. П.** Моделювання електрофізичних перетворень в пожежобезпечних композиціях кополімеру етилену з вінілацетатом та тригідратів оксиду алюмінію 64

УДК 621.38

ВАСИЛЕНКО В. І.

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
**ІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВПРОВАДЖЕННЯ  
ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ЗАХОДІВ В БЮДЖЕТНИХ  
УСТАНОВАХ МІСТА З ВИКОРИСТАННЯМ РАНГОВОГО  
АНАЛІЗУ**

**Мета.** Розробка програмного комплексу для підвищення ефективності енергоспоживання району міста за рахунок впровадження оптимальних енергозберігаючих заходів. У статті розглянуто проблему підвищення ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів в Україні, обґрунтовано доцільність раціонального використання енергії у споживачів енергоресурсів, адже існуючий потенціал енергозбереження достатньо великий.

**Методика.** У статті використовується системно-структурний підхід щодо вирішення задачі підвищення енергоефективності окремого сектору енергоспоживання району міста. У якості математичного апарату застосовується ранговий аналіз, під яким розуміється метод дослідження техноценозу енергоспоживання, що передбачає подальшу його оптимізацію на основі критеріїв форми гіперболічних  $H$ -розподілів.

**Результати.** Представлено програмний комплекс «Smart Technocenosis» для оптимізації техноценозу енергоспоживання району міста на прикладі Солом'янського району міста Києва, який призначений для аналізу та підвищення енергетичної ефективності споживання енергоресурсів об'єктів бюджетної сфери. Також розглянуто приклад розрахунків по параметру електроспоживання, отриманих на основі програмного комплексу.

**Наукова новизна.** Розроблено та запропоновано використовувати програмний комплекс «Smart Technocenosis» для розрахунку потенціалу енергозбереження та виявлення аномальних об'єктів по споживанню електричної енергії, теплової енергії та газу.

**Практична значимість.** При використанні в програмі енергозбереження районів міста Києва програмного комплексу «Smart Technocenosis» можна досягти скорочення споживання енергетичних ресурсів для об'єктів бюджетної сфери, зменшення грошових витрат на паливно-енергетичні ресурси та підвищення рівня комфорту в будівлях бюджетної сфери за умов дотримання санітарно-гігієнічних норм.

**Ключові слова:** паливно-енергетичні ресурси, енергетична ефективність, раціональне використання енергоресурсів, енергозбереження, техноценологічний підхід, ранговий аналіз, гіперболічні  $H$ -розподіли.

**Вступ.** Постановка проблеми та її зв'язок з важливими науковими та практичними завданнями. Початок ґрунтовних наукових досліджень щодо питань забезпечення енергозбереження та енергоефективності припадає на початок 1990-х років з часу здобуття Україною незалежності. Дослідження здійснювалися низкою наукових установ та організацій, органами державної влади та місцевого самоврядування. Проблеми енергоефективності та енергозбереження розглядаються в роботах провідних зарубіжних та вітчизняних фахівців, зокрема А. Алмейди, Г. Бабієва, С. Бевза, В. Бодрова, С. Денисюка, Г. Дзяни, В. Жовтянського, І. Заремби, М. Ковалка, М. Кулика, О. Єрохіна, Б. Лапунша, В. Микитенко, А. Праховника, М. Рапцуна, І. Розпутенка, Ю. Синяка, Г. Ситника, О. Суходолі, А. Шидловського та ін. Нині наукові розробки упроваджуються на загальнодержавному рівні, зокрема: державні програми з енергозбереження; диференційовані тарифи на електроенергію, що стимулюють енергозбереження; концепції,

технічні вимоги та типові рішення щодо побудови автоматизованих систем обліку енергетичних ресурсів в умовах функціонування світового енергоринку. Науково-дослідні та енергетичні організації працюють над проблемами сучасної енергетики, розробкою і впровадженням нових видів енергії, а також заходів із енергозбереження в Україні [1].

Десятиліття неефективного використання енергоресурсів створили в Україні суттєвий невикористаний потенціал енергозбереження, обумовлений як технологічною недосконалістю основних виробничих фондів, так і традиційним марнотратством енергоресурсів, погано налагодженим і не забезпеченим сучасними технічними засобами обліком і контролем використання палива і енергії. Низький, у порівнянні з зарубіжними країнами (в 5 – 8 разів нижчий за окремими технологіями), рівень енергоефективності економіки України призводить до високих затрат на енергозабезпечення, сприяє порушенню стійкого енергопостачання населення і економіки країни, ускладнює збереження енергетичної безпеки. Підвищення енергоефективності збільшує рентабельність, конкурентоспроможність, кількість робочих місць, вивільняє кошти для розвитку бізнесу. Особливо велике значення має проблема раціонального використання енергії у споживачів енергоресурсів, оскільки втрати енергії при її використанні, як правило, перевищують її втрати при виробництві та розподілі [2 – 5]. На рис.1 наведено паливно-енергетичний баланс міста Києва за видами спожитих енергетичних ресурсів та обсяги споживання газу різними підприємствами та установами міста Києва. Як бачимо з рисунку, обсяги споживання газу складають більше 50 % від загального обсягу спожитих енергетичних ресурсів [6].

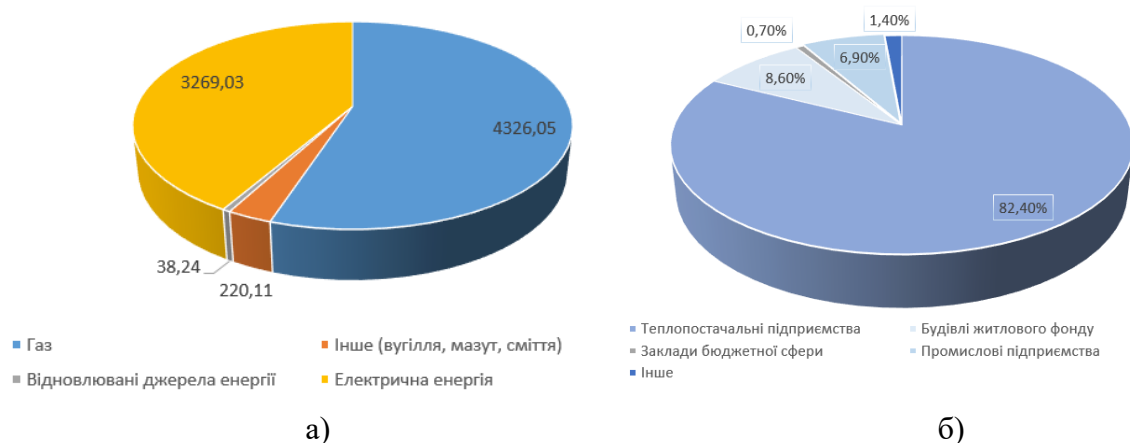


Рис. 1. Складові балансу споживання за видами паливно-енергетичних ресурсів м. Києва [6]:

- а) паливно-енергетичний баланс споживання енергоресурсів, тис. т.у.п.,
- б) обсяги споживання газу різними організаціями та установами у %

Не можна сказати, що в Україні не відбуваються позитивні зміни у сфері ефективного використання паливно-енергетичних ресурсів. В листопаді 2015 року прийнятий новий Національний план дій з енергоефективності до 2020 року [7]. Він визначає основні загальнодержавні цілі з ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів та енергозбереження. В якості основної цільової мети для досягнення у 2020 році визначена

національна індикативна мета енергозбереження – на рівні 9% середнього показника кінцевого внутрішнього енергоспоживання за період 2005 – 2009 років.

Отже, підвищення ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів на сучасному етапі є одним із найважливіших стратегічних завдань соціально-економічного розвитку України і є пріоритетним в економічній політиці м. Києва. Але якщо для промислового виробництва реальним результатом енергозбереження є зниження енергоємності продукції, то в бюджетній сфері стимулювати економію енергоресурсів складніше.

Актуальність проблеми енергозбереження для будівель бюджетних організацій, з одного боку, обумовлена соціальною значущістю цих об'єктів, з іншого боку, марнотратне споживання енергії та відсутність системного підходу до реалізації енергозберігаючих заходів є одними з основних причин дефіциту бюджетів усіх рівнів. Зважаючи на те, що останнім часом нові об'єкти бюджетної сфери в експлуатацію майже не вводяться, основні резерви енергозбереження знаходяться у сфері вдосконалення енергоспоживання раніше побудованих будівель бюджетних установ. На рис. 2 приведено укрупнений баланс комплексного споживання енергоресурсів міста Києва. Як бачимо, заклади бюджетної сфери споживають 0,7% газу, 23,7% теплової енергії та 26,7 % електричної енергії від загального споживання по м. Києву [6].

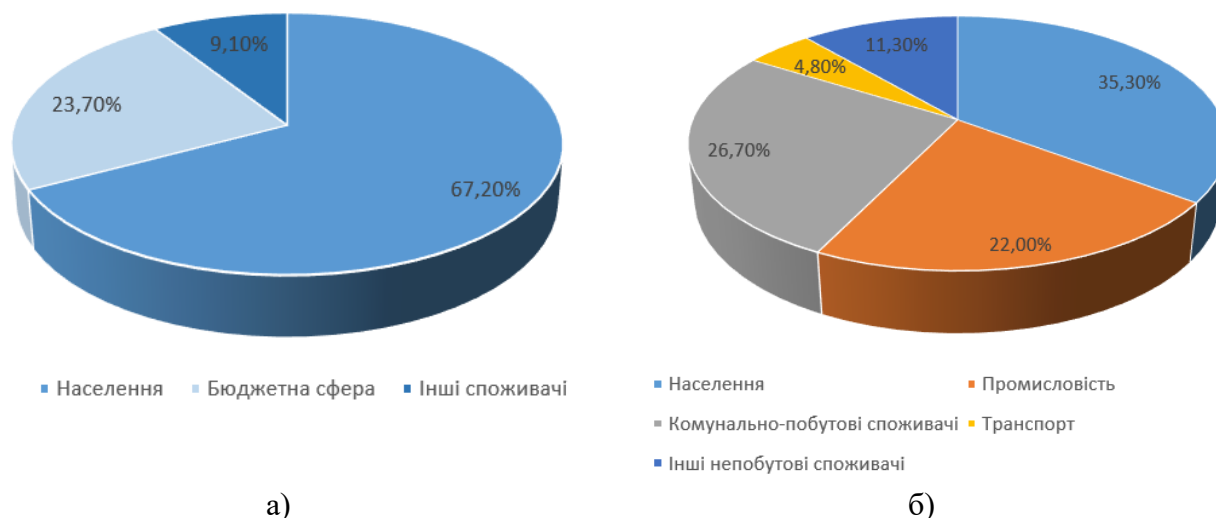


Рис. 2. Структура споживання енергоресурсів у м. Києві у % [6]:

- а) баланс споживання теплової енергії різними споживачами,  
б) баланс споживання електричної енергії різними організаціями та установами

**Мета дослідження, виклад основних результатів та їх обґрунтування.** Метою даного дослідження є розробка та впровадження програмного комплексу для підвищення ефективності енергоспоживання району міста за рахунок застосування оптимальних енергозберігаючих заходів.

Для того щоб переламати негативні тенденції в галузі енергозбереження і істотно підвищити енергоефективність окремого сектору енергоспоживання, потрібно впровадити в системи управління енергоспоживання об'єктів бюджетної сфери методику оптимального

управління енергоспоживання, що включає етапи створення бази даних, виявлення аномальних об'єктів та впровадження енергозберігаючих заходів.

Сучасні системи енергопостачання (зокрема бюджетних установ та закладів) містять значну кількість елементів і являють собою складні системи, для аналізу яких можливе застосування системно-структурного підходу [8]. Цей підхід полягає в тому, що елементи всередині таких систем можуть бути класифіковані для визначення структури. При цьому властивості системи не визначаються адитивно через властивості елементів і їх зав'язків, але є їх наслідком і в значній мірі породжені структурою системи. З цієї точки зору ценологічний підхід [9], заснований на аналізі структурних закономірностей, – один з можливих шляхів системного аналізу. Відповідно до прийнятої термінології в цьому випадку складні системи називають ценози, а стосовно до технічних об'єктів – техноценози.

Під техноценозом розуміється регіон в цілому, місто, район, велике підприємство, організація, фірма, аграрна інфраструктура, угруповання військ, мережа магазинів або заправок станцій і т.п. Існують строгі математичні процедури, що дозволяють виділяти, перевіряти та описувати техноценози [10].

У якості математичного апарату застосовується ранговий аналіз, під яким розуміється метод дослідження техноценозу, що передбачає подальшу його оптимізацію на основі критеріїв форми гіперболічних  $H$ -розподілів [9 – 11].

Дослідження техноценозу – це дослідження цілого, конкретного об'єкта, що має інтегративні властивості, дослідження, що припускає рух від цілого до частин при вивченні дуже складних імовірнісних технічних систем [12].

Для вирішення поставленої задачі було розроблено програмний комплекс «Smart Technocenosis» для втілення комплексу заходів для реалізації потенціалу енергозбереження. Основна мета: скорочення споживання енергоресурсів об'єктами бюджетної сфери, зменшення витрат на паливно-енергетичні ресурсів та підвищення рівня комфорту в будівлях бюджетної сфери за умови дотримання санітарно-гігієнічних норм. Об'єктами дослідження є будівлі бюджетних установ та закладів, інженерні споруди різного функціонального призначення (тепло-, енерго-, водопостачання), пов'язані з підвищенням ефективності використання палива та енергії одного з районів міста Києва. Блок-схема роботи програмного комплексу «Smart Technocenosis» показана на рис. 3.

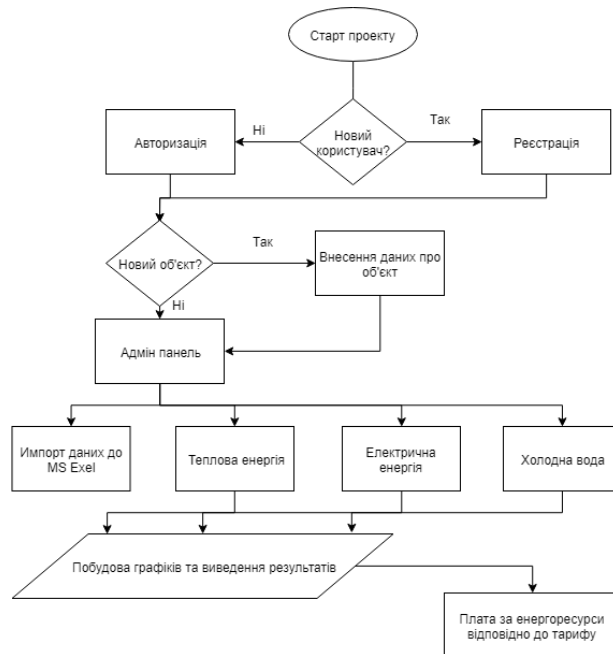


Рис. 3. Блок-схема роботи програми «Smart Technocenosis»

Запропонована нами програма «Smart Technocenosis», призначена для аналізу споживання енергоресурсів об'єктів бюджетної сфери, спрямована на досягнення таких результатів: зменшення споживання теплової та електричної енергії бюджетними закладами; покращення матеріально-технічної бази та інженерних мереж бюджетних закладів; підвищення рівня обізнаності працівників бюджетної сфери з питань енергоефективності.

На основі оброблених даних з формату «XLSX» програма здатна будувати апроксимаційні криві по кожному з видів енергоресурсів а також розраховувати довірчий інтервал для фактичного споживання. Приклад розрахунків по одному з видів енергоресурсів представлено на рис. 4.

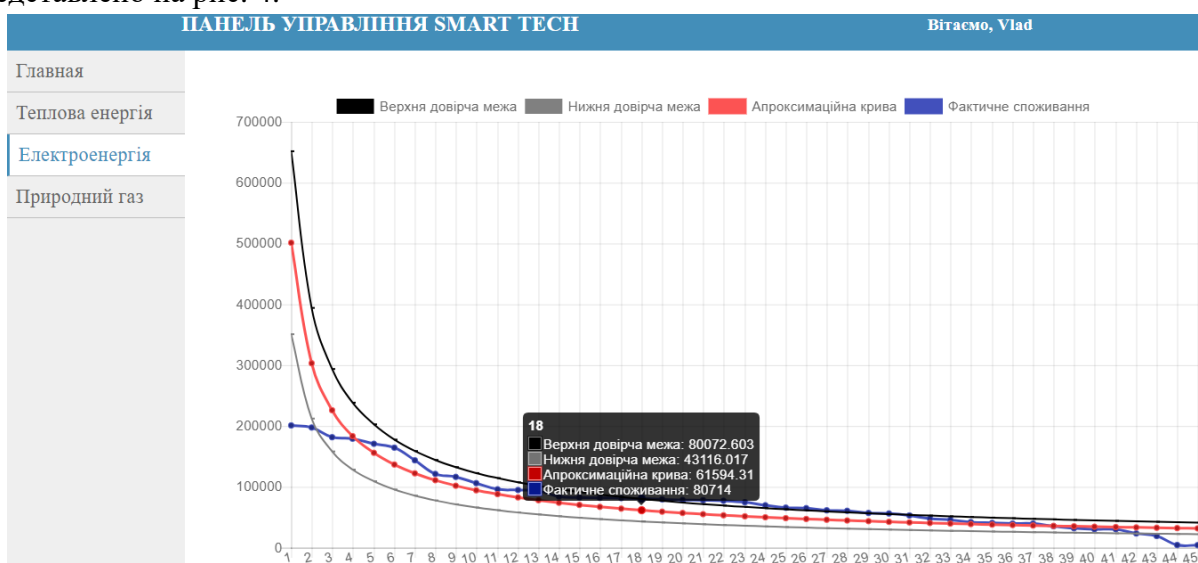


Рис. 4. Фрагмент програми «Smart Technocenosis» – ранговий аналіз по параметру електроспоживання

Програма виводить на екран розрахункові дані по потенціалу енергозбереження для кожного об'єкту (починаючи від найбільшого до найменшого) і пропонує найбільш доцільні заходи з енергозбереження, враховуючи критерії оптимальності. При цьому в реальному масштабі часу здійснюються процедури формування бази даних по енергоспоживанню, виявлення аномальних об'єктів енергоспоживання та виводяться на екран пропозиції щодо запровадження енергозберігаючих технологій (перелік оптимальних пропозицій щодо запровадження енергозберігаючих технологій наведено у таблиці). Це дає можливість отримувати від процесу енергозбереження нові ресурси бюджетної економії і додаткові конкурентні переваги, створює передумови оптимального витрачання коштів на проведення енергоаудиту та подальше впровадження енергозберігаючих технологій.

Таблиця

**Енергозберігаючі заходи для об'єктів бюджетної сфери**

№	Назва заходу з енергозбереження	Вид енергоресурсу, який економиться	Вид заходу	Середній термін окупності заходу
1	2	3	4	5
1.	Проведення навчання відповідальних осіб за енергозбереження за програмою енергозбереження	електрична енергія	малозатратний	до 1 року
		теплова енергія		
		газ		
2.	Встановлення лічильників витрати палива, електроенергії, води, тепла	електрична енергія	малозатратний	2-3 роки
		теплова енергія		
		вода		
3.	Утеплення огорожувальних конструкцій і перекриттів будинків	теплова енергія	крупнозатратний	5-15 років
		газ		
4.	Реконструкція електричних мереж	електрична енергія	крупнозатратний	5-7 років
5.	Встановлення теплових відбивачів між опалювальними приладами і стіною	теплова енергія	малозатратний	до 1 року
6.	Зменшення кількості особистих побутових приладів	електрична енергія	малозатратний	до 1 року
7.	Зниження втрат тепла з інфільтрацією повітря шляхом ущільнення дверей і віконних стиків	теплова енергія	малозатратний	до 1 року
8.	Поліпшення теплової ізоляції стін, підлог і орищ	теплова енергія	крупнозатратний	5-15 років
9.	Промивання трубопроводів внутрішніх систем опалення будівель	теплова енергія	малозатратний	до 1 року
10.	Зняття декоративних огорож з радіаторів опалення	теплова енергія	малозатратний	до 1 року
11.	Заміна дерев'яних вікон на сучасні склопакети	теплова енергія	середньозатратний	5 років
12.	Встановлення теплових завіс	теплова енергія	крупнозатратний	2-3 роки

**Висновки та перспективи подальших досліджень.** Впровадження заходів з енергозбереження та реалізації потенціалу енергоефективності дозволить підвищити рівень енергобезпеки об'єктів; забезпечити надійну, безперебійну і ефективну роботу систем теплопостачання, електропостачання, газопостачання, водопостачання і водовідведення

об'єктів бюджетної сфери; скоротити витрати на оплату енергетичних ресурсів і комунальних послуг в результаті реалізації енергозберігаючих заходів.

Перевагами програмного комплексу «Smart Technocenosis» є те, що при необхідності доробки будь-якого блоку, працездатність програмного забезпечення не зміниться. Також характерною особливістю програми є те, що при зміні даних по споживанню програма не починає весь процес з початку від реєстрації користувача до виводу графіків, а лише змінює ті точки на графіках, які зазнали змін. Недоліком програми являється вузька направленість дій самої програми. В загальному, можна зробити висновки, що використання техноценологічного методу та проведення рангового аналізу в якості математичного апарату є оптимальне для відображення процесу функціонування об'єктів техноценозу в майбутньому з урахуванням можливих змін технології, інфраструктури, а також використання ресурсів.

Програмний комплекс «Smart Technocenosis» можна широко застосовувати для вирішення задач проектування та модернізації енергетичних систем, а також для підвищення надійності їх експлуатації та впровадження енергозберігаючих заходів.

В подальшому планується удосконалити програмний комплекс за рахунок поєднання та виділення частки споживання основних енергетичних ресурсів на об'єктах дослідження та впровадження механізму розрахунку потенціалу енергозбереження, а отже і вибору найкращих енергозберігаючих заходів для підвищення ефективності енергоспоживання району міста.

#### Література

1. Кицкай Л. І. Енергоефективність в Україні: аналіз, проблеми та шляхи підвищення / Л.І. Кицкай // Економіка та інноваційний розвиток національного господарства. – 2013. – №3 (41) – С. 32 – 37.
2. Праховник А. В. Енергозбереження – нетрадиційний погляд та інша стратегія / А.В. Праховник // Енергетика та електрифікація. – 2008. – № 4. – С. 30 – 32.
3. Жовтянський В. А. Енергозбереження в Україні: здобутки, проблеми, перспективи виробництва альтернативних видів палива плазмовими методами / В. А. Жовтянський // Ринок інсталяційний. – 2007. – № 11. – С. 8 – 11.
4. Енергозбереження – пріоритетний напрямок державної політики України [Текст] / М.П. Ковалко, С.П. Денисюк; відп. ред. А. К. Шидловський; НАН України, АТ "Укренергозбереження". – К.: УЕЗ, 1998. – 506 с.
5. Стратегія енергозбереження в Україні: Аналітично-довідкові матеріали. Колективна монографія в 2 т. за ред. В. А. Жовтянського, М. М. Кулика, Б. С.

#### References

1. Kytskai L. I. Enerhoefektyvnist v Ukraini: analiz, problemy ta shliakhy pidvyshchennia [Energy efficiency in Ukraine: analysis, problems and ways to improve]. Economics and innovative development of the national economy. – 2013. – Vol. 3 (41). – pp. 32 – 37. [in Ukrainian].
2. Prakhovnyk A. V. Enerhozberezhennia – netradytsiinyi pohliad ta insha stratehiia [Energy saving – an unconventional view and another strategy]. Power engineering and electrification. – 2008. – Vol. 4. – pp. 30 – 32. [in Ukrainian].
3. Zhovtianskyi V.A. Enerhozberezhennia v Ukraini: zdobutky, problemy, perspektyvy vyrobnytstva alternatyvnykh vydiv palyva plazmovyimi metodamy [Energy Saving in Ukraine: Achievements, Problems, Prospects for Production of Alternative Fuels by Plasma Methods]. Market installation. – 2007. – Vol. 11. – pp. 8 – 11. [in Ukrainian].
4. Kovalko M. P., Denysiuk S. P. (1998) Enerhozberezhennia – priorytetnyi napriamok derzhavnoi polityky Ukrainy. [Energy saving is a priority direction of the state policy of Ukraine]. Kyiv. Ukrenerhozberezhennia, 506 p. [in Ukrainian].
5. Stratehiia enerhozberezhennia v Ukraini: Analitychno-dovidkovi materialy Kolektyvna monohrafiia [Analytical and reference materials Collective monograph]. (2006) za

Стогнія. – Т.1: Загальні засади енергозбереження. – К.: Академперіодика, 2006. – 510 с.; Т. 2: Механізми реалізації політики енергозбереження. – К.: Академперіодика, 2006. – 600 с.

6. Міський енергетичний план Києва на 2012 – 2016 роки [Електронний ресурс] / Режим доступу: [http://kmr.ligazakon.ua/SITE2/1\\_docki2.nsf/2cb81fc6e918119e422569b20056482e/37c2818a01f88ddac2257b18006df501?OpenDocument](http://kmr.ligazakon.ua/SITE2/1_docki2.nsf/2cb81fc6e918119e422569b20056482e/37c2818a01f88ddac2257b18006df501?OpenDocument)

7. Національний план дій з енергоефективності до 2020 року [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://sae.gov.ua/uk/documents/22>

8. Николос Г., Пригожин И. Познание сложного. – М.: Мир, 1990. – 342 с.

9. Кудрин Б. И. Введение в технетику. – 2-е изд. – Томск: Изд-во Томского гос. унта, 1993. – 552 с.

10. Гнатюк В.И. Закон оптимального построения техноценозов [Монография] / В.И. Гнатюк. – 2-е изд., перераб. и доп. – Электронные текстовые данные. – Калининград: [Изд-во КИЦ «Техноценоз»], [2014]. – Режим доступа: <http://gnatukvi.ru/ind.html>.

11. Гнатюк, В.И., Лагуткин О.Е. Ранговый анализ техноценозов. – Калининград: БНЦ РАЕН – КВИ ФПС России, 2000. – 86 с.

12. Кудрин Б. И. Исследование технических систем как сообществ изделий-техноценозов / Б. И. Кудрин // Системные исследования. – 1981. – С. 236 – 254.

red. V.A. Zhovtianskoho, M.M. Kulyka, B.S. Stohniia. – Т.1: Zahalni zasady enerhoberezhennia. – К.: Akadempriodyka. – 510 p.; Т. 2: Mekhanizmy realizatsii polityky enerhoberezhennia. – К.: Akadempriodyka. – 600 p. [in Ukrainian].

6. Miskyi enerhetychnyi plan Kyieva na 2012 – 2016 roky. [Kyiv City Energy Plan for 2012 – 2016]. [Elektronnyi resurs] Access mode: [http://kmr.ligazakon.ua/SITE2/1\\_docki2.nsf/2cb81fc6e918119e422569b20056482e/37c2818a01f88ddac2257b18006df501?OpenDocument](http://kmr.ligazakon.ua/SITE2/1_docki2.nsf/2cb81fc6e918119e422569b20056482e/37c2818a01f88ddac2257b18006df501?OpenDocument)

7. Cabinet of Ministers of Ukraine (2014) Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine National Action Plan on energy efficiency by 2020, available at: <http://sae.gov.ua/uk/documents/22> (Accessed 15 November 2015)

8. Nikolos G. (1990) Prigozhin I. Poznanie slozhnogo. [Cognition of the complex]. Moscow. Mir, 342 p. [in Russian].

9. Kudrin B.I. Vvedenie v tekhnietiku. (1993). [Introduction to the Technetium]. Tomsk: Tomsk. state un-t, 552 pp. [in Russian].

10. Gnatyuk V.I. Zakon optimal'nogo postroeniya tekhnotsenozov. (2014) [The Law of Optimal Construction of Technocenoses]. Monograph. Kaliningrad: [Publishing Center "Technocenz"]. – Access mode: <http://gnatukvi.ru/ind.html> [in Russian].

11. Gnatyuk V.I., Lagutkin O.E. (2000). Rangovyy analiz tekhnotsenozov. [Rank analysis of technocenoses]. Kaliningrad: BNC RAN – KVI FPS of Russia, 86 p. [in Russian].

12. Kudrin B. I. (1981) Issledovanie tekhnicheskikh sistem kak soobshchestv izdeliy-tekhnotsenozov. [Investigation of technical systems as a community of products-technocenoses]. Sistemnye issledovaniya. 1981, pp. 236 – 254. [in Russian].

VASYLENKO V.

ResearcherID C-5395-2019

Institute of Energy Conservation and Energy Management,

Department of Electrical Supply»

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»,

## ОПТИМИЗАЦИЯ ФИНАНСОВЫХ РЕСУРСОВ НА ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ МЕРОПРИЯТИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАНГОВОГО АНАЛИЗА ВАСИЛЕНКО В. И.

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сикорського»

**Цель.** Разработка программного комплекса для повышения эффективности энергопотребления района города за счет внедрения оптимальных энергосберегающих мероприятий. В статье рассмотрена проблема повышения эффективности использования топливно-энергетических ресурсов в Украине, обоснована целесообразность рационального использования

енергии у потребителей энергоресурсов, ведь существующий потенциал энергосбережения достаточно большой.

**Методика.** В статье используется системно-структурный подход к решению задачи повышения энергоэффективности отдельного сектора энергопотребления района города. В качестве математического аппарата применяется ранговый анализ, под которым понимается метод исследования техноценоза энергопотребления, что предполагает дальнейшую его оптимизацию на основе критериев формы гиперболических  $H$ -распределений.

**Результаты.** Представлен программный комплекс «Smart Technocenosis» для оптимизации техноценоза энергопотребления района города на примере Соломенского района города Киева, который предназначен для анализа и повышения энергетической эффективности потребления энергоресурсов объектов бюджетной сферы. Также рассмотрен пример расчетов по параметру электропотребления, выполненного на основе программного комплекса.

**Научная новизна.** Разработан и предложен программный комплекс «Smart Technocenosis» для расчета потенциала энергосбережения и выявления аномальных объектов по потреблению электрической энергии, тепловой энергии и газа.

**Практическая значимость.** При использовании в программе энергосбережения районов города Киева программного комплекса «Smart Technocenosis» можно добиться сокращения потребления энергоресурсов объектами бюджетной сферы, уменьшения затрат на топливно-энергетические ресурсы и повышения уровня комфорта в зданиях бюджетной сферы при соблюдении санитарно-гигиенических норм.

**Ключевые слова:** топливно-энергетические ресурсы, энергетическая эффективность, рациональное использование энергоресурсов, энергосбережение, техноценологический подход, ранговый анализ, гиперболические  $H$ -распределения.

## OPTIMIZATION OF FINANCIAL RESOURCES ON ENERGY SAVING EVENTS WITH USE OF RANKED ANALYSIS VASYLENKO V.

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

**Purpose.** Development of a software complex for increasing energy efficiency of the city district due to implementation of optimal energy saving measures. The article considers the problem of increasing the efficiency of use of fuel and energy resources in Ukraine, rational use of energy in energy resources is justified, because the existing energy saving potential is quite large.

**Methodology.** The article uses the system-structural approach to solving the energy efficiency problem of a separate energy consumption area of the city. As a mathematical apparatus, a rank analysis is used, which refers to the method of researching the technocenosis of energy consumption, which implies further optimization based on the criteria of the form of hyperbolic  $H$ -distributions.

**Results.** The program "Smart Technocenosis" is presented for optimization of technocenosis energy consumption of the city district on the example of Solomyansky district of Kyiv, which is intended for analysis and increase of energy efficiency of energy consumption of objects of the budget sphere. Also, an example of calculations on the electricity consumption parameter made on the basis of the software system is considered.

**Originality.** It was developed and proposed to use the software complex "Smart Technocenosis" to calculate the potential of energy saving and detect abnormal objects for the consumption of electric energy, thermal energy and gas.

**Practical significance.** When using the "Smart Technocenosis" software program in the areas of energy saving in the city of Kyiv it is possible to achieve reduction of consumption of energy resources by objects of the budgetary sphere, reduction of expenses for fuel and energy resources and increase of comfort level in buildings of budgetary sphere with observance of sanitary-hygienic norms.

**Key words:** fuel and energy resources, energy efficiency, rational use of energy resources, energy saving, technocenological approach, rank analysis, hyperbolic  $H$ -distributions.

УДК 648.238

ВОЛЯНИК О. Ю.

Київський національний університет технологій та дизайну  
**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ІНТЕНСИВНОСТІ  
ОБРОБЛЕННЯ МАТЕРІАЛУ В АВТОМАТИЧНІЙ  
ПРАЛЬНІЙ МАШИНИ**

**Мета.** Проведення експериментального дослідження впливу конструктивних параметрів гребенів барабану на інтенсивність відцентрового оброблення матеріалу в автоматичних побутових пральних машинах.

**Методика.** Використані методи оцінювання ефективності відпирання матеріалів легкої промисловості та математичні методи планування експериментів.

**Результати.** Проведено експериментальне дослідження впливу конструктивних параметрів гребенів барабана на інтенсивність оброблення матеріалу в режимі прання, з використанням математичних методів планування експерименту. В основу методу дослідження покладено принцип виявлення залежності величини показника ефективності відпирання зразків від тривалості виконання операції після досягнення певної температури нагріву миючого розчину, відповідно до чинних стандартів.

**Наукова новизна.** Проаналізовано та наведено параметри та показники, які необхідно враховувати при розробленні та підготовці експериментального дослідження інтенсифікації прання у побутових машинах. Використано рівняння регресії для визначення розрахункових значень показника ефективності відпирання зразків при обробці матеріалів легкої промисловості в режимі прання.

**Практична значимість.** У результаті проведеного експериментального дослідження були визначені найбільш значущі параметри, які впливають на ефективність відпирання матеріалів легкої промисловості у відцентрових машинах, а саме кут нахилу твірної поверхні гребеня барабану та його гребеня на обичайці відносно осі його обертання. Отримана експериментальна математична модель дослідження інтенсифікації оброблення матеріалів у відцентрових барабанних пристроях може бути використана при проектуванні відцентрових машин різного призначення.

**Ключові слова:** пральна машина, прання, гребінь, відцентровий барабан, повний факторний експеримент.

**Вступ.** Оброблення матеріалів в побутових пральних машинах це процес, який залежить від багатьох чинників, тому при розробленні сучасних конструкцій важливою є правильна підготовка та планування експериментальних досліджень. Відомі методики [1] повним чином не задовольняють додержання всіх вимог, які ставляться перед розробниками. Тому, у відповідності до досліджень впливу конструктивно-технологічних факторів на функціональні показники барабанних пральних машин [2, 3] можна визначити ряд ключових понять:

- із збільшенням тривалості проведення операції прання ефективність відпирання зростає, але швидкість процесу зменшується і для кожного рівня температури прання існує граничне значення ефективності відпирання ( $PS_{\text{гран}}$ );

- оптимізація процесу прання відносно тривалості визначається вибором температури нагрівання миючого розчину, після досягнення якої заданий рівень ефективності відпирання буде отримано при простому перемішуванні оброблюваних виробів за прийнятний проміжок часу, при цьому, найбільш ефективними є режими при температурі миючого розчину  $80^\circ$  і  $90^\circ$  С (для матеріалів, які відповідно до інструкцій не вимагають

особливих умов оброблення).

**Постановка завдання.** Для забезпечення найбільшої інтенсифікації об'ємного перемішування оброблюваного матеріалу завданням визначено вдосконалення конструкції гребенів барабана, для того, щоб в результаті отримувати якість відпирання, яка відповідає вимогам стандарту за найменший можливий проміжок часу після досягнення визначеної температури нагрівання миючого розчину. Завданням експериментальних досліджень при цьому стає визначення можливості скорочення тривалості оброблення до моменту отримання числового значення показника ефективності відпирання -  $O, \%$ , який відповідає ДСТУ 2721-94 [4], при зміні у гребенів барабана геометричної форми або їх положення на обичайці відносно осі обертання.

**Результати дослідження.** Для експериментальних досліджень впливу конструктивних параметрів гребенів барабана на інтенсивність оброблення в режимі прання запропонована методика, у відповідності до якої визначається зміна показника ефективності відпирання зразків -  $O, \%$  в залежності від тривалості виконання операції прання, при здійсненні оброблення в барабані з гребенями, геометричну форму яких та розташування на обичайці відносно осі обертання барабана можна змінювати. При цьому, визначення числових значень показника  $O, \%$  проводиться відповідно до вимог ДСТУ 2721-94.

Відповідно до існуючих математичних методів планування експерименту для проведення дослідження було обрано план повного факторного експерименту [5].

Для визначення зміни величини показника  $O, \%$  після досягнення прийнятої для досліджень температури нагріву миючого розчину, в ході здійснення оброблення матеріалу різними гребенями, необхідно провести трифакторний експеримент для моделі дослідження:

$$y = f(x_1, x_2, x_3), \quad (1)$$

де  $y$  - критерій оптимізації – визначена у кожному випадку величина показника відпирання  $O, \%$ ;

$x_1, x_2, x_3$  - фактори, які визначають виконання геометричної форми гребенів барабана, їх положення на обичайці, тривалість проведення досліджуваної операції оброблення.

До числа вхідних керуючих факторів моделі об'єкта дослідження віднесені параметри, які найбільш істотно впливають на об'ємне перемішування оброблюваного матеріалу в результаті обертання барабана в режимі прання, величину показника ефективності відпирання -  $O, \%$ :

$x_1 = \Delta = \alpha_L - \alpha_0$  - різниця кутів нахилу твірної поверхні гребеня в його крайніх по глибині барабана перерізах площиною, яка перпендикулярна осі обертання;

$x_2 = \beta$  - кут, що визначає положення гребеня на обичайці відносно осі обертання;

$x_3 = \tau$  - тривалість здійснення оброблення матеріалу в режимі прання після досягнення прийнятої температури нагріву миючого розчину (після відключення ТЕНу).

В якості основи плану експерименту використана матриця повного факторного експерименту (ПФЕ). Матрицю ПФЕ доцільно використовувати в якості плану другого порядку при числі факторів до  $k < 5$  (в нашому випадку  $k = 3$ ). Центральні точки будуюмо на

осях координат, на відстані  $l$  від нульової до центральної точки:

$$l = 2^{k/4} = 2^{3/4} = 1,682$$

Загальна кількість дослідів  $N$  визначається з умови [5]:

$$N = n_0 + n_j + n_0 \quad (2)$$

де  $n_0$  - число точок основи,  $n_0 = 2^k$ ;

$n_j$  - число центральних точок,  $n_j = 2 \cdot k$ ;

$n_0$  - число нульових точок,  $n_0 = 6$ .

$$N = 2^3 + 2 \cdot 3 + 6 = 20$$

При складанні матриці планування враховувалися кодовані значення факторів, взаємозв'язок яких з натуральними виражається залежністю:

$$x_i = \frac{c_i - c_{0i}}{\varepsilon} \quad (3)$$

де  $x_i$  - кодоване значення  $i$ -го фактору;

$c_i$  - натуральне значення  $i$ -го фактору, яке відповідає поточному значенню;

$c_{0i}$  - натуральне значення  $i$ -го фактору, відповідне до нульового рівня;

$\varepsilon$  - натуральне значення інтервалу варіювання фактору ( $\Delta c$ ).

Вибір нульової точки, або нульового (основного) рівня факторів проводимо приймаючи таку нульову точку, якій відповідає значення параметра оптимізації, встановлене в результаті формалізації апріорної інформації. За нульові рівні факторів приймаємо:

$$\Delta_0 = \alpha_L - \alpha_0 = 30^\circ \text{ (при } \alpha_L = 40^\circ, \alpha_0 = 10^\circ); \beta_0 = 2^\circ; \tau_0 = 15 \text{ хв.}$$

Як діапазон і інтервал варіювання досліджуваних факторів приймаємо:

$$\Delta_0 = \alpha_L - \alpha_0 = (0^\circ \dots 60^\circ) \quad \beta_0 = 2^\circ$$

При цьому, значення кожного з цих досліджуваних параметрів ( $\Delta, \beta, \tau$ ), що визначають досліджуваний діапазон зміни його значень, приймалися виходячи з області варіативного діапазону зміни значень, в якій він має найбільший вплив. Для досліджень приймаємо температуру нагрівання миючого розчину  $t_{\text{м.розч}} = (90 \pm 2)^\circ\text{C}$ .

Значення факторів в центральних точках визначені з урахуванням залежності:

$$x_1 = \frac{\Delta - 30}{18}; \quad x_2 = \frac{\beta - 2}{1,5}; \quad x_3 = \frac{\tau - 15}{7,5}. \quad (4)$$

Побудовані матриця планування другого порядку для числа факторів  $k = 3$  і робоча матриця (табл.1.).

Таблиця 1.

**Матриця планування та робоча матриця**

№ досліджу	Матриця планування			Робоча матриця			
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$\Delta = \alpha_L - \alpha_0,$ град	$\beta,$ град	$\tau,$ хв	
1	+1		+1	+1	46	4	20
2	+1		+1	-1	46	4	10

Продовження таблиці 1

3	+1	-1	+1	46	2,5	20
4	+1	-1	-1	46	2,5	10
5	-1	+1	+1	14	4	20
6	-1	+1	-1	14	4	10
7	-1	-1	+1	14	2,5	20
8	-1	-1	-1	14	2,5	10
9	-1,682	0	0	0	2	15
10	+1,682	0	0	60	2	15
11	0	-1,682	0	30	0	15
12	0	+1,682	0	30	4	15
13	0	0	-1,682	30	2	5
14	0	0	+1,682	30	2	30
15	0	0	0	30	2	15
16	0	0	0	30	2	15
17	0	0	0	30	2	15
18	0	0	0	30	2	15
19	0	0	0	30	2	15
20	0	0	0	30	2	15

Рівняння регресії для визначення розрахункових значень критерію оптимізації  $\dot{y}$  - показника ефективності відпирання зразків при обробці текстильного матеріалу в режимі прання у відповідності до [4] в барабані з гребенями, для яких геометрична форма поверхонь, які взаємодіють з матеріалом і розташування гребенів на обичайці відносно осі обертання барабану, задається величинами параметрів  $x_1 = \Delta = \alpha_L - \alpha_0$  та  $x_2 = \beta$ , при здійсненні оброблення протягом проміжку часу  $x_3 = \tau$ , який вимірюється від моменту досягнення прийнятої температури нагріву миючого розчину (від моменту ввімкнення ТЕНу), може бути представлено в наступному вигляді:

$$\dot{y} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_2 + b_{23}x_2x_3 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2 \quad (5)$$

Де  $b_0$ , - вільний член;

$b_1, b_2, b_3$  - лінійні коефіцієнти (коефіцієнти, що характеризують лінійні ефекти);

$b_{11}, b_{22}, b_{33}$  - квадратичні коефіцієнти;

$b_{12}, b_{13}, b_{23}$  - коефіцієнти подвійної (парної) взаємодії факторів.

Для дослідження ефективності використання гребенів спіральної форми були проведені експериментальні дослідження з використанням математичних методів планування експерименту. Отримані відповідно до робочої матриці даної методики експериментальні значення показника ефективності відпирання зразків по ДСТУ 2721-94 ( $\dot{y}$ ) = 0, % наведені в табл. 2.

Таблиця 2.

Результати експериментальних досліджень відпирання матеріалу

№	Величина показника ( $\dot{y}$ ) = 0, %	№	Величина показника ( $\dot{y}$ ) = 0, %	№	Величина показника ( $\dot{y}$ ) = 0, %
1	61,4	8	56,9	15	59,2
2	58,3	9	55,7	16	59,7
3	62,0	10	60,2	17	58,4
4	59,3	11	59,5	18	60,5
5	59,9	12	58,5	19	58,2
6	57,6	13	56,3	20	59,5
7	59,5	14	61,0		

Отримані наступні значення коефіцієнтів рівняння регресії для значень показника ефективності відпирання зразків:

$$b_0 = 59,93347; b_1 = 1,07764; b_2 = -0,15001; b_3 = 1,68732;$$

$$b_{11} = -0,39885; b_{22} = 0,08938; b_{33} = -0,05349;$$

$$b_{12} = -0,484894; b_{13} = 0,09997; b_{23} = 0,03607.$$

Рівняння регресії після підстановки даних значень його коефіцієнтів набуває вигляду  

$$\dot{y} = 59,933 + 1,077x_1 - 0,150x_2 + 1,687x_3 - 0,398x_1x_2 + 0,089x_1x_3 + 0,053x_2x_3 - 0,484x_1^2 + 0,099x_2^2 - 0,036x_3^2$$

Перевірка значущості коефіцієнтів отриманого рівняння регресії відповідно показала, що незначущими з ймовірністю 0,95 є коефіцієнти  $b_2, b_{13}, b_{23}, b_{22}, b_{33}$ . Після відкидання незначущих коефіцієнтів, рівняння регресії для визначення розрахункових значень показника ефективності відпирання зразків набуває вигляду

$$\dot{y} = 59,933 + 1,077x_1 + 1,687x_3 - 0,398x_1x_2 - 0,484x_1^2$$

Перевірка адекватності (придатності) рівняння регресії за допомогою критерію Фішера показала, що прийнята математична модель з ймовірністю 0,95 адекватна (розрахункове значення критерію Фішера  $F_{розр} = 1,073$  менше відповідного табличного значення  $F_{табл} = 4,75$ ).

Зробимо перехід до натуральних значень факторів:

$$O = 59,933 + 1,077 \frac{\Delta - 30}{18} + 1,687 \frac{\tau - 15}{7,5} - 0,398 \frac{(\Delta - 30)(\beta - 2)}{18 \cdot 1,5} - 0,484 \frac{(\Delta - 30)^2}{18^2}$$

Після перетворень отримаємо:

$$O = 51,959 + 0,00012\Delta^2 + 0,185\Delta - 0,017\Delta\beta + 0,528\beta + 0,320\tau$$

Перевіримо отримане рівняння регресії. Для цього підставимо чисельні значення факторів  $\Delta, \beta$  і  $\tau$ , наприклад, для дослідів №5:

$$O_5 = 51,959 + 0,00012 \cdot 14^2 + 0,185 \cdot 14 - 0,017 \cdot 14 \cdot 4 + 0,528 \cdot 4 + 0,320 \cdot 20 = 59,893$$

Похибка (відносна)  $\Delta O_5$  результатів визначення для заданих значень факторів розрахункової величини  $O_5$  - показника ефективності відпирання зразків  $O, \%$  і відповідного експериментального значення цього ж показника  $\bar{O}_5$  становить:

$$\Delta O_5 = \frac{O_5 - \bar{O}_5}{\bar{O}_5} \cdot 100\% = \frac{|59,893 - 59,9|}{59,9} \cdot 100\% = 1,1\%$$

де  $\bar{O}_5$  - значення показника, отримане в результаті експериментальних досліджень, взяте з табл.1.2 для досліді № 5.

**Висновки.** Проведено експериментальне дослідження впливу конструктивних параметрів гребенів барабана на інтенсивність оброблення матеріалу в режимі прання з використанням математичних методів планування експерименту. Отримана експериментальна математична модель, яка описує взаємозв'язок чинників, що впливають на інтенсивність оброблення матеріалу в автоматичних пральних машинах. В результаті аналізу математичної моделі та отриманих експериментальних даних визначено, що найбільш значущими факторами, які впливають на ефективність відпирання матеріалу є конструктивні параметри гребеня (кут нахилу його твірної поверхні) та його положення на обичайці відносно осі обертання барабану.

Також, було встановлено виправданість прийнятих при складанні математичної моделі припущень та показана можливість використання отриманого рівняння регресії для інженерної практики аналізу впливу зміни конструктивних параметрів робочих частин барабанів на інтенсивність відцентрового оброблення матеріалу.

#### Література

1. Усольцев О. М. Совершенствование рабочих органов барабанных стирально-отжимных машин: дис. канд. техн. наук: 05.02.13 / Усольцев Александр Михайлович. – М., 2003. – 194 с.
2. Петко І. В. Аналіз механічного впливу на матеріал під час обробки в барабані з гребенями, що обертається / І. В. Петко, О. М. Усольцев // Вісник Технологічного університету Поділля: Науковий журнал. – 2003. – №5, Ч. I. – С.30-32.
3. Нагорный П. И. Влияние некоторых технологических и конструктивных параметров на функциональные и эксплуатационные характеристики барабанных автоматических стиральных машин / П. И. Нагорный, С. В. Орчинский // Новое в разработках и исследованиях электробытовых машин и приборов: Сб. научных трудов ВНИЭКИЭМП. – 1988. – С.41-49
4. ДСТУ 2721-94. Машини пральні побутові. Загальні технічні умови. – Чинний від 01.07.95. К.: Держстандарт України, 1994. – 108 с.
5. Монтгомери Д. Планирование эксперимента и анализ данных. – Ленинград: Судостроение, 1980. — 384 с.
6. Петко І. В. Електропобутова техніка / І. В.

#### References

1. Usol'tsev O. M. (2003). Sovershenstvovanye rabochykh orhanov barabannikh styral'no-otzhymnykh mashyn [Improvement of working organs of drum washing and pressing machines]. Candidates' thesis. Moscow [in Russian].
2. Petko I. V., Usol'tsev O. M. (2003). Analiz mekhanichnoho vplyvu na material pid chas obrobky v barabani z hrebenyamy, shcho obertayet'sya [Analysis of the mechanical influence on the material during processing in a rotating drum with rows]. *Visnyk Tekhnolohichnoho universytetu Podillya: Naukovyy zhurnal. – Bulletin of Technical University of Podillya: science magazine, Vol. 5., Pt I, 30-32.* [in Ukrainian].
3. Nagorniy P. T., Orchinskiy S. V. (1988). *Vliyaniye nekotorykh tekhnologicheskikh i konstruktivnykh parametrov na funktsionalnie i eksluatacionnie kharakteristiki stiralnykh mashin* [The effect of some technological and design parameters on the functional and operational characteristics of automatic drum washing machines]. *Sbornik nauchnikh trudov VNIKIEMP, 41-49.* [in Russian].
4. DSTU 2721-94. *Mashyny pralni pobutovi. Zagalni tekhnichni umovy* [State Standard 2721-94. Household washing machines. General technical conditions]. Kyiv, *Derzhstandart Publ., 1995. 108 p.*
5. Montgomery, D. (1980) *Planirovanie eksperimenta i analiz dannykh* [Experiment planning and data analysis]. Leningrad [in Russian].
6. Petko I. V., Burmistenkov O. P., Bila T. Y., Skyba M.

Петко, О. П. Бурмістенков, Т. Я. Біла, М. Є. Скиба. – Хмельницький: ХНУ, 2017. – 213 с.

7. Воляник О. Ю. Дослідження руху матеріальної точки під дією інтенсифікаторів раціональної форми перерізу у барабанних пральних машинах. / О. Ю. Воляник, І. В. Петко // Українсько-польські наукові діалоги. – 2017. – С.172-173.

8. Орчинский С. В. Влияние геометрии гребней барабану стирально-отжимной машины на ее функциональные и эксплуатационные показатели / С. В. Орчинский, А. М. Усольцев, И. И. Исаенко // Производственно-технический опыт. – М. : ЦНТИ «Поиск», 1989. № 8. – С. 99–101.

9. Гузенко Ю. М. Барабан прально-віджимної машини. Патент України на корисну модель №UA88018 від 25.02.14, Бюл. №4.

10. А. с. 1025765 СССР, МКИ D 06 F 37/04. Барабан стирально-отжимной машины /Л. В.Мельник, П. И.Нагорный, А.М.Усольцев, Б. Б.Мальцев, И. П.Радченко (СССР). - № 3303090/28-12; Заявлено 18.06.81; Опубл. 30.06.83, Бюл. № 24. - 3с.

Y. (2017). *Elektropobutova tekhnika* [Electrical household appliances]. Khmel'nyts'kyu: KhNU [in Ukrainian]

7. Volianyk O. Y., Petko I. V. (2017). *Doslidzhennya rukhu material'noyi tochky pid diyeyu intensyfikatoriv ratsional'noyi formy pererizu u barabannykh pral'nykh mashynakh* [Study of motion of a material point under the influence of intensifiers of rational shape of the section in drum washing machines]. *Ukrayinsko-polski naukovi dialogi – Ukrainian-Polish Science Dialogues*, 172-173 [in Ukrainian]

8. Orchinsky S. V. Usoltsev A. M., Isaenko I. I. (1989). *Vliyaniye geometrii grebney barabana stiralnoy mashini na yeye funktsionalniye pokazateli* [Influence of the geometry of the paddle of the drum of the washing-press machine on its functional and operational parameters]. *Production and technical experience. - CSTI "Search"*, Vol. 8., 99-101.

9. Guzenko Yu. M. Drum of a washing-machine. Patent of Ukraine for Utility Model №UA88018 of February 25, 14, Bull. №4

10. A. s. 986993 USSR, MКИ D 06 F 37/04. Drum for a washing-press machine. L. V. Melnik - №3211113 / 29-12; Published 07/01/83, Bul. №1.

**VOLIANYK O.**

<https://orcid.org/0000-0002-7278-0910>

ResearcherID:I-7967-2018

Kyiv National University of Technologies & Design

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛА В СТИРАЛЬНЫХ МАШИНАХ ВОЛЯНИК А. Ю.

*Киевский национальный университет технологий и дизайна*

**Цель.** Проведение экспериментального исследования влияния конструктивных параметров гребней барабана на интенсивность центробежного обработки материала в автоматических бытовых стиральных машинах.

**Методика.** Использованные методы оценки эффективности отстирывания материалов легкой промышленности и математические методы планирования экспериментов.

**Результаты.** Проведено экспериментальное исследование влияния конструктивных параметров гребней барабана на интенсивность обработки материала в режиме стирки с использованием математических методов планирования эксперимента. В основу метода исследования положен принцип выявления зависимости величины показателя эффективности отстирывания образцов от продолжительности выполнения операции по достижении определенной температуры нагрева моющего раствора, в соответствии с действующими стандартами.

**Научная новизна.** Проанализированы и приведены параметры и показатели, которые необходимо учитывать при разработке и подготовке экспериментального исследования интенсификации стирки в бытовых машинах. Использовано уравнение регрессии для определения расчетных значений критерия оптимизации - показателя эффективности отстирывания образцов при обработке материалов легкой промышленности в режиме стирки.

**Практическая значимость.** В результате проведенного экспериментального исследования были определены наиболее значимые параметры, которые влияют на эффективность отстирывания материалов легкой промышленности в центробежных машинах, а именно угол наклона образующей поверхности гребня барабана и его гребня на обечайке относительно оси его вращения. Показана экспериментальная математическая модель исследования интенсификации обработки материалов в центробежных барабанных устройствах может быть использована при проектировании центробежных машин различного назначения.

**Ключевые слова:** стиральная машина, стирка, гребень, центробежный барабан полный факторный эксперимент.

## THE EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF MATERIAL PROCESSING INTENSITY IN THE AUTOMATIC WASHING MACHINE

VOLIANYK O.

*Kyiv National University of Technologies and Design*

**Purpose.** Conducting an experimental study of the influence of the structural parameters of the drum crests on the intensity of centrifugal material processing in automatic household washing machines.

**Methodology.** The methods used to evaluate the efficiency of washing light industry materials and the mathematical methods of experiment planning.

**Results.** An experimental study of the influence of the design parameters of the drums' paddles on the intensity of the material processing in washing mode, using mathematical methods of experiment planning. The basis of the research method is the principle of detecting the dependence of the magnitude of the efficiency of the washing of the samples on the duration of the operation after reaching a certain temperature of the heating of the washing solution, in accordance with the current standards.

**Scientific novelty.** The parameters and indicators that need to be taken into account during the development and preparation of the experimental study of the intensification of washing in household machines are analyzed and presented. The regression equation was developed for determination of the calculated values of the optimization criterion - an indicator of the washing efficiency of samples in the processing of light industry materials during the washing mode.

**Practical significance.** As a result of the experimental study, the most significant parameters that influence the efficiency of washing light industry materials in centrifugal machines were determined, namely the angle of inclination of the surface of the paddle of the drum and location of its paddle on the shell relative to the axis of its rotation. An experimental mathematical model of the study of the intensification of material processing in centrifugal drum devices is shown. It can be used in the design of centrifugal machines of various applications.

**Key words:** washing machine, washing, crest, centrifugal drum, full-factor experiment.

УДК 620.179

СЕБКО В.В.<sup>1</sup>, ЗДОРЕНКО В.Г.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

<sup>2</sup>Київський національний університет технологій та дизайну

**РЕАЛІЗАЦІЯ ВИХОРОСТРУМОВОГО МЕТОДУ  
КОНТРОЛЮ НА ОСНОВІ ВИЗНАЧЕННЯ КОМПОНЕНТІВ  
РІЗНИЦЕВОГО СИГНАЛУ ТРИПАРАМЕТРОВОГО  
ПЕРЕТВОРЮВАЧА З ТРУБЧАСТИМ ВИРОБОМ**

**Мета.** Метою статті є дослідження теоретичних положень роботи теплового вихорострумowego трансформаторного перетворювача (ВТП) при реалізації трипараметрового методу вимірювального контролю прирощень геометричних, електричних і температурних параметрів немагнітних трубчастих виробів.

**Методика.** Використана методика дослідження трипараметрового вихорострумowego методу вимірювального контролю геометричних, електричних і температурних параметрів трубчастих виробів на основі ВТП.

**Результати.** Запропоновано трипараметровий вихорострумовой метод сумісного вимірювального контролю геометричних, електричних і температурних параметрів немагнітних трубчастих виробів та їх частин. Наведено основні співвідношення, які описують вихорострумовой метод контролю прирощень зовнішнього радіусу  $R$ , питомого електричного опору  $\rho$  та температури  $t$  легкоплавких та свердлильних труб та їх частин.

**Наукова новизна.** Знайшли подальший розвиток теоретичні положення роботи теплового ВТП з немагнітними трубчастими виробами, які піддаються нагріванню у процесі контролю, за рахунок реалізації запропонованого трипараметрового вихорострумowego методу вимірювального контролю геометричних, електричних і температурних параметрів.

**Практична значимість.** Запропоновані алгоритми вимірювальних та розрахункових процедур надають змогу щодо визначення меж вимірів сигналів первинного ВТП, які відповідають діапазонам змінення геометричних, електричних і температурних параметрів труб та їх частин, що створює умови для подальшого проектування й конструювання автоматизованих приладів та пристроїв призначених для керування і контролю важливими технологічними процесами у машинобудуванні, металургії і приладобудуванні.

**Ключові слова:** легкоплавкі та свердлильні труби, якість продукції, кількісні показники, зовнішній радіус, товщина стінки, вихорострумовой метод, вимірювальний контроль, прирощення компонентів сигналів, частота магнітного поля, питомий електричний опір, температура.

**Вступ.** На теперішній час реалізація методів неруйнівного контролю (НК), є передумовою задля отримання високоякісної кінцевої продукції у перебігу серійного та масового виробництва легкоплавких та свердлильних труб та їх частин. При цьому здійснюючи позитивний вплив на усунення виробничих втрат, реалізація методів НК сприяє підвищенню економічності виробництва труб. Переваги, які пов'язано з можливостями стабільного та надійного вимірювального контролю показників якості під час виготовлення великих партій немагнітних труб та їх частин визначають особливе місце вихорострумowych методів у порівнянні з іншими методами НК. Застосування електромагнітних (вихорострумowych) методів НК при виготовленні та експлуатації немагнітних трубчастих виробів, надає змогу задля безперервного отримання даних щодо якості проміжної та готової продукції. При цьому, за рахунок використання допоміжних інформаційних систем стає можливим одночасно визначати причини відхилення характеристик продукції від заданих

показників якості та здійснювати заходи виконуючі відповідне коректування. Саме тому НК зарекомендував себе як надійний інструмент управління якістю під час виробництва і експлуатації продукції машинобудування, хімічного машинобудування, приладобудування, трубопровідного транспорту та інших галузей промисловості [1-4].

Слід визначити, що фізико-механічні властивості досліджуваних труб та їх частин мають тенденцію до зниження, саме тому що труби знаходяться у свердловий колоні в умовах температурного діапазону від 150-250°C при цьому відповідний тиск дорівнює приблизно 200 атмосфер (наприклад, на глибині приблизно шість кілометрів свердловини), у наслідок цього в результаті нагрівання, механічне напруження на стінці труби (яка має дефект) може дорівнювати граничному значенню механічної напруги, що у свою чергу, призводить до відбраковування труби. Оскільки в процесі роботи може виникати як зовнішній так і внутрішній знос, зменшення товщини стінки труби може бути визначено локально накладним вихорострумовим перетворювачем (який має магнітопровід) [1-4]. Перевагами прохідних, накладних та комбінованих пристроїв є те що під час їх застосування здійснюється достатньо чіткі відстроювання повітряного проміжку поміж давачем та вимірювальною обмоткою, простота схемних реалізацій і достатньо висока чутливість. До суттєвих недоліків слід віднести: достатньо жорсткі вимоги щодо чистоти поверхні; настроювання давачів здійснюється згідно з відповідним еталоном; неможливо врахувати температуру труби при якій здійснюється вимірювальний контроль фізико-механічних параметрів трубчастих виробів.

Екранні вихорострумові давачі розміщуються у середині та зовні досліджуваного виробу на невеликій відстані від нього, при цьому до них відносять давачі за допомогою яких визначають екранний ефект труб та плоских виробів [1-8]. Основною перевагою екранних давачів є можливість відстроювання від відстані до давача в заданих межах. При цьому, наприклад, віддалення від одного давача призводить до зменшення відстані до другого давача тобто зменшення відстані до одного давача компенсується додаванням відстані (в визначених межах) до іншого давача [3]. Слід визначити, що значну частину робіт в напрямку вихорострумового контролю прохідним перетворювачем трубчастих виробів, присвячено контролю товщини стінки  $d$  та питомої електричної провідності  $\sigma$  і внаслідок цього здійснюється фронтальне визначення зменшення товщини стінки труби, причому питома електрична провідність пов'язана з механічною напругою  $\delta$ , а знаючи  $\delta$  можна визначати вагу колони, яка розміщується в свердловині [3-8].

При цьому, найважливішими перевагами вихорострумових методів є можливість сумісного контролю кількісних (електромагнітних та інших фізичних) параметрів, які пов'язано з фізико-механічними властивостями немагнітних трубчастих виробів. В сучасній технічній літературі були розглянуті вихорострумові методи та пристрої на основі вихорострумового трансформаторного перетворювача (ВТП) для двохпараметрового контролю відносної магнітної проникності  $\mu_r$  і питомої електричної провідності  $\sigma$  в абсолютному варіанті, які призначено для визначення електромагнітних параметрів різних марок матеріалів трубчастих виробів [3-7]. Зокрема ВТП має цілу низку переваг у порівнянні з параметричними електромагнітними перетворювачами (ПЕП) незважаючи, що параметричні пристрої включають до себе тільки одну робочу обмотку [3-11]. Це,

насамперед, мала температурна похибка за умови стабілізації намагнічувального струму і досить суттєве значення абсолютної чутливості ВТП, за рахунок збільшення числа витків і застосування другої вимірювальної котушки. Однак всі зазначені методи мали досить низькі значення вірогідності контролю [9].

Слід визначити, що для підвищення загальної складової вірогідності контролю  $D_z$ , необхідне створення теоретичних положень роботи ВТП зі зразками трубчастих виробів під час реалізації багатопараметрових диференціальних методів. При цьому, підвищення методичної складової вірогідності контролю  $D_m$  обумовлено збільшенням кількості параметрів, які підлягають контролю, у свою чергу, підвищення інструментальної складової вірогідності контролю  $D_i$ , обумовлено зменшенням похибок вимірювань (підвищенням точності вимірювань) кількісних параметрів трубчастих виробів за рахунок визначення прирощень різницевого сигналу ВТП та застосування апаратурних прийомів пов'язаних з компенсацією ефектів повітряного проміжку. В роботах [8-10] запропоновано диференціальні електромагнітні методи контролю параметрів циліндричних і плоских виробів, однак вимірювальний контроль кількісних фізико-механічних параметрів немагнітних легкоплавких та свердлильних труб та їх частин на теперішній час, залишається без достатньої уваги.

Труднощі розробки таких пристроїв були пов'язані зі створенням складного математичного апарату, який би пояснював залежність геометричних, електромагнітних і температурних параметрів труб від компонентів різницевого сигналу теплового ВТП. У зв'язку з цим, на теперішній час, відсутні теоретичні положення й методологія створення теплових диференціальних багатопараметрових пристроїв та методів контролю кількісних характеристик немагнітних і магнітних труб. Зокрема застосування контактних засобів термометрії пов'язано з неточностями вимірювань температурних параметрів, слід визначити також що контактні засоби термометрії здатні вимірювати температуру тільки на поверхні труби, а вихорострумові засоби надають змогу контролювати температуру у внутрішніх шарах трубчастого виробу, на поверхні та в стінці труби [9].

На сьогодні, практично не досліджено особливості роботи теплових багатопараметрових електромагнітних пристроїв для вимірювального контролю геометричних, електричних і температурних параметрів трубчастих виробів, які використовують у якості інформативних параметрів різницеві компоненти сигналів ВТП, не отримано співвідношення які описують реалізацію таких методів. Не розглянуто можливості підвищення точності вимірювань температури трубчастих виробів за рахунок реалізації багатопараметрових вихорострумових методів розроблених на основі нових алгоритмів вимірювальних та розрахункових процедур, які містять операції з прирощеннями компонентів сигналів теплових ВТП.

Таким чином, створення нових методів та приладів вимірювального контролю кількісних фізико-механічних параметрів у перебігу серійного і масового виробництва та експлуатації легкоплавких та свердлильних труб є важливою науково-практичною проблемою і потребує подальших досліджень.

**Постановка завдання.** Метою статті є дослідження теоретичних положень роботи теплового вихорострумового трансформаторного перетворювача (ВТП) при реалізації

трипараметрового методу вимірювального контролю прирощень геометричних, електричних і температурних параметрів немагнітних трубчастих виробів та їх частин. Для досягнення мети необхідно вирішити наступні завдання:

1. Отримати основні співвідношення, які описують теоретичні положення роботи диференціального трансформаторного вихорострумowego перетворювача з трубчастим немагнітним виробом.

2. За допомогою апаратних прийомів, які пов'язано з нагріванням трубчастого виробу у процесі контролю та компенсацією впливу магнітного потоку (який проходить у повітряному проміжку), розробити алгоритм вимірювальних і розрахункових процедур щодо сумісного визначення прирощень і абсолютних значень геометричних, електричних і температурних параметрів немагнітних трубчастих виробів на основі теплового диференціального ВТП.

**Результати дослідження.** Скориставшись результатами робіт [1-10] спочатку визначимо нормовані параметри для отримання універсальних функцій перетворення, які пов'язують характеристики теплового ВТП з прирощеннями геометричних, електричних і температурних параметрів досліджуваного трубчастого зразка. В роботах [3-7], було введено узагальнений параметр, який являє собою питому нормовану внесену ЕРС, отримано вирази для амплітуди і фазового кута зсуву узагальненого параметра, які з урахуванням нагріву трубчастого виробу безпосередньо у ВТП, мають наступний вигляд:

$$T = \frac{E_{\text{внт}} R_1^2}{E_0 R^2}, \quad (1)$$

де індекс «*t*» свідчить про те, що дана величина залежить від температури труби,  $E_{\text{внт}}$  – різницевий сигнал внесеної ЕРС теплового ВТП,  $E_0$  – ЕРС перетворювача без виробу,  $R_1$  і  $R$  радіуси теплового перетворювача і виробу відповідно [9].

$$|\text{tg } \varphi_t| = \frac{R_1^2 E_{\text{внт}} \sin \varphi_{\text{внт}}}{R^2 E_0 - E_{\text{внт}} \cos \varphi_{\text{внт}}}, \quad (2)$$

де  $\varphi_{\text{внт}}$  – фазовий кут зсуву внесеної ЕРС трансформаторного вихорострумowego теплового перетворювача з трубчастим виробом.

Як відомо, для немагнітного трубчастого виробу значення узагальненої комплексної магнітної проникності визначається за формулою [3]:

$$\mu_{\text{эфт}} = \frac{2}{x_t \sqrt{j}} \frac{I_1(x_t \sqrt{j})}{I_0(x_t \sqrt{j})}, \quad (3)$$

де  $I_0$  і  $I_1$  – модифіковані функції першого роду нульового та першого порядку,  $x_t$  – узагальнений параметр [3].

У відповідності з виразами [1-3], амплітуда і фаза узагальненого параметра  $T$ , залежать тільки від величини  $x_t$ , що у свою чергу, надає змогу застосовувати функції перетворен-

ня  $x = f(\varphi)$ ;  $T = f(x)$ ;  $T = f(\varphi)$ , причому використання цих функцій призводить до суттєвого збільшення асортименту трубчастих виробів у відповідності з геометричними та електромагнітними параметрами [3-8]. Слід визначити, що абсолютні методи вимірювального контролю радіусу  $R$ , питомого електричного опору  $\rho$  і температури  $t$  можна застосовувати, якщо розкид параметрів є достатньо великим. Однак якщо геометричні параметри трубчастих виробів відрізняються незначним чином, зона похибок теплових вихорострумових перетворювачів перекриває зону розкиду характеристик досліджуваних зразків. У таких випадках доцільно застосовувати диференціальний вихорострумовий метод вимірювального контролю відхилень геометричних, електричних і температурних параметрів виробів від заданих значень. Задля отримання відношень, які описують теоретичні положення роботи теплового ВТП з трубчастим виробом у диференціальному варіанті, необхідно виконати розкладання функцій  $x = f(\varphi)$  і  $T = f(x)$  або  $T = f(\varphi)$  поблизу робочої точки в ряди Тейлора. Якщо обмежити розкладання лінійними за відносними прирощеннями  $\delta\varphi/\varphi_1$  і  $\delta x/x_0$  членами рядів, з урахуванням результатів робіт [3-8], запишемо систему з двох лінійних рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{\delta x_t}{x_0} = \frac{dx_t}{d\varphi_t} \frac{\phi_0}{x_0} \frac{\delta\phi_{\text{внт}}}{\phi_0} \\ \frac{\delta T}{T_0} = \frac{dT}{dx_t} \frac{x_0}{T_0} \frac{\delta x_t}{x_0} \end{cases}, \quad (4)$$

де  $\varphi_0$ ,  $x_0$ ,  $T_0$  – параметри, які пов’язано зі стандартним зразком, що визначають фіксовані робочі точки ( $x = x_0$ ) на відповідних залежностях;  $\delta x$ ,  $\delta\varphi$  і  $\delta T$  – прирощення, які обумовлено відмінностями геометричних та електричних характеристик досліджуваного трубчастого зразку від параметрів стандартного трубчастого зразку;  $\partial x/\partial\varphi$ ,  $\partial T/\partial x$  похідні універсальних функцій перетворення за відповідними аргументами, які знаходять у фіксованих робочих точках [3-7] (де крутизна характеристик теплового ВТП найбільша).

При цьому похідні  $\partial x/\partial\varphi$ ,  $\partial T/\partial x$  знаходять наближено у вигляді відношення малих прирощень  $\Delta x/\Delta\varphi$  і  $\Delta T/\Delta x$ . Слід визначити, що прирощення знаходять як різницю попередніх та наступних значень параметрів по відношенню до параметрів стандартного трубчастого зразка.

Розв’язавши систему рівнянь (4) з урахуванням (1)–(3), отримуємо вирази для відносних прирощень зовнішнього радіуса та питомого електричного опору:

$$\delta R / R_0 = (\delta E_{\text{внт}} / E_{\text{внт}0}) - A \delta\varphi / \varphi_1, \quad (5)$$

$$\delta\rho_t / \rho_0 = (\delta E_{\text{внт}} / E_{\text{внт}0}) + B \delta\varphi / \varphi_1, \quad (6)$$

де  $E_{\text{внт}0}$  – внесена ЕРС перетворювача зі стандартним зразком;

$\delta E_{\text{внт}}$  – прирощення внесеної ЕРС, що обумовлено відмінностями характеристик досліджуваного зразка від характеристик стандартного;

$A$  і  $B$  – коефіцієнти, які є сталими щодо фіксованих робочих точок універсальних функцій перетворення.

Звідси впливає наступне:

$$\delta A = (dT / d\varphi) / (2T_0), \quad (7)$$

$$B = A + 2(dx / d\varphi) / x_0, \quad (8)$$

При цьому, прирощення фазового кута зсуву ЕРС  $E_{\text{внт}}$  теплового ВТП по відношенню до  $E_{\text{вн}0}$  співпадає за величиною з прирощенням фазового кута  $\varphi$  параметра  $T$ . Співвідношення (5) – (8) надають змогу визначити змінювання прирощень  $\delta R/R_0$  і  $\delta\rho/\rho_1$  безпосередньо за вимірними характеристиками теплового ВТП і визначеними коефіцієнтами впливу універсальних функцій перетворення  $A$  і  $B$  для досліджуваного режиму роботи теплового диференціального перетворювача.

Для визначення прирощень температури трубчастих виробів вважаємо, що величини  $\alpha$ ,  $\rho_1$  і  $t_1$  мають сталі значення і не залежать від змінення температури у досліджуваному діапазоні, при цьому:

$$\frac{\delta t}{t_1} = \left( \frac{1 + \alpha t_1}{\alpha t_1} \right) \left( \frac{\delta\rho_1}{\rho_1} \right), \quad (9)$$

Звідси маємо, що

$$\frac{\delta t}{t_1} = \left( B\delta\varphi + \frac{\delta E_{\text{внт}}}{E_{\text{вн}0}} \right) \frac{1 + \alpha t_1}{\alpha t_1}. \quad (10)$$

Диференціальний метод трипараметрового контролю суттєво спрощує процедуру вимірювань у порівнянні з абсолютним, оскільки для визначення відносного змінення параметрів  $R$ ,  $\rho$  і  $t$ , необхідно на основі диференціального методу виконувати нескладні операції множення лінійних прирощень вимірних електричних величин на відповідні коефіцієнти впливу, а далі здійснювати операції складання отриманих результатів з урахуванням відомих значень  $\alpha$ ,  $\rho_1$  і  $t_1$ .

На рис. 1 наведено схему теплового диференціального ВТП для сумісного вимірювального контролю прирощень параметрів трубчастих виробів  $R$ ,  $\rho$  і  $t$ . Схема включає до себе: ДЗ – джерело змінного струму, А – амперметр, безпосередньо ВТП, який містить робочий перетворювач – РП, компенсаційний перетворювач – КП та опорні котушки взаємодуктивності КВР і КВК, які призначено для повної компенсації паразитних магнітних потоків (що проходять у відповідних повітряних проміжках). Схема також включає до себе: вимірювач напруги – В, вимірювач фазового кута зсуву – ВФ, трубчастий виріб, що піддається нагріванню – Т, а також холодний трубчастий виріб – Т<sub>1</sub>, мікроамперметр – мкА, обмежувач струму – R, змінний опір – R<sub>1</sub>, напівпровідникові випростувачі – ВМ1 і ВМ2.

Таким чином, вимірювачем напруги – В, реєструють ЕРС  $E_0$ . Далі за допомогою вимірювача фазового кута зсуву – ВФ, визначають різницевий сигнал або прирощення фазового кута  $\delta\varphi$  теплового ВТП з трубчастим виробом. Після цього, вимірюють різницеву ЕРС за допомогою мкА (тобто прирощення ЕРС  $\delta E_{\text{внт}}$  теплового ВТП). Причому внесені ЕРС робочого  $E_{\text{внт}}$  та компенсаційного перетворювачів  $E_{\text{вн}0}$  випрямляють за допомогою мостів ВМ1 і ВМ2, які увімкнуті за диференціальною схемою. Для імітації умов експлуатації немагнітних трубчастих виробів, за допомогою нагрівача – Н, здійснюється нагрівання зразків у процесі контролю. Передбачено також вимикач  $K$  – для відключення мікроамперметра, R – обмежуваль-

ний опір, вольтметр  $B$  для реєстрації ЕРС  $E_{вн0}$ . Частота магнітного поля дорівнює  $f = 1,2$  МГц, при цьому за таким значенням частоти магнітного поля відношення товщини стінки  $d$  до зовнішнього радіусу трубчатого зразка  $d/a = 1$  [3-8].

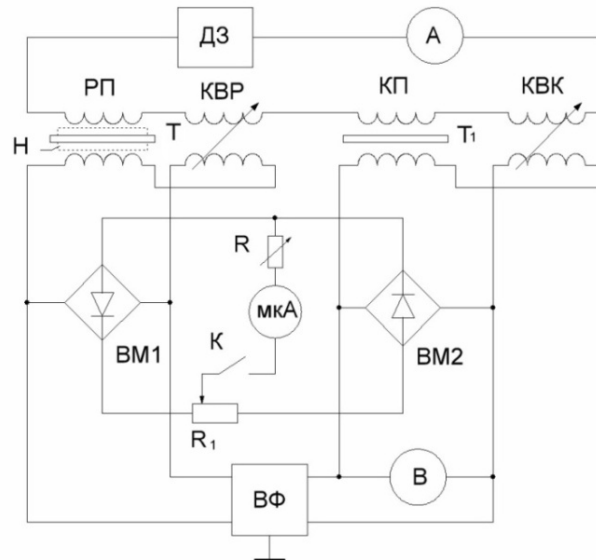


Рис.1. Схема теплового ВТП для контролю прирощень  $\delta R/R_0$ ,  $\delta\sigma/\sigma_1$  і  $\delta t/t_1$  геометричних, електричних і температурних параметрів немагнітного трубчастого виробу

Таким чином, у відповідності з показами мікроамперметра та вимірювача фаз отримують значення відносних прирощень  $\delta E_{вн}/E_{вн1}$  і  $\delta\phi/\phi_1$ , а потім здійснюється підставлення цих значень у формули (5) і (6), у відповідності з якими при відомих коефіцієнтах  $A$  і  $B$  знаходять прирощення зовнішнього радіуса  $\delta R/R_0$ , питомого електричного опору  $\delta\rho/\rho_1$  і температури  $\delta t/t_1$  немагнітних трубчастих виробів.

У табл. 1 наведено результати непрямих вимірювань абсолютних значень та прирощень параметрів мідного трубчастого виробу, а також нормованих характеристик перетворювача. Для порівняння наведено дані вимірювань  $R'$ ,  $\rho'$  і  $t'$  зразка за допомогою контрольних засобів (мікрометра, моста Р-316, мідного термометра опору МТО). Параметри стандартного трубчастого зразка  $R_0 = 20 \cdot 10^{-3}$  м,  $\rho_0 = 1,72 \cdot 10^{-8}$  Ом/м; напруженість магнітного поля  $H_0 = 80$  А/м; число витків намагнічувальної та вимірювальної обмоток  $W_n = 320$ ,  $W_u = 1370$  теплового ВТП; довжина зразка  $l = 0,7$  м, матеріал трубчастого зразка – мідь МЗ.

При цьому, результати вимірювань, які отримано контрольними методами з високою вірогідністю узгоджуються з даними, які визначено в результаті проведення експерименту на досліджуваному трубчастому зразку.

Таблиця 1

**Результати визначення прирощень та абсолютних значень параметрів немагнітного трубчастого зразка**

$\delta\phi/\phi_1$	$\delta T/T_1$	$\delta\rho/\rho_1$	$R \cdot 10^{-3},$ м	$\rho \cdot 10^{-8},$ Ом/м	$R' \cdot 10^{-3},$ м	$\rho' \cdot 10^{-8},$ Ом/м	$\delta t/t_1$	t, C°	t', C°
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
-0,0032	0,0553	0,1186	20,000	1,92	20,000	1,92	1,498	49,96	50

Продовження таблиці 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
-0,0129	0,2196	0,5150	20,002	2,61	20,000	2,60	6,498	149,95	150
-0,0158	0,2654	0,6331	20,001	2,79	20,000	2,80	7,995	180,04	180
-0,0184	0,3118	0,7523	20,003	3,01	20,000	3,00	9,50	209,99	210
-0,0208	0,2206	0,8711	20,001	3,218	20,000	3,2	10,99	240,01	240

Таким чином, запропонований метод засновано на попередньому визначенні компонентів сигналів вихорострумowego перетворювача, які пов'язано за допомогою нормованих параметрів (амплітуди і фази магнітного потоку ВТП) з прирощеннями геометричних, електричних і температурних параметрів немагнітних трубчастих виробів.

**Висновки.** Результати, які наведено у даній статті, дозволяють визначити шляхи розв'язування важливої наукової і практичної проблеми, сутність якої полягає у створенні нових приладів та методів контролю кількісних фізико-механічних параметрів у перебігу серійного та масового виробництва та експлуатації легкоплавких та свердлильних труб та їх частин. В рамках дослідження цієї проблеми запропоновано безконтактний трипараметровий вихорострумований метод сумісного контролю геометричних, електричних і температурних параметрів немагнітних трубчастих виробів, який засновано на попередньому визначенні компонентів різницевого сигналу трансформаторного вихорострумowego перетворювача (ВТП) та нормованих параметрів, які пов'язують сигнали ВТП з зовнішнім радіусом  $R$ , питомим електричним опором  $\rho$  і температурою  $t$  досліджуваного трубчастого зразка. Наведено основні співвідношення, які описують диференціальний метод трипараметрового вимірювального контролю прирощень радіуса  $R$ , питомого електричного опору  $\rho$  та температури  $t$  міцного трубчастого зразка. Перспективи подальших досліджень полягають в проектуванні та створенні теоретичних основ роботи автоматизованих пристроїв та систем управління і контролю фізико-механічних параметрів у перебігу серійного та масового виробництва і експлуатації легкоплавких та свердлильних труб на основі первинних перетворювачів, які використовують магнітні поля різних конфігурацій.

#### Література

1. Яцун М. А., Торбин Н. М., Грабчук Б. Л. Прибор для измерения износа легкоплавных бурильных труб/ М. А. Яцун, Н. М. Торбин, Б. Л. Грабчук и др. // Разведка и разработка нефтяных и газовых месторождений. – Львов. – 1972. – Вып. 9. – С. 106-109.
2. Двоглазов И. А. Комплексный контроль тела стальных бурильных труб/ И.А. Двоглазов. – Минск. – Наука и техника. – 1981. – С. 253-256.
3. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий. Справочник / [Под ред. В. В. Ключева]. – М.: Машиностроение, 2005. – 656 с.
4. Николаенко А. Т. Приближенное решение

#### References

1. Yatsun M. A., Torbin N. M., Grabchuk B. L. (1972). Device for measuring wear alloy and drill tubes [Tubes testing instrumentation research]. Lviv: Exploration and development of oil and gas fields [in Russian].
2. Dvoyeglazov I. A. (1981). Comprehensive body control of steel drill tubes. [Test of materials tubes]. Minsk: Nauka i tekhnika [in Russian].
3. Klyuev V. V. (Eds.). (2005). *Pribory dlya nerazrushayushchego kontrolya materialov i izdeliy. Spravochnik* [Devices for non-destructive testing of materials and products. Directory] Moskva: Mashinostroenie [in Russian].
4. Nikolayenko A.T. (1979). Approximate solution of the problem of magnetization of a tube by fields. [Tube

задачи о намагничивании трубы полями/ А. Т. Николаенко. – Свердловск. – Дефектоскопия. – 1979. – № 6. – С. 5-9.

5. Себко В. П., Акшанов Б. С., Тюпа В. И. Электромагнитное поле и эквивалентные параметры соленоида с трубой/ В. П. Себко, Б. С. Акшанов, В. И. Тюпа. – Москва. – Электричество. – 1975. – № 12. – С. 9.

6. Себко В. П., Баштанников Л. А. Контроль прочностных свойств бурильных и обсадных труб/ В. П. Себко, Л. А. Баштанников. – Москва. – Газовая промышленность. – 1981. – Вып. 12. – С. 10-12.

7. Себко В. П., Тюпа В. И. К вопросу об экранном действии ферромагнитной трубы в поперечном магнитном поле/ В. П. Себко, В. И. Тюпа. – Харьков. – Вестник Харьковского политехнического института. – 1979. – № 6. – С. 26-29.

8. Себко В. П. Дифференциальный двухпараметровый способ контроля электрофизических параметров сплошных ферромагнитных цилиндров/ В. П. Себко. – Москва – Заводская лаборатория. – 1985 – № 12. – С. 45-48.

9. Себко В. В. Определение электромагнитных параметров трубы с учётом её нагрева/ В.В. Себко. – Харьков – Електротехніка і електромеханіка. – 2006. – № 6. – С. 33-35.

10. Себко В. В., Здоренко В. Г. Вимірювальний контроль температури плоских виробів на основі реалізації методу визначення компонентів різницевого сигналу багатопараметрового перетворювача/ В. В. Себко, В. Г. Здоренко // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. – Київ – 2017. – №4 (112). – С. 33-41.

control in transverse magnetic field]. Sverdlovsk: Nondestructive Testing [in Russian].

5. Sebko V. P., Akshanov B. S., Tyupa V. I. (1975). Electromagnetic field and equivalent parameters of a solenoid with a tube. [Test of materials tubes]. Moskva: Electricity [in Russian].

6. Sebko V. P., Bashtannikov L. A. (1981). Control of the strength properties of drilling and casing tubes. [Found the ultimate strength of a non-magnetic tubes]. Moskva: Gas industry [in Russian].

7. Sebko V. P., Tyupa V. I. (1979). On the screen effect of a ferromagnetic tube in a transverse magnetic field. [The screen tubular parameters device is considered]. Kharkov: Bulletin of Kharkiv Polytechnic Institute, Issue 6, 26–29 [in Russian].

8. Sebko V. P. (1985). Differential two-parameter method for control the electrophysical parameters of solid ferromagnetic cylinders. [Test of materials cylinders article]. Moskva: Industrial laboratory [in Russian].

9. Sebko V. V. (2006). Determination of electromagnetic parameters of a pipe adjusted for the pipe temperature. [The basic relationships for the electromagnetic parameters of ferromagnetic pipes are derived along with expression for the temperature at which the parameters are determined.]. Kharkov: Elektrotehnika i Elektromekhanika, Issue 6, 33–35 [in Russian].

10. Sebko V. V., Zdorenko V. H. (2017). *Measurement control of temperature of flat product based on the implementation of the method of determining the components of the differential signal multiparameter converter* [The proposed two-parametric method for joint measurement of electromagnetic control of electric and thermal parameters of the non-magnetic flat products]. Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnologii ta dyzainu. – Bulletin of the Kyiv National University of Technologies and Design. 4 (112), 33 – 41 [in Ukraine].

SEBKO V.

ZDORENKO V.

vadim.sebko@gmail.com

alzd123@meta.ua

ORCID: 0000-0002-3561-6281

ORCID: 0000-0001-6508-4290

National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”

Kiev National University of Technologies & Design

**РЕАЛИЗАЦИЯ ВИХРЕТОКОВОГО МЕТОДА КОНТРОЛЯ НА ОСНОВЕ  
ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ РАЗНОСТНОГО СИГНАЛА  
ТРЕХПАРАМЕТРОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ С ТРУБЧАТЫМ ИЗДЕЛИЕМ  
СЕБКО В.В.<sup>1</sup>, ЗДОРЕНКО В.Г.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»

<sup>2</sup>Киевский национальный университет технологий и дизайна

**Цель.** Целью статьи является исследование теоретических положений работы теплового вихретокового трансформаторного преобразователя (ВТП) при реализации трёхпараметрового

метода измерительного контроля приращений геометрических, электрических и температурных параметров немагнитных трубчатых изделий.

**Методика.** Использована методика исследования трёхпараметрового вихретокового метода измерительного контроля геометрических, электрических и температурных параметров трубчатых изделий на основе ВТП.

**Результаты.** Предложен трёхпараметровый вихретоковый метод совместного измерительного контроля геометрических, электрических и температурных параметров немагнитных трубчатых изделий и их частей. Приведены основные соотношения, которые описывают вихретоковый метод контроля приращений внешнего радиуса  $R$ , удельного электрического сопротивления  $\rho$  и температуры  $t$  легкосплавных и бурильных труб и их частей.

**Научная новизна.** Получили дальнейшее развитие теоретические положения работы теплового ВТП с немагнитными трубчатыми изделиями, которые подвергаются нагреву в процессе контроля, за счёт реализации предложенного трёхпараметрового вихретокового метода измерительного контроля геометрических, электрических и температурных параметров.

**Практическое значение.** Предложенные алгоритмы измерительных и расчетных процедур позволяют определить пределы измерений сигналов первичного ВТП, которые соответствуют диапазонам изменения геометрических, электрических и температурных параметров труб и их частей, что создает условия для дальнейшего проектирования и конструирования автоматизированных приборов и устройств предназначенных для управления и контроля важными технологическими процессами в машиностроении, металлургии и приборостроении.

**Ключевые слова:** легкосплавные и бурильные трубы, качество продукции, количественные показатели, внешний радиус, толщина стенки, вихретоковый метод, измерительный контроль, приращения компонентов сигналов, частота магнитного поля, удельное электрическое сопротивление, температура.

## REALIZATION OF THE EDDY CURRENT METHOD OF CONTROL ON THE BASIS OF DETERMINATION OF THE COMPONENTS OF THE DIFFERENCE SIGNAL OF THE THREE-PARAMETER CONVERTER WITH A TUBULAR PRODUCT

SEBKO V.V.<sup>1</sup>, ZDORENKO V.G.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»

<sup>2</sup>Kyiv National University of Technology and Design

**Purpose.** The purpose of the article is to study the theoretical positions of the operation of a thermal eddy current transformer (ECP) during the implementation of the three-parameter method of measuring the control of geometric, electrical and temperature increments of non-magnetic tubular products.

**The technique.** The method of research of the three-parameter eddy current method of measuring control of geometric, electrical and temperature parameters of tubular products based on ETP is used.

**Results.** A three-parameter eddy current method of joint measuring control of geometric, electrical and temperature parameters of nonmagnetic tubular products and their parts is proposed. The basic relations are given which describe the eddy current method for controlling the increments of the outer radius  $R$ , the electrical resistivity  $\rho$  and the temperature  $t$  of the light alloy and drill pipes and their parts.

**Scientific novelty.** The theoretical development of thermal ECPs with non-magnetic tubular products that are heated in the process of control, through the implementation of the proposed three-parameter eddy current method of measuring control of geometric, electrical and temperature parameters, was further developed.

**Practical value.** The proposed algorithms of measurement and calculation procedures allow to determine the limits of measurement of signals of the primary ECP, which correspond to the ranges of variation of geometric, electrical and temperature parameters of pipes and their parts, which creates conditions for further design and construction of automated instruments and devices designed to control and monitor important technological processes in machine building, metallurgy and instrument making.

**Keywords:** light alloy and drill pipes, product quality, quantitative indicators, external radius, wall thickness, eddy current method, measurement control, signal component increments, magnetic frequency, electrical resistivity, temperature.

<https://doi.org/DOI:10.30857/1813-6796.2019.1.4>

УДК 677.075

АРАБУЛІ С. І.<sup>1</sup>, СУПРУН Н. П.<sup>1</sup>, ОЧЕРЕТНА Л.<sup>2</sup>,  
АРАБУЛІ А. Т.<sup>1</sup>, КУЧЕРЕНКО В. І.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

<sup>2</sup>Технічний університет м. Ліберець, Чеська Республіка

## ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ЛІКАРНЯНОЇ ПОСТІЛЬНОЇ БІЛИЗНИ

**Мета.** Дослідження впливу особливостей будови і структури текстильних матеріалів білизняного призначення різного сировинного складу на здатність забезпечення термофізіологічного комфорту при експлуатації в лікарнях.

**Методика.** Теоретичні та експериментальні дослідження базуються на основних положеннях текстильного матеріалознавства. При проведенні експериментальних досліджень використані сучасні методи визначення фізичних властивостей текстильних матеріалів, а також методи математичного планування і статистичної обробки результатів експерименту.

**Результати.** Наведено стан забезпеченості лікарень України лікарняною постільною білизною. Проаналізований асортимент лікарняної білизни. Розглянуто основні чинники формування сучасного асортименту текстильних матеріалів для лікарняної постільної білизни. Основна увага приділена новому виду сировини для тканин для постільної білизни – «бамбукове волокно». Наведений аналіз гігієнічних властивостей сучасних тканин для постільної білизни. Експериментально визначено показники, які характеризують взаємодію тканин із пароподібною та краплинно-рідинною вологою.

**Наукова новизна.** Систематизовано дані щодо гігієнічних властивостей текстильних матеріалів для постільної білизни різної будови та сировинного складу. Виявлено специфіку та всебічно охарактеризовано гігієнічні властивості бамбукових полотен. Експериментально доведено, що асортимент бавовняних та змішаних текстильних матеріалів, які на сьогодні використовуються для виготовлення постільної білизни, може бути доповнений полотнами з бамбукових волокон, які забезпечують високий рівень комфортності та зносостійкості постільної білизни.

**Практична значимість.** Запропонований новий асортимент текстильних матеріалів для постільної лікарняної білизни з урахуванням особливостей експлуатаційної ситуації споживання.

**Ключові слова:** білизняні тканини, термофізіологічний комфорт, гігієнічні властивості, бавовняне волокно, бамбукове волокно.

**Вступ.** Постільна лікарняна білизна – це текстильні вироби багаторазового застосування, які використовуються у закладах для забезпечення гігієнічного перебування пацієнта під час лікування. Лікарняна білизна включає простирадла, рушники, наволочки, підкладні пелюшки, підковдри, ковдри. За даними Міністерства охорони здоров'я, у 2017 році в Україні діяло 1,7 тис. лікарняних закладів, в яких налічувалось 315 тис. ліжок, тобто, по 74 на 10 тисяч населення [1]. Аналіз стану забезпеченості лікарняних закладів білизною вказав на постійну потребу в оновленні цих виробів та розширенні асортименту. Роль лікарняної білизни в процесі надання якісних медичних послуг під час перебування пацієнтів в стаціонарних закладах є однією з визначальних. Асортимент лікарняної білизни налічує велику кількість виробів, але їх якість часто не відповідає сучасним медичним стандартам утримання хворих. У порівнянні з побутовою постільною білизною, до лікарняної часто висувається ряд специфічних вимог, які визначаються особливостями протікання конкретного захворювання та його лікування. Але основною функцією постільної лікарняної білизни залишається забезпечення нормального функціонування шкірних покривів і регуляція теплообміну організму завдяки своєчасній евакуації з підодягового простору продуктів метаболізму тіла людини.

Для дотримання необхідних в лікарні умов гігієни постільна білизна і інший лікарняний текстиль не тільки перуть, але й стерилізують. Тому текстиль для лікарень створюється з тканин,

здатних витримувати стерилізацію температурою або хімічними речовинами без зсідання, зміни кольору та властивостей. Лікарняна постільна білизна та операційний текстиль довгі роки традиційно виготовлялася з бавовняних і лляних тканин. Вони досить міцні, витримують велике число циклів стерилізації, не накопичують електричних зарядів, мають високі гігієнічні властивості. І хоча чисто бавовняні тканини вважаються найбільш комфортними у використанні в якості постільної білизни [2], доцільність їх експлуатації в сучасних лікарняних закладах є не настільки беззаперечною. До недоліків цих матеріалів відносять їх здатність утворювати велику кількість пилу в результаті тертя, який є джерелом забруднення ран та викликає алергійні реакції у хворих, нещільну структуру, яка пропускає і не обмежує обмін продуктів життєдіяльності між хворим та навколишнім середовищем (частки шкіри, волога від шкірного дихання тощо). Зменшити вплив негативних явищ допомагає використання змішаних тканин, найчастіше бавовняно-поліефірних. До сучасної постільної білизни також відносять екологічно безпечну білизну з інноваційних видів волокон. Варто зауважити, що сьогодні особливо актуальною на українському ринку є високоякісна постільна білизна з бамбука, яка відрізняється міцністю і зносостійкістю, має високі гігроскопічні та антимікробні властивості [3]. Враховуючи підвищення вимог до якості умов утримання хворих в стаціонарних медичних закладах, порівняльний аналіз гігієнічних властивостей сучасних екологічних тканин для постільної лікарняної білизни є необхідною складовою їх обґрунтованого вибору.

**Постановка завдання.** Намагання сучасних споживачів використовувати текстильні матеріали з покращеними комфортними властивостями в повній мірі стосується якості постільної білизни в стаціонарних медичних закладах. Комфорт – це приємний психологічний стан, фізіологічна і фізична гармонія між людиною і навколишнім середовищем [4]. Встановленню факторів, які визначають комфортність текстильних матеріалів побутового призначення останнім часом приділяється багато уваги (напр., [5 – 8]). Комфорт постільної білизни має два основних аспекти – термофізіологічний і сенсорний комфорт. Перший стосується здатності тканин до поглинання і розсіювання метаболічного тепла і вологи, тоді як останній відноситься до взаємодії матеріалу з органами почуттів користувача, особливо з тактильною реакцією шкіри на зміну теплоти і вологості. Термофізіологічний комфорт пов'язаний з тепловим балансом тіла людини, який забезпечується підтриманням постійної температури тіла близько 37 °С. До фізичних процесів, що забезпечують комфортність, відносять передачу тепла шляхом провідності, конвекції і випромінювання, транспорт вологи шляхом дифузії, сорбції, капілярності і випаровування, а також механічні взаємодії у вигляді тиску, тертя і динамічного нерегулярного контакту.

Відомо [9], що тіло здорової людини під час сну щоночі продукує від 200 до 300 мл вологи. З цієї кількості третя частина розсіюється шляхом дихання, а дві третини передаються через поверхню тіла і мають бути поглиненими постільною білизною. Пацієнти в лікарнях змушені проводити в ліжку значно більший час, причому, в залежності від виду та важкості захворювання, потовиділення може збільшуватися майже втричі. Крім того, послаблення циркуляції крові та більш низьке виробництво тепла тілом призводить до потреби в додатковій тепловій ізоляції, що у сукупності з низькою вентиляцією мікропростору веде, в свою чергу, до збільшення потовиділення, і, відповідно, збільшення зволоження натільної та постільної білизни. Відносна вологість повітря в прошарку між шкірою людини та предметами постільної білизни складає приблизно 100%, а температура – біля 25 ÷ 27°С.

Для комфортного самопочуття пацієнта тканини постільної білизни, які безпосередньо контактують з шкірою, мають якомога довший час залишатися сухими на дотик. Для охолодження тіла та уникнення погіршення теплоізоляції тканини, викликаного накопиченням вологи, вони повинні забезпечувати передачу вологи у формі чутливого та нечутливого потовиділення від тіла до навколишнього середовища. Якщо матеріали постільної білизни мають незадовільні значення вологопоглинання та вологопровідності, може створюватися буферний шар, так званий «капкан з вологи», який зумовлює значний дискомфорт хворого.

Волога в текстильних матеріалах може переноситися у вигляді пари і рідини. У пароподібному вигляді використовуються такі механізми переносу, як дифузія, сорбція, абсорбція, конвекція та конденсація, тоді як для перенесення рідини зазвичай мають місце два механізми – змочування і просочування. Можна вважати, що здатність до перенесення текстильним матеріалом вологи у вигляді пари або рідини є одним з найважливіших факторів, що впливають на термофізіологічний комфорт, що є особливо актуальним в умовах підвищеного потовиділення, характерного для хворих.

Властивості матеріалів, що забезпечують термофізіологічний комфорт, прийнято умовно розділяти на дві групи: властивості, що забезпечують обмін речовиною (сорбційні властивості і проникність) і властивості, що забезпечують обмін тепловою енергією (поглинання і перенос тепла). У першій групі властивості забезпечуються за рахунок сорбції-десорбції пароподібної вологи і за рахунок поглинання краплинної вологи, проникність – за рахунок повітро- і вологопроникності, також проникності краплинної вологи. В другій групі властивості матеріалів забезпечуються тепло- і температуропровідністю, тепловим випромінюванням, віддачею тепла конвекцією і випаруванням. Управління вологістю, яке визначає рівень комфорту, є одним з ключових критеріїв сучасного проектування матеріалів побутового призначення. Питаннями вивчення процесів транспорту вологи через текстильні матеріали різного волокнистого складу займалися багато дослідників (напр., [10 – 12]), між тим, однозначної залежності впливу будови на інтенсивність процесів вологоперенесення не отримано. Для визначення вологотранспортних властивостей використовується ряд різних методів (гравіметричні, методи так званої «потіючої теплої пластини»), що розрізняються як апаратним оформленням, так і отримуваними показниками [13, 14], але, частіше за все, визначається комплекс показників, які характеризують взаємодію текстильного матеріалу з пароподібною та рідкою вологою.

Метою дослідження є вивчення впливу особливостей будови і структури текстильних матеріалів білизняного призначення різного сировинного складу на здатність забезпечення термофізіологічного комфорту при експлуатації.

**Результати досліджень.** Об'єктом дослідження є тканини для постільної лікарняної білизни (рис.1), які розрізняються за сировинним складом і структурними характеристиками (табл.1).

Поверхнева густина, число ниток по основі та по утку на 100 мм визначалися за ГОСТ 3811–72. Товщина полотен досліджувалася при тиску 200 Па згідно ДСТУ ISO 5084:2004. Для досліджуваних матеріалів за методикою [15] розраховувалися значення поверхневого заповнення  $E_s$  та наскрізної пористості  $R_s$  (1 – 3):

$$E_s = d_o \Pi_o + d_y \Pi_y - 0,01 d_o \Pi_o d_y \Pi_y \quad (1)$$

де  $P_o, P_y$  – кількість ниток на 100мм по основі та утку;  $d_o, d_y$  – діаметр ниток основи і утку, визначений розрахунковим методом:

$$d_{розр} = 0,0357 \sqrt{\frac{T}{\rho_n}}, \quad (2)$$

де  $T$  – лінійна густина ниток, Текс;

$\rho_n$  – об'ємна маса ниток, мг/мм<sup>3</sup>.

$$R_s = 100 - E_s, [\%] \quad (3)$$

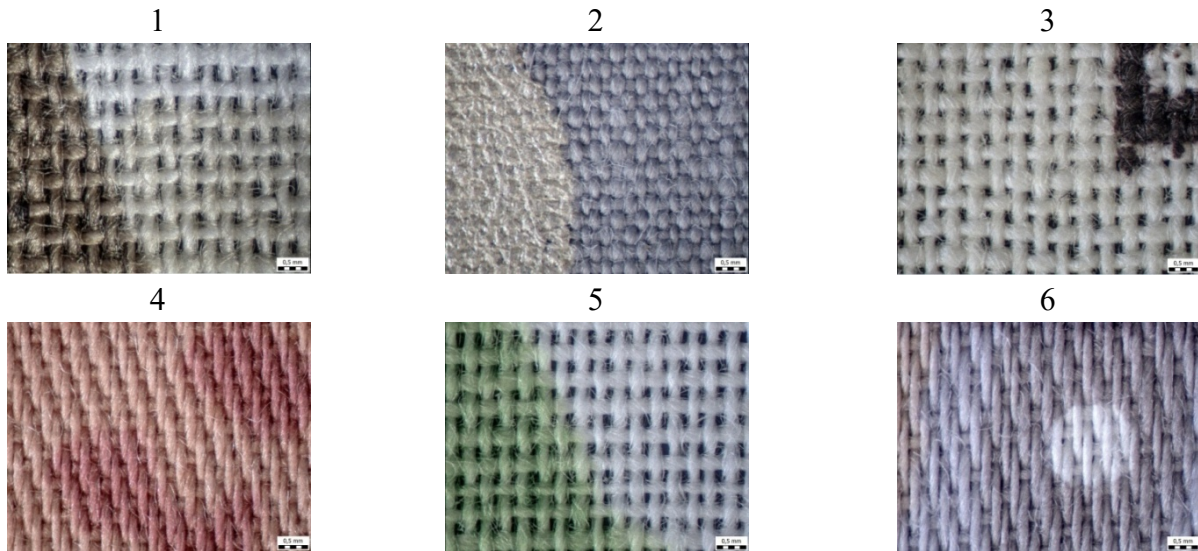


Рис. 1. USB-зображення тканин, що досліджувалися

Таблиця 1

Структурні характеристики тканини для постільної лікарняної білизни

Номер зразка	Переплетення	Вміст складників сировинного складу, [%]	Лінійна густина ниток, $T_f$ , [текс], основа/уток	Поверхнева густина, $M_s$ [г/м <sup>2</sup> ]	Товщина, [мм]	Число ниток на 100 мм $P_o/P_y$	Поверхнєве заповнення, $E_s$ [%]	Поверхнева пористість, $R_s$ [%]
1	Полотняне	Бавовна – 100	20,0/26,3	110	0,20	300/200	74	26
2	Полотняне	Бавовна – 100	15,3/18,1	135	0,22	550/400	94	6
3	Полотняне	Бавовна – 100	16,6/18,1	149	0,27	260/240	81	19
4	Сатинове	Бамбук – 100	13,3/18,1	147	0,21	500/350	98	2
5	Полотняне	Бавовна – 50 ПЕ – 50	15,3/20,0	80	0,19	300/200	65	35
6	Сатинове	Бавовна – 100	14,2/16,6	130	0,22	550/300	87	13

За методиками ГОСТ 3816–81 (ISO 811-81) визначалися показники: кондиційна вологість,  $W_k$  [%], вологоємність,  $W$  [%], гігроскопічність,  $H$  [%] та капілярність. Коефіцієнт повітропроникності  $B_h$  [дм<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>с] визначався на приладі FF-12 за методикою ДСТУ ISO 9237:2003.

Відносна паропроникність  $P$  [%] полотен досліджувалась на приладі «PERMETEST» виробництва Чеської республіки (рис.2).



Рис. 2. Прилад PERMETEST

При дослідженні на приладі PERMETEST пробу текстильного матеріалу діаметром 90 мм розташовують на відстані  $1,0 \div 1,5$  мм від попередньо зволоженої пористої поверхні. Тепловий потік, який генерується під час випаровування рідкої вологи з пористої поверхні, вимірюється датчиком. Час дослідження  $2 \div 8$  хвилин. Для характеристики паропроникності за цим методом використовують показник «відносна паропроникність»,  $P$ , % (у англомовній літературі – Relative Water Vapor Permeability,  $RWVP$ ) – відношення теплових втрат ( $H$ ), які генеруються при розміщенні проби текстильного матеріалу на пористій поверхні, до теплових втрат ( $H_2$ ), які генеруються пористою поверхнею не вкритою пробою текстильного матеріалу:  $P = 100 H/H_2$ . Досліди проводилися при  $T_{\text{повітря}} = 22$  °С, відносній вологості повітря  $\varphi = 60$  % та швидкості повітря  $v = 1,5$  м/с.

Зміна лінійних розмірів після мокрих оброблень оцінювалась за ДСТУ ГОСТ 30157.0–2003 після прання в автоматичній пральній машині за режимом С4П4О8В1Р1 (табл.2) в присутності дезінфікуючого засобу «Септодор» фабрики деззасобів «ДезоМарк».

Таблиця 2

### Характеристика параметрів досліджу

Режим досліджу	Параметр досліджу	Значення
С <sub>4</sub> прання	Модуль ванни	1:30
	Температура води, °С	40
	Частота обертів барабана, хв <sup>-1</sup>	50±5
	Маса миючого засобу, г/дм <sup>3</sup>	3±0,5
	Маса дезінфікуючого засобу, г/дм <sup>3</sup>	2,5±0,5
	Тривалість обробки з механічним впливом, хв	30
П <sub>4</sub> ополіскування	Модуль ванни	1:30
	Температура води, °С	21±3
	Кількість циклів	5
	Тривалість одного циклу, хв	15
О <sub>8</sub> зневоднювання	Центрифугування	пральна машина
	Тривалість обробки, сек	300
В <sub>1</sub> висушування	Температура (°С) та умови висушування	при кімнатній температурі у вільному підвішеному стані до вихідної маси
	Тривалість, хв	
Г <sub>1</sub> пресування	Вид застосовуваного обладнання	установка прохідного типу
	Тривалість, с	20±1
	Температура пресування, °С	130

**Результати дослідження.** Отримані дані свідчать про різну здатність тканин до поглинання вологи із оточуючого середовища, яка змінюється в досить широкому діапазоні значень (табл. 3). Порівняльний аналіз вказує на те, що кондиційна вологість та гігроскопічність є однаковими за чутливістю характеристиками, які дозволяють прослідити чітку різницю між досліджуваними матеріалами щодо їх здатності сорбувати пароподібну вологу. Найбільші показники гігроскопічності (32, 2%), які були визначені після витримання протягом 24 годин при 100%-вій відносній вологості оточуючого середовища, має зразок №4 – тканина, отримана із бамбукових волокон. Бавовняні тканини мають близькі значення  $H$ , які коливаються біля показника 20 %. Введення в структуру гідрофобних поліефірних волокон (зразок №5) знижує гігроскопічність практично вдвічі. Аналогічна залежність від сировинного складу тканин спостерігається також при аналізі значень кондиційної вологості. Із усіх досліджуваних білизняних тканин найкращі гігроскопічні властивості ( $H = 32,2\%$ ;  $W_k = 9,3\%$ ) має зразок №4 з бамбукових волокон.

Таблиця 3

**Гігієнічні властивості білизняних тканин**

Номер зразка	Переплетення	Вміст складників сировинного складу, [%]	Гігроскопічність, $H$ [%] (24 години)	Кондиційна вологість, $W_k$ [%] (24 години)	Вологоємність, $W$ , [%]	Капілярність, $h$ , [мм]		Коефіцієнт повітропроникності, $V_n$ [дм <sup>3</sup> /м <sup>2</sup> с]	Відносна паропроникність, $P$ [%]
						основа	уток		
1	Полотняне	Бавовна – 100	20,2	6,7	79	73	98	583	76
2	Полотняне	Бавовна – 100	19,0	5,5	58	74	75	25	71
3	Полотняне	Бавовна – 100	18,8	5,5	78	64	88	249	73
4	Сатинове	Бамбук – 100	32,2	9,3	68	29	37	29	73
5	Полотняне	Бавовна – 50 ПЕ – 50	11,3	2,7	74	107	105	883	82
6	Сатинове	Бавовна – 100	22,2	5,8	107	109	134	64	74

Здатність матеріалів взаємодіяти з рідкою вологою характеризують показники вологоємності і капілярності. Значення  $W$  для досліджених зразків тканин №№1 – 5 мало відрізняються між собою; найбільшу вологоємність ( $W = 107$  %) має бавовняна тканина сатинового переплетення – зразок №6. Капілярність як здатність матеріалу поглинати і переносити рідку вологу під дією капілярних сил, характеризує поглинання вологи поздовжніми капілярами і зазвичай використовується для характеристики гігієнічних властивостей. Найвищі значення цього показника мають зразки №№ 5 і 6, найменшу капілярність має тканина, виготовлена із бамбукового волокна (зразок №4). По утку значення  $h$  для всіх зразків вище, ніж по основі.

Однією з найважливіших властивостей, яка функціонально пов'язана із пористістю та визначає гігієнічні властивості матеріалів, є їх здатність пропускати повітря. Відомо [15, 16],

що найбільше впливає на повітропроникність кількість, розміри і форма наскрізних міжниткових пор, розташованих перпендикулярно до поверхні тканини. Певний внесок вносять також похилі міжниткові пори, розташовані до площини тканини під різними кутами нахилу. Значення коефіцієнту повітропроникності для досліджених зразків тканин корелюють з величинами поверхневого заповнення і, відповідно, наскрізної пористості. Найбільшу величину  $B_h$  має зразок змішаної бавовняно-поліефірної тканини №5 ( $R_s = 35\%$ ), найменшу –  $R_s = 2\%$  – зразок №4 бамбукової тканини атласного переплетення з великою щільністю ткацтва.

З метою оцінки здатності текстильних матеріалів забезпечувати відведення надлишків пароподібної вологи з мікрокліматичного середовища були визначено показники відносної паропроникності. Паропроникність залежить як від структурних характеристик полотен, так і від вмісту складників сировинного складу. За результатами досліджень (Табл. 3) найбільшу паропроникність (82 %) має змішане бавовняно-поліефірне полотно №5, що обумовлено наявністю гідрофобних синтетичних волокон та високою поверхневою пористістю ( $R_s = 35\%$ ). Інші зразки тканин внаслідок високої щільності та 100% вмісту гідрофільних волокон характеризуються дещо нижчою паропроникністю (71 ÷ 76 %).

Для виробів, призначених для експлуатації в лікарняних закладах, важливою характеристикою їх якості є стабільність геометричних розмірів. Відомо, що внаслідок дії вологи й тепла в гігроскопічних тканинах відбувається зменшення довжини і ширини. Основна причина зсідання полягає в тому, що під час прядіння, ткацтва, обробки волокна та нитки (пряжа), особливо в напрямку основи, закріплюються в примусово розтягнутому стані апретуванням, пресуванням, каландруванням. Під час прання або намочування під дією тепла й вологи апрет змивається, волокна й нитки звільнюються від натягу, релаксують, внаслідок чого зменшується їх довжина і тканина зсідается, причому більше в напрямку основних ниток, які більше піддавались розтягуючим зусиллям при ткацтві, ніж утоків.

Аналіз даних показав, що всі досліджувані тканини досить відчутно змінюють лінійні розміри в результаті волого-теплових обробок, причому найбільша усадка – від 10 % до 16 % відбувається під час першого прання (рис.3, а). Це слід враховувати при виготовленні

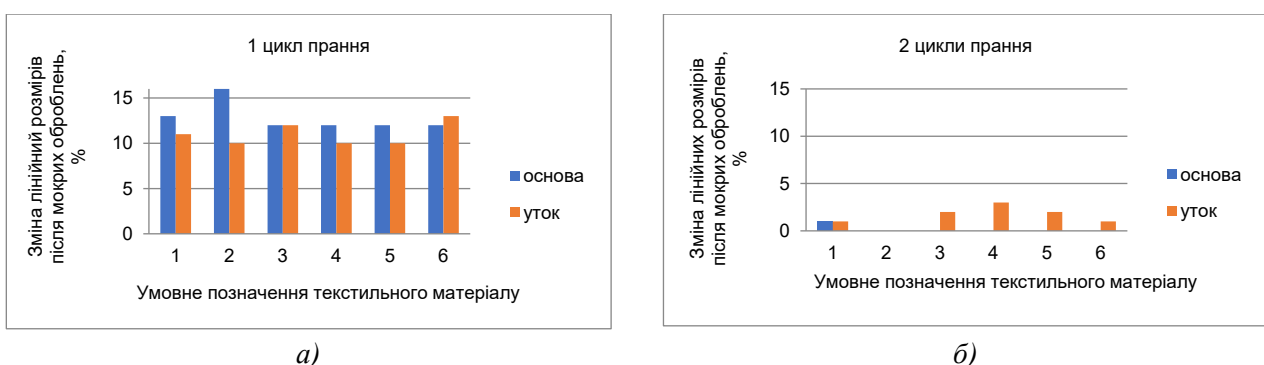


Рис.3. Зміна лінійних розмірів досліджуваних тканин після мокрих оброблень

постільної білизни, оскільки в подальшому може суттєво змінитися попередня форма готових виробів, особливо підковдр і наволочок. Вже після другого прання цей процес уповільнюється (значення  $U$  коливаються від 0 % до 3 %). Після 3, 4 та 5 прання зміни в розмірах текстильних матеріалів не спостерігаються (рис.3, б).

**Висновки.** Проведений порівняльний аналіз властивостей тканин для лікарняної постільної білизни вітчизняного виробництва засвідчив, що всі досліджені матеріали мають комплекс гігієнічних властивостей, який дозволяє забезпечити комфортність та нормальний теплообмін організму хворого, що знаходиться в ліжку, завдяки здатності до евакуації потовиділення у пароподібному та рідкому станах. Одержані результати дають підставу вважати, що асортимент бавовняних та змішаних текстильних матеріалів, які на сьогодні використовуються для виготовлення постільної білизни, може бути доповнений полотнами з бамбукових волокон, які забезпечують високий рівень комфортності та зносостійкості постільної білизни.

### Література

1. Державна служба статистики. URL: [http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2007/oz\\_rik/oz\\_u/zakladu\\_06\\_u.html](http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2007/oz_rik/oz_u/zakladu_06_u.html) (дата звернення: 05.03.2019).
2. Sundaresan S., Ramesh M., Sabitha V., Ramesh M., Ramesh V. A detailed analysis on physical and comfort properties of bed linen woven fabrics. *International Journal of Advance Research and Innovative Ideas in Educatio*. 2016. Vol.2. Issue 2 P. 1649–1658.
3. Rathod A., Kolhatkar A. Analysis of Physical Characteristics of Bamboo Fabrics. *International Journal of Research in Engineering and Technology*. 2014. vol.03. P. 21–25.
4. Y. Li. The science of clothing comfort. *Textile progress*. 2001. Vol. 1. № 2. P. 31–35.
5. Das S. Study on comfort properties of different woven fabric. *International Journal of Management and Applied Science*. 2016. Vol. 2. №8. P. 57–61.
6. Mallikarjunan K., Senior L. Comfort and Thermo Physiological Characteristics of Multilayered Fabrics for Medical Textiles. *Journal of Textile and Apparel, Technology and Management*. 2011. Vol. 7. Issue 1. P. 1–15.
7. Oglakcioglu N., Celik P., Ute T., Marmarali A. Thermal Comfort Properties of Angora Rabbit/Cotton Fiber Blended Knitted Fabrics. *Textile Research Journal*. 2009. № 79. P. 888–893.
8. Oglakcioglu N., Marmarali A. Thermal Comfort Properties of Some Knitted Structures. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2007. Vol. 15, №. 5 – 6. P. 64 – 65.
9. Haex B. Back and Bed. Ergonomic Aspects of Sleeping. CRC Press. 2004. 280 p.
10. Azeeml M., Boughattas A., Wiener J., Havelka A. Mechanism of liquid water transport in fabrics;a review. *Vlakna a Textile*. 2017. № 4. P. 58 – 65.

### References

1. Derzhavna sluzhba statystyky. URL: [http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2007/oz\\_rik/oz\\_u/zakladu\\_06\\_u.html](http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2007/oz_rik/oz_u/zakladu_06_u.html) (data zvernennia: 05.03.2019). [in Ukrainian].
2. Sundaresan S., Ramesh M., Sabitha V., Ramesh M., Ramesh V. A detailed analysis on physical and comfort properties of bed linen woven fabrics. *International Journal of Advance Research and Innovative Ideas in Educatio*. 2016. Vol.2. Issue 2 P. 1649–1658. [in English]
3. Rathod A., Kolhatkar A. Analysis of Physical Characteristics of Bamboo Fabrics. *International Journal of Research in Engineering and Technology*. 2014. vol.03. P. 21–25. [in English]
4. Y. Li. The science of clothing comfort. *Textile progress*. 2001. Vol. 1. № 2. P. 31–35. [in English]
5. Das S. Study on comfort properties of different woven fabric. *International Journal of Management and Applied Science*. 2016. Vol. 2. №8. P. 57–61. [in English]
6. Mallikarjunan K., Senior L. Comfort and Thermo Physiological Characteristics of Multilayered Fabrics for Medical Textiles. *Journal of Textile and Apparel, Technology and Management*. 2011. Vol. 7. Issue 1. P. 1–15. [in English]
7. Oglakcioglu N., Celik P., Ute T., Marmarali A. Thermal Comfort Properties of Angora Rabbit/Cotton Fiber Blended Knitted Fabrics. *Textile Research Journal*. 2009. № 79. P. 888–893. [in English]
8. Oglakcioglu N., Marmarali A. Thermal Comfort Properties of Some Knitted Structures. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2007. Vol. 15, №. 5 – 6. P. 64 – 65. [in English]
9. Haex B. Back and Bed. Ergonomic Aspects of Sleeping. CRC Press. 2004. 280 p. [in English]
10. Azeeml M., Boughattas A., Wiener J., Havelka A. Mechanism of liquid water transport in fabrics;a review. *Vlakna a Textile*. 2017. № 4. P. 58 – 65. [in English]

11. Onofrei E., Rocha A., Catarino A. The Influence of Knitted Fabrics' Structure on the Thermal and Moisture Management Properties. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*. 2011. Vol. 6. Issue 4. P. 10 – 22.
12. Petrulyte V., Baltakyte R. Liquid Sorption and Transport in Woven Structures. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2009. № 17 (2). P. 39 – 45.
13. Gali K., Jones B., Tracy J. Experimental techniques for measuring parameters describing wetting and wicking in fabrics. *Textile Research Journal*. 1994. № 64 (2). P. 106 – 111.
14. Арабулі С.І. Порівняльний аналіз методів визначення паропроникності текстильних матеріалів. *Вісник КНУТД*. 2017. № 3 (110). С. 32 – 40.
15. Материаловедение в производстве изделий легкой промышленности (швейное производство) / Б. А. Бузов, Н. Д. Алыменкова и др. Москва, 2008. 448 с.
16. Havlová M. Air Permeability and Costructional Parameters of Woven Fabrics. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2013. № 2 (98). P. 84 – 89.
11. Onofrei E., Rocha A., Catarino A. The Influence of Knitted Fabrics' Structure on the Thermal and Moisture Management Properties. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*. 2011. Vol. 6. Issue 4. P. 10 – 22. [in English]
12. Petrulyte V., Baltakyte R. Liquid Sorption and Transport in Woven Structures. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2009. № 17 (2). P. 39 – 45. [in English]
13. Gali K., Jones B., Tracy J. Experimental techniques for measuring parameters describing wetting and wicking in fabrics. *Textile Research Journal*. 1994. № 64 (2). P. 106 – 111. [in English]
14. Arabuli S.I. Porivnialnyi analiz metodiv vyznachennia paroprornyknosti tekstylnykh materialiv. *Visnyk KNUVD*. 2017. № 3 (110). S. 32 – 40. [in Ukrainian].
15. Materialovedenie v proizvodstve izdeliy legkoy promyshlennosti (shveynoe proizvodstvo) / B. A. Buzov, N. D. Alymenkova i dr. Moskva, 2008. 448 s. [in Russian]
16. Havlová M. Air Permeability and Costructional Parameters of Woven Fabrics. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2013. № 2 (98). P. 84 – 89. [in English]

**ARABULI SVITLANA**

<https://orcid.org/0000-0003-1049-8255>

Department of materials science and textile examination,  
Kyiv National University of Technologies and Design,  
Ukraine

**OCHERETNA LARYSA**

<https://orcid.org/0000-0003-4296-410X>

Department of Textile Evaluation,  
Technical University of Liberec, Czech Republic

**SUPRUN NATALIA**

<https://orcid.org/0000-0002-3937-8399>

Department of materials science and textile examination,  
Kyiv National University of Technologies and Design,  
Ukraine

**ARABULI ARSENI**

<https://orcid.org/0000-0002-2583-4998>

Department of technology and design of sewing  
products,  
Kyiv National University of Technologies and Design,  
Ukraine

**KUCHERENKO VALENTYNA**

<http://orcid.org/0000-0001-6039-1515>

Educational and Scientific Laboratory of synthetic fibers, materials and new technological processes,  
Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ БОЛЬНИЧНОГО ПОСТЕЛЬНОГО БЕЛЬЯ

АРАБУЛИ С. И.<sup>1</sup>, СУПРУН Н. П.<sup>1</sup>, ОЧЕРЕТНАЯ Л.<sup>2</sup>, АРАБУЛИ А. Т.<sup>1</sup>, КУЧЕРЕНКО В. И.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Київський національний університет технологій і дизайну, Україна

<sup>2</sup>Технічний університет г. Ліберець, Чехія

**Цель.** Исследование влияния особенностей строения и структуры текстильных материалов бельевого назначения различного сырьевого состава на способность обеспечивать термofизиологический комфорт при эксплуатации в больницах.

**Методика.** Теоретические и экспериментальные исследования базируются на основных положениях текстильного материаловедения. При проведении экспериментальных исследований

использованы современные методы определения физических свойств текстильных материалов, а также методы математического планирования и статистической обработки результатов эксперимента.

**Результаты.** Приведено состояние обеспечения больниц Украины больничным постельным бельем. Проанализирован ассортимент больничного белья. Рассмотрены основные факторы формирования современного ассортимента текстильных материалов для больничного постельного белья. Основное внимание уделено новому виду сырья для тканей для постельного белья – «бамбуковое волокно». Приведен анализ гигиенических свойств современных тканей для постельного белья. Экспериментально определены показатели, характеризующие взаимодействие тканей с парообразной и капельно-жидкостной влагой.

**Научная новизна.** Систематизированы данные по гигиеническим свойствам текстильных материалов для постельного белья различного строения и сырьевого состава. Выявлена специфика и всесторонне охарактеризованы гигиенические свойства бамбуковых полотен. Экспериментально доказано, что ассортимент хлопчатобумажных и смешанных текстильных материалов, которые сегодня используются для изготовления постельного белья, может быть дополнен полотнами из бамбуковых волокон, которые обеспечивают высокий уровень комфортности и износостойкости постельного белья.

**Практическая значимость.** Предложен новый ассортимент текстильных материалов для постельного больничного белья с учетом особенностей эксплуатационной ситуации потребления.

**Ключевые слова:** бельевые ткани, термofизиологический комфорт, гигиенические свойства, хлопковое волокно, бамбуковое волокно.

## COMPARATIVE ANALYSIS OF PHYSICAL PROPERTIES OF MATERIALS FOR HOSPITAL BED LINEN

ARABULI S. I.<sup>1</sup>, SUPRUN N. P.<sup>1</sup>, OCHERETNA L.<sup>2</sup>,  
ARABULI A. T.<sup>1</sup>, KUCHERENKO V. I.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine

<sup>2</sup>Technical University of Liberec, Czech Republic

**Purpose.** Investigation of the influence of the structure of textile materials for hospital bed linen with various raw compositions on the ability to provide thermophysiological comfort during operation in hospitals.

**Methodology.** Theoretical and experimental investigations are based on the main positions of textile materials science. In experimental studies, modern methods were used to determine the physical properties of textile materials, as well as methods of mathematical planning and statistical processing of experimental results.

**Findings.** The state of providing hospitals in Ukraine with hospital bed linen was given. Assortment of hospital clothes was analyzed. The main factors of formation of the modern range of textile materials for hospital bed linen are considered. The focus is on a new type of raw material for fabrics for bed linen – «bamboo fiber». The analyze of the hygienic properties of modern fabrics for bed linen are presented. Experimentally determined indicators characterizing the interaction of textiles with vapor and liquid moisture.

**Originality.** The data on the hygienic properties of textile materials for bed linen of various structures and raw compositions has been systematized. Identified specificity and comprehensively described the hygienic properties of bamboo textiles. It has been experimentally proved that the range of cotton and blended textile materials that are used today for the manufacture of bed linen can be supplemented by bamboo textiles that provide a high level of comfort and durability of bed linen.

**Practical value.** A new assortment of textile materials for hospital bed linen has been proposed.

**Keywords:** bed linen fabrics, thermophysiological comfort, hygienic properties, cotton fiber, bamboo fiber.

УДК 675.04:675.026

ПЕРВАЯ Н. В., НІКОНОВА А. В., АНДРЕЄВА О. А.

Київський національний університет технологій та дизайну  
**ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПРОЦЕСІВ РІДИННОГО  
ОЗДОБЛЕННЯ НА ВЛАСТИВОСТІ НАТУРАЛЬНОЇ ШКІРИ**

**Мета.** Для покращення якості натуральної шкіри для верху взуття дослідити вплив процесів рідинного оздоблення (нейтралізації, додублювання-наповнювання), проведених з використанням низки сучасних хімічних матеріалів, на її властивості.

**Методика.** Для реалізації поставленої мети в роботі використано: типову методику виробництва хромової шкіри для верху взуття з козлини з коригуванням виду та витрати хімічних матеріалів; методи органолептичної оцінки, хімічного та фізико-механічного аналізу шкіри, а також статистичної обробки експериментальних даних.

**Результати.** В лабораторних умовах вивчено вплив процесів нейтралізації й додублювання-наповнювання на властивості натуральної шкіри для верху взуття з козлини. Встановлено, що кращі показники міцності шкіри в цілому та її лицьового шару, об'ємного виходу та виходу по площі забезпечуються при використанні препарату Politan BN на основі ароматичних сполук під час нейтралізації та синтетичних дубителів (особливо синтану Retanal LMV на основі меламіну) під час додублювання-наповнювання. Після нейтралізації солями натрію підвищуються відносно видовження при розриві та вихід по товщині у разі додублювання-наповнювання синтанами Retanal LMV та Retanal RCN-40 на основі акрилового полімеру, а також час всмоктування краплі води при додублюванні-наповнюванні танідами квебрахо та Retanal LMV. Методом багатокритеріальної оптимізації встановлено найбільш раціональні умови оброблення.

**Наукова новизна.** Встановлено взаємозв'язок між умовами процесів нейтралізації, додублювання-наповнювання та найважливішими показниками шкіри: міцністю, видовженням, виходом по товщині та площі, об'ємним виходом, часом всмоктування краплі води.

**Практична значимість.** На підставі результатів проведеного дослідження виявлена можливість покращення якості хромової шкіри для верху взуття з козлини за рахунок удосконалення процесів рідинного оздоблення шляхом використання сучасних хімічних матеріалів у вигляді синтану Politan BN – під час нейтралізації, синтану Retanal LMV – під час додублювання-наповнювання.

**Ключові слова:** рідинне оздоблення, хімічні матеріали для нейтралізації, додублювання-наповнювання, шкіряний напівфабрикат, шкіра

**Вступ.** В умовах ринкової конкуренції розвиток шкіряного виробництва має бути спрямований на прогнозування та забезпечення функціональних властивостей шкіряних матеріалів у процесі їх виробництва. Для виготовлення виробів високої якості потрібні такі натуральні шкіри, які б були водночас міцними, м'якими, еластичними, формостійкими та наповненими [1-2]. Як відомо, формування структури, фізико-хімічних і механічних показників шкіри багато в чому визначається умовами рідинного оздоблення [3]. Тому у сучасних технологіях процесів нейтралізації, жирування, додублювання та наповнювання шкіряного напівфабрикату передбачається використання певного асортименту хімічних матеріалів з урахуванням цільового призначення готової продукції.

Характер розподілу та фіксації застосовуваних матеріалів у дермі під час проведення рідинного оздоблення, сушильно-зволожувального циклу, покривного фарбування та експлуатації шкіряних виробів значною мірою визначаються процесом нейтралізації. Для нейтралізації хромованого напівфабрикату на практиці застосовуються переважно такі реагенти як гідрокарбонат, дикарбонат та форміат натрію. Але оскільки частина цих реагентів, як і незв'язаних сполук хрому, може вимиватися зі структури дерми й осідати у вигляді нейтральних

солей, така обробка у подальшому може негативно вплинути на дифузію та рівномірність розподілу жирувальних і наповнювальних реагентів у дермі, викликаючи жорсткість, зниження гідрофобних та розкрійних властивостей шкіри. Для запобігання виникнення цих недоліків можна використовувати синтетичні дубителі (синтани)-нейтралізатори [4-5].

Що стосується матеріалів для додублювання-наповнювання, то найбільш поширеними є імпорتنі рослинні дубителі – таніди квебрахо, мімози, каштану тощо, які позитивно впливають на ущільнення лицьової поверхні та пружно-пластичні властивості хромової шкіри для верху взуття, але відзначаються високою вартістю та дефіцитністю, наявністю токсичних фенолів [5-6].

До альтернативних способів додублювання-наповнювання у роботах [7-9] відносять способи, за якими передбачається використання гіперрозгалужених полімерних сполук на базі акрилатів, здатних забезпечувати шовковисту лицьову поверхню, приємний гриф, яскраве рівномірне забарвлення, добре сформовану структуру та наповнення периферійних ділянок шкіри. В роботах [10-11] пропонується використання полімерів з більш низькою молекулярною масою – аміносмол (синтанів) на основі карбаміду, меламіну, модифікованих багатоатомними спиртами, фосфоровмісними сполуками і т.і. Відмінною особливістю матеріалів зазначеного типу є здатність селективно наповнювати й додатково додублювати напівфабрикат, надавати готовій шкіри необхідних естетичних, експлуатаційних та гігієнічних властивостей без негативного впливу на навколишнє середовище.

**Постановка завдання.** Враховуючи вищевикладене й перспективи подальшого удосконалення технології виробництва натуральної шкіри у напрямку підвищення якості останньої, метою даної роботи є дослідження впливу процесів рідинного оздоблення на властивості хромової шкіри для верху взуття з козлини шляхом використання низки сучасних хімічних матеріалів. За об'єкт дослідження обрано процеси нейтралізації, додублювання-наповнювання, а за предмет – взаємозв'язок між видом та витратою застосованих реагентів та окремими показниками якості шкіри щодо покриття.

У рідинному оздобленні шкіряного напівфабрикату задіяли як поширені на практиці, так і нові хімічні матеріали:

- *Politan BN* – органічний синтан-нейтралізатор на основі ароматичних сполук у вигляді сіруватого порошку; вміст активної речовини 90 %; рН 5 %-го розчину 6,4;
- *таніди квебрахо* з вмістом активної речовини 80 %; рН 5 %-го розчину 4,5;
- *Retanal LMV* – синтетичний дубитель для додублювання-наповнювання на основі меламіну (аміду ціанурової кислоти); водорозчинний порошок світло-жовтого кольору з вмістом активної речовини 90 %; рН 5 %-го розчину 7,5;
- *Retanal RCN-40* – синтетичний дубитель на основі аніонного акрилового полімеру; за зовнішнім виглядом є в'язкою рідиною світло-жовтого кольору, добре розчинною у воді; вміст активної речовини 42,5 %; рН 5 %-го розчину 6,5;
- *препарат СМХ-473* – напівсинтетична аніонна композиція для жирування; вміст активної речовини 50 %; рН 5 %-ої емульсії 6,5.

У роботі використали струганий шкіряний напівфабрикат *Wet-blue*, який отримали за відомою методикою виробництва хромової шкіри для верху взуття з козлини [12] за схемою: промивання 1 – нейтралізація – промивання 2, 3 – фарбування – промивання 4 – жирування –

промивання 5 – додублювання-наповнювання – промивання 6. Показники напівфабрикату цілком відповідали вимогам нормативної документації [13]: масова частка вологи становила  $56 \pm 2$  %; масова частка оксиду хрому  $4,2 \pm 0,1$  %; температура зварювання  $118 \pm 1$  °C; товщина  $0,7 \pm 0,1$  мм.

Скомплектовані за методом асиметричної бахроми дослідні групи 1-6 по два зразки в кожній групі обробляли за методикою [12] з деякими корективами. Так, додублювання сполуками хрому не проводили через високу гідротермічну стійкість напівфабрикату. Спочатку протягом 30 хвилин здійснювали промивання 1 при рідинному коефіцієнті (РК) 1,5. Параметри нейтралізації: РК 1,0 температура 32-35 °C, тривалість 1,0-1,5 години. Групи 1-3 нейтралізували форміатом та гідрокарбонатом натрію при витраті 0,6 та 1,5 % відповідно; групи 4-6 нейтралізували органічним синтан-нейтралізатором Politan BN при його витраті 3,5 %. Закінчення процесу контролювали шляхом визначення рН відпрацьованого розчину (не менше 4,0-5,5) та наскрізного профарбування зрізу напівфабрикату (синє забарвлення індикатором бром крезол зелений). Промивання 2 і 3 проводили протягом 30 хвилин при РК 1,5, температурі 30 °C (промивання 2 – в присутності 0,2 % ПАР у вигляді Савенолу NWP). Процес фарбування виконували за таких параметрів: РК 1,0, температура 32-35 °C, тривалість 2,0 години; барвник Grey-M (після розведення водою у співвідношенні 1:10) дозували в один прийом у кількості 4,0 %. Після повного поглинання барвника до розчину додавали розведену (1:10) мурашину кислоту у кількості 1,0 % та продовжували оброблення ще 30 хвилин. Після промивання 4 (РК 1,5, температура 50-55 °C, тривалість 15 хвилин) здійснювали емульсійне жирування препаратом СМХ-473 при витраті жиру 5,0 % (у перерахунку на 100 %-ий жир), РК 1,0, температурі 50-55 °C, тривалості 1,0 година. Після жирування та 10-тихвилинного промивання 5 при РК 1,5 виконали додублювання-наповнювання протягом 1,0 години при РК 1,0, температурі 35-40 °C і витраті органічних дубителів 4,0 % (у перерахунку на дубильні речовини). Заключне промивання 6 провели протягом 15 хвилин при РК 1,5, температурі 35-40 °C. Витрату всіх матеріалів розраховували від маси вихідного напівфабрикату.

Під час експерименту використали традиційні для шкіряно-хутрового виробництва хімічні та фізико-механічні методи аналізу [14-15]. Для визначення найбільш раціонального режиму оброблення застосували метод багатокритеріальної оптимізації на підставі показника узагальненої цільової функції  $Y_{заг}, r$  [16].

**Результати дослідження.** Ніяких ускладнень під час оброблення дослідних груп не було виявлено. Після закінчення рідинного оздоблення, сушильно-зволожувальних процесів та операцій зразки шкіри були наповненими та м'якими, мали приємний гриф, наскрізне профарбування дерми та чисту, рівномірно пофарбовану лицьову поверхню.

В результаті подальшого хімічного аналізу та фізико-механічних випробувань шкіри визначали вплив умов оброблення на показники її якості (Табл. 1, 2). Наприклад, виявили, що масова частка вологи (на рівні 13,0-14,5 %) та оксиду хрому (4,1-4,2 %) цілком відповідають вимогам нормативної документації [17]. Дещо підвищений показник масової частки речовин, що екстрагуються органічними розчинниками (14,5-15,1 %), спостерігається у всіх групах і, можливо, пов'язаний з походженням й попередньою обробкою вихідної сировини та напівфабрикату.

Незалежно від умов додублювання-наповнювання нейтралізація новим синтаном-нейтралізатором Politan BN (групи 4-6) підвищує рН хлоркалієвої витяжки шкіри на 0,5-0,7 одиниць у порівнянні з традиційною нейтралізацією форміатом і карбонатом натрію (групи 1-3). За однакових умов нейтралізації найбільше значення цього показника досягається у разі додублювання-наповнювання синтаном Retanal LMV (група 2 та група 5), особливо після нейтралізації синтаном Politan BN (група 5). Це можна пояснити впливом застосованих реагентів: як раніше було зазначено, рН вихідного 5 %-ого розчину Retanal LMV становить 7,5 проти 4,5 для танідів квебрахо та 6,5 для Retanal RCN-40.

Таблиця 1

**Результати хімічного аналізу шкір до покриття**

Група	Умови рідинного оздоблення		Значення рН хлоркалієвої витяжки	Масова частка, % (на абс. суху речовину)	
	нейтралізація	додублювання-наповнювання		оксид хрому	речовини, що екстрагуються органічними розчинниками
1	Форміат натрію + карбонат натрію	Таніди квебрахо	4,4	4,2	14,9
2		Retanal LMV	4,6	4,1	15,1
3		Retanal RCN-40	4,4	4,1	14,5
4	Politan BN	Таніди квебрахо	5,1	4,1	15,1
5		Retanal LMV	5,3	4,1	14,9
6		Retanal RCN-40	4,9	4,2	14,6

Різний вплив досліджуваних процесів на властивості шкіри підтверджено і результатами фізико-механічних випробувань, наведених у табл. 2.

Таблиця 2

**Результати фізико-механічних випробувань шкіри до покриття**

Група	Умови рідинного оздоблення		Показники напівфабрикату									Узагальнена цільова функція $U_{заг}$ , r
	нейтралізація	додублювання-наповнювання	Межа міцності при розтягу $\sigma_p$ , 10 МПа	Міцність льощового шару $\sigma_n$ , 10 МПа	Відносне видовження при розриві $\epsilon_p$ , %	Об'ємний вихід, $cm^3 / 100$ г білка	Вихід по товщині, %*	Вихід по площі, %*	Пористість, %	Паропроникність, мг/(см <sup>2</sup> · год)	Час всмоктування краплі води, секунда	
1	Форміат натрію + карбонат натрію	Таніди квебрахо	0,55	0,45	49,8	220,5	111,9	98,6	69,5	3,6	72	0,029
2		Retanal LMV	0,65	0,60	78,6	273,7	113,6	90,9	67,5	3,5	61	0,024
3		Retanal RCN-40	0,85	0,80	66,6	331,8	116,9	90,6	66,7	3,5	25	0,022
4	Politan BN	Таніди квебрахо	0,66	0,64	51,9	251,3	110,6	99,2	68,3	3,6	49	0,024
5		Retanal LMV	0,86	0,69	62,7	323,6	90,6	112,0	67,5	3,5	49	0,018
6		Retanal RCN-40	0,83	0,57	45,8	334,4	99,9	106,4	66,3	3,4	45	0,020

Примітка: \* щодо вихідного напівфабрикату

Зразу слід зазначити невисокі показники міцності шкіри в цілому ( $\sigma_p$ ) та її лицьового шару ( $\sigma_l$ ), які не відповідають вимогам «ДСТУ Шкіра для верху взуття» (не менше  $1,5 \cdot 10$  МПа), що, обумовлено, скоріш за все, низькою якістю вихідної сировини та відсутністю операцій заключного оздоблення.

При визначенні впливу додублювання-наповнювання на фізико-механічні властивості всіх зразків, нейтралізованих форміатом та карбонатом натрію (*групи 1-3*), найбільш високі показники міцності, виходу по товщині та об'єму виявлено у разі використання синтану Retanal RCN-40 (*група 3*): так, у порівнянні з іншими варіантами оброблення міцність зразків в цілому та міцність їх лицьового шару більше в 1,3-1,6 і в 1,3-1,8 рази відповідно, вихід по товщині – на 2,9-4,5 % відн., об'ємний вихід – в 1,2-1,5 рази. При цьому найбільше відносне видовження при розриві  $l_p$  мають зразки, додублені-наповнені синтаном Retanal LMV, найменше – рослинним дубителем. Додублювання-наповнювання танідами квебрахо найбільшим чином сприяє виходу по площі (підвищення на 7,8-8,1 % відн.), пористості (2,9-4,2 % відн.) та наданню шкірі водовідштовхувальних властивостей (час всмоктування стандартної краплі води зростає в 1,2-2,9 рази).

При визначенні впливу додублювання-наповнювання на властивості зразків після нейтралізації синтаном Politan BN (*групи 4-6*) встановлено дещо інші закономірності. Найбільш високі показники міцності, еластичності та виходу по площі при найменшій наповненості шкіри виявлено у *групі 5* при використанні синтану Retanal LMV, оскільки у порівнянні з *групами 6-7* міцність шкіри в цілому та міцність її лицьового шару більше відповідно на 3,6-30,3 і 7,8,3-21,1 % відн., видовження при розриві на 20,8-36,9 % відн., вихід по площі на 5,3-12,9 % відн. Вихід по товщині у цьому варіанті менший від інших на 9,3-18,1 % відн. Найкраще формування об'єму дерми спостерігається при додублюванні-наповнюванні синтаном Retanal RCN-40 (*група 6*; показник об'ємного виходу становить  $334,4 \text{ см}^3$  на 100 г білка, що на 3,3-33,1 % відн. більше щодо *груп 4-5*).

Порівняно з нейтралізацією солями натрію нейтралізація синтаном Politan BN суттєво покращує показники міцності шкіри в цілому  $\sigma_p$  та її лицьового шару  $\sigma_l$  у разі додублювання-наповнювання танідами квебрахо (відповідно на 18,1 і 42,2 % відн.) і синтаном Retanal LMV (на 32,3 і 15,0 % відн.), і, навпаки, призводить до їх погіршення при використанні синтану Retanal RCN-40 (на 2,3 і 28,8 % відн.).

Вид нейтралізатора по-різному впливає на видовження при розриві: у разі додублювання-наповнювання танідами квебрахо цей показник збільшується на 4,2 % відн., у разі використання синтанів Retanal LMV і Retanal RCN-40, навпаки, зменшується відповідно на 20,2 і 31,2 % відн. У всіх випадках нейтралізація з використанням Politan BN покращує формування об'єму дерми. При цьому комбінування нейтралізації синтаном Politan B з додублюванням-наповнюванням синтанами Retanal LMV і Retanal RCN-40 значно впливає на вихід шкір по площі, що можна пояснити різним характером розподілу та взаємодії застосованих матеріалів у структурі дерми.

Гігієнічні властивості шкір оцінювали за показником паропроникності, який у всіх групах знаходився приблизно на одному рівні –  $3,4-3,6 \text{ мг}/(\text{см}^2 \times \text{год})$ . Зниження часу всмоктування стандартної краплі води при використанні застосованих у роботі синтанів, скоріш за все, можна пояснити їх гідрофільною природою й відсутністю покриття на шкірі,

нанесення якого, як було встановлено раніше для полімерних сполук – похідних акрилової та малеїнової кислот, може покращити цей показник [18].

Розкрійні властивості шкіряного матеріалу для взуття можна спрогнозувати за рівномірністю розподілу в різних напрямках шкіри її показників – межі міцності при розтягу  $K_{\sigma p}$ , міцності лицьового шару  $K_{\sigma л}$  та відносного видовження при розриві  $K_{l p}$ .

З рис. а видно, що комбінування нейтралізації синтаном Politan BN з додублюванням-наповнюванням танідами квебрахо не впливає суттєво на рівномірність розподілу межі міцності при розриві, проте, на 13,8 % відн. зменшує рівномірність розподілу міцності лицьової поверхні та на 7,5 %, збільшує рівномірність розподілу видовження при розриві. Порівняно з комбінуванням нейтралізації солями натрію і додублювання-наповнювання синтаном на основі меламіну Retanal LMV комбінування нейтралізації Politan BN з додублюванням-наповнюванням тим самим синтаном Retanal LMV сприяє підвищенню рівномірності розподілу всіх показників: межі міцності при розтягу на 5,3 % відн., міцності лицьового шару на 2,4 % відн., видовження при розриві на 7,1 % відн. (рис. б). При нейтралізації й додублюванні-наповнюванні лише одним синтетичним дубителем, одержаним на основі аніонного акрилового полімеру, спостерігається суттєве підвищення рівномірності розподілу межі міцності при розтягу та видовження при розриві (на 15,1 та 7,0 % відн. відповідно) при деякому зменшенні рівномірності розподілу показника міцності лицьового шару на 4,4 % порівняно із застосуванням Retanal RCN-40 після нейтралізації солями натрію (рис. в). В цілому, найкращі розкрійні властивості шкіри забезпечуються у випадку нейтралізації та додублювання-наповнювання в присутності лише Retanal RCN-40 (група б), оскільки порівняно з іншими варіантами обробки при цьому підвищуються такі коефіцієнти рівномірності розподілу показників одноісного розтягу шкіри як межа міцності при розтягу  $K_{\sigma p}$  (на 6,0-13,1 % відн.) та видовження при розриві  $K_{l p}$  (на 1,1-9,2 % відн.) при достатньо високій рівномірності розподілу міцності лицьового шару ( $K_{\sigma л} = 0,86$ ). Друге місце за розкрійними властивостями можна віддати групі 5, яка поступається групі б за рівномірністю розподілу межі міцності, а третє – групі 3.

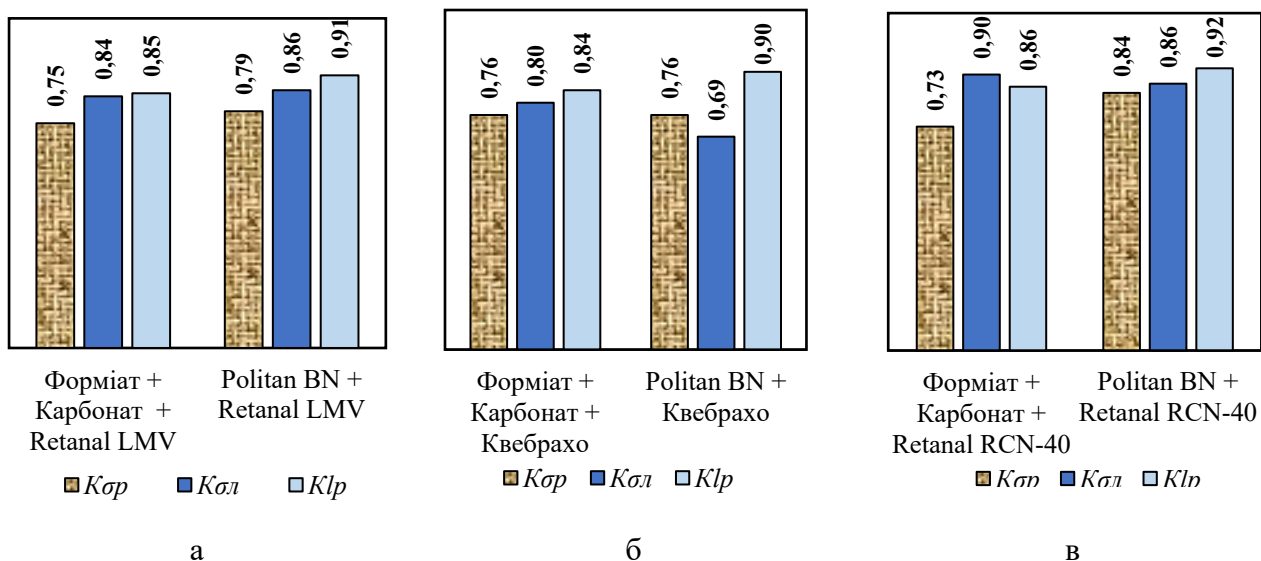


Рис. Вплив умов рідинного оздоблення на рівномірність розподілу основних фізико-механічних показників у різних напрямках шкіри

На підставі комплексного аналізу найважливіших показників функціональних, насамперед, пружно-пластичних та ергономічних, властивостей шкіри за допомогою узагальненої багатокритеріальної цільової функції  $Y_{zag}$  встановлено раціональні умови оброблення: а) при нейтралізації синтаном Politan BN при витраті 3,5 % – додублювання-наповнювання синтаном Retanal RCN-40 на основі аніонного акрилового полімеру (група 6,  $Y_{zag,r} = 0,020$ ); б) при нейтралізації синтаном Politan BN при витраті 3,5 % – додублювання-наповнювання синтаном Retanal LMV на основі меламіну (група 5,  $Y_{zag,r} = 0,018$ ).

**Висновки.** Досліджено вплив умов процесів рідинного оздоблення – нейтралізації та додублювання-наповнювання з використанням низки сучасних хімічних матеріалів на властивості хромової шкіри для верху взуття з козлини. Експериментально встановлено покращення показників міцності, об'ємного виходу та виходу по площі при комбінуванні процесу нейтралізації синтаном Politan BN на основі ароматичних сполук з процесом додублювання-наповнювання шкір синтетичними дубителями, особливо синтаном Retanal LMV на основі меламіну.

Після нейтралізації форміатом та карбонатом натрію й додублювання-наповнювання синтанами Retanal LMV та Retanal RCN-40 на основі акрилового полімеру підвищуються відносно видовження при розриві та вихід по товщині, а додублювання-наповнювання танідами квебрахо та Retanal LMV – час всмоктування стандартної краплі води. Методом багатокритеріальної оптимізації встановлено, що більш раціональним умовам оброблення відповідає рідинне оздоблення з використанням синтетичних дубителів Politan BN на стадії нейтралізації, Retanal LMV – додублювання-наповнювання, оскільки таким чином уможливується одержання шкіри з високими споживчими та розкрійними властивостями. Подальші дослідження планується присвятити відпрацюванню параметрів цих технологічних процесів.

#### Література

1. Беднарчук М. С. *Товарознавчі аспекти формування національного ринку взуття* : монографія. Львів : Вид-во Львівської комерційної академії, 2009. 476 с.
2. Мокроусова О. Р., Качан Р. В., Козарь О. П. Сучасні аспекти післядубильних процесів виробництва шкіри. *Технології та дизайн*. 2013. № 4 (9). С. 1–12.
3. Страхов И. П. *Химия и технология кожи и меха*: учеб. для вузов. Москва: Легпромбытиздат, 1985. 496 с.
4. Zhou J., Shuxiang Hu, Wang Ya-nan, Qiang He, Liao X., Zhang W., Shi Bi. Release of Chrome in Chrome Tanning and Post Tanning Processes. *JSLTC*. 2012. No 96. P. 157–162.
5. Beghetto V. The Leather Industry: A Chemistry Insight Part I: an Overview of the Industrial Process. *Sciences at Ca' Foscari*. 2013. P. 12–22.
6. Садова С. Ф., Кривцова Г. Е., Коновалова

#### References

1. Bednarchuk M. S. *Tovarovnavchi aspekty formuvannia natsionalnoho rynku vzuttia* [Commodity-related aspects of the formation of the national footwear market] : monohrafiia. Lviv : Vyd-vo Lvivskoi komertsiinoi akademii, 2009. 476 p. [in Ukrainian].
2. Mokrousova O. R., Kachan R.V., Kozar O.P. Cuchasni aspekty pisliadubylnykh protsesiv vyrobnytstva shkiry [Contemporary aspects of retanning processes of skin production]. *Tekhnolohii ta dizain*. 2013. № 4 (9). P. 1–12. [in Ukrainian].
3. Strakhov I. P. *Khimiya i tekhnologiya kozhi i mekha* [Chemistry and technology of leather and fur]: ucheb. dlya vuzov. Moskva : Legprombytizdat, 1985. 496 p. [in Russian].
4. Zhou J., Shuxiang Hu, Wang Ya-nan, Qiang He, Liao X., Zhang W., Shi Bi. Release of Chrome in Chrome Tanning and Post Tanning Processes. *JSLTC*. 2012. No 96. P. 157–162. [in English].
5. Beghetto V. The Leather Industry: A Chemistry Insight Part I: an Overview of the Industrial Process.

- М. В. Экологические проблемы отделочного производства. Москва : МГТУ, 2002. 284 с.
7. Lai Sh., Jin Y., Li H., Zhang L., Yin X. Application of Y-shaped Polyurethane and Polyacrylic Acid as a Complex Retanning Agent in Aldehyde-tanned Goat Leather. *JALCA*. 2017. Vol. 112, № 11. P. 367–376.
8. Yuye C., Xiang W., Yunjun L. Synthesis and application of highly branched polymers as filling-retanning agents. *JSLTC*. 2011. Vol. 94, № 5. P. 200–204.
9. Nashy E. H. A. Hussein A. I., Essa M. M. Novel retanning agents for chrome-tanned leather based on emulsion-nanoparticles of styrene/butyl acrylate co-polymers. *JALCA*. – 2011. – Vol. 106, № 5. P. 241–248.
10. Латфуллин И. И., Островская А. В., Абдуллин И. Ш., Фахрутдинов И. Р., Зенитова Л.А. Исследование влияния аминсмола, модифицированной изопропиловым спиртом, на гигиенические свойств ортопедической кожи из овчины. *Вестник Казанского технологического университета*. 2014. № 19. С. 102–104.
11. Rashid Saleem, Ahmad Adnan, Fahim Ashraf Qureshi. Synthesis and application of formaldehyde free melamine glutaraldehyde amino resin as an effective retanning agent. *Indian Journal of Chemical Technology*. 2015. Vol. 22. P. 48–55.
12. Балберова Н. А., Михайлов А. Н., Шуленкова Е. И., Кут'ин В. А. *Справочник кожевника (Технология)* ; под ред. Н. А. Балберовой. Москва : Легпромбытиздат, 1986. 272 с.
13. ТУУ 00302391-03-98. Шкіряний напівфабрикат Wet-blue. Технічні умови. Київ, 1998. 14 с.
14. Головтеева А. А., Куциди Д. А., Санкин Л. Б. *Лабораторный практикум по химии и технологии кожи и меха* ; под ред. И. П. Страхова. Москва : Легкая индустрия, 1982. 312 с.
15. ISO 2418:2017. Шкіра. Хімічні, фізичні і механічні випробування та випробування стійкості. Відбирання проб; Міждержавний стандарт, (IULTCS/IUP 2). 2017. 9 с.
16. Горбачов А. А., Кернер С. М., Андреева О. А., Орлова О. Д. *Основы створення сучасних технологій виробництва шкіри та хутра* : монографія. Київ : КНУТД, 2007. 190 с.
17. ДСТУ 2726-94. Шкіра для верху взуття. Технічні умови. Київ, 1994. 35 с.
- Sciences at Ca' Foscari*. 2013. P. 12–22. [in English].
6. Sadova S. F., Krivtsova G. E., Konovalova M. V. *Ekologicheskie problemy otdelochnogo proizvodstva* [Ecological problems of finishing production]. Moskva : MGTU, 2002. 284 p. [in Russian].
7. Lai Sh., Jin Y., Li H., Zhang L., Yin X. Application of Y-shaped Polyurethane and Polyacrylic Acid as a Complex Retanning Agent in Aldehyde-tanned Goat Leather. *JALCA*. 2017. Vol. 112, № 11. P. 367–376. [in English].
8. Yuye C., Xiang W., Yunjun L. Synthesis and application of highly branched polymers as filling-retanning agents. *JSLTC*. 2011. Vol. 94, № 5. P. 200–204. [in English].
9. Nashy E. H. A. Hussein A. I., Essa M. M. Novel retanning agents for chrome-tanned leather based on emulsion-nanoparticles of styrene/butyl acrylate co-polymers. *JALCA*. – 2011. – Vol. 106, № 5. P. 241–248. [in English].
10. Latfullin I. I., Ostrovskaya A. V., Abdullin I. Sh., Fakhruddinov I. R., Zenitova L. A. Issledovanie vliyaniya aminosmoly, modifitsirovannoy izopropilovym spirtom, na gigenicheskie svoystv ortopedicheskoy kozhi iz ovchiny. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*. 2014. № 19. P. 102–104. [in Russian].
11. Rashid Saleem, Ahmad Adnan, Fahim Ashraf Qureshi. Synthesis and application of formaldehyde free melamine glutaraldehyde amino resin as an effective retanning agent. *Indian Journal of Chemical Technology*. 2015. Vol. 22. P. 48–55. [in English].
12. Balberova N. A., Mikhaylov A. N., Shulenkova E. I., Kut'in V. A. *Spravochnik kozhevnik (Tekhnologiya)* [Tanner's Handbook (Technology)] ; pod red. N. A. Balberovoy. Moskva : Legprombytizdat, 1986. 272 p. [in Russian].
13. TU U 00302391-03-98. Shkiryani napivfabrykat. Wet-blue. Tekhnichni umovy. Kyiv, 1998. 14 s. [in Ukrainian].
14. Golovteeva A. A., Kutsidi D. A., Sankin L. B. *Laboratornyy praktikum po khimii i tekhnologii kozhi i mekha* [Laboratory Workshop on Chemistry and Technology of Leather and Fur]; pod red. I. P. Strakhova. Moskva : Legkaya industriya, 1982. 312 p. [in Russian].
15. ISO 2418:2017. Shkira. Khimichni, fizychni i mekhanichni vyprobuvannia ta vyprobuvannia stiiikosti. Vidbyrannia prob ; Mizhderzhavnyi standart, (IULTCS/IUP 2). 2017. 9 p. [in Ukrainian].
16. Horbachov A. A., Kerner S. M., Andreieva O. A., Orlova O. D. *Osnovy stvorennia suchasnykh tekhnolohii vyrobnytstva shkiry ta khutra* [Basics of creating modern production technology of leather and fur] : monohrafiia. Kyiv : KNUVD, 2007. 190 p. [in Ukrainian].

18. Nikonova A., Andreyeva O., Maistrenko L. Improving of leather liquid finishing through usage of polymeric compounds. ICAMS 2016 Advanced Materials and Systems: *Proceedings of the 6th International Conference* (Bucharest, Romania, October 20th-22nd, 2016). Bucharest, 2016. P. 369–374.

17. DSTU 2726-94. Shkira dlia verkhу vzzuttia. Tekhnichni umovy. Kyiv, 1994. 35 p. [in Ukrainian].  
18. Nikonova A., Andreyeva O., Maistrenko L. Improving of leather liquid finishing through usage of polymeric compounds. ICAMS 2016 Advanced Materials and Systems: *Proceedings of the 6th International Conference* (Bucharest, Romania, October 20th-22nd, 2016). Bucharest, 2016. P. 369–374. [in English].

**PERVAIA N. V.**

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5086-3926>  
Scopus Author ID: 55976214600

Department of Design and Technologies of Leather Products,  
Kyiv National University of Technologies and Design,  
Ukraine

**NIKONOVA A. V.**

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8396-2664>  
Department of Biotechnology, Leather and Fur,

Kyiv National University of Technologies and Design,  
Ukraine

**ANDREYEVA O. A.**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8374-2306>  
Scopus Author ID: 57189216288

Department of Biotechnology, Leather and Fur,  
Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРОЦЕССОВ ЖИДКОСТНОЙ ОТДЕЛКИ НА СВОЙСТВА НАТУРАЛЬНОЙ КОЖИ ПЕРВАЯ Н. В., НИКОНОВА А. В., АНДРЕЕВА О. А.

Киевский национальный университет технологий и дизайна

**Цель.** Для улучшения качества натуральной кожи для верха обуви исследовать влияние процессов жидкостной отделки (нейтрализации, додубливания-наполнения), проведенных с использованием ряда современных химических материалов, на ее свойства.

**Методика.** Для реализации поставленной цели в работе использованы: типовая методика производства хромовой кожи для верха обуви из козчины с корректированием вида и расхода химических материалов; методы органолептической оценки, химического и физико-механического анализа кожи, а также статистической обработки экспериментальных данных.

**Результаты.** В лабораторных условиях изучено влияние процессов нейтрализации и додубливания-наполнения на свойства натуральной кожи для верха обуви из козчины. Установлено, что лучшие показатели прочности кожи в целом и ее лицевого слоя, объемного выхода и выхода по площади обеспечиваются при применении препарата Politan BN на основе ароматических соединений во время нейтрализации и синтетических дубителей (особенно синтана Retanal LMV на основе меламин) во время додубливания-наполнения. После нейтрализации солями натрия повышаются относительное удлинение при разрыве и выход по толщине в случае додубливания-наполнения синтанами Retanal LMV и Retanal RCN-40 на основе акрилового полимера, а также время впитывания капли воды при додубливании-наполнении таннидами квебрахо и Retanal LMV. Методом многокритериальной оптимизации установлены наиболее рациональные условия обработки.

**Научная новизна.** Установлена взаимосвязь между условиями процессов нейтрализации, додубливания-наполнения и важнейшими показателями кожи: прочностью, удлинением, выходом по толщине и площади, объемным выходом, временем впитывания капли воды.

**Практическая значимость.** На основании результатов проведенного исследования выявлена возможность улучшения качества хромовой кожи для верха обуви из козчины за счет усовершенствования процессов жидкостной отделки путем использования современных химических материалов в виде синтана-нейтрализатора Politan BN – при нейтрализации, синтана Retanal LMV – при додубливании-наполнении.

**Ключевые слова:** жидкостная отделка, химические материалы для нейтрализации, додубливания-наполнения, кожевенный полуфабрикат, кожа.

## INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF LIQUID FINISHING PROCESSES ON PROPERTIES OF NATURAL LEATHER

PERVAYA N. V., NIKONOVA A. V., ANDREYEVA O. A.

*Kyiv National University of Technologies and Design*

**Purpose.** To improve the quality of natural leather for uppers shoes are investigated the influence of the processes of liquid finishing (neutralization, retanning-filling) carried out using a series of modern chemical materials on its properties.

**Methodology.** In order to achieve this purpose, the following methods had been used in the work: the typical method of production of chrome goat leather for uppers shoes, with adjusting the type and the consumption of chemical materials, methods of organoleptic evaluation, chemical and physical-mechanical analysis of leather, and statistical processing of experimental data.

**Results.** In laboratory conditions, the influence of neutralization, retanning and fillings processes on the properties of natural goat leather for uppers shoes is studied. It is established that the best indexes of straight of leather overall and its surface, by volume yield and yield of area are provide with the use of preparation Politan BN based on aromatic compounds during neutralization and synthetic retanning agent (especially syntan Retanal LMV based on melamine) during retanning-filling. After neutralization with sodium salts are increased elongation at break and the yield of thickness in the case of retanning-filling with the use of syntans Retanal LMV and Retanal RCN-40 based on acrylic-based polymer, and the absorption time of water drop during retanning-filling quebracho tannins and Retanal LMV. By the method of multi-criteria optimization, the most rational conditions of treatment are established.

**Scientific novelty.** The relationship between the conditions of neutralization processes, retanning and fillings and individual indices of leather quality: strength, elongation, yields in thickness and area, volume yield, absorption time of water drop had been established.

**Practical value.** Based on the results of investigation the possibility of improvement of quality of chrome goat leather for uppers shoes is revealed by improving the liquid finishing processes with the use of modern chemical materials such as syntan-neutralizater Politan BN – during neutralization, syntan Retanal LMV – at retanning-filling.

**Keywords:** liquid finishing, chemical materials for neutralization, retanning-filling, leather semi-finished products, leather.

<https://doi.org/DOI:10.30857/1813-6796.2019.1.6>

УДК 677.016.8

СЕМЕШКО О. Я.

Херсонський національний технічний університет  
**ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ХІМІЧНОЇ БУДОВИ КИСЛОТНИХ  
БАРВНИКІВ НА СВІТЛОСТІЙКІСТЬ ЗАБАРВЛЕНЬ**

**Мета.** Мета роботи полягає у визначенні залежності світлостійкості забарвлень, отриманих на вовняній тканині кислотними барвниками, від їх хімічної структури, а саме хімічного класу і будови хромофора та кількості сульфогруп.

**Методика.** Досліджування здійснювалось з використанням семи кислотних барвників з різною будовою хромофора та кількістю сульфогруп у молекулі. Фарбуванню підлягала чистововняна тканина, яка була попередньо підготовлена способом пероксидного відбілювання. Фарбування вовняного текстильного матеріалу здійснювалось способом, що визначався вирівнюючою властивістю кожного барвника. Інсоляцію пофарбованих зразків здійснювали на приладі з ртутно-вольфрамовою лампою. Світлостійкість зразків оцінювали за стандартом BS 1006 UK/TN шляхом визначення колірних відмінностей за допомогою колориметра.

**Результат.** У роботі наведені результати дослідження залежності світлостійкості отриманих на вовняній тканині забарвлень від хімічної структури кислотних барвників. Встановлена хімічна будова хромофору та необхідна кількість сульфогруп у молекулі кислотного барвника для забезпечення світлостійких забарвлень на вовняній тканині. Доведено, що з погляду хімічної будови для кислотних барвників вирішальним є кількість сульфогруп. Також визначено, що азобарвники, які мають оксігрупу в орто-положенні до азогрупи, утворюють стійкі до дії світла забарвлення.

**Наукова новизна.** Досліджено вплив хімічної будови молекул кислотних барвників – хімічний клас хромофору та кількість сульфогруп – на світлостійкість отриманих на вовняній тканині забарвлень.

**Практична значимість.** Визначено хімічну будову кислотних барвників, що забезпечують отримання забарвлень з високими показниками стійкості до дії світла.

**Ключові слова:** кислотні барвники, фарбування, світлостійкість, колірні відмінності, хромофор, сульфогрупи.

**Вступ.** Вовняні та бавовняні текстильні вироби здавна і до цього часу користуються надзвичайним попитом у споживачів завдяки унікальним властивостям, якими вони володіють. Так вовна має властивість утримувати температуру та завдяки здатності до звалювання може бути використана для виготовлення широкого асортименту текстильних матеріалів та виробів. Бавовняні текстильні матеріали є гігроскопічними, повітропроникними. Загалом одяг із натуральних волокон характеризується гігієнічністю.

Здатність тканини зберегти свій первісний колір є однією з найважливіших властивостей текстильного матеріалу. Стійкість кольору або збереження кольору тканин залежить від ряду чинників, як під час виготовлення текстильного матеріалу, так і під час експлуатації готових виробів. Відомо, що в процесі експлуатації під впливом різноманітних фізико-хімічних факторів, відбувається зношування текстильних матеріалів. Оскільки географічно Україна розташована так, що кількість сонячних днів складає 270-320 на рік, дія світла є одним із вагомих факторів, що впливають на зовнішній вигляд одягу незалежно від сезону [1].

Процес формування високоякісного забарвлення текстильних матеріалів відбувається комплексно протягом всього циклу опорядження, тому систематичне дослідження впливу факторів основних процесів підготовки, фарбування та заключної обробки на створення

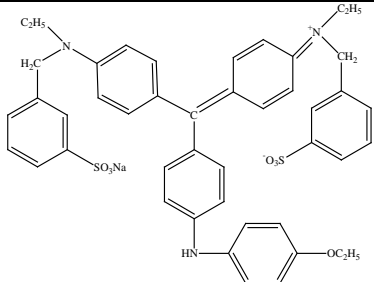
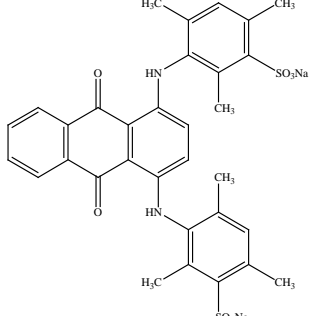
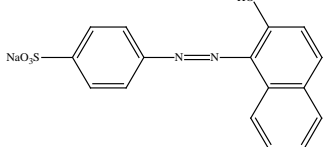
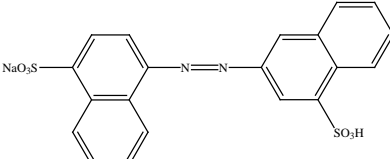
забарвлень текстильних матеріалів із натуральних волокон, стійких до фізико-хімічних дій, зокрема до дії світла, є актуальним.

**Постановка завдання.** Одним з факторів, що впливає на світлостійкість забарвлень на текстильних матеріалах є хімічна будова барвників, тому метою дослідження є встановлення залежності світлостійкості забарвлень вовняної тканини від хімічної будови молекул кислотних барвників, а саме від типу хромофору та кількості сульфогрупи у молекулі.

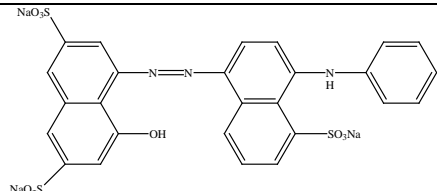
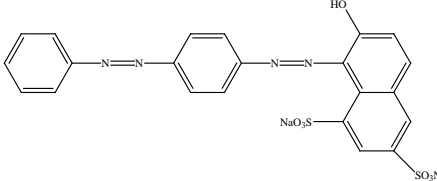
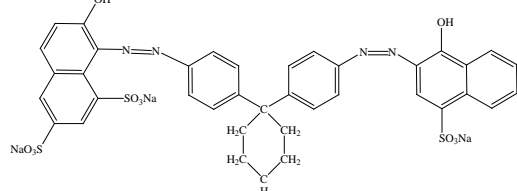
**Матеріали та методи дослідження.** У роботі використані кислотні барвники, характеристика яких наведена у табл. 1 [2].

Таблиця 1

**Характеристика кислотних барвників**

№	Назва, спосіб фарбування	Хімічна будова	Клас та група за хімічною будовою	Кількість сульфогруп
1	2	3	4	5
1	яскраво-синій II спосіб		арилметановий, триаміотриарилметановий	2
2	яскраво-синій антрахіноновий II спосіб		антрахіноновий, аміноантрахіноновий	2
3	оранжевий I спосіб		моноазобарвник, група бензолазо-нафталіну	1
4	червоний 2С I спосіб		моноазобарвник, група азнафталіну	2

Продовження таблиці 1

1	2	3	4	5
5	синій 2К II спосіб		моноазобарвник, група азонафталіну	3
6	червоний 2Ж I спосіб		дисазобарвники (спряжені азогрупи), група азобензолазо- нафталіну	3
7	алий 2Ж II спосіб		дисазобарвник (роз'єднані азогрупи), група дифенілцикло- гексану	3

Дослідженню підлягала чистововняна тканина з поверхневою щільністю 150 г/см<sup>2</sup>, що була підготовлена шляхом пероксидного відбілювання [3]. Вона була пофарбована кислотними барвниками за способами, вказаними у табл. 1 [3, 4]. Способи фарбування залежать від вирівнюючої властивості барвника.

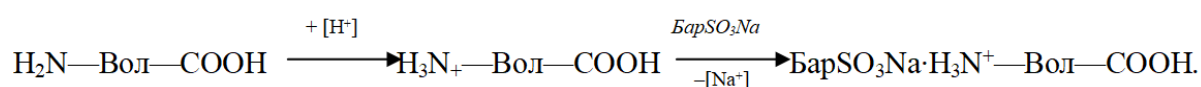
Модуль ванни при фарбуванні складав M=50, маса зразка – 2 г, об'єм фарбувальної – ванни 100 мл. Склад фарбувальної ванни (у % від маси тканини): барвник – 1%, сульфат натрію – 10, оцтова кислота (30%-ова) – 4 (спосіб I) або сульфат амонію – 4 (спосіб II).

У загальний об'єм води вводили сульфат натрію та кислотний агент (оцтову кислоту або сульфат амонію), нагрівали до 40°C та поміщали у розчин зразки вовни. Обробку проводили протягом 10 хв. Потім зразки виймали, додавали у розчин барвник та знову занурювали тканину. Нагрівали фарбувальну ванну до кипіння протягом 30 хв. і фарбували при кипінні 45 хв. Забарвлені зразки промивали холодною водою та висушували [3, 4].

Світлостійкість зразків оцінювали за стандартом BS 1006 UK/TN після інсоляції на приладі з ртутно-вольфрамовою лампою RF 1201 BS («REFOND») та визначення колірних відмінностей на колориметрі PCE-TCR 200.

**Результати дослідження.** Кислотні барвники є натрієвими солями складних органічних сульфо кислот. Вони розчинні у воді та мають загальну формулу Бар(SO<sub>3</sub>Na)<sub>n</sub>, де Бар – хромофорна частина барвника, яка визначає його колір; SO<sub>3</sub>Na – сульфогрупи, що надають розчинність барвнику, їх кількість варіюється від 1 до 4.

Взаємодія кислотних барвників з вовною здійснюється рахунок іонних зв'язків аніонів барвників з протонованими у кислому середовищі аміногрупами волокна [5]:



Крім іонного зв'язку кислотні барвники утримуються на вовні за допомогою водневих зв'язків та сил Ван-дер-Ваальса, які є енергетично слабшими за іонні [5].

Загалом фотодекструкція будь-яких барвників відбувається за наступним механізмом [6, 7]:

I СТАДІЯ:  $\text{Бар} + h\nu \rightarrow \text{Бар}^*$ ;

II СТАДІЯ:  $\text{Бар}^* + x \rightarrow \text{продукти фтодеструкції}$ ,

де Бар – барвник;

Бар\* – барвник у фотозбудженому стані;

x – активні частинки (кисень, вода, пероксиди, радикали тощо);

h – постійна Планка;

$\nu$  – частота коливань світла.

На першій стадії відбувається фізичний процес шляхом вибіркової адсорбції певної частини спектру барвником, у результаті чого частина його молекул переходить у збуджений стан, що характеризується підвищеною реакційною здатністю молекули протягом певного часу. Друга стадія – хімічний процес окислення, представляє собою реакцію збуджених молекул барвника з активними речовинами (кисень, вода, пероксиди, радикали тощо), у результаті чого утворюються продукти фотодекструкції [8-10].

Відомо [7], що властивості барвників, їх хімічна будова, фізичний стан та концентрація на волокні є основним з факторів, від яких залежить світлостійкість забарвлень на текстильних матеріалах. Хімічна будова барвників визначає дві найважливіші їх характеристики: спектральні (поглинаюча здатність) та реакційна здатність у збудженому і основному станах.

Структурно молекулу барвника можна поділити на дві частини: основний скелет (хромофор) – триарилметанова, антрахінонова, азо- та дисазогрупи і групи-замісники (ауксохроми) – сульфо-, оксі- та аміногрупи. Саме хімічна будова хромофора характеризує поглинаючу здатність молекул барвників та визначає їх колір [2]. Відповідно до схеми реакції кислотних барвників з вовняним волокном взаємодія між ними відбувається за рахунок іонних зв'язків між сульфогрупами барвників та аміногрупами волокна. Тому у роботі було досліджено вплив саме цих характеристик хімічної будови – хімічної будови хромофора та кількості сульфогруп – на світлостійкість отриманих забарвлень. Отримані результати наведені на рис. 1, 2.

Відповідно до механізму фарбування кислотними барвниками, світлостійкість кислотних барвників на вовняній тканині зростає зі збільшенням числа сульфогруп у молекулі барвника.

Як і звичайному окисленню, фотоокисленню легше піддаються менш стійкі з хімічного погляду сполуки. Тому більш світлостійкими є барвники, які не мають в молекулі рухливих атомів та нестійких зв'язків. У органічних барвниках до числа рухливих атомів, тобто тих, що легко заміщуються і відщеплюються, відносять атоми водню, аміно- та оксігруп, а до числа нестійких зв'язків – зв'язки з порушеною ароматичністю (хіноїдні ядра) [7, 10]. Шляхом підвищення стійкості барвників до дії світла є зменшення рухливості атомів, що досягається ацилуванням, алкілуванням арилуванням аміно- та оксігруп, або заміщенням атомів водню у цих групах атомами металів при комплексоутворенні. Запобігання утворення хіноїдних структур шляхом азогідразонної таутомерії є ще одним з шляхів підвищення стійкості до дії світла азобарвників.

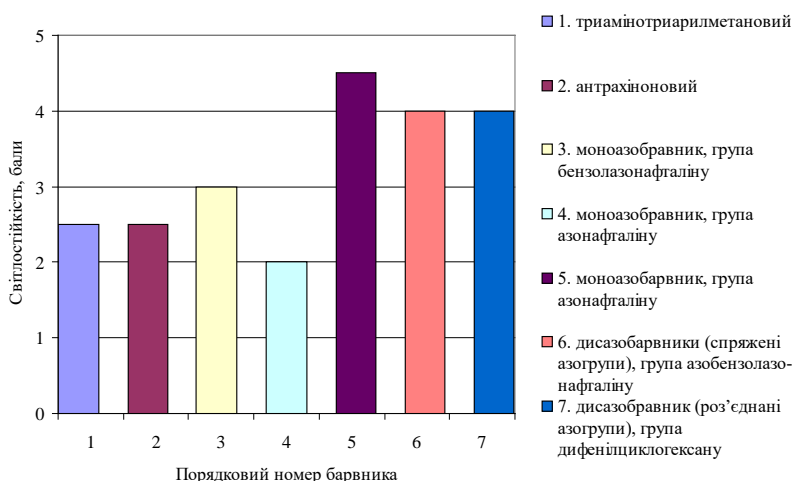


Рис. 1. Вплив хімічного класу хромофора кислотних барвників на їх світлостійкість

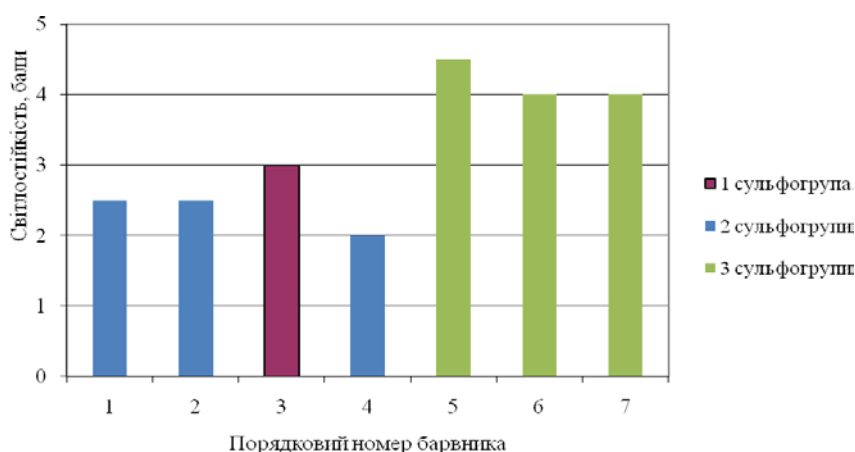
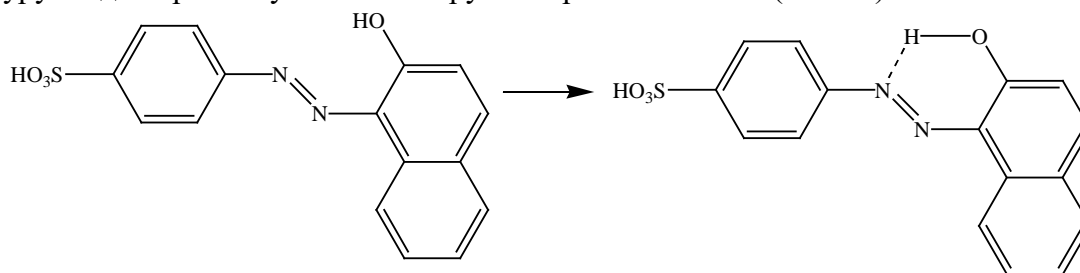


Рис. 2. Вплив кількості сульфогруп у молекулах кислотних барвників на їх світлостійкість

Щодо хімічної будови кислотних барвників, то найвищі показники стійкості до дії світла серед досліджуваних демонструють кислотні дисазобарвники червоний 2Ж і алий 2Ж (№6 і №7) та азобарвник групи азнафталіну з трьома сульфогрупами синій 2К (№5).

Однак забарвлення кислотним азобарвником групи бензолазонафталіну з однією сульфогрупою оранжевий (№3) теж має порівняно високу світлостійкість. Це пояснюється тим, що у молекулі кислотного оранжевого водневий зв'язок закріплює рухливий атом водню та перешкоджає тауамерному перетворенню в хімічно нестійку хінонгідразонну структуру завдяки розташуванню оксигрупи в орто-положенні (табл. 1):



Таким чином, не дивлячись на те, що у молекулі кислотного оранжевого присутня тільки одна сульфогрупа та, крім цього, оксігрупа, що належить до рухливих груп, світлостійкість забарвлення цим барвником є порівняно високою через закріплення стійкої азоформи барвника. Подібна поведінка характерна також для кислотних дисазобарвників червоного 2Ж і алого 2Ж (№6 і №7), які теж мають у своїх молекулах оксігрупу у параположенні до азогрупи (табл. 1) та демонструють високі показники світлостійкості забарвлень.

**Висновки.** Доведено, що при формуванні світлостійких забарвлень для досліджуваних кислотних барвників вирішальним фактором з погляду їх хімічної будови є кількість сульфогруп. Визначено, що умовою отримання забарвлень з високою світлостійкістю є наявність у молекулі кислотного барвника двох та більше сульфогруп, оскільки взаємодія барвників з вовняним волокном відбувається за участі даних груп шляхом утворення іонного зв'язку.

Крім цього встановлено, що азобарвники, які мають оксігрупу в орто-положенні до азогрупи і здатні утворювати між собою водневий зв'язок, що закріплює рухливий атом водню та перешкоджає тауамерному перетворенню в хімічно нестійку хінонгідразонну структуру. Таким чином при фарбуванні кислотними барвниками з указаною будовою молекул отримують стійкі до дії світла забарвлення.

#### Література

1. Український гідрометеорологічний центр. Режим доступу: [https://meteo.gov.ua/ua/33345/climate/climate\\_stations/](https://meteo.gov.ua/ua/33345/climate/climate_stations/).
2. Степанов Б.И. Введение в химию и технологию органических красителей. – Москва: Химия, 1984. – 592 с.
3. Лабораторный практикум по химической технологии текстильных материалов: [под ред. Г. Е. Крического]. – Москва: Росс. заоч. ин-т. текстильной и легкой промышленности, 1995. – 414 с.
4. Красители для текстильной промышленности. Колористический справочник: [под ред. А.Л. Бяльского и В.В. Карпова]. – Москва: Химия, 1971. – 312 с.
5. Кричевский Г. Е. Химическая технология текстильных материалов. В 3 т. Т. 2. Колорирование текстильных материалов. – Москва: Росс. заоч. ин-т. текстильной и легкой промышленности, 2001. – 540 с.
6. Batchelor S. N. The photofading mechanism of commercial reactive dyes on cotton / S.N.Batchelor, D. Carr, C.E.Coleman, L.Fairclough, A.Jarvis // *Dyes and Pigments.* – 2003. – Vol. 59, Issue 3. – P. 269-275. doi.org/10.1016/S0143-7208(03)00118-9.

#### References

1. *Ukrain's'kiy gidrometeorologichnyi tseentr* [Ukrainian Hydrometeorological Center]. Retrieved from [https://meteo.gov.ua/ua/33345/climate/climate\\_stations/](https://meteo.gov.ua/ua/33345/climate/climate_stations/) [in Ukraine].
2. Stepanov, B. I. (1984). *Vvedeniye v khimiyu i tekhnologiyu organicheskikh krasiteley* [Introduction to the chemistry and technology of organic dyes]. Moscow, Russia: Khimiya [in Russian].
3. *Laboratornyy praktikum po khimicheskoy tekhnologii tekstil'nykh materialov* [Laboratory Workshop on Chemical Technology of Textile Materials]. (1995). Edited by G. Ye. Kricheskiy. Moscow, Russia: Ross. zaoch. in-t. tekstil'noy i legkoy promyshlennosti [in Russian].
4. *Krasiteli dlya tekstil'noy promyshlennosti. Koloristicheskiy spravochnik* [Dyes for the textile industry. Color Guide]. (1971). Edited by A.L. Byal'sksy, V. V. Karpov. Moscow, Russia: Khimiya [in Russian].
5. Krichevskiy, G. Ye. (2001). *Khimicheskaya tekhnologiya tekstil'nykh materialov. T. 2. Kolorirovaniye tekstil'nykh materialov* [Chemical technology of textile materials. V. 2. Coloring of textile materials]. (Vols. 1–3; Vol. 2). Moscow, Russia: Ross. zaoch. in-t. tekstil'noj i legkoj promyshlennosti [in Russian].
6. Batchelor S. N. The photofading mechanism of commercial reactive dyes on cotton / S.N.Batchelor, D.

7. Кричевский Г. Е. Фотохимические превращения красителей и светостабилизация окрашенных материалов. – Москва: Химия, 1986. – 248 с.
8. Oakes. J. Photofading of textile dyes / J. Oakes. // Coloration Technology. – 2008. – Vol. 31. P. – 21-28. doi: 10.1111/j.1478-4408.2001.tb00134.x.
9. Antram R. J. Dung-stain (penstain) of wool and its effect on dyed colour and photofading / R.J. Antram, W.R. Regnault, G.A. Wickham // New Zealand Journal of Agricultural Research. – Vol. 35, Issue 3. – P. 269-276. doi: 10.1080/00288233.1992.10427504.
10. Bandara J. Fast kinetic spectroscopy, decoloration and production of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> induced by visible light in oxygenated solutions of the azo dye Orange II / J. Bandara, J. Kiwi // New Journal of Chemistry. – 1999. – Vol. 23. – P. 717-724. doi: 10.1039/A902425E.
- Carr, C. E. Coleman, L. Fairclough, A. Jarvis // *Dyes and Pigments*. – 2003. – Vol. 59, Issue 3. – P. 269-275. doi.org/10.1016/S0143-7208(03)00118-9.
7. Krichevskiy, G. Ye. (1986). *Fotokhimicheskiyey prevrashcheniya krasiteley i svetostabilizatsiya okrashennykh materialov* [Photochemical transformation of dyes and light stabilization of colored materials]. Moscow, Russia: Khimiya [in Russian].
8. Oakes. J. Photofading of textile dyes / J. Oakes. // Coloration Technology. – 2008. – Vol. 31. P. – 21-28. doi: 10.1111/j.1478-4408.2001.tb00134.x.
9. Antram R. J. Dung-stain (penstain) of wool and its effect on dyed colour and photofading / R. J. Antram, W. R. Regnault, G. A. Wickham // *New Zealand Journal of Agricultural Research*. – Vol. 35, Issue 3. – P. 269-276. doi: 10.1080/00288233.1992.10427504.
10. Bandara J. Fast kinetic spectroscopy, decoloration and production of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> induced by visible light in oxygenated solutions of the azo dye Orange II / J. Bandara, J. Kiwi // *New Journal of Chemistry*. – 1999. – Vol. 23. – P. 717-724. doi: 10.1039/A902425E.

SEMESHKO OLGA

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8309-5273>

[solgaya@gmail.com](mailto:solgaya@gmail.com)

Kherson National Technical University

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ КИСЛОТНЫХ КРАСИТЕЛЕЙ НА СВЕТОСТОЙКОСТЬ ОКРАСОК СЕМЕШКО О. Я.

*Херсонский национальный технический университет*

**Цель.** Цель работы заключается в определении зависимости светостойкости окрасок, полученных на шерстяной ткани кислотными красителями, от их химической структуры, а именно химического класса, строения хромофора и количества сульфогрупп.

**Методика.** Исследование осуществлялось с использованием семи кислотных красителей с разным строением хромофора и количеством сульфогрупп в молекуле. Крашению подвергалась чистошерстяная ткань, которая была предварительно подготовлена способом пероксидного отбеливания. Крашение шерстяного текстильного материала осуществлялось способом, который определялся ровняющей способностью каждого красителя. Инсоляцию окрашенных образцов осуществляли на приборе с ртутно-вольфрамовой лампой. Светостойкость образцов оценивали по стандарту BS 1006 UK/TN путем определения цветовых различий с помощью колориметра.

**Результат.** В работе приведены результаты исследования зависимости светостойкости полученных на шерстяной ткани окрасок от химической структуры кислотных красителей. Установлено химическое строение хромофора и необходимое количество сульфогрупп в молекуле кислотного красителя для обеспечения светостойки окрасок на шерстяной ткани. Доказано, что с точки зрения химического строения для кислотных красителей решающим является количество сульфогрупп. Также определено, что азокрасители, которые имеют оксигруппу в орто-положении к азогруппе, образуют устойчивые к действию света окраски.

**Научная новизна.** Исследовано влияние химического строения молекул кислотных красителей – химической структуры хромофора и количества сульфогрупп – на светостойкость полученных на шерстяной ткани окрасок.

**Практическая значимость.** Определено химическое строение кислотных красителей, которые обеспечивают получение окрасок с высокими показателями устойчивости к воздействию света.

**Ключевые слова:** кислотные красители, крашение, светостойкость, цветовые различия, хромофор, сульфогруппы.

## STUDY OF THE INFLUENCE OF THE CHEMICAL STRUCTURE OF ACID DYES ON THE LIGHTFASTNESS OF COLOURS

SEMESHKO O. Ya.

Kherson National Technical University

**Purpose.** The purpose of the work is to determine the dependence of the lightfastness of colours obtained on wool fabric with acid dyes on their chemical structure, namely, the chemical class, the structure of chromophore and the number of sulfo groups.

**Methodology.** The study was carried out using seven acid dyes with a different structure of the chromophore and the number of sulfo groups in the molecule. All-wool fabric previously prepared by peroxide bleaching was subjected to dyeing. Dyeing of wool textile material was carried out in a method that was determined by the leveling power of each dye. The insolation of the dyed samples was carried out on a device with a mercury-tungsten lamp. The light fastness of the samples was evaluated according to BS 1006 UK/TN standard by determining color differences using a colorimeter.

**Findings.** The article presents the results of a study of the effect of the structure of acid dyes on the lightfastness of the colours obtained. It is established the chemical structure of chromophore and the required number of sulfo groups in the acid dye molecule to provide light resistant colors on wool fabric. It has been proven that the number of sulfo groups is decisive for acid dyes from the point of view of chemical structure. It has also been established that azo dyes that have an oxy group at ortho-position to azo group form the light-resistant colours.

**Originality.** The influence of the chemical structure of acid dye molecules — the chemical class of chromophore and the number of sulfo groups — on the lightfastness of the colours obtained on wool fabric has been studied.

**Practical value.** The chemical structure of acid dyes, providing colours with high resistance to light exposure, was determined.

**Keywords.** acid dyes, dyeing, lightfastness, color differences, chromophore, sulfo groups.

УДК 679.7:678:544

ЧУЛЄЄВА О. В.<sup>1</sup>, ПЛАВАН В. П.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Приватне акціонерне товариство «ЗАВОД ПІВДЕНКАБЕЛЬ», м. Харків

<sup>2</sup>Київський національний університет технологій та дизайну

**МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОФІЗИЧНИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ В  
ПОЖЕЖОБЕЗПЕЧНИХ КОМПОЗИЦІЯХ КОПОЛІМЕРУ  
ЕТИЛЕНУ З ВІНІЛАЦЕТАТОМ ТА ТРИГІДРАТІВ ОКСИДУ  
АЛЮМІНІЮ**

**Мета.** Визначення раціонального складу пожежобезпечних полімерних композицій з покращеними електрофізичними характеристиками на основі кополімеру етилену з вінілацетатом і тригідроксиду алюмінію базуючись на результатах досліджень залежності електричної міцності, питомого об'ємного електричного опору, тангенсу кута діелектричних втрат та діелектричної проникності від фізико-хімічних властивостей інгредієнтів та кількості і властивостей модифікаторів.

**Методика.** Полімерні композиції на основі кополімеру етилену з вінілацетатом та тригідратів оксиду алюмінію з різним вмістом органосилану як модифікатора виготовлялися лінії компаундування компанії X-Cotround, Швейцарія. Для оцінки електроізоляційних властивостей матеріалу використано методи вимірювання електричної міцності, питомого об'ємного електричного опору, діелектричної проникності та тангенсу кута діелектричних втрат.

**Результат.** Виявлено зміну електрофізичних властивостей пожежобезпечних полімерних композицій в залежності від реологічних властивостей полімерної матриці та фізико-хімічних властивостей тригідратів оксиду алюмінію. Досліджено вплив наномодифікаторів на основі органосиланів на властивості композицій. Виявлено синергетичний ефекту разі використання сумішей модифікаторів.

**Наукова новизна.** Встановлено вплив модифікаторів на електрофізичні властивості пожежобезпечних полімерних композицій та синергетичний ефект їх дії. Показано, що додавання 60 % мас. тригідрату оксиду алюмінію 2 в композицію на основі кополімерів етилену з вінілацетатом із вмістом як модифікатора аміносилану 1 в кількості 1,5 % мас. забезпечує поліпшення електроізоляційних властивостей матеріалу.

**Практична значимість.** Показано, що моделювання електрофізичних властивостей пожежобезпечних полімерних композицій дозволяє вибрати раціональний склад композиції для досягнення заданих характеристик ізоляції та оболонки кабельної продукції.

**Ключові слова:** пожежобезпечні композиції, кополімер етилену з вінілацетатом, тригідрати оксиду алюмінію, органосилани, антипірен, електрофізичні властивості.

**Вступ.** Матеріали ізоляції та оболонки кабельної продукції мають задовольняти специфічним експлуатаційним потребам [1, 2]. Полімерні композиції не повинні розповсюджувати горіння, не містити у своєму складі галогенів, мати знижені показники диму та токсичності продуктів горіння [3, 4]. Створення безгалогенних рецептур досягається за рахунок введення в базовий полімер антипіренів синтетичного та природного походження, зокрема тригідрату оксиду алюмінію  $Al(OH)_3$  [5, 6]. Великий вміст наповнювачів-антипіренів в таких матеріалах викликає складнощі під час переробки та негативно впливає на фізико-механічні властивості [7].

Для регулювання реологічних властивостей полімерних композицій використовують модифікатори [8, 9]. Вплив полімерної матриці, наповнювачів-антипіренів та модифікаторів доцільно дослідити з метою моделювання електрофізичних властивостей пожежобезпечних полімерних композицій для кабельної продукції.

**Постановка завдання.** Мета роботи – визначення раціонального складу пожежебезпечних полімерних композицій на основі кополімеру етилену з вінілацетатом і тригідроксиду алюмінію на основі результатів досліджень залежності електричної міцності, питомого об'ємного електричного опору, тангенсу кута діелектричних втрат та діелектричної проникності від фізико-хімічних властивостей інгредієнтів та кількості і властивостей модифікаторів.

**Результати досліджень.** Досліджували кополімери етилену з вінілацетатом КЕВ1, КЕВ2 (табл. 1), тригідрат оксиду алюмінію як наповнювач-антипірен (табл. 2), модифікатор 1-3-амінопропил-триетоксисилан, модифікатор 2 – аміносилан (N-3-триметоксисилан) пропілбутиламін (табл. 3).

Таблиця 1

**Характеристики кополімерів етилену з вінілацетатом**

Показник	КЕВ1	КЕВ2
Густина, кг/м <sup>3</sup>	939	951
Показник плинності розплаву, 2,16 кг, г/10 хв	2,5	5
Вміст вінілацетату, %	18	28

Таблиця 2

**Характеристики наповнювачів-антипіренів**

Показник	Al(OH) <sub>3</sub>	
	Зразок № 1	Зразок № 2
Масова доля, %:		
– Al(OH) <sub>3</sub>	>99,2	>99,5
– SiO <sub>2</sub>	<0,05	<0,1
– Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<0,035	<0,03
– Na <sub>2</sub> O	<0,6	<0,4
Медіанний діаметр часточок, мкм:		
– середній (D <sub>50</sub> )	1,5	3
– макс. (D <sub>98</sub> )	3,6	18
– мін. (D <sub>10</sub> )	0,5	1

Таблиця 3

**Характеристики аміносилану**

Показник	Значення	
	Аміносилан 1	Аміносилан 2
Густина, кг/м <sup>3</sup> , 20 °С	950	947
Динамічна в'язкість, мПа·с, 20 °С	2	2,5
pH	11,3	10,9

Полімерні композиції виготовляли на основі КЕВ та тригідратів оксиду алюмінію (вміст 60 % мас.) з різним вмістом модифікатора на лінії компаундування компанії X-Comround, Швейцарія. До складу лінії входить наступне обладнання: компаундер/змішувач

120-16 L/D, екструдер що подає GS 140-6 L/D з гранулюючою головкою, система дозування інгредієнтів, в тому числі система дозування силанів, транспортні системи інгредієнтів і готової продукції, система охолодження гранул.

Вимірювання електрофізичних показників полімерних композицій проводилися на зразках завтовшки  $(1,0 \pm 0,1)$  мм, які виготовлено вальцево-пресовим методом за температури  $T = 448$  К. Серію експериментів з визначення електричної міцності, питомого електричного опору, діелектричної проникності, тангенса кута діелектричних втрат було проведено з використанням апарату типу АИИ-70, вимірювача електричного опору КИСИ-1, мосту змінного струму Р589.

Питомий електричний опір визначається наявністю вільних зарядів (електронів та іонів) і їх рухливістю. Електрична міцність – напруженість електричного поля, за значення якої відбувається пробій, – міра електричної міцності даного матеріалу. Діелектрична проникність композиційного матеріалу визначається відношенням ємності електричного конденсатора, який заповнено діелектриком до ємності того ж конденсатора у вакуумі. Під діелектричними втратами розуміють частину енергії електричного поля, яка незворотно розсіюється в діелектрику в формі теплоти.

Обробку результатів та побудову графіків виконували за допомогою програмного забезпечення Microsoft Office Excel 2007. Адекватність рівняння регресії проводили перевіркою статистичної значимості коефіцієнта детермінації  $R^2$  по F-критерію, визначеному за формулою [10]:

$$F_p = \frac{R^2}{1 - R^2} \cdot \frac{n - m - 1}{m},$$

де  $n$  – кількість спостережень;  $m$  – кількість факторів у рівнянні регресії.

Вимірювання електричної міцності полімерних композицій проводили змінною напругою до 50 кВ, частоти 50 Гц. Результати досліджень наведено на рис. 1,2.

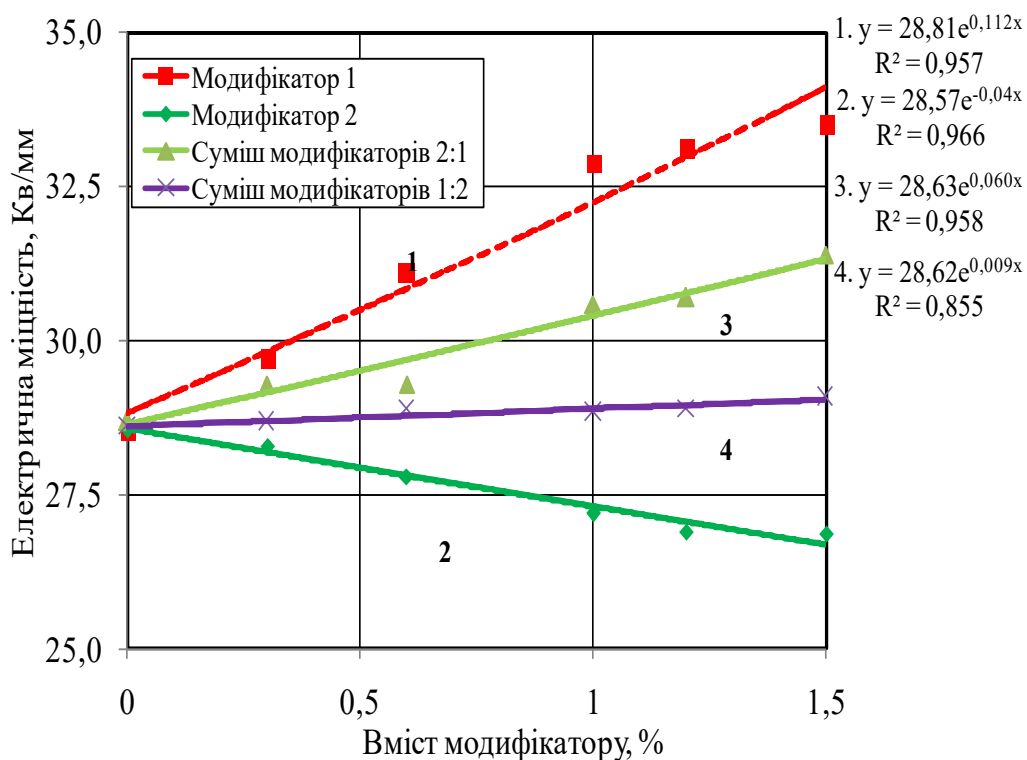


Рис. 1. Залежність електричної міцності від вмісту модифікатора, для полімерних композицій на основі КЕВ-1 та антипірену 1: крива 1 – модифікатор 1, крива 2 – модифікатор 2, крива 3 – суміш модифікаторів де,  $k_1 = 0,67$ ;  $k_2 = 0,33$ ; крива 4 – суміш модифікаторів де,  $k_1 = 0,33$ ;  $k_2 = 0,67$

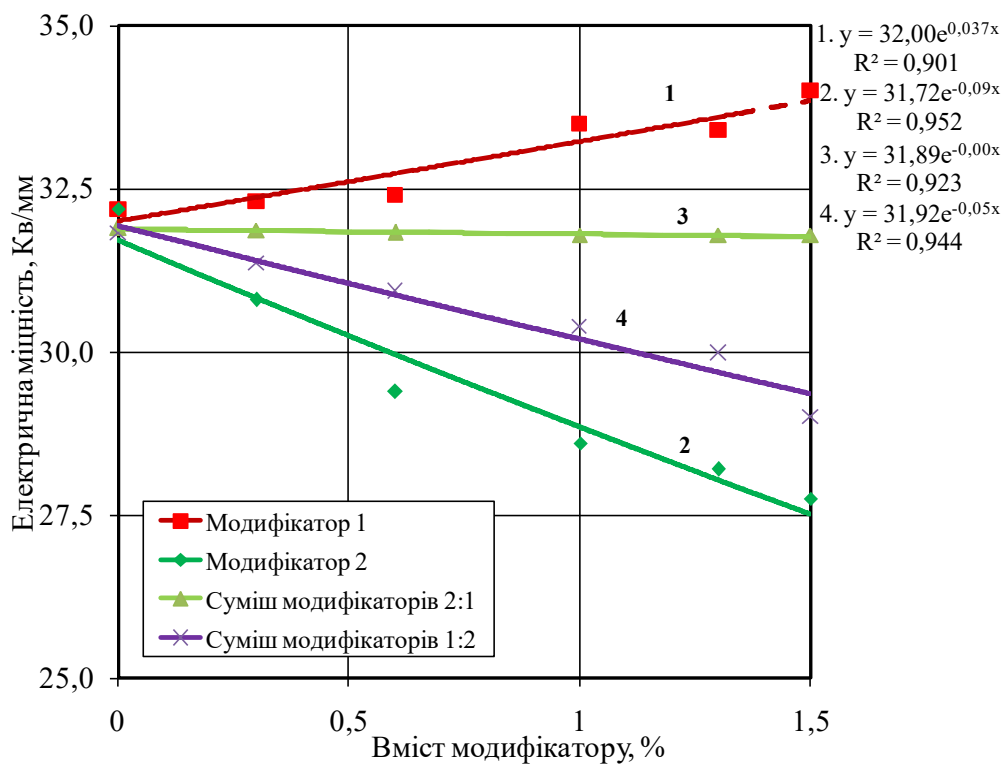


Рис. 2. Залежність електричної міцності від вмісту модифікатора, для полімерних композицій на основі КЕВ-2 та антипірену 2: крива 1 – модифікатор 1, крива 2 – модифікатор 2, крива 3 – суміш модифікаторів де,  $k_1 = 0,67$ ;  $k_2 = 0,33$ ; крива 4 – суміш модифікаторів де,  $k_1 = 0,33$ ;  $k_2 = 0,67$

Дослідження залежності показників електричної міцності від медіанного діаметру часток тригідратів оксиду алюмінію (зразок 1, 2); реологічних показників полімерної матриці КЕВ 1 і КЕВ 2 та фізико-хімічних властивостей модифікаторів 1 і 2 демонструє:

– значне підвищення електричної міцності до 34-34,2 кВ/мм під час використання антипіренів 1, 2 та модифікатору 1 для полімерних матриць КЕВ 1 й КЕВ 2 (крива 1 рис. 1; крива 1 рис. 2). Під час використання модифікатору 2 спостерігається зниження цього показника до 26-27,5 кВ/мм відповідно;

– під час використання антипірену 1 для полімерних матриць на основі КЕВ 2 електрична міцність значно знижується до 25,5 – 26 кВ/мм для модифікаторів 1, 2.

Так як показано в [9] реологічні властивості значно підвищуються під час використання модифікатору 2. Доцільно встановити, як впливає на зміну цього показника суміш модифікаторів.

Складемо рівняння регресії модифікаторів 1 та 2 для сумішей:

$$1. y = (28,81e^{0,112x}) \cdot k_1 + (28,57e^{-0,04x}) \cdot k_2;$$

$$2. y = (32,00e^{0,037x}) \cdot k_1 + (31,72e^{-0,09x}) \cdot k_2;$$

де  $k_1$  – кількість модифікатору 1 у вагових частинах;  $k_2$  – кількість модифікатору 2 у вагових частинах.

Зміною кількості модифікаторів в їх сумішах одержували оптимальні значення кількості модифікованої суміші (рис. 1 крива 3, 4; рис.2 крива 3, 4).

Вимірювання об'ємного електричного опору здійснювалися за допомогою кабельного вимірювача опору ізоляції «КИСИ-1» за напруги 1000 В. Розрахунок питомого об'ємного електричного опору проводили за формулою:

$$\rho_v = \frac{\pi \cdot \left(\frac{d_1 + d_2}{2}\right)^2}{4 \cdot t} \cdot R_v,$$

де  $d_1$  – діаметр вимірювального електроду, м;  $d_2$  – внутрішній діаметр охоронного електроду, м;  $t$  – товщина зразка;  $R_v$  – вимірюваний опір, Ом.

Результати досліджень наведено на рис.3, 4.

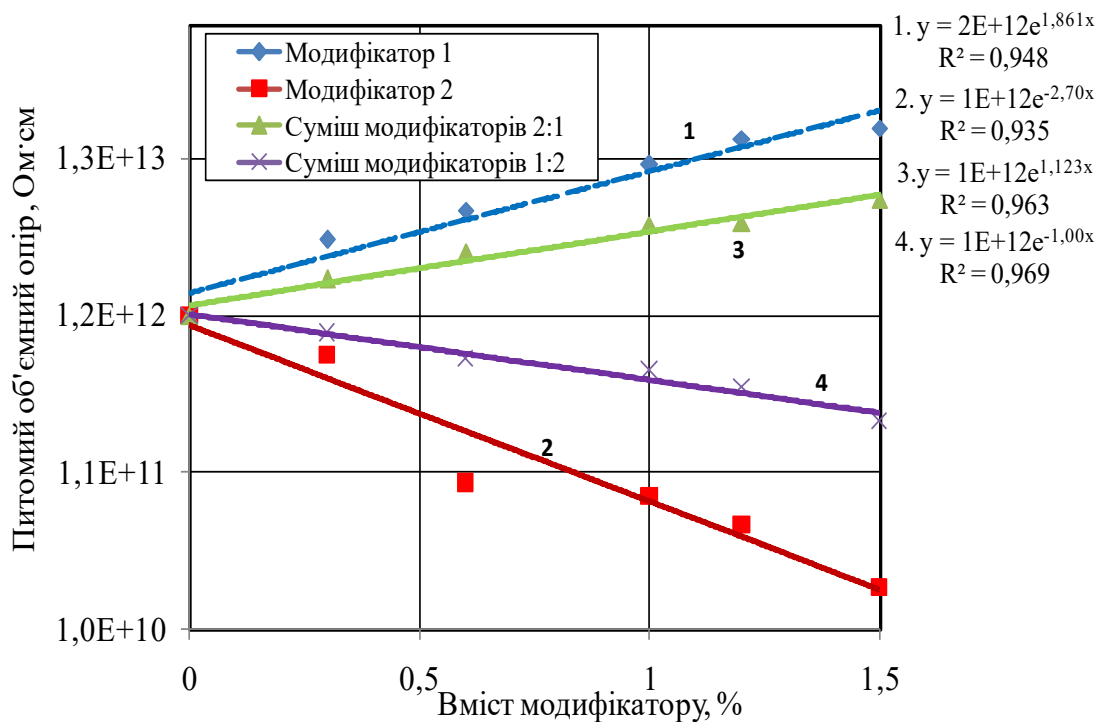


Рис.3. Залежність питомого об'ємного опору від вмісту модифікатора полімерних композицій на основі КЕВ-13 з антипіреном 1: крива 1 – модифікатор 1; крива 2 – модифікатор 2; крива 3 – суміш модифікаторів де,  $k_1 = 0,67$ ;  $k_2 = 0,33$ ; крива 4 – суміш модифікаторів де,  $k_1 = 0,33$ ;  $k_2 = 0,67$

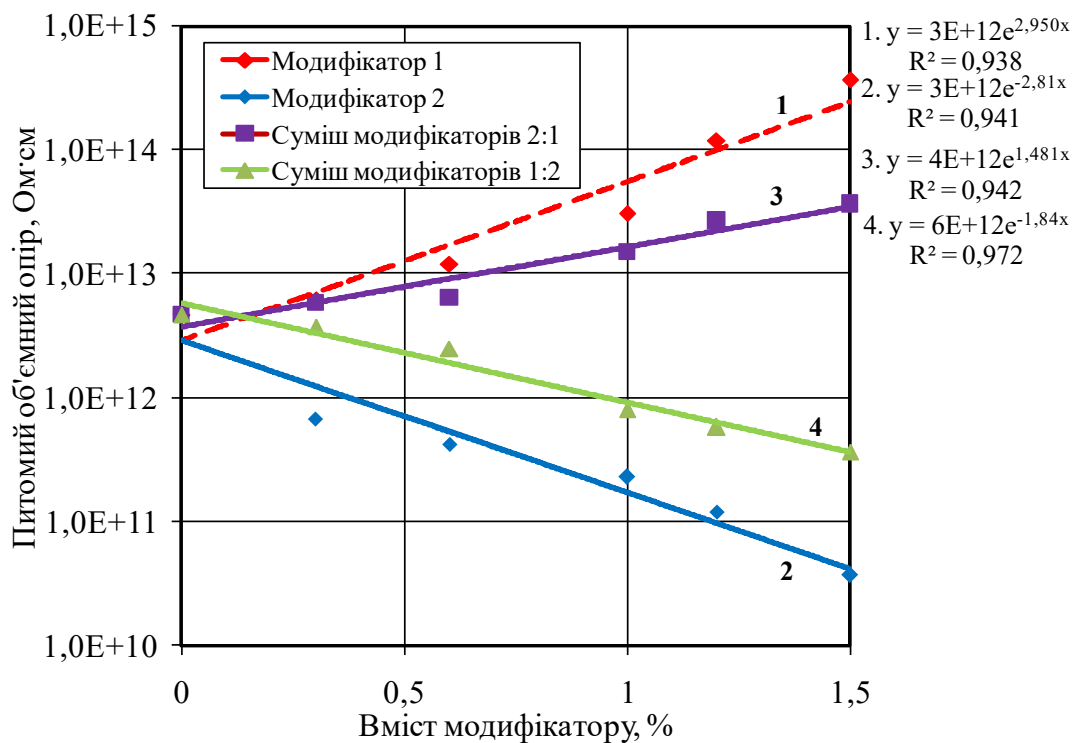


Рис.4. Залежність питомого об'ємного опору від вмісту модифікатора полімерних композицій на основі КЕВ-2 з антипіреном 2: крива 1 – модифікатор 1; крива 2 – модифікатор 2; крива 3 – суміш модифікаторів де,  $k_1 = 0,67$ ;  $k_2 = 0,33$ ; крива 4 – суміш модифікаторів де,  $k_1 = 0,33$ ;  $k_2 = 0,67$

З підвищенням питомого об'ємного електричного опору покращуються електроізоляційні властивості матеріалу. Питомий об'ємний електричний опір підвищується під час використання модифікатору 1 (рис. 3, 4 крива 1) та знижується під час використання модифікатору 2 (рис. 3, 4, крива 2).

Рівняння регресії з урахуванням вкладів кожного із модифікаторів в суміші:

$$3. y = (2E + 12e^{1,861x}) \cdot k1 + (1E + 12e^{-2,70x}) \cdot k2$$

$$4. y = (3E + 12e^{2,950x}) \cdot k1 + (3E + 12e^{-2,81x}) \cdot k2$$

Особливий вплив на зміну питомого об'ємного електричного опору має вологість, так як наповнені антипіренами полімерні композиції мають здатність до вологопроникності. Досліджено зміни питомого об'ємного електричного опору від вологості полімерних композицій. Результати досліджень наведено на рис. 5, 6. Спостерігається зниження питомого об'ємного електричного опору з підвищенням вмісту води для наповнених полімерних композицій.

Рівняння регресії для сумішей модифікаторів:

$$5. y = (5E + 21e^{-88,9x}) \cdot k1 + (3E + 24e^{-144,0x}) \cdot k2$$

$$6. y = (5E + 14e^{-23,8x}) \cdot k1 + (5E + 16e^{-61,2x}) \cdot k2$$

Вимірювання тангенсу кута діелектричних втрат і електричної ємності (для подальшого розрахунку діелектричної проникності середовища) здійснювали за допомогою моста змінного струму Р589 за напруги 24 В і частоти 1 кГц з допустимою основною похибкою  $\pm 0,1\%$  під час вимірювання ємності і  $\pm (0,02\text{tg}\delta + 3 \cdot 10^{-4})$  під час вимірювання тангенсу кута діелектричних втрат.

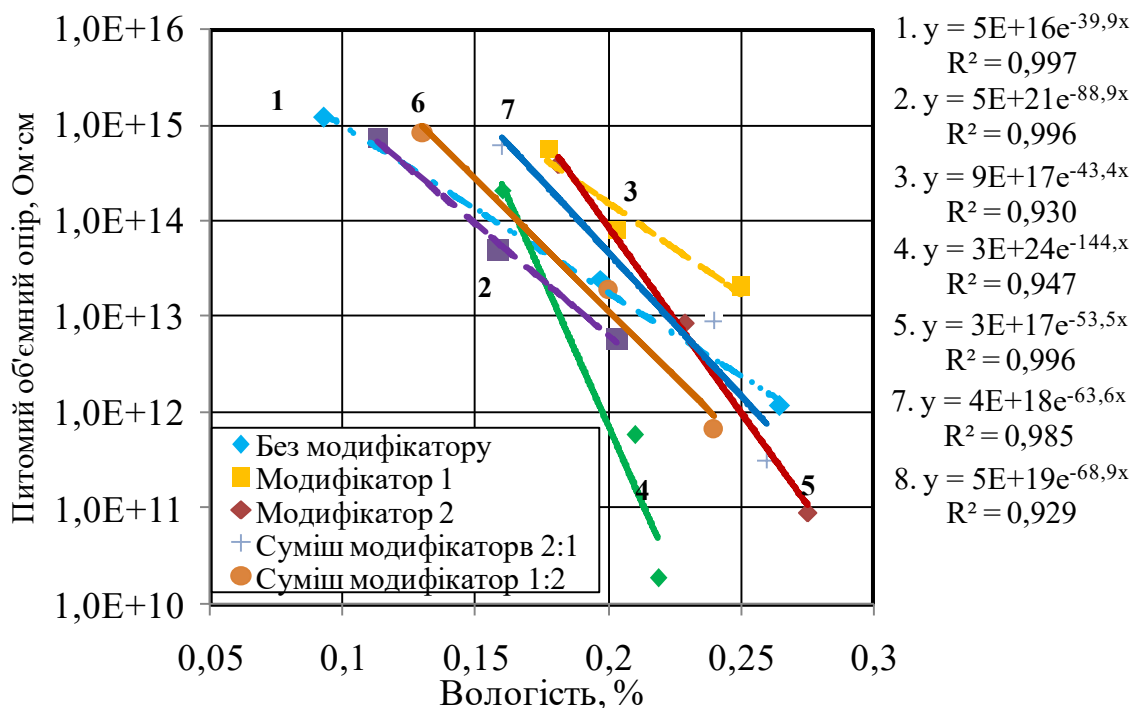


Рис.5. Залежність питомого об'ємного електричного опору від вологості полімерних композицій на основі КЕВ-1 та антипірену зразок 1 і модифікаторів: крива 1 без модифікатору; модифікатор 1 крива 2 – 0,6%, крива 3 – 1,5%; модифікатор 2 крива 4 – 0,6% крива 5 – 1,5%, крива 6 – суміш модифікаторів де,  $k_1 = 0,67$ ;  $k_2 = 0,33$ ; крива 7 – суміш модифікаторів де,  $k_1 = 0,33$ ;  $k_2 = 0,67$

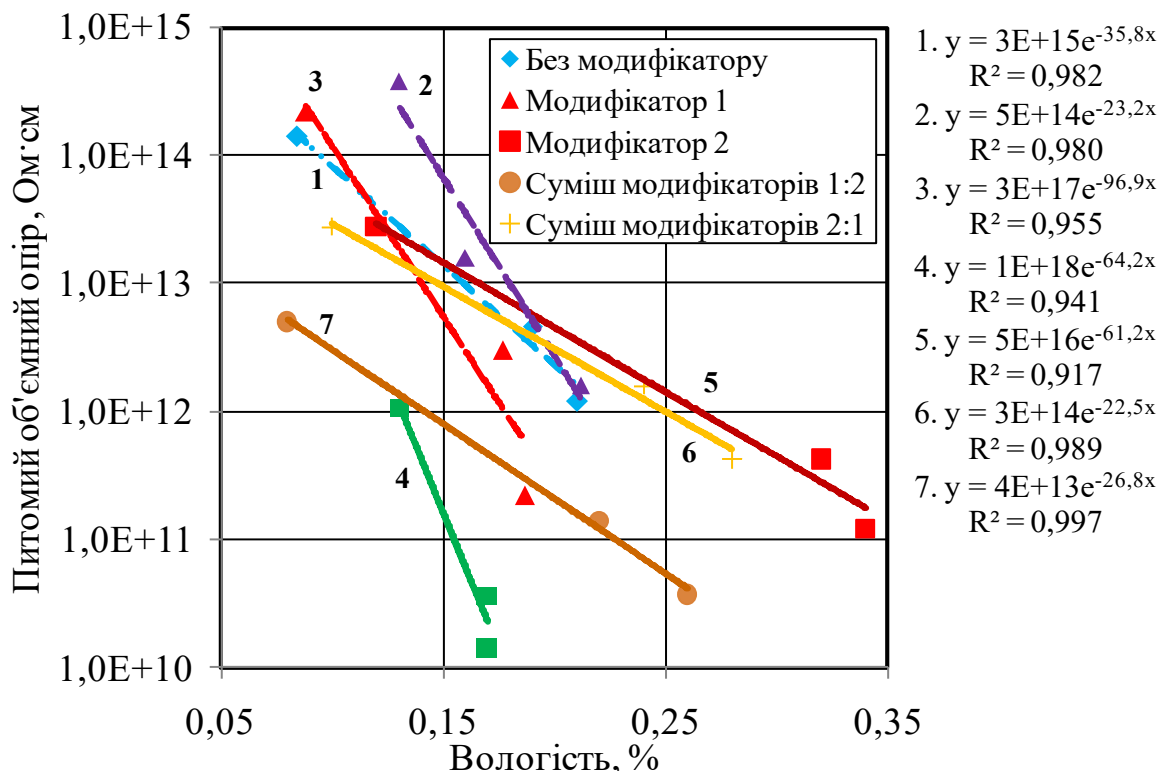


Рис.6. Залежність питомого об'ємного електричного опору від вологості полімерних композицій на основі КЕВ-2 та антипірену зразок 2 і модифікаторів: крива 1 без модифікатору; модифікатор 1 крива 2 – 0,6%, крива 3 – 1,5%; модифікатор 2 крива 4 – 0,6% крива 5 – 1,5%, крива 6 – суміш модифікаторів де,  $k_1 = 0,67$ ;  $k_2 = 0,33$ ; крива 7 – суміш модифікаторів де,  $k_1 = 0,33$ ;  $k_2 = 0,67$

Розрахунки проводили за формулами:

Діелектрична проникність середовища

$$\varepsilon = 0,144 \cdot C_x \cdot \frac{t}{\left(\frac{d_1 + d_2}{2}\right)^2},$$

де  $d_1$  – діаметр вимірювального електроду, м;  $d_2$  – внутрішній діаметр охоронного електроду, м;  $t$  – товщина зразка;  $C_x$  – виміряна електрична ємність, пФ.

Тангенс кута діелектричних втрат

$$\operatorname{tg}\delta = \frac{1}{\omega \cdot C_{\text{пар.}} \cdot R_{\text{пар.}}} = \omega \cdot C_{\text{посл.}} \cdot R_{\text{посл.}},$$

де  $\omega$  – кутова частота, рад/с;  $C_{\text{пар.}}$  – виміряна електрична ємність в еквівалентній паралельній схемі заміщення, пФ;  $R_{\text{пар.}}$  – вимірний опір в еквівалентній паралельній схемі заміщення, Ом;  $C_{\text{посл.}}$  – виміряна електрична ємність в еквівалентній послідовній схемі заміщення, пФ;  $R_{\text{посл.}}$  – вимірний опір в еквівалентній послідовній схемі заміщення, Ом. Результати досліджень наведено на рис. 7, 8

Важливими електрофізичними характеристиками для пожежобезпечних полімерних композицій є діелектрична проникність та тангенс кута діелектричних втрат. Електроізоляційний матеріал вважається кращим, якщо має нижчі значення діелектричної проникності та тангенсу кута діелектричних втрат. Результати досліджень показують, що для

композицій на основі КЕВ 1 значення цих показників збільшується для всіх складів полімерних матеріалів.

Використання в якості полімерної матриці КЕВ 2 призводить до зниження діелектричної проникності та тангенсу кута діелектричних втрат (рис. 7, 8). Діелектрична проникність зменшується до 4,2, а тангенс кута діелектричних втрат до 0,0025.

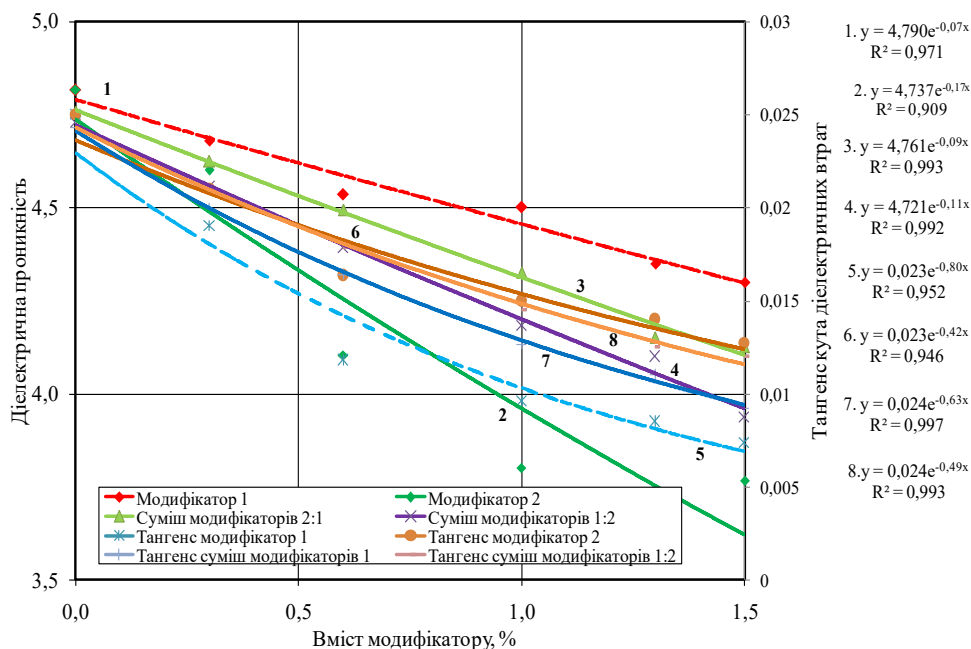


Рис.7. Залежність діелектричної проникності та тангенсу кута від вмісту модифікаторів, для полімерних композицій на основі КЕВ-2 та антипірену 1: крива 1,5 – модифікатор 1, крива 2,6 – модифікатор 2, крива 3,7 – суміш модифікаторів де,  $k_1 = 0,67$ ;  $k_2 = 0,33$ ; крива 4,8 – суміш модифікаторів де,  $k_1 = 0,33$ ;  $k_2 = 0,67$

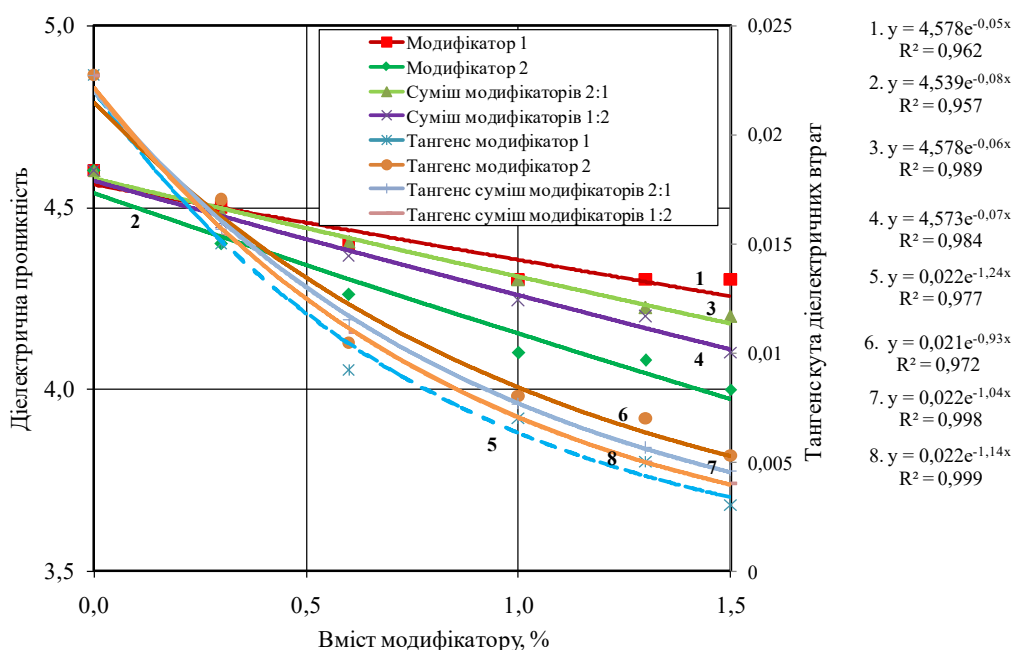


Рис.8. Залежність діелектричної проникності та тангенсу кута від вмісту модифікаторів, для полімерних композицій на основі КЕВ-2 та антипірену 2: крива 1,5 – модифікатор 1, крива 2,6 – модифікатор 2, крива 3,7 – суміш модифікаторів де,  $k_1 = 0,67$ ;  $k_2 = 0,33$ ; крива 4,8 – суміш модифікаторів де,  $k_1 = 0,33$ ;  $k_2 = 0,67$ ;

Рівняння регресії з урахуванням вкладів суміші модифікаторів 1 та 2 будуть мати вигляд.

Для діелектричної проникності:

$$7. y = (4,790e^{-0,07x}) \cdot k1 + (4,737e^{-0,17x}) \cdot k2).$$

$$8. y = (4,578e^{-0,05x}) \cdot k1 + (4,539e^{-0,08x}) \cdot k2).$$

Для тангенсу кута діелектричних втрат:

$$9. y = (0,023e^{-0,8x}) \cdot k1 + (0,023e^{-0,42x}) \cdot k2).$$

$$10. y = (0,022e^{-1,24x}) \cdot k1 + (0,021e^{-0,93x}) \cdot k2)$$

Важливий вплив на електрофізичні властивості пожежобезпечних полімерних композицій здійснює формування надмолекулярної структури отриманих композицій. Про це свідчать результати досліджень електричної міцності, питомого об'ємного електричного опору, діелектричної проникності та тангенсу кута діелектричних втрат. Результати досліджень дають можливість розробляти технології отримання полімерних композицій з керованими електрофізичними властивостями для ізоляції і оболонки кабельної продукції. Перевагами даного дослідження є вивчення електрофізичних властивостей пожежобезпечних полімерних композиційних матеріалів з використанням високоточних сучасних приборів.

**Висновки.** На електрофізичні властивості пожежобезпечних полімерних композицій суттєво впливають дисперсність тригідратів оксиду алюмінію, реологічні властивості полімерної матриці та фізико-хімічні властивості модифікаторів.

Додавання 60 % мас. антипірену 2 в композицію на основі кополімерів етилену з вінілацетатом із вмістом модифікатора 1 в кількості 1,5 % мас. забезпечує підвищення електричної міцності до 34,2 кВ/мм, питомого об'ємного електричного опору до  $5 \cdot 10^{14}$  Ом·см, зниження діелектричної проникності до 4,2 та тангенсу кута діелектричних втрат до 0,0025, що свідчить про поліпшення електроізоляційних властивостей матеріалу.

#### Література

1. Обзор минеральных антипиренов-гидроксидов для безгалогенных кабельных композиций / Кабель-news. – 2009. – № 8. – С. 41–43.
2. Пешков И. Б. Материалы кабельного производства. – М.: Машиностроение, 2013, 456 с.
3. Тирелли Д. Антипирены для композитов / The Chemical Journal. – 2013. – № 1-2. – С. 42–45.
4. Chang Ming-Kuen, Hwanga Shyh-Shin, Liua Sung-P. Flame retardancy and thermal stability of ethylene-vinyl acetate copolymer nanocomposites with alumina trihydrate and montmorillonite / Journal of Industrial and Engineering Chemistry. – 2014. – № 20. – Issue 4. – P. 1596-1601.
5. Chulieieva O. Effect of flame retardant fillers on the fire resistance and physical-mechanical properties of polymeric compositions / Eastern-European journal of enterprise technologies. – 2017. – No. 5/12 (89). – P 65-70.

#### References

- 1.Obzor mineral'nykh antipirenov-gidroksidov dlya bezgalogennykh kabel'nykh kompozitsiy (2009) [Review of mineral fire retardant-hydroxides for halogen-free cable compositions]. Kabel'-news. № 8. 41–43. [in Russian].
- 2.Peshkov I. B. (2013) Materialy kabel'nogo proizvodstva [Cable production materials] – M.: Mashinostroyeniye. [in Russian].
- 3.Tirelli D. (2013.) Antipireny dlya kompozitov [Flame retardants for composites]. The Chemical Journal. № 1-2. 42-45. [in Russian].
- 4.Chang Ming-Kuen, Hwanga Shyh-Shin, Liua Sung-Po (2014) Flame retardancy and thermal stability of ethylene-vinyl acetate copolymer nanocomposites with alumina trihydrate and montmorillonite. Journal of Industrial and Engineering Chemistry. № 20, Issue 4. 1596-1601. [in English].
- 5.Chulieieva O. (2017) Effect of flame retardant fillers on the fire resistance and physical-mechanical properties of polymeric compositions. Eastern-European journal of enterprise technologies. No. 5/12

6. Аблеев Р. Актуальные проблемы в разработке и производстве негорючих полимерных компаундов для кабельной индустрии / Кабель-news. – 2009. – № 6–7. – С. 64–69.

7. M. Cárdenas, D. Garcia-López, I. Gobernado-Mitre, J. Pastor, J. de. D. Martinez, J. Barbeta, D. Calveras. Mechanical and fire retardant properties of EVA/clay/ATH nanocomposites – Effect of particle size and surface treatment of ATH filler / Polymer Degradation and Stability. – 2008. – Vol. 93. – Issue 11. – P. 2032–2037.

8. Chulieieva O. Development of directed regulation of rheological properties of fire retardant composite materials of ethylene vinyl acetate copolymer / Technology audit and production reserves. – 2018. – № 2/1(40). – P. 25–31.

9. Chuleeva O., Zolotaryov V. Effect of modifier on the thermophysical properties of fireproof ethylene-vinyl acetate copolymer composition materials / Technology audit and production reserves. – 2018. – № 6/1(44). – P. 23–28.

10. Макарова Н.В., Трофимец В.Я. Статистика в Excel: Учеб. пособие. – М.: Финансы и статистика, 2002, 368 с.

(89). 65-70. [in English].

6. Ableev R. (2009.) Aktual'nye problemy v razrabotke i proizvodstve negoryuchikh polimernykh kompaundov dlya kabel'noy industrii [Actual problems in the development and production of non-combustible polymeric compounds for the cable industry] Kabel'-news. № 6–7. 64–69. [in Russian].

7. Cárdenas M., Garcia-López D., Gobernado-Mitre I., Pastor J., Martinez J. de. D., Barbeta J., Calveras D. (2008) Mechanical and fire retardant properties of EVA/clay/ATH nanocomposites – Effect of particle size and surface treatment of ATH filler. Polymer Degradation and Stability. Vol. 93, Issue 11. 2032–2037. [in English].

8. Chulieieva O. (2018) Development of directed regulation of rheological properties of fire retardant composite materials of ethylene vinyl acetate copolymer. Technology audit and production reserves. № 2/1(40). 25–31. [in English].

9. Chuleeva O., Zolotaryov V. (2018) Effect of modifier on the thermophysical properties of fireproof ethylene-vinyl acetate copolymer composition materials. Technology audit and production reserves. № 6/1(44). 23–28. [in English].

10. Makarova N.V., Trofimets V.Ya. (2002) Statistika v Excel [Statistics in Excel] Ucheb. posobie. M.: Finansy i statistika. [in Russian].

**CHULIEIEVA OLENA**

*echuleeva@ukr.net*

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7310-0788>

PhD, Director of the Science and Technology Center  
PJSC «Yuzhcable Works»,

**PLAVAN VIKTORIIA**

*plavan.vp@knuud.edu.ua*

ResearcherID: I-5852-2015

ORCID: [orcid.org/0000-0001-9559-8962](http://orcid.org/0000-0001-9559-8962)

Doctor of Technical Sciences, Professor  
Department of Applied Ecology, technologies of polymers  
and chemical fibers  
Kyiv National University of Technologies and Design

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ В ПОЖАРОБЕЗОПАСНЫХ КОМПОЗИЦИЯХ СОПОЛИМЕРА ЭТИЛЕНА С ВИНИЛАЦЕТАТОМ И ТРИГИДРАТОВ ОКСИДА АЛЮМИНИЯ ЧУЛЕЕВА Е. В.<sup>1</sup>, ПЛАВАН В.П.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Частное акционерное общество «ЗАВОД ЮЖКАБЕЛЬ», г. Харьков

<sup>2</sup>Киевский национальный университет технологий и дизайна

**Цель.** Определение рационального состава пожаробезопасных полимерных композиций с улучшенными электрофизическими характеристиками на основе сополимера этилена с винилацетатом и тригидроксида алюминия базирываясь на результатах исследований зависимости электрической прочности, удельного объемного электрического сопротивления, тангенса угла диэлектрических потерь и диэлектрической проницаемости от физико-химических свойств ингредиентов и количества и свойств модификаторов.

**Методика.** Полимерные композиции на основе сополимера этилена с винилацетатом и тригидрата оксида алюминия с различным содержанием органосилана как модификатора изготавливали на линии компаундирования компании X-Comround, Швейцария. Для оценки

электроизоляционных свойств материала использованы методы измерения электрической прочности, удельного объемного электрического сопротивления, диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь.

**Результаты.** Выявлены зависимости изменения электрофизических свойств пожаробезопасных полимерных композиций в зависимости от реологических свойств полимерной матрицы и физико-химических свойств тригидратов оксида алюминия. Исследовано влияние наномодификаторов на основе органосиланов на свойства композиций. Обнаружено явление синергического эффекта при использовании модифицированных смесей.

**Научная новизна.** Установлено влияние модификаторов на электрофизические свойства пожаробезопасных полимерных композиций и синергический эффект их действия. Показано, что добавление 60% масс. тригидрата оксида алюминия 2 в композицию на основе сополимеров этилена с винилацетатом с содержанием как модификатора аминсилана 1 в количестве 1,5% масс. обеспечивает улучшение электроизоляционных свойств материала.

**Практическая значимость.** Показаны практические особенности моделирования электрофизических свойств пожаробезопасных полимерных композиций, которые заключаются в выборе рационального состава для достижения заданных характеристик изоляции и оболочек кабельной продукции.

**Ключевые слова:** пожаробезопасные композиции, сополимер этилена с винилацетатом, модификатор, антипирен, электрофизические свойства.

## MODELING OF ELECTROPHYSICAL TRANSFORMATIONS IN FIREPROOF COMPOSITIONS OF ETHYLENE-VINYL ACETATE COPOLIMER AND ALUMINUM OXIDE TRIHYDRATES

CHULIEIEVA O.<sup>1</sup>, PLAVAN V.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Private Joint Stock Company YUZHicable Works, Kharkiv

<sup>2</sup>Kyiv National University Technologies and Design

**Purpose.** To determine the rational composition of fireproof polymer compositions with improved electrophysical characteristics, which composed of an ethylene-vinyl acetate copolymer and aluminum trihydroxide based on the results of studies of the dependence of electrical strength, specific volume electrical resistance, dielectric loss tangent and physical permittivity of the ingredients and the amount and modifier properties.

**Methodology.** Ethylene-vinyl acetate copolymer and aluminum trihydroxide polymer compositions which had different content of organosilane as a modifier were manufactured on the compounding line of X-Compound, Switzerland. To assess the insulating properties of the material used methods for measuring the electrical strength, specific volume electrical resistance, dielectric constant and tangent of dielectric loss.

**Findings.** The dependences of changes in the electrophysical properties of fireproof polymer compositions depending on the rheological properties of the polymer matrix and the physicochemical properties of aluminum oxide trihydrates are revealed. The effect of nano-modifiers based on organosilanes on the properties of the compositions was investigated. The phenomenon of a synergistic effect with the use of modified mixtures was found.

**Originality.** The effect of modifiers on the electrophysical properties of fireproof polymer compositions and the synergistic effect of their action is established. It is shown that the addition of 60% of the mass. aluminum oxide trihydrate 2 in a composition based on ethylene-vinyl acetate copolymers with the content of aminosilane 1 in the amount of 1.5% by weight. provides improved electrical insulation properties of the material.

**Practical value.** The practical features of modeling the electrophysical properties of fireproof polymer compositions, which consist in the choice of a rational composition to achieve the specified characteristics of the insulation and cable sheaths, are shown.

**Keywords:** fireproof compositions, ethylene-vinyl acetate copolymer, modifier, fire retardant, electrophysical properties.