

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ВІСНИК

**КИЇВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ**

№ 2 (144), 2020
Частина 2 (серія «Технічні науки»)

DOI:10.30857/1813-6796.2020.2

Наукове фахове видання

Періодичність виходу: 6 разів на рік

Дата заснування: грудень 1999 р.

Київ 2020

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)

№2 (144), 2020

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

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

Рекомендовано до друку Вченою радою Київського національного університету технологій та дизайну, протокол № 6 від 29.04.2020 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 2 (144), 2020 Part 2.
Technical Science Series**

DOI:10.30857/1813-6796.2020.2

Scientific Specialized Edition

Issued: 6 times a year

Founded: December, 1999

Kyiv 2020

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)

№2 (144), 2020 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 18.12.2018. 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, ПИИЛ, 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: **Viktoriya 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

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

Recommendations from Science Council of Kyiv National University of Technologies and Design, Protocol № 6, originating date 29.04.2020.

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. **ЗАВЕРТАННИЙ Б. С., МАНОЙЛЕНКО О. П., АКИМОВ О. О.** Дослідження впливу зміщення пакування вздовж осі бобінотримача на критичні швидкості 13
2. **ЗАЛЮБОВСЬКИЙ М. Г., ПАНАСЮК І. В.** Експериментальне дослідження впливу геометрії металевих відливочних деталей замка «блискавка» на особливості їх обробки в гальмувальній машині 24

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО ІНДУСТРІЇ МОДИ, ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ТЕКСТИЛЮ, ОДЯГУ ТА ВЗУТТЯ

3. **СЕМЕШКО О. Я., АСАУЛЮК Т. С., САРІБЄКОВА Ю. Г.** Дослідження впливу світлостабілізаторів на світлостійкість забарвленого активними барвниками бавовняного трикотажу 33
4. **СУПРУН Н. П., РЯБЧИКОВ М. Л., ІВАНОВ І. О.** Моделювання процесу тертя в текстильних матеріалах 45
5. **ЩУЦЬКА Г. В., СУПРУН Н. П., ПОЖИЛОВ–НЕСМІЯН Г. М.** Моделювання процесів вологопереносу в багатошарових аплікаційних матеріалах медичного призначення 54
6. **ЗДОРЕНКО В. Г., БАРИЛКО С. В., ЛІСОВЕЦЬ С. М., ШИПКО Д. О., ВАСИЛЕНКО В. М.** Відбиття ультразвукових хвиль від двошарового пакету текстильних матеріалів зі щільним верхнім шаром 62
7. **СЛІЗКОВ А. М., КОЛЕСНИК О. В.** Аналіз методів модифікації полімерних текстильних матеріалів 71
8. **ЄЛІНА Т. В., ГАЛАВСЬКА Л. Є., МАНОЙЛЕНКО О. П.** Створення параметричної моделі поверхні трикотажу переплетення ластик 2x2 80

ХІМІЧНІ ТА БІОФАРМАЦЕВТИЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ

9. **РУТКОВСЬКА К. С., ТУЛЬСЬКИЙ Г. Г., ГОМОЗОВ В. П., ВОРОНА Т. В.** Кінетика суміщених катодних процесів у водному розчині NaCl 90
10. **КИСЛОВА О. В.** Вплив заміщеного нікотинаміду та його можливих метаболітів на активність ферментів обміну етанолу 98
11. **НИРКОВА Л. І., ОСАДЧУК С. О., БОРИСЕНКО Ю. В., МАКАТЬОРА Ф. М.** Аналіз особливостей внутрішньої корозії нафтопроводу та методологія її дослідження методом поляризаційного опору 105

УДК 677.053.2

ЗАВЕРТАННИЙ Б. С., МАНОЙЛЕНКО О. П., АКИМОВ О. О.

Київський національний університет технологій та дизайну

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЗМІЩЕННЯ ПАКУВАННЯ ВЗДОВЖ ОСІ БОБІНОТРИМАЧА НА КРИТИЧНІ ШВИДКОСТІ

Мета. Створення математичної моделі механізму намотування перемотувальних машин, дослідження впливу величини зміщення пакування на критичні швидкості та розробка рекомендацій для вирішення поставленого завдання.

Методика. При напрацюванні нитки на пакування до швидкісних намотувальних механізмів ставляться високі вимоги, при цьому, як до якості отриманого пакування так і до швидкодії бобінотримача. Під час встановлення бобіни на бобінотримач можливе її зміщення в осьовому напрямку від розрахункового положення, що призводить до зміни положення центра маси пакування з бобіною, і відповідно до зміни динамічних навантажень на бобінотримач. Тому існує потреба визначення величини впливу зміщення пакування вздовж осі бобінотримача на робочі швидкості обладнання та на якість отримуваних пакувань. У процесі намотування важливу роль відіграє розміщення пакування на бобінотримачі механізму намотування перемотувальної машини. Зміщення центра мас пакування впливає, як на робочі швидкості обладнання, так і на саму якість пакування. В перемотувальних машинах встановлено механізм контролю товщини пакування, який контролює швидкісні процеси при намотуванні. При зміщенні бобіни в сторону вершини конуса напрацьовується неповновісне пакування (меншої ваги). При зміщенні в сторону протилежну вершині конуса пакування, навпаки, збільшується вага пакування. Окрім цього величина зміщення пакування впливає на динамічні навантаження намотувального механізму.

Результати. Визначено вплив величини зміщення пакування вздовж осі бобінотримача на критичні швидкості механізму намотування та якість пакування.

Наукова новизна. В роботі проведено дослідження та аналіз впливу величини зміщення бобіни з пакуванням на критичні швидкості намотувального механізму. Визначено величину впливу положення мас центра бобіни з пакуванням відносно бобінотримача на значення критичних швидкостей намотувального механізму. Отримані результати дозволяють контролювати діапазон робочих швидкостей намотувального механізму в залежності від параметрів положення бобіни на бобінотримачі, що може бути застосоване для корегування швидкісних режимів процесу намотування при напрацюванні бобіни та вносити правки при проектуванні перемотувального обладнання. Запропонована методика визначення максимально можливих швидкостей в процесі перемотування текстильного матеріалу на перемотувальних машинах з прямим приводом бобіни з врахуванням положення бобіни на бобінотримачі, що може бути застосовано при проектуванні нових механізмів, або модернізації існуючих.

Практична значимість. Розроблена динамічна модель намотувального механізму. Показано величину впливу зміщення пакування на критичні швидкості. Запропоновані методи та конструкції для підвищення якості пакування та стабільної роботи обладнання.

Ключові слова: нитка; намотування нитки; перемотування ниток; динаміка; кутова швидкість головного валу; бобіна; перемотування; критичні швидкості намотування; бобінотримач.

Вступ. При напрацюванні нитки на пакування до швидкісних намотувальних механізмів ставляться високі вимоги, як до якості отриманого пакування так і до швидкості намотування. Під час встановлення бобіни можливе зміщення вздовж осі останнього від розрахункового положення вздовж вісі механізму намотування. Тому існує потреба аналізу величини зміщення пакування на швидкість процесу перемотування та на якість отримуваних пакувань. У роботах [1, 2] авторами не розглянуто вплив параметрів

встановлення бобіни на бобінотримачі, що призводить до зміни критичних швидкостей механізму намотування, що впливає на динамічні характеристики машини і, відповідно, на її роботу та якість пакування.

Постановка завдання. У процесі перемотування важливу роль відіграє розміщення пакування на механізмі намотування перемотувальних машин. Зміщення центра мас пакування впливає як на робочі швидкості намотування, так і на його якість. Для формування якісного пакування в перемотувальних машинах встановлено механізм контролю товщини пакування, який контролює процес намотування. Однак, при зміщенні бобіни, під час встановлення, в сторону вершини конуса напрацьовується неповновісне (з меншою вагою) пакування. При зміщенні в сторону протилежну напрямку вершини конуса пакування, навпаки, вага пакування збільшується. Також величина зміщення пакування впливає на динаміку намотувального механізму.

Таким чином, виходячи із вищевказаного, можна стверджувати, що важливим фактором є вплив величини зміщення пакування від розрахункового (проектного) його положення на максимальні швидкості в процесі перемотування. Також не досліджено вплив величини зміщення на якість і вагу пакування та роботу механізму намотування в цілому. Це, в свою чергу, утруднює проектування нових раціональних конструкцій механізмів намотування вільних від вказаних недоліків та експлуатацію діючого обладнання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В роботі [3] розглянуто вплив нерівномірності лінійної щільності на технологічні параметри та швидкості намотування. Показано величину вплив динамічної поведінки пряжі при намотуванні, але без врахування положення бобіни з пакуванням на бобінотримачі. У роботі [4] описано конструкції механізмів намотування та наведена методика їх розрахунку

Також конструкції та методи розрахунку описано у [5], та додатково описано базову конструкцію механізму намотування. В даній роботі описано метод напівжорсткого шпинделя для визначення критичних кутових швидкостей двохопорних роторів. При цьому не розглянуто впливу зміщення пакування на значення критичних швидкостей механізму намотування та якість отриманого пакування.

Виділення недосліджених раніше частин загальної проблеми. Процес на перемотувальних машинах вимагає заміни бобін з установкою їх на конічну поверхню бобінотримача, яка відбувається органолептично на різну глибину конуса, так звану посадку. При цьому посадка конічних поверхонь може бути виконана, як з зазором так і з натягом [2], після чого фіксація бобіни на бобінотримачі здійснюється розширенням його конічної поверхні. Перехідній посадці відповідає розрахункове значення конічних поверхонь бобіни та бобінотримача і забезпечує середнє їх взаємне положення. Вплив величини посадки на динамічні характеристики бобінотримача не знайшов відображення в літературних джерелах [1-6]. Тому визначення зміни критичних швидкостей в залежності від посадки бобіни на бобінотримач носить актуальний характер.

Постановка завдання. Метою роботи є визначення впливу зміщення пакування на динамічні характеристики бобінотримача намотувального механізму перемотувальної машини на прикладі моделі БП-340. Об'єкт дослідження - критичні швидкості бобінотримача. Предметом дослідження є закономірність зміни критичної швидкості

намотувального механізму при зміщенні пакування вздовж осі бобінотримача. Також важливим фактором є вплив зміщення бобіни на якість пакування.

Результати дослідження. Вміння розраховувати і керувати критичними швидкостями бобінотримачів дозволяє створювати сучасні високошвидкісні конструкції з високими частотами обертання роторів. Процес перемотування ниток на машинах з прямим приводом супроводжується зміною кутової швидкості бобіни з пакуванням, в результаті чого відбувається зміна масо-інерційних параметрів та жорсткість шпинделя бобінотримача. Через повільну зміну масо-інерційних параметрів бобінотримача дозволяє розглядати дискретні стани бобінотримача в будь-який момент процесу перемотування пакування.

З метою визначення критичних швидкостей на практиці застосовується метод «напівжорсткого шпинделя» [5], що дає результати з високою точністю (похибка не перевищує 10%). Точність методу обмежена похибкою розрахункового визначення пружних характеристик бобінотримача, що викликана ідеалізацією розрахункової схеми [7].

Бобінотримач представлений у вигляді одномасової насадки (що включає оправку бобінотримача, бобіну та пакування), що закріплена на пружному валу. Математична модель вільних коливань бобінотримача з опорами, що мають анізотропну пружину характеристику має наступний вигляд [7]:

$$\begin{cases} M_0 \ddot{\eta} + m_{1\eta} \dot{\eta} - m_{2\eta} \alpha = 0, \\ M_0 \ddot{\zeta} + m_{1\zeta} \dot{\zeta} - m_{2\zeta} \beta = 0, \\ A_0 \ddot{\alpha} + C_0 \dot{\beta} \cdot \omega - m_{2\eta} \dot{\eta} + m_{3\eta} \alpha = 0, \\ A_0 \ddot{\beta} - C_0 \omega \cdot \dot{\alpha} - m_{2\zeta} \dot{\zeta} + m_{3\zeta} \beta = 0 \end{cases}, \quad (1)$$

де M_0 – маса насадка (під насадком розуміється оправка бобінотримача, нитконосій та пакування);

C_0 – полярний момент інерції насадка;

A_0 – екваторіальний момент інерції насадка;

$\varphi, \eta, \zeta, \alpha, \beta$ – узагальнені координати, що характеризують положення центра мас динамічної моделі;

$m_{1\eta}, m_{2\eta}, m_{3\eta}, m_{1\zeta}, m_{2\zeta}, m_{3\zeta}$ – відповідно, коефіцієнти жорсткості механічної системи в горизонтальному та вертикальному напрямках (вздовж осей).

Критичні швидкості ротора на основі [7], визначаються з задачі на власні частоти з ермітовою матрицею:

$$(M - iC)\bar{x} = \lambda K\bar{x}, \quad (2)$$

де $\lambda = 1 / \omega^2$;

M – матриця інерційних коефіцієнтів;

C – матриця гіроскопічних коефіцієнтів;

K – матриця жорсткості.

Знайдення значень власних коливань приводиться до розв'язання стандартної задачі

$$A\bar{y} = \lambda\bar{y}, \quad (3)$$

з дійсною симетричною матрицею A подвійного порядку в порівнянні з M, C і K .

Матриця інерційних коефіцієнтів має вигляд:

$$M = \text{diag}(M_0, M_0, A_0, A_0) \cdot \quad (4)$$

Матриці коефіцієнтів жорсткості та гіроскопічних коефіцієнтів мають вигляд:

$$K = \begin{pmatrix} m_{1\eta} & 0 & -m_{2\eta} & 0 \\ 0 & m_{1\zeta} & 0 & -m_{2\zeta} \\ -m_{2\eta} & 0 & m_{3\eta} & 0 \\ 0 & -m_{2\zeta} & 0 & m_{3\zeta} \end{pmatrix}, \quad (5)$$

$$C = \begin{pmatrix} 0000 \\ 0000 \\ 000C_0 \\ 00C_00 \end{pmatrix}, \quad (6)$$

До інерційних параметрів бобінотримача відносяться маса насадка (конічна бобіна, бобінотримач з пристроєм затиску, поточна маса пакування), полярний і екваторіальний моменти інерції. Бобіни та пакування доцільно віднести до оправки, як типові елементи.

Для розрахунку інерційних параметрів оправки необхідно її розбити на ряд простих елементів M_i . Простими елементами бобінотримача будуть циліндричні та конічні елементи. Бобінотримач має два конічні елементи в пристрої затиску, конічна бобіна також віднесена до оправки в якості одного з елементів.

Для одноманітного позначення геометричних параметрів в алгоритмі всі елементи будемо вважати конічними. Вид конічного елемента та позначення основних його розмірів приведено на рисунку 1. Положення елемента на площині буде визначатися відстанями початку та кінця елемента від переднього підшипника бобінотримача.

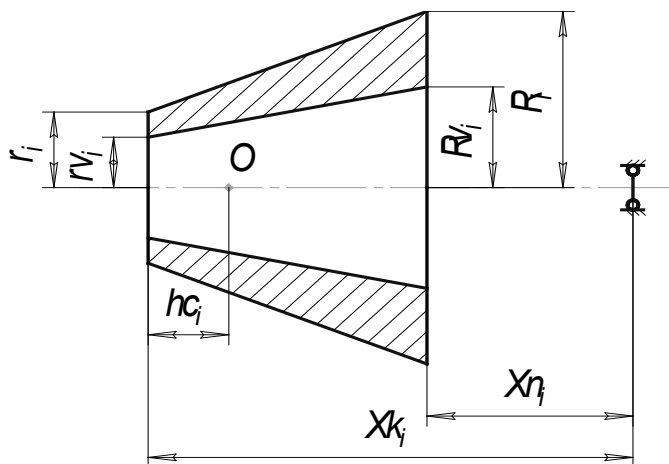


Рис. 1. Позначення геометричних розмірів конічного елемента:

h_{ci} – координата положення центра мас і-того елемента; X_{ci} – координата положення центра мас і-того елемента відносно опори; X_{ct} – координата положення центра мас; r_i, r_{vi}, R_i, R_{vi} – радіуси конічного елемента; X_{ki}, X_{ni} – координати кінця і початку і-того елемента відносно опори

Пакування перемотувальної машини має трьохконусну форму (рис. 2), тому його доцільно розбити на три окремі конічні елементи (верхній, середній та нижній елементи). В зв'язку з необхідністю визначення залежності критичних швидкостей від маси пакування

доцільно знайти залежність інерційних параметрів від маси пакування. В алгоритмі в якості аргументу використано товщину пакування.

Схема розбивки пакування на елементи наведена на рисунку 2.

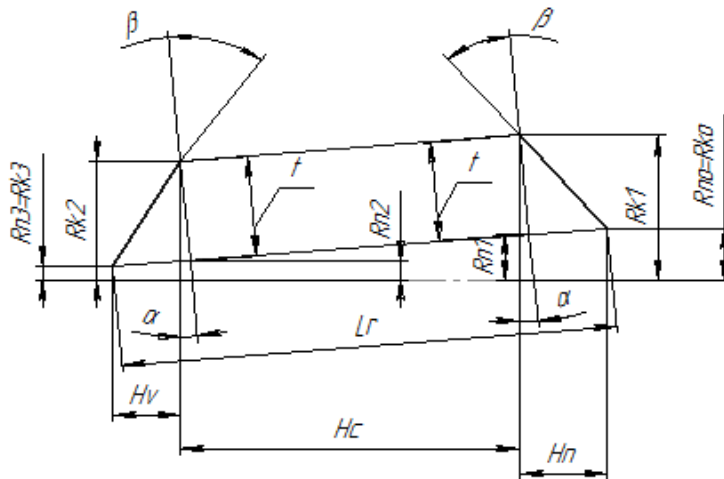


Рис. 2. Схема розбивки пакування на елементи:

$R_{n0}, R_{n1}, R_{n2}, R_{n3}$ – внутрішні радіуси конусів; $R_{k0}, R_{k1}, R_{k2}, R_{k3}$ – зовнішні радіуси конусів; α – кут конусу пакування; β – кут намотування; t – товщина тіла намотування; L_r – довжина розкладки; H_v, H_c, H_n – довжини відповідно верхньої, середньої, нижньої ділянок тіла намотування

Зв'язок між геометричними розмірами пакування та товщиною намотування визначається з наступних співвідношень.

Довжини ділянок тіла намотування:

$$H_n = t \cdot (\operatorname{tg} \alpha + \operatorname{tg} \beta) \cdot \cos \alpha, \quad H_v = t \cdot (\operatorname{tg} \beta - \operatorname{tg} \alpha) \cdot \cos \alpha, \quad H_c = L_r \cdot \cos \alpha - H_v - H_n. \quad (7)$$

Радіуси конусів:

$$R_{n1} = R_{n0} - H_n \cdot \operatorname{tg} \alpha, \quad R_{k1} = R_{n1} + \frac{t}{\cos \alpha}, \quad R_{n3} = R_{n0} - L_r \cdot \sin \alpha, \quad R_{k3} = R_{n3},$$

$$R_{k2} = R_{n3} + \frac{H_v}{\operatorname{tg}(\beta - \alpha)}, \quad R_{n2} = R_{k2} - \frac{t}{\cos \alpha}. \quad (8)$$

Відстані від опори до елементів пакування:

$$H_1 = H_0 + H_n, \quad H_2 = H_1 + H_c, \quad H_3 = H_2 + H_v. \quad (9)$$

З врахування параметрів елементів та залежностей (7, 8) інерційні параметри насадка визначаються по [5].

Об'єм i -того елемента насадка V_i , м^3 :

$$V_i = \frac{\pi}{3} \cdot (X_{ki} - X_{ni}) \cdot \left[(R_i)^2 - (R_{vi})^2 \right] + (R_i \cdot r_i - R_{vi} \cdot r_{vi}) + \left[(r_i)^2 - (r_{vi})^2 \right]. \quad (10)$$

Маса насадка M_o , кг:

$$M_o = \sum_i V_i \cdot \rho_i, \quad (11)$$

де ρ_i – щільність матеріалу елемента.

Координата положення центра мас i -того елемента насадка h_{ci} , м:

$$h_{ci} = \frac{\pi}{12} \cdot \frac{(X_{ki} - X_{ni})^2}{V_i} \cdot \left[3[(R_i)^2 - (R_{vi})^2] + 2(R_i \cdot r_i - R_{vi} \cdot r_{vi}) + [(r_i)^2 - (r_{vi})^2] \right]. \quad (12)$$

Координата положення центра мас і-того елемента насадка відносно опори X_{ci} , м:

$$X_{ci} = X_{ki} - h_{ci}. \quad (13)$$

Полярний момент інерції насадка C_o , кг·м²:

$$C_o = \sum_i \frac{\pi}{10} \cdot M_i \cdot \frac{(X_{ki} - X_{ni})}{V_i} \cdot \left[R_i \cdot (R_i + r_i) \cdot [(R_i)^2 + (r_i)^2] + [(r_i)^4 - (r_{vi})^4] - R_{vi} \cdot (R_{vi} + r_{vi}) \cdot [(R_{vi})^2 + (r_{vi})^2] \right], \quad (14)$$

де M_i – маса і-того елемента насадка.

Момент інерції елемента насадка A_c , кг·м²:

$$A_c = \frac{1}{2} \cdot C_o + \sum_i M_i \cdot \left[\frac{\pi}{30} \cdot \frac{(X_{ki} - X_{ni})^3}{V_i} \cdot \left[6[(R_i)^2 - (R_{vi})^2] + 3(R_i \cdot r_i - R_{vi} \cdot r_{vi}) + [(r_i)^2 - (r_{vi})^2] \right] - (h_{ci})^2 \right]. \quad (15)$$

Координата положення центра мас насадка H_{cm} , м:

$$H_{cm} = \frac{\sum_i M_i \cdot X_{ci}}{M_o}. \quad (16)$$

Екваторіальний момент інерції насадка A_o , кг·м²:

$$A_o = A_c + \sum_i M_i \cdot (H_{cm} - h_{ci})^2. \quad (17)$$

Схема намотувального механізму наведена на рисунку 3.

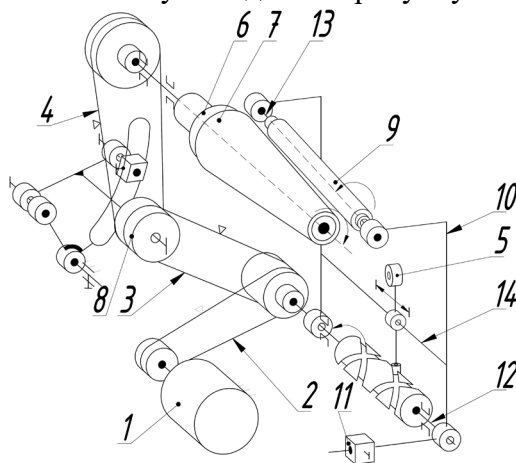


Рис. 3. Розрахункова схема для визначення інерційних параметрів бобінотримача
 1 – електричний привод; 2–4 – пасові передачі; 5 – механізм розкладника; 6 – механізм бобінотримача; 7 – бобіна; 8 – натяжний шків; 9 – укочуючий ролик; 10 – коромисло; 11 – протывага; 12 – вал; 13 – вісь; 14 – напрямна

Визначення коефіцієнтів впливу здійснюється згідно схеми намотувального механізму (рисунок 3).

Моменти інерції перерізу валу визначають з виразів:

$$I_1 = \frac{\pi \cdot (D_{v1}^4 - d_{v1}^4)}{64}, \quad I_2 = \frac{\pi \cdot (D_{v2}^4 - d_{v2}^4)}{64}, \quad (18)$$

де D_{v1} , d_{v1} , D_{v2} , d_{v2} – зовнішній та внутрішній діаметри вала на першій та другій ділянках вала відповідно.

Жорсткість пружної системи визначається пружністю вала [7] та пружними властивостями тіла намотування:

$$m_{1\eta} = \frac{\delta_{22}}{\Delta^2}; \quad m_{2\eta} = \frac{\delta_{12}}{\Delta^2}; \quad m_{3\eta} = \frac{\delta_{11}}{\Delta^2}, \quad \Delta^2 = \delta_{11}\delta_{22} - \delta_{12}^2, \quad (19)$$

$$m_{1\zeta} = m_{1\eta} + C_n; \quad m_{2\zeta} = m_{2\eta} + h \cdot C_n; \quad m_{3\zeta} = m_{3\eta} + h^2 \cdot C_n. \quad (20)$$

Для визначення коефіцієнтів жорсткості механічної системи в центрі мас насадка використовуємо вирази для коефіцієнтів впливу [7].

де δ_{11} – переміщення центра мас насадка від дії одиничної сили, прикладеної в площині, що проходить через центр мас;

δ_{12} – кут повороту площини від одиничної сили, прикладеної в центрі мас;

δ_{21} – переміщення центра мас насадка від дії одиничного моменту, прикладеного там же;

δ_{22} – кут повороту площини від одиничного моменту, прикладеного там же;

C_n – жорсткість системи “тіло намотування – пружні елементи кріплення ролика”;

h – відстань від центра мас бобінотримача до площини, що симетрична твірній тіла намотування.

Коефіцієнти впливу визначаються аналогічно [7]:

$$\begin{aligned} \delta_{11} &= \frac{l_1 \cdot H_{cm}^2}{3E \cdot I_1} + \frac{a^2 \cdot (l_5 + 3l_3) + l_3^2 \cdot (l_3 + 3a)}{3E \cdot I_2}, \\ \delta_{12} &= \frac{l_1 \cdot H_{cm}}{3E \cdot I_1} + \frac{2a \cdot (l_5 + 3l_3) + 3l_3^2}{6E \cdot I_2}, \\ \delta_{22} &= \frac{l_1}{3E \cdot I_1} + \frac{l_5 + 3l_3}{3E \cdot I_2}, \end{aligned} \quad (21)$$

де l_1 – довжина між опорами;

H_{cm} – довжина від передньої опори до центра мас;

l_3 – відстань від передньої опори до заднього конуса;

l_5 – відстань між переднім та заднім конусами;

E – модуль пружності (для Сталі 45 $E=2 \cdot 10^{11}$ Н/м²).

Жорсткість пружної системи визначається пружністю вала та пружними властивостями тіла намотування аналогічно [2].

Дослідження проводилися при наступних умовах:

-при зміщенні центра мас пакування на $\Delta=0,005$ м від початкового положення в напрямку конуса і зміщенні центра мас бобінотримача в тому ж напрямку;

-при зміщенні центра мас пакування на $\Delta=0,005$ м від початкового положення в протилежному напрямку конуса і зміщенні центра мас бобінотримача в тому ж напрямку.

Вхідні дані для розрахунку приймалися згідно з [8, 9, 10].

Результати розрахунку зміщення бобіни та пакування на критичні швидкості представлено у таблиці 1.

Таблиця 1

Вплив зміщення пакування на характеристики механізму

Товщина пакування, мм	Технологічний параметр	Зміщення пакування повздовж осі бобінотримача, Δ (мм)		
		$\Delta = - 0.005$	$\Delta = 0$	$\Delta = + 0.005$
t=0 мм	Маса пакування, кг	0	0	0
	Перша критична швидкість, рад/с	692	681	661
t=20 мм	Маса пакування, кг	0,713	0,734	0,754
	Перша критична швидкість, рад/с	560	542	526
t=50 мм	Маса пакування, кг	2,099	2,133	2,168
	Перша критична швидкість, рад/с	431	418	405
t=70 мм	Маса пакування, кг	3,035	3,075	3,117
	Перша критична швидкість, рад/с	384	372	361

Аналізуючи отримані результати встановлено, що зі зміщенням бобіни змінюється і критична швидкість системи і вага напрацьованого пакування. При зміщенні центра мас від розрахункового положення в напрямку конуса критична швидкість зростає, тобто збільшується робочий діапазон швидкостей намотувального механізму, і навпаки при зміщенні від розрахункового положення в протилежному напрямку від конуса робочий діапазон швидкостей зменшується.

Для отримання рівноважних пакувань пропонується замінити механізм контролю розміру пакування, який використовується на машинах типу БП. Пропонується встановити контроль з розрахунковому часу напрацювання пакування. Аналогічним рішенням являється встановлення датчика контролю довжини намотаної нитки. В залежності від лінійної товщини нитки обирається довжина нитки на пакуванні.

Для запобігання неточного встановлення бобіни на бобінотримач актуальним буде встановити упори. При встановленні бобіни на механізм намотування бобіна встановлюється до її контакту з упором. Тим самим ми забезпечуємо однакове положення пакування на бобіно тримачі.

Висновки. Дані дослідження допомогли встановити вплив посадки бобіни на критичні швидкості бобінотримача. Встановлено, що при зміщенні бобіни на $\Delta=5 \cdot 10^{-3}$ м від розрахункового положення в напрямку конуса зміщується центр мас як бобіни, так і бобінотримача за рахунок стискування останнього, а критична швидкість наприкінці процесу намотування збільшується в середньому на 3,2%. В цей же час зміщення центра мас пакування на $\Delta=5 \cdot 10^{-3}$ м в протилежному напрямку призводить до зменшення критичних швидкостей наприкінці процесу намотування на 2.9%. Запропонована методика контролю напрацювання пакування в залежності від встановлення бобіни на бобінотримачі дозволяє підвищити якість та продуктивність перемотувального обладнання, що може бути

реалізовано встановленням додаткових упорів для однакового положення пакувань на бобінотримачі при його встановленні.

Література

1. Панин А.И. Экспериментально-теоретическое исследование формирования мотальных паковок для создания и внедрения перспективных текстильных материалов / Дис. д.т.н., Москва., 2014.
2. Прошков А.Ф. Расчет и проектирование машин для производства химических волокон: Учебник для студентов вузов. – М.: Легкая и пищевая пром-сть, 1982. – 408 с., ил.
3. Goswami B.C. (2002). Non linear dynamics of high-speed transport for staple yarns. Annual Report, National Textile Centre.
4. Koranne, Milind. (2013). Fundamentals of yarn winding.
5. Машиностроение. Энциклопедия /Ред. Совет: К.В. Фролов (пред.) и др. М.: Машиностроение. Машины и агрегаты текстильной и легкой промышленности. Т. IV–13 /И.А. Мартынов, А.Ф. Прошков, А.П. Яскин и др.: Под общ. Ред. И.А. Мартынова. 1997. – 608 с.
6. Процессы и оборудование производства волокнистых и пленочных материалов / Жмыхов И.Н., Гальбрайх Л.С., Акулич А.В. – Мн.:Вышэйшая школа, 2013. – 587 с.
7. Коритыцкий Я.И. Динамика упругих систем текстильных машин. М.: Легкая и пищевая пром-сть, 1982, – 272 с.
8. Завертанний Б.С. Дослідження впливу посадки бобіни на динамічні характеристики бобінотримача / Б.С. Завертанний; О.П.Манойленко, О.О.Акимов// Наукові розробки молоді на сучасному етапі : тези доповідей XVI Всеукраїнської наукової конференції молодих вчених та студентів (27-28 квітня 2017 р., Київ). - К. : КНУТД, 2017. - Т. 2 : Мехатронні системи і комп'ютерні технології. Ресурсозбереження та охорона навколишнього середовища. - С. 364-365.
9. Иванова, Т.П. Технология и оборудование для подготовки нитей к ткачеству: учебно-методический комплекс / Т.П.Иванова / УО «ВГТУ». – Витебск, 2008. – 306 с.

References

1. Panin A.I. (2014) Eksperimental'no-teoreticheskoe issledovanie formirovaniya motal'nyh pakovok dlya sozdaniya i vnedreniya perspektivnyh tekstil'nyh materialov [Experimental theoretical study forming winding packages for creation and implementation promising textile materials] Dis. d.t.n., Moskva [in Russian].
2. Proshkov A.F. (1982) Raschet i proektirovanie mashin dlya proizvodstva himicheskikh volokon [Calculation and design of machines for the production of chemical fibers] Uchebnik dlya studentov vuzov. M.: Legkaya i pishchevaya prom-st' [in Russian].
3. Goswami B.C. (2002). Non linear dynamics of high-speed transport for staple yarns. Annual Report, National Textile Centre.
4. Koranne, Milind. (2013). Fundamentals of yarn winding. Published by Woodhead Publishing India Pvt. Ltd.
5. Mashinostroenie. Enciklopediya /Red. Sovet: K.V. Frolov (pred.) i dr. M.: Mashinostroenie (1997). Mashiny i agregaty tekstil'noj i legkoj promyshlennosti. T. IV–13 [Machines and units of textile and light industry. T. IV–13] /I.A. Martynov, A.F. Proshkov, A.P. YAskin i dr.: Pod obshch. Red. I.A. Martynova [in Russian].
6. ZHmyhov I.N., Gal'brajh L.S., Akulich A.V. (2013) Processy i oborudovanie proizvodstva voloknistyh i plenochnyh materialov [Processes and equipment for the production of fibrous and film materials] / ZHmyhov I.N., Gal'brajh L.S., Akulich A.V. – Mн.:Vyshejschaya shkola [in Russian].
7. Koritysskij YA.I. (1982) Dinamika uprugih sistem tekstil'nyh mashin [The dynamics of elastic systems of textile machines] . M.: Legkaya i pishhevaya prom-st' [in Russian].
8. Zavertannyi B.S. Doslidzhennia vplyvu posadky bobiny na dynamichni kharakterystyky bobinotrymacha / B.S. Zavertannyi; O.P.Manoilenko, O.O.Akymov// Naukovi rozrobky molodi na suchasnomu etapi : tezy dopovidei XVI Vseukrainskoi naukovoї konferentsii molodykh vchenykh ta studentiv “Mekhatronni systemy i kompiuterni tekhnolohii. Resursozberezhennia ta okhorona navkolyshnoho seredovyshcha“ -27-28 kvitnia 2017 r., KNUTD ,Kyiv. [in Ukraine].
9. Ivanova, T.P. (2008) Tekhnologiya i oborudovanie dlya podgotovki nitej k tkachestvu: uchebno-metodicheskij kompleks [Technology and equipment for the preparation of threads for weaving: educational-methodical complex] / T.P.Ivanova / UO «VGTU». – Vitebsk [in Russian].

10. Регельман Е. З., Рокотов Н.В. Приемные механизмы машин для производства химических волокон / под ред. Е.З. Регельмана. – Л. : Издательство Ленинградского университета. 1988. – 248 с.

10. Regel'man E. Z., Rokotov N.V.(1988) Priemnye mekhanizmy mashin dlya proizvodstva himicheskikh volokon [Reception mechanisms of machines for the production of chemical fibers] / pod red. E.Z. Regel'mana. – L. : Izdatel'stvo Leningradskogo universiteta. [in Russian].

ZAVERTANNYI BOGDAN

Postgraduate student
Department of Applied Mechanics and Machines
Kyiv National University of Technology and Design
Nemirovich-Danchenko str., 2, Kyiv, Ukraine, 01011
E-mail: botanuga@ukr.net
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1809-0430>
https://www.researchgate.net/profile/Bogdan_Zavertannyi

OLEKSANDR MANOILENKO

PhD, Associate Professor, Head of Department
Department of Applied Mechanics and Machines
Kyiv National University of Technologies and Design
Nemirovich-Danchenko str., 2, Kyiv, Ukraine, 01011
E-mail: manojlenko.op@knutd.com.ua
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5670-4977>

OLEKSANDR AKYMOV

PhD, Associate Professor
Research and testing department
State Research Institute for Armament Testing and Certification
Streletskaia str., 1, Chernihiv, Ukraine, 14033
E-mail: akimov.al.al@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4443-8755>

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СМЕЩЕНИЯ ПАКОВКИ ВДОЛЬ ОСИ
БОБИНОДЕРЖАТЕЛЯ НА КРИТИЧЕСКИЕ СКОРОСТИ
ЗАВЕРТАННЫЙ Б. С., МАНОЙЛЕНКО А. П., АКИМОВ А. А.**

Киевский национальный университет технологий и дизайна

Цель. Создание математической модели механизма намотки перематочных машин, исследование влияния величины смещения паковки на критические скорости и разработка рекомендаций для решения поставленной задачи.

Методика. При наработке нити на паковку к скоростным намоточным механизмам ставятся высокие требования, при этом, как к качеству получаемой паковки, так и к быстродействию бобинодержателя. Во время установления бобины на бобинодержатель возможно ее смещение в осевом направлении от расчетного положения, которое приводит к изменению положения центра массы паковки с бобиной, и в соответствии к изменению динамических нагрузок на бобинодержатель. Поэтому существует потребность определения величины влияния смещения паковки вдоль оси бобинодержателя на рабочие скорости оборудования и на качество получаемых паковок. В процессе наматывания важную роль играет размещение упаковки на бобинодержателе механизма наматывания перематывающей машины. Смещение центра масс упаковки влияет, как на рабочие скорости оборудования, так и на само качество паковки. В перематывающих машинах установлен механизм контроля толщины паковки, который контролирует скоростные процессы при наматывании. При смещении бобины в сторону вершины конуса нарабатывается непорновесная паковка (меньшего веса). При смещении в сторону противоположную вершине конуса паковки, напротив, увеличивается вес паковки. Кроме этого величина смещения паковки влияет на динамические нагрузки намоточного механизма.

Результаты. Определено влияние величины смещения паковки вдоль оси бобинодержателя на критические скорости механизма наматывания и качество паковки.

Научная новизна. В работе проведено исследование и анализ влияния величины смещения бобины с паковкой на критические скорости намоточного механизма. Определена величина влияния положения центра масс бобины с паковкой относительно бобинодержателя на значение критических скоростей намоточного механизма. Полученные результаты позволяют контролировать диапазон рабочих скоростей намоточного механизма в зависимости от параметров положения бобины на бобинодержателе, что может быть применено для корректировки скоростных режимов процесса наматывания при наработке бобины и вносить

правки при проектуванні перематывающего оборудования. Предложенная методика определения максимально возможных скоростей в процессе перематывания текстильного материала на перематывающих машинах с прямым приводом бобины с учетом положения бобины на бобинодержателе, которая может быть применена при проектировании новых механизмов, или модернизации существующих.

Практическая значимость. Разработана динамическая модель намоточного механизма. Показана величина влияния смещения паковки на критические скорости. Предложенные методы и конструкции для повышения качества паковки и стабильной работы оборудования.

Ключевые слова: нить; наматывание нити; перематывание нитей; динамика; угловая скорость главного вала; бобина; перематывание; критические скорости наматывания; бобинодержатель.

RESEARCH OF THE INFLUENCE OF PACKING DISPLACEMENT ALONG THE BOBBIN HOLDER AXIS ON CRITICAL SPEEDS

ZAVERTANNYI B., MANOILENKO O., AKYMOV O.

Kyiv National University of Technologies and Design

Aim. Creation of a mathematical model of the mechanism of winding of rewinding machines, research of influence of size of shift of packing on critical speeds and development of recommendations for the decision of the set task.

Method. When working out the thread for packaging, high-speed winding mechanisms are subject to high requirements, both for the quality of the resulting packaging and for the speed of the bobbin holder. When installing the spool on the spool holder, it is possible to shift it in the axial direction from the design position, which leads to a change in the position of the center of mass of the package with the spool, and in accordance with changes in dynamic loads on the spool holder. Therefore, there is a need to determine the magnitude of the impact of the displacement of the package along the axis of the bobbin holder on the operating speeds of the equipment and the quality of the resulting packages. In the winding process, the placement of the package on the bobbin holder of the winding mechanism of the rewinding machine plays an important role. The displacement of the center of mass of the package affects both the operating speed of the equipment and the quality of the package. In rewinding machines, a mechanism for controlling the thickness of the package is installed, which controls the speed processes during winding. When the coil is shifted towards the top of the cone, incomplete packing (less weight) is developed. When shifted to the side opposite the top of the packing cone, on the contrary, the weight of the packing increases. In addition, the magnitude of the displacement of the package affects the dynamic loads of the winding mechanism.

Results. The influence of the magnitude of the packing displacement along the axis of the bobbin holder on the critical speeds of the winding mechanism and the quality of packing is determined.

Scientific novelty. The study and analysis of the influence of the magnitude of the displacement of the bobbin with packaging on the critical speeds of the winding mechanism are conducted. The magnitude of the influence of the position of the masses of the center of the coil with packing relative to the bobbin holder on the value of the critical speeds of the winding mechanism is determined. The obtained results allow to control the range of working speeds of the winding mechanism depending on the parameters of the position of the spool on the spool holder, which can be used to adjust the speed of the winding process when packing the spool and make changes when designing the rewinding equipment. The method of determining the maximum possible speeds in the process of rewinding textile material on rewinding machines with direct drive of the bobbin, taking into account the position of the bobbin on the bobbin holder, which can be used in the design of new mechanisms or modernization of existing ones.

Practical significance. A dynamic model of the winding mechanism has been developed. The magnitude of the influence of packing displacement on critical speeds is shown. Methods and designs for improving the quality of packaging and stable operation of equipment are proposed.

Keywords: thread; winding of a thread; rewinding of threads; dynamics; angular velocity of the main shaft; bobbin; rewinding; critical winding speeds; bobbin holder.

УДК 621.924.7 | ЗАЛЮБОВСЬКИЙ М. Г.¹, ПАНАСЮК І. В.²

¹Відкритий міжнародний університет розвитку людини «Україна»

²Київський національний університет технологій та дизайну

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ГЕОМЕТРІЇ МЕТАЛЕВИХ ВІДЛИВОК ДЕТАЛЕЙ ЗАМКА «БЛИСКАВКА» НА ОСОБЛИВОСТІ ЇХ ОБРОБКИ В ГАЛТУВАЛЬНІЙ МАШИНІ

Мета. Експериментально дослідити інтенсивність та специфіку обробки різних типів металевих відливок замка «блискавка» в галтувальній машині зі складним просторовим рухом робочої ємкості, отримання відповідних розрахункових залежностей для визначення часу обробки.

Методика. Проведено експериментальне дослідження відділення від ливників трьох типів металевих відливок замка «блискавка» в галтувальній машині зі складним просторовим рухом робочої ємкості шляхом спостереження за зміною кількості оброблених деталей під час виконання технологічного процесу. Здійснено подальшу математичну обробку отриманих результатів.

Результати. Визначено типи відливок, на обробку яких в галтувальній машині зі складним просторовим рухом робочої ємкості витрачається максимальна та мінімальна кількість технологічного часу. Встановлено, що для обробки відливок із закріпленими деталями-фіксаторами необхідно в два рази більше технологічного часу, який витрачається на очищення відокремлених деталей від залишків облою та задирок. У порівнянні зі звичайними обертовими галтувальними машинами, використовуючи машини зі складним просторовим рухом робочої ємкості, можна підвищити продуктивність виконання даної технологічної операції практично в десять разів.

Наукова новизна. Встановлені залежності між різними типами металевих відливок замка «блискавка» та інтенсивністю відділення від них деталей при обробці в галтувальній машині зі складним просторовим рухом робочої ємкості із забезпеченням водоспадного режиму руху та 50% заповнення ємкості. Отримані відповідні розрахункові залежності для визначення часу обробки.

Практична значимість. Отримані настанови щодо реалізації раціональних технологічних параметрів при обробці різних типів металевих відливок замка «блискавка» в галтувальній машині зі складним просторовим рухом робочої ємкості. Дані настанови можуть бути використані на стадії проектування технологічних процесів та обладнання на відповідних машинобудівних та підприємствах легкої промисловості, що спеціалізуються на виготовленні фурнітурних виробів.

Ключові слова: відливка, просторовий рух, відділення від ливників, замок «блискавка», режим руху робочого масиву.

Вступ. При виготовленні металевих замків «блискавка» використовують до 10 типів різних деталей. Формоутворення усіх деталей відбувається шляхом лиття [1], після чого утворюються відливки, які потребують подальшої об'ємної обробки – відділення деталей від ливників [2]. На єдиному підприємстві України (ПрАТ «Молнія»), що спеціалізується по виготовленню замків «блискавка», реалізується лиття більш ніж 20 різних типів деталей замка «блискавка». Кожен тип відливок має різну геометричну форму, масу, площину поперечного перерізу у місці з'єднання деталі з ливником тощо. Переважна більшість цих факторів була врахована при аналітичному дослідженні часу [3], що необхідний для реалізації об'ємних технологічних процесів. Для обробки кожного типу відливок необхідно різний час, що витрачається на виконання даної технологічної операції. На підприємстві ПрАТ «Молнія», згідно затвердженого «Технологічного процесу відділення металевих деталей замка «блискавка» від ливників», мінімальний час обробки становить 20 хв для відливок з 8-ма закріпленими деталями-корпусами, максимальний – 120 хв для відливок з 16-ма закріпленими деталями-фіксаторами. Такий час виконання технологічної операції

характерний при обробці деталей в галтувальних розділово-полірувальних машинах К-36 німецької фірми «Ortilon» 1981 року виготовлення (об'єм барабану $0,12\text{м}^3$) з восьмигранними обертальними барабанами, які до сих пір використовуються на ПрАТ «Молнія». Даний тип обладнання є дуже застарілим. Перспективним, на сьогоднішній день, вважається використання галтувального обладнання з ємкостями, які виконують складний просторовий рух [4, 5].

Постановка завдання. На сьогоднішній день практично повністю відсутні науково-обґрунтовані настанови щодо виконання технологічних процесів відділення металевих деталей замка «блискавка» від ливників, відсутня науково-обґрунтована інформація стосовно часу, який необхідний для обробки різних типів відливок замка «блискавка». На ПрАТ «Молнія», згідно затвердженого «Технологічного процесу відділення металевих деталей замка «блискавка» від ливників», для різних типів відливок час обробки майже однаковий, а рішення про завершення технологічної операції відділення деталей від ливників зазвичай приймається на основі інтуїтивно чи на основі органолептичного методу визначення стадії обробки деталей, без об'єктивного наукового врахування факторів, які можуть впливати на зміну цього часу обробки. Відомо [6, 7], що на інтенсивність виконання об'ємних технологічних операцій впливає низка факторів, які є індивідуальними для кожного типу відливок, основними з яких є: форма та маса відливки, кількість та тип закріплених на ній деталей, місце розташування центру мас, площа поперечного перерізу відливки у місці з'єднання деталей з ливником тощо.

Таким чином, дослідження інтенсивності та специфіки обробки різних типів металевих відливок замка «блискавка» в галтувальній машині зі складним просторовим рухом робочої ємкості є актуальною задачею на сьогоднішній день.

Результати дослідження. В ході проведення експерименту досліджували вплив типу металевих відливок на інтенсивність відділення від них деталей замка «блискавка». Була проведена обробка трьох типів відливок: з 2-ма закріпленими деталями-корпусами (тип Т6), з 8-ма закріпленими деталями-корпусами (тип Т4), а також 16-ма закріпленими деталями-фіксаторами (тип Т6, П10), оскільки саме на обробку перших двох типів відливок на ПрАТ «Молнія» витрачається однакова найменша кількість технологічного часу, а на обробку третього типу відливок – найбільша кількість часу відповідно. Фото відливок використаних в експерименті до початку обробки представлено на рис. 1. Обробка відливок відбувалася при реалізації водоспадного режиму руху робочого масиву та при завантаженні ємкості на 50% від її вільного об'єму. В роботі [8] доведено, що при реалізації водоспадного режиму руху робочого масиву та при заповненні ємкості на 50% від її вільного об'єму відбувається найбільш продуктивний процес обробки металевих деталей замка «блискавка». Попередньо, в роботах [9, 10] встановлено взаємозв'язок між зміною режимів руху робочого масиву в середині ємкості та кутовою швидкістю ведучого валу машини.

Технічна характеристика експериментальної установки, характеристика ливникових систем, що використовувалися під час експерименту та інші необхідні дані для проведення експерименту представлені в таблиці 1.

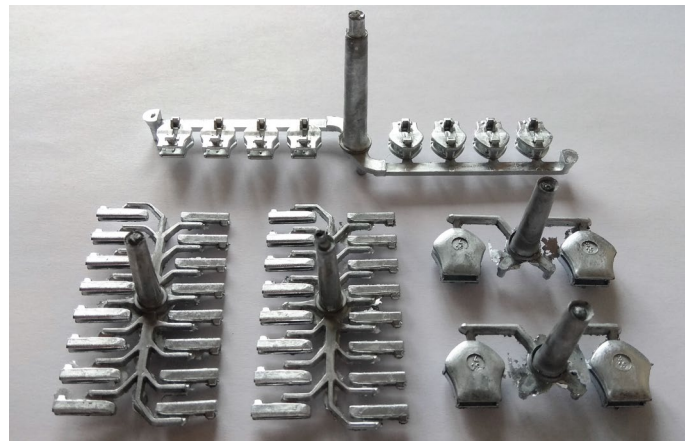


Рис. 1. Фото відливок використаних в експерименті до початку обробки

Таблиця 1.

Технічна характеристика експериментальної установки та відливок

Характеристика експериментальної установки		
1.	Форма робочої ємкості	циліндрична
2.	Об'єм робочої ємкості	$V=0,0088 \text{ м}^3$ (8,8 л)
3.	Кутова швидкість ведучого валу машини	$\omega_{\text{ведуч}}=6,8 \text{ с}^{-1}$ ($n_{\text{ведуч}}=65 \text{ хв}^{-1}$)
Характеристика відливок		
1.	Назва матеріалу з якого отримано відливки	«ЦАМ 4-1», ГОСТ 25140-93 ГОСТ 19424-74
3.	Об'єм заповнення робочої ємкості у % на початку процесу обробки	$V_{\text{Поч.роб.}}=50\%$
4.	Кількість відливок, що завантажені до ємкості при її заповненні на 50%:	
	Відливка з 2-ма закріпленими деталями-корпусами	$z_{2,\text{загал.}50\%}=320 \text{ шт}$
	Відливка з 8-ма закріпленими деталями-корпусами	$z_{8,\text{загал.}50\%}=65 \text{ шт}$
	Відливка з 16-ма закріпленими деталями-фіксаторами	$z_{16,\text{загал.}50\%}=105 \text{ шт}$
5.	Маса однієї відливки	
	Відливка з 2-ма закріпленими деталями-корпусами	$m_2=0,013 \text{ кг}$
	Відливка з 8-ма закріпленими деталями-корпусами	$m_8=0,036 \text{ кг}$
	Відливка з 16-ма закріпленими деталями-фіксаторами	$m_{16}=0,014 \text{ кг}$

Методика проведення експерименту аналогічна до методики, що використана в роботі [8]. Результати експерименту представлені в таблиці 2. На основі апроксимації отриманих результатів, яка була виконана за допомогою програми *MathCAD 14*, побудовані графіки (рис. 2) залежності коефіцієнту μ [8], що характеризує відношення кількості оброблених (відділених від ливників) деталей та необроблених деталей в робочому масиві, у відсотках від часу обробки для різних типів відливок. Коефіцієнт μ чисельно характеризує інтенсивність обробки деталей в машині.

За результатами експерименту найменше часу було витрачено на обробку відливок з 8-ма закріпленими деталями-корпусами. Така обробка відбулася майже миттєво, вже через 0,75 хв усі деталі були відокремлені від ливників. Фото металевих деталей-корпусів замка «блискавка», після відділення від ливників, очищення від облою та задирок представлено на рис. 3 а. Трохи повільніше відбулася обробка відливок з 2-ма закріпленими деталями-корпусами. На відокремлення таких деталей від ливників знадобилося 1,5 хв технологічного

часу. Фото деталей даного типу представлено на рис. 3 б. Оцінка якості обох типів деталей була проведена на ПрАТ «Молнія» та показала, що вони повністю відповідають технологічним вимогам підприємства.

Таблиця 2.

Результати експерименту

Час t , хв	Коефіцієнт μ		
	Відливка з 16-ма закріпленими деталлями-фіксаторами	Відливка з 2-ма закріпленими деталями- корпусами	Відливка з 8-ма закріпленими деталлями-корпусами
0	0	0	0
0,25	-----	0,05	0,71
0,5	-----	0,37	0,91
0,75	-----	0,58	1
1	0,01	0,87	-----
1,25	-----	0,96	-----
1,5	-----	1	-----
2	0,1	-----	-----
3	0,25	-----	-----
5	0,69	-----	-----
6	0,77	-----	-----
7	0,89	-----	-----
8	0,92	-----	-----
9	0,97	-----	-----
10	1	-----	-----

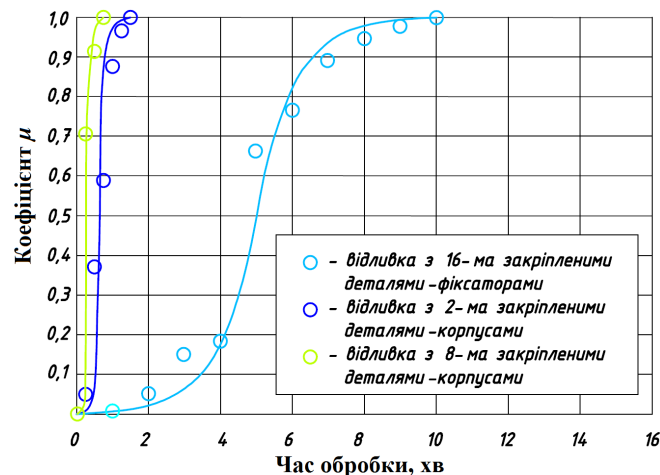


Рис. 2. Залежність коефіцієнту μ від часу обробки при обробці відливок різного типу

Дослідження підтверджують, що обробка металевих відливок із закріпленими деталями-корпусами в машині зі складним просторовим рухом робочої ємкості виконується в 13 – 26 разів швидше ніж на галтувальному обладнанні «Ortilon», яке використовується на підприємстві ПрАТ «Молнія». Окрім того, на обробку відливок типу Т6 та типу Т4 потрібно різний час.

Обробка відливок з 16-ма закріпленими деталями-фіксаторами відбувалася найдовше. Лише через 10 хв від початку обробки усі деталі були відділені від ливників. Однак, незважаючи на це, завершеним процес обробки вважати не можна було. Відокремлені деталі не були придатними для реалізації в подальших етапах технологічного процесу виготовлення замка «блискавка». На переважній більшості відокремлених деталей були наявними залишки облою та значні за розміром задирки (рис. 3 в). Таким чином, усі відокремлені деталі потребували продовження виконання галтувальної операції до їх повного очищення від залишків облою та задирок.

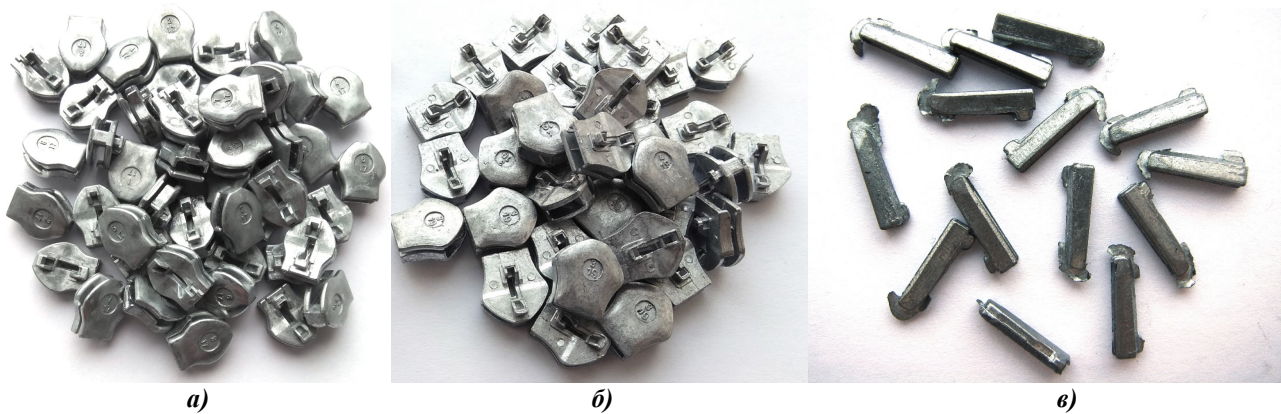


Рис. 3. Металеві деталі замка «блискавка», що відокремлені від ливників

Таким чином, було продовжено виконання технологічної операції. Відокремлені фіксатори разом з ливниками продовжували піддавати об'ємній галтувальній обробці. На повне очищення деталей від облою та задирок знадобилося ще 10 хвилин технологічного часу. Фото оброблених фіксаторів замка «блискавка» представлено на рис. 4. Таким чином, на виконання повної галтувальної технологічної операції по обробці відливок з 16-ма закріпленими деталями-фіксаторами у машині, робоча ємкість якої виконує складний просторовий рух необхідно приблизно 20 хв. Оцінка якості деталей, яка проведена на ПрАТ «Молнія» показала, що вони повністю відповідають технологічним вимогам підприємства.



Рис. 4. Фіксатори замка «блискавка», які пройшли повний цикл обробки в машині зі складним просторовим рухом ємкості

Незважаючи на це, час обробки відливок із закріпленими деталями-фіксаторами в машині зі складним просторовим рухом робочої ємкості виконується в 6 разів швидше ніж

на галтувальному обладнанні «Optilon», яке використовується на підприємстві ПрАТ «Молнія».

Таким чином, отримане в роботі [3] рівняння для розрахунку мінімально необхідного часу $t_{x.min}$, [хв], який витрачається на виконання технологічної операції відділення металевих деталей замка «блискавка» від ливників в машині зі складним просторовим рухом робочої ємкості необхідно доповнити відповідним коефіцієнтом τ , який враховує додаткові витрати часу на повне очищення деталей від облою та задирок:

$$t_{x.min} = \frac{1,6 \cdot S_{III.x.заг.} \cdot g \cdot z_{x.заг.} \cdot S_x \cdot \tau}{m_x \cdot l_y (200 - V_{Поч.роб.} - V_{Кін.роб.}) \cdot \left(\frac{\delta \cdot l_y \cdot \pi^2 \cdot n_{вед.в}^2}{900} + g - g \cos 2\alpha - \eta f g \cos \alpha \right) \cdot \pi \cdot R^2 \cdot n_{вед.в}} + \frac{2}{n_{вед.в}}, [xв], \quad (1)$$

де $S_{III.x.заг.}$ – загальна площа поперечного перерізу ливникової системи у місцях з'єднання деталей з ливником, [мм²]; g – прискорення вільного падіння, [мс⁻²]; $z_{x.заг.}$ – загальна кількість ливникових систем відповідного типу, що завантажені до робочої ємкості; S_x – площа поверхні, яку займає ливникова система відповідного типу на опорній поверхні, [м²]; m_x – маса однієї ливникової системи, [кг]; $V_{Поч.роб.}$ – об'єм заповнення робочої ємкості на початку процесу обробки, [%]; $V_{Кін.роб.}$ – об'єм заповнення робочої ємкості в кінці процесу обробки, [%]; δ – коефіцієнт відповідної конструкції машини для обробки деталей; l_y – довжина робочої ємкості, [м]; $n_{вед.в}$ – частота обертання ведучого валу машини, при якій буде виконуватися технологічна операція, [хв⁻¹]; η – коефіцієнт відповідності режиму руху робочого масиву; f – коефіцієнт тертя ковзання робочого масиву по внутрішній поверхні робочої ємкості ($f=0,38$); R – радіус торця робочої ємкості, [м]; τ – коефіцієнт, який враховує додаткові витрати часу на повне очищення деталей від облою та задирок.

Коефіцієнт τ буде може бути різним для відливок різного типу. Для відливок з 16-ма закріпленими деталями-фіксаторами коефіцієнт $\tau=2$.

Також, за допомогою програми *MathCAD 14* для представлених кривих на рис. 2 було отримано відповідні рівняння функцій, що описують залежність зміни коефіцієнту μ від часу виконання технологічної операції для трьох типів ливникових систем.

Для відливок з 2-ма закріпленими деталями-корпусами:

$$\mu = 3,42 \int_0^t e^{-6,83|t-0,75|} dt. \quad (2)$$

Для відливок з 8-ма закріпленими деталями-корпусами:

$$\mu = 6,83 \int_0^t e^{-13,65|t-0,38|} dt. \quad (3)$$

Для відливок з 16-ма закріпленими деталями-фіксаторами:

$$\mu = 0,51 \int_0^t e^{-1,02|t-5|} dt, \quad (4)$$

де t – час виконання технологічної операції, хв; e – експонента; μ – коефіцієнт, яких характеризував відношення кількості оброблених деталей до загальної кількості деталей, які були завантажені до робочої ємкості.

Проведені експериментальні дослідження показали, що для обробки різних типів металевих відливок необхідно різний час виконання технологічної операції. В залежності від типу відливок тривалість їх варіюватиметься в діапазоні 0,75 – 20 хв. На підприємстві ПрАТ

«Молнія» тривалість обробки відливок таких типів варіюється в межах 20 – 120 хв. Отже, виконання технологічної операції відділення металевих деталей від ливників з використанням обладнання, в якому робоча ємкість виконує складний просторовий рух є значно ефективнішим та продуктивнішим ніж при використанні галтувальних машин з обертальною гранованою ємкістю. Оцінка якості усіх експериментально оброблених деталей проведена на ПрАТ «Молнія» показала, що вони повністю відповідають технологічним вимогам підприємства.

Висновки:

1. Досліджено інтенсивність та специфіку обробки різних типів металевих відливок замка «блискавка» в галтувальній машині зі складним просторовим рухом робочої ємкості. Значний вплив на час відокремлення деталей від ливників має конфігурація відливок. Розгалужена складна ливникова система збільшує час обробки деталей.

2. Отримані настанови щодо реалізації раціональних технологічних параметрів при обробці різних типів металевих відливок замка «блискавка» в галтувальній машині зі складним просторовим рухом робочої ємкості. Зокрема встановлено, що для обробки відливок із закріпленими деталями-фіксаторами необхідно в два рази більше технологічного часу, який витрачається на очищення відокремлених деталей від залишків облою та задирок.

3. Отримані рівняння функції, що описує залежність зміни інтенсивності обробки, яка представлена у вигляді коефіцієнту μ , що характеризує відношення кількості оброблених деталей до загальної кількості деталей, які були завантажені до робочої ємкості від часу виконання технологічної операції для різних типів металевих відливок замка «блискавка».

Література

1. Бурмістенков О.П. Виробництво литих деталей та виробів з полімерних матеріалів у взуттєвій та шкіргалантерейній промисловості: монографія / Під заг. ред. В.П. Коновала. – Хмельницький: ХНУ, 2007. – 255 с;
2. Патент №137568, МПК В24В 31/10 (2006.01). Спосіб об'ємної обробки металевих деталей / Залюбовський М.Г., Панасюк І.В., Сухенко А.Г., заявник та патентовласник Київський національний університет технологій та дизайну – №u201904193; заяв. 19.04.2019, опуб. 25.10.2019, бюл. № 20;
3. Залюбовський М.Г. Аналітичне визначення часу виконання технологічної операції відділення металевих деталей замка «блискавка» від ливників / М.Г. Залюбовський, І.В. Панасюк, В.В. Малишев // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну – 2019. – №6 (140). – С. 9-18;
4. Патент №126647, МПК В01F 11/00. Машина для обробки деталей / Залюбовський М.Г., Панасюк І.В., заявник та патентовласник Київський національний університет технологій та дизайну - №u201801469; заяв. 15.02.2018, опуб. 25.06.2018, бюл. № 12;
5. C. Mayer-Laigle. Mixing dynamics for easy flowing powders in a lab scale Turbula mixer / C. Mayer-Laigle, C. Gatumel, H. Berthiaux // Chemical Engineering Research and Design Volume 95, March 2015, Pages 248-261;

References

1. Burmistenkov, O. (2007). Vyrobnystvo lytykh detalei ta vyrobiv z polimernykh materialiv u vzuttievii ta shkirhalantereyinii promyslovosti: monohrafiia [Manufacture of cast details and articles of polymeric materials in the shoe and leather industry: monograph]. Khmelnytskyi [in Ukraine];
2. Zalyubovskiy MG, Panasyuk IV, Sukhenko AN, inventors (2019). Sposib ob'iemnoi obrobky metalevykh detalei [The method of three-dimensional processing of metal parts]. Ukrainian patent, no. 137568;
3. Zalyubovskiy, M., Panasyuk, I., & Malyshev V. (2019). Analitichne vyznachennia chasu vykonannia tekhnolohichnoi operatsii viddilennia metalevykh detalei zamka «blyskavka» vid lynykyiv [Analytical determination of time of performance of a technological operation separation of metal details of the “zipper” lock from a gate], Visnyk KNUTD – Bulletin of the KNUTD, 6, 9-18 [in Ukraine];
4. Zalyubovskiy MG, Panasyuk IV, inventors (2018). Mashyna dlia obrobky detalei [Machine for processing parts]. Ukrainian patent, no. 126647.
5. Mayer-Laigle C., Gatumel, C., & Berthiaux, H. (2015). Mixing dynamics for easy flowing powders in a lab scale Turbula mixer. Chemical Engineering Research and Design. [in English];
6. Kopin, V., Makarov, V., & Rostovtcev, A. (1988). Obrabotka izdelii iz plastmass. M.: Khimiia, 1988, 176;

6. Копин В.А., Макаров В.Л., Ростовцев А.М. Обработка изделий из пластмасс. - М.: Химия, 1988. - 176 с;
7. Залюбовський М. Г. Машини зі складним рухом робочих емкостей для обробки полімерних деталей: монографія / М. Г. Залюбовський, І. В. Панасюк, В. В. Малишев – К.: Університет «Україна», 2018. – 228 с;
8. Залюбовський М.Г. Експериментальне дослідження впливу режимів руху робочого масиву та об'єму заповнення ємкості на інтенсивність відділення металевих деталей від ливників / М.Г. Залюбовський, І.В. Панасюк // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну Серія «Технічні науки» – 2020. – №1 (142). – С. 27-37;
9. Панасюк І.В. Визначення залежності режиму руху робочого середовища у ємкості зі складним рухом від кутової швидкості ведучого валу / І.В.Панасюк, М.Г.Залюбовський Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Серія «Технічні науки» – 2015. – №1. – С. 43-52;
10. Igor Panasyuk. Driving machine shaft angular velocity impact on motion conditional change of granular medium in working reservoir for components compounding and process / Igor Panasyuk, Mark Zalyubovskiy // Metallurgical and Mining Industry – 2015. – №3. – С. 260-264;
7. Zalyubovskiy, M., Panasyuk, I., & Malyshev V. (2007). Mashyny zi skladnym rukhom robochykh yemkosti dlia obrobky polimernykh detalei: monohrafiia [Machines with complex movement of working capacities for processing of polymer parts]. Kyiv [in Ukraine];
8. Zalyubovskiy, M., & Panasyuk, I. (2020). Eksperymentalne doslidzhennia vplyvu rezhymiv rukhu robochoho masyvu ta ob'iemu zapovnennia yemkosti na intensyvniat viddilennia metalevykh detalei vid lyvnykiv [Experimental study of the influence of working array movement modes and volume of filling on the separation intensity of metal details from sprues], Visnyk KNUTD – Bulletin of the KNUTD, 1, 27-37 [in Ukraine];
9. Panasyuk, I., Zalyubovskiy, M. (2015). Vyznachennia zalezhnosti rezhymu rukhu robochoho seredovyshcha u yemkosti zi skladnym rukhom vid kutovoi shvydkosti veduchoho valu [Determination of the dependence of the mode of motion of the working medium in a container with complex motion on the angular velocity of the drive shaft], Visnyk Kyiv National University of Technologies & Design – Bulletin of the KNUTD, 1, 43-52 [in Ukraine];
10. Panasyuk, I., Zalyubovskiy, M. (2015). Driving machine shaft angular velocity impact on motion conditional change of granular medium in working reservoir for components compounding and process. Metallurgical and Mining Industry, Vol. 3, 260 – 264 [in English];

ZALIUBOVSKIY MARK

markzalubovskiy@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6258-0088>
Open University of Human Development «Ukraine»

IGOR PANASYUK

panasjuk1961@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6671-4266>
ResearcherID: D-4255-2017

Kyiv National University of Technologies & Design

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГЕОМЕТРИИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОТЛИВОК ДЕТАЛЕЙ ЗАМКА «МОЛНИЯ» НА ОСОБЕННОСТИ ИХ ОБРАБОТКИ В ГАЛТОВОЧНОЙ МАШИНЕ ЗАЛЮБОВСКИЙ М. Г.¹, ПАНАСЮК И. В.²

¹ Открытый международный университет развития человека «Украина»,

² Киевский национальный университет технологий и дизайна

Цель. Экспериментально исследовать интенсивность и специфику обработки различных типов металлических отливок замка «молния» в галтовочной машине со сложным пространственным движением рабочей емкости, получения соответствующих расчетных зависимостей для определения времени обработки.

Методика. Проведено экспериментальное исследование отделения от литников трех типов металлических отливок замка «молния» в галтовочной машине со сложным пространственным движением рабочей емкости путем наблюдения за изменением количества обработанных деталей при выполнении технологического процесса. Осуществлено дальнейшую математическую обработку полученных результатов.

Результаты. Определены типы отливок, на обработку которых в галтовочной машине со сложным пространственным движением рабочей емкости расходуется максимальное и минимальное количество технологического времени. Установлено, что для обработки отливок с закрепленными деталями-фиксаторами необходимо в два раза больше технологического времени,

которое тратится на очистку отделенных деталей от остатков облоя и заусенцев. По сравнению с обычными галтовочными машинами с вращательными емкостями, используя машины со сложным пространственным движением рабочей емкости, можно повысить производительность выполнения данной технологической операции практически в десять раз.

Научная новизна. Установлены зависимости между различными типами металлических отливок замка «молния» и интенсивностью отделения от них деталей при обработке в галтовочной машине со сложным пространственным движением рабочей емкости с обеспечением водопадного режима движения и 50% заполнения емкости. Получены соответствующие расчетные зависимости.

Практическая значимость. Полученные рекомендации по реализации рациональных технологических параметров при обработке различных типов металлических отливок замка «молния» в галтовочной машине со сложным пространственным движением рабочей емкости. Данные рекомендации могут быть использованы на стадии проектирования технологических процессов на соответствующих предприятиях легкой промышленности, специализирующихся на изготовлении фурнитурных изделий.

Ключевые слова: отливка, пространственное движение, отделение от литников, замок «молния», режим движения рабочего массива.

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF THE GEOMETRY OF THE METAL CASTINGS OF THE DETAILS OF THE ZIPPER ON THE FEATURES OF THEIR PROCESSING

ZALYUBOVSKY M. G.¹, PANASYUK I. V.²

¹ Open University of Human Development «Ukraine»

² Kyiv National University of Technologies and Design

Goal. Experimentally investigate the intensity and specificity of the processing of different types of metal castings of the zipper in a tensile machine with complex spatial movement of the working capacity, to obtain the appropriate calculation dependencies to determine the processing time.

Method. An experimental study of the separation from the casters of three types of metal castings of the zipper (casting with two, with eight fixed details-cases and outflow with sixteen fixed details by clamps) in a tensile machine with a complex spatial movement of the working capacity by observing the change in the number of machined parts during the process. Further mathematical processing of the obtained results is carried out.

Results. The types of castings for which the maximum and minimum technological time are spent in the toughening machine with complex spatial movement of the working capacity are determined. It is established that for processing castings with fixed parts-locks it takes twice more technological time, which is spent to clean the separated parts from the remnants of the wrap and burrs. Compared with conventional rotating shredding machines, using machines with complex spatial movement of the working capacity, you can increase the productivity of this technological operation by almost ten times.

Scientific novelty. The dependences between different types of metallic castings of the zipper and the intensity of separation of parts from them during processing in a caulking machine with a complex spatial movement of the working capacity with providing a waterfall mode of movement and 50% filling the capacity. Appropriate design dependencies were obtained to determine the processing time.

Practical importance. Guidelines on the implementation of rational technological parameters in the processing of various types of metal castings of the zipper in a tensile machine with a complex spatial movement of the working capacity. These guidelines can be used at the design stage of technological processes and equipment in the relevant machine-building and light industry enterprises specializing in the manufacture of hardware.

Key words: casting, spatial motion, separation from gullies, lightning lock, operating mode of the working array.

УДК 677.047.625

СЕМЕШКО О. Я., АСАУЛЮК Т. С., САРІБЄКОВА Ю. Г.

Херсонський національний технічний університет

**ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ СВІТЛОСТАБІЛІЗАТОРІВ НА
СВІТЛОСТІЙКІСТЬ ЗАБАРВЛЕНОГО АКТИВНИМИ
БАРВНИКАМИ БАВОВНЯНОГО ТРИКОТАЖУ**

Мета. Мета роботи полягає в дослідженні впливу світлостабілізаторів на світлостійкість забарвлень бавовняного трикотажу, пофарбованого активними барвниками.

Методика. Досліджування здійснювалось з використанням бавовняного трикотажного полотна переплетення ластик 1+1 з поверхневою густиною 150 г/см², підготовленого за суміщеною технологією відварювання і відбілювання. Фарбування волокнистого матеріалу здійснювалось з використанням активних барвників марки Bezaktiv періодичним способом при концентрації 0,3% від маси матеріалу. У якості світлостабілізаторів обрані УФ-абсорбери: 2,5-дигідроксиацетофенон, 2,4-дигідроксибензофенон та фенілсаліцилат – та антиоксиданти: двохатомні феноли – гідрохінон, пірокатехін та резорцин. У роботі світлостабілізацію бавовняного трикотажу проводили після фарбування активними барвниками та промивання забарвленого трикотажного матеріалу. Технологічний режим застосування досліджуваних світлостабілізаторів полягав у просоченні трикотажного полотна, сушінні та термофіксації матеріалу. Для пофарбованих зразків трикотажу було перевірено індивідуальний вплив світлостабілізаторів на зміну кольору забарвленого трикотажного полотна та досліджено кінетику фотодеструкції забарвлень. Інсоляцію зразків здійснювали на приладі з ртутно-вольфрамовою лампою RF 1201 BS («REFOND»). Після обробки та інсоляції визначали загальні колірні відмінності dE зразків трикотажу у порівнянні з необробленим матеріалом за допомогою колориметра TCR-200 («PCE Instruments»).

Результати. Отримані результати свідчать, що зміна початкових забарвлень після обробки світлостабілізаторами залежить від кольору барвника та від типу світлостабілізатора. Найбільші зміни кольору спостерігаються при використанні фенілсаліцилату, пірокатехіну та резорцину. Встановлено, що УФ-абсорбери проявляють світлозахисний ефект в більшій мірі, ніж антиоксиданти. Отримані експериментальні результати також свідчать про необхідність одночасного використання УФ-абсорберів та антиоксидантів з метою ефективної світлостабілізації забарвленого бавовняного трикотажу.

Наукова новизна. Досліджено індивідуальний вплив світлостабілізаторів – УФ-абсорберів та антиоксидантів – на світлостійкість забарвлень бавовняного трикотажу активними барвниками марки Bezaktiv.

Практична значимість. Встановлено, що для ефективного світлозахисту забарвлень бавовняного трикотажу активними барвниками необхідне одночасне використання УФ-абсорберів та антиоксидантів.

Ключові слова: бавовняний трикотаж, активні барвники, загальні колірні відмінності, кінетика фотодеструкції, світлостабілізатори, УФ-абсорбери, антиоксиданти.

Вступ. Аналіз існуючих світових та вітчизняних показників виробництва текстильної продукції за видами показує, що на сьогодні в Україні в структурі виробництва легкої промисловості трикотажні полотна переважають над випуском тканин, що співпадає з тенденціями у світі, завдяки комплексу специфічних споживних властивостей, можливості замінити тканини у виробі та існуванні асортименту одягу, який виробляється тільки способом в'язання [1-3]. Стрімке зростання трикотажного виробництва у порівнянні з текстильним в Україні за останні роки можна пояснити рядом причин, а саме: вищою продуктивністю й асортиментними можливостями трикотажно-в'язального обладнання на відміну від ткацьким, меншими витратами сировини на виготовлення трикотажних виробів,

ніж на вироби з тканин та наявністю комплексу більш високих споживних властивостей трикотажних полотен і виробів, поєднанням високої гігієнічності та привабливого зовнішнього вигляду з необхідною формостійкістю та міцністю [4, 5]. Однак слід зазначити, що трикотажний одяг у порівнянні з одягом із тканих полотен поряд з рядом переваг має суттєві недоліки, головними з яких є низька зносостійкість, яка виражається у втраті форми виробів, низькій стійкості пофарбувань до дії світла і прання [4-6].

Оцінка клімату показує, що географічно Україна розташована так, що кількість сонячних днів складає 270-320 на рік. Крім цього, аналіз середньодобової кількості сонячної енергії за місяцями показав, що в Україні її рівень є високим у період з травня по вересень, а також залишається високим у квітні, вересні та жовтні [7-9]. Отже, на території України дія світла на волокнисті матеріали під час експлуатації одягу є максимально вираженою з травня по серпень і залишається високою у квітні, вересні і жовтні та деструктивно впливає як на волокнистий матеріал, так і на його забарвлення. Крім цього, через будову трикотажних полотен, а саме наявність їх петельної структури, трикотажні вироби із натуральних волокон під час експлуатації схильні швидко втрачати форму. Тому виробництво трикотажних матеріалів із бавовни для літнього періоду, які матимуть високі показники світлостійкості, є необхідним для задоволення потреб споживачів у якісному одязі.

Таким чином, розробка технології яка направлена на підвищення світлостійкості забарвлень бавовняного трикотажних полотен, призначених для пошиття літнього одягу є актуальним завданням.

Постановка завдання. Пошук ефективних методів світлостабілізації забарвлених волокнистих матеріалів ґрунтується на доскональному вивченні механізму їх фотодеструкції, який полягає у поглинанні світла молекулою барвника і переходом її у фотозбуджений стан та хімічному перетворенні збудженої молекули. Ефективно попередити фотодеструкцію забарвленого бавовняного трикотажу можливо шляхом перешкоджання проходження обох стадій фотоперетворення шляхом застосування спеціальних речовин – світлостабілізаторів. Вказані речовини прийнято поділяти за хімічною природою на органічні та неорганічні [10-12]. До органічних відносять УФ-абсорбери та антиоксиданти – гасники збуджених молекул і інгібітори фотохімічних реакцій. Неорганічні світлостабілізатори представляють собою речовини неорганічної природи, що здатні виступати у якості фільтрів по відношенню до УФ-випромінювання [11, 12].

УФ-абсорбери – це речовини, що здатні захищати від світла забарвлені волокнисті матеріали шляхом екранування, тобто фільтрацією фото- та хімічноактивної УФ-частини сонячного спектру. УФ-абсорбери являють собою органічні безбарвні сполуки з сильним поглинанням в УФ-діапазоні 290-360 нм [11]. Механізм дії вказаних речовин заснований на їх здатності перетворювати енергію електронного збудження в теплову енергію. Короткохвильове УФ-випромінювання високої енергії сприяє переходу УФ-абсорберів у вищий енергетичний стан, і енергія, яка поглинулася, може потім розсіюватися у вигляді випромінювання більш довгої хвилі [12]. Частіше всього УФ-абсорбери – це органічні сполуки зі спряженою системою зв'язків, а для деяких речовин характерним є наявність внутрішньомолекулярних водневих зв'язків. УФ-абсорберами, які зазвичай використовуються для волокнистих матеріалів, є 2-гідроксibenзофенони, 2-гідроксифенілбензотриазоли, 2-

гідроксифенілтри-азини і такі речовини, як естери бензойної кислоти і просторово затруднені аміни [11, 14-16].

Відповідно до загальних закономірностей фотохімічних перетворень барвників і забарвлених матеріалів, їх фотодеструкція відбувається з фотозбудженого стану, який має надлишок енергії. Щоб запобігти фотодеструкції, необхідно провести гасіння фотозбуджених молекул барвника, молекул середовища або домішок. З цією метою застосовують спеціальні світлостабілізатори – гасники збудженого стану та інгібітори фотохімічних реакцій.

На практиці загальною вимогою до всіх світлостабілізаторів – гасників збуджених станів, які відводять енергію збудження від інших молекул, є певне співвідношення енергій збудження донора (наприклад, молекули барвника) і акцептора-гасника: енергія триплетного стану акцептора-гасника повинна бути нижче, ніж донора. Щодо спектральних властивостей молекул, це виражається в тому, що спектр люмінесценції молекул донора перекривається зі спектром поглинання молекул акцептора.

Якщо для полімерів світлостабілізація через механізм перенесення енергії, тобто шляхом гасіння, заснована на відомій природі первинного фотофізичного акту, то для барвників така інформація недостатньо повна. Однак можна сказати, що і для них практичні результати підтверджують перспективність цього шляху. Так, введення в волокно або в молекули барвників атомів металів змінної валентності (Купрум, Хром, Нікель), які є гасниками збудженого стану, підвищує світлостійкість забарвлення [17]. Крім того, в якості світлостабілізаторів-гасників застосовують неорганічні і органічні солі металів змінної валентності, комплексні органічні сполуки металів змінної валентності [10, 18] і органічні речовини, які в основному легко окиснюються (феноли, аміни). Ефективними гасниками є тіосечовина, фталамід, фенілгідрозин, сечова кислота. У присутності зазначених добавок спостерігали гасіння люмінесценції антрахінонових, основних і барвників інших класів та підвищення світлостійкості, наприклад, катіонних барвників на целюлозних і поліакрилонітрильних волокнах [19].

Ще одним із способів захисту забарвлень від фотодеструкції є інгібування фотохімічних реакцій збуджених молекул барвників, яке також засноване на відомій природі активних частинок, що викликають фотодеструкцію матеріалу. В якості таких частинок можуть виступати відновники, окисники, радикали. Природа активних фотодеструктуючих частинок залежить від хімічної структури матеріалу, наявності барвників і опоряджувальних препаратів та від умов опромінення – спектрального складу опромінювача, температури, вологості, складу атмосфери [10, 18]. Через те, що в атмосфері повітря є окисники (Оксиген, озон), процеси фотоокиснення волокон і барвників відіграють надзвичайно важливу роль в їх світлостарінні.

Особливо чутливими волокна і барвники є до дії радикальних частинок, утворення яких при опроміненні полімерів є загальним правилом. При цьому в присутності барвників генерація радикалів у волокні, здебільшого, посилюється, тобто барвники виступають у ролі сенсibilізаторів фотогенерації радикалів. Іншою закономірністю і особливістю фотодеструкції забарвлених полімерних матеріалів, в тому числі і забарвлених волокон, є генерація синглетного Оксигену – особливої молекулярної форми, який є сильним окисником і теоретично здатний руйнувати волокна і барвники [20].

Для ефективного захисту волокон і барвників від дії радикалів необхідно знати природу цих радикальних частинок (пероксидні, алкільні тощо). У реальних умовах експлуатації матеріалів в атмосфері повітря, багатій на Оксиген, більш імовірним є вплив пероксидних радикалів, однак наявність алкільних радикалів $-CH_2-$ в твердих полімерних волокнах є теж цілком імовірним через їх низьку дифузійну проникність [10, 18].

Найбільш вивченими є механізми інгібувальної дії ароматичних фенолів, амінів і стабільних нітроксильних радикалів. Феноли є ефективними антиоксидантами, механізм дії яких обумовлений їх взаємодією з пероксидними радикалами і з синглетним киснем [10, 18, 20]. Феноли і ароматичні аміни здатні регенеруватись за рахунок реакції диспропорціонування утворених на їх основі радикалів за механізмом $2\dot{R}\rightarrow 2R\cdot$, тим самим підвищуючи ефективність дії цих стабілізаторів. Існує численна група інгібіторів, яка включає сірковмісні ефіри фосфористої кислоти, принцип дії яких заснований на розкладанні гідропероксидів з утворенням нерадикальних продуктів [21].

Нітроксильні радикали є стабільними радикалами вибіркової дії. Їх стабільність обумовлена наявністю замісників поруч з нітроксильною групою [10, 18, 20, 22, 23]. Стабільні нітроксильні радикали, на відміну від фенолів і амінів, реагують не з пероксидними, а з алкільними радикалами за механізмом приєднання: $=\dot{N}O + \dot{R} \rightarrow =NOR$. Естер, що утворюється, здатний разом з пероксидними радикалами регенерувати нітроксильний радикал, що підвищує їх світлостабілізуючу ефективність: $=NOR + RO_2\dot{O} \rightarrow =\dot{N}O + \text{продукти}$.

Просторово-затруднені піперидини (ПЗП) є ефективними світлостабілізаторами [10, 18, 22, 23]. Механізм їх дії заснований на принципі «депо». ПЗП самі не можуть захищати матеріали від дії світла ні за одним із відомих механізмів, оскільки не поглинають світло при довжині хвилі $\lambda > 250$ нм, їх електронні рівні розташовані високо, і гасіння збудженого світлом стану при $\lambda > 290$ нм виключено. Механізм інгібування ПЗП обумовлений дією не самого препарату, а продуктів його перетворення – нітроксильних радикалів. При дії на ПЗП синглетного кисню 1O_2 або пероксидних радикалів $RO_2\cdot$, які завжди утворюються в забарвлених матеріалах в реальних умовах, утворюється нітроксильний радикал.

Не дивлячись на існування великої кількості речовин для світлостабілізації забарвлених волокнистих матеріалів із натуральних волокон, пошук нових і ефективних речовин та способів надання підвищеної світлостійкості є актуальним. При розробці шляхів світлозахисту забарвлених волокнистих матеріалів за допомогою світлостабілізаторів необхідно також вирішити проблему їх фіксації в структурі волокна, яка забезпечить їх стійкість до дії прання, хімічного чищення та інших видів впливу при експлуатації. Стійкість світлостабілізаторів повинна бути на рівні стійкості забарвлення до дії цих факторів. Крім цього, слід зазначити, що на сьогодні розробці технологій світлозахисту трикотажних матеріалів приділено мало уваги, і дослідження у цьому напрямі є актуальними.

Таким чином, метою роботи було дослідження впливу світлостабілізаторів на процес світлостійкості забарвлених бавовняного трикотажу.

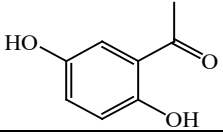
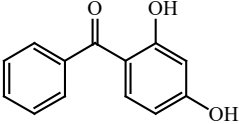
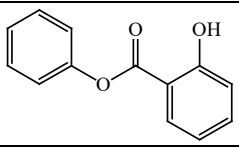
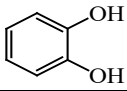
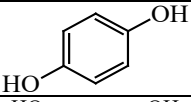
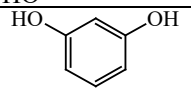
Результати дослідження. Світлозахист забарвленого бавовняного трикотажного полотна був досліджений для трикотажу переплетення ластик 1+1 з поверхневою густиною 150 г/см^2 , підготовленого за суміщеною технологією відварювання і відбілювання [24] та пофарбованого активними барвниками марки Bezaktiv періодичним способом при

концентрації 0,3% від маси матеріалу. Були вибрані барвники саме цього класу, оскільки вони найчастіше застосовують для фарбування целюлозних волокнистих матеріалів завдяки формуванню забарвлень яскравих та чистих кольорів з багатою гаммою відтінків, які характеризуються високою стійкістю до прання і тертя [25, 26].

У якості світлостабілізаторів обрані УФ-абсорбери: 2,5-дигідроксиацетофенон (ДГАФ), 2,4-дигідроксибензофенон (ДГБФ) та фенілсаліцилат (ФС) – та антиоксиданти: двохатомні феноли – гідрохінон, пірокатехін та резорцин. Будова та основні характеристики досліджуваних світлостабілізаторів представлені у табл. 1.

Таблиця 1

Основні властивості досліджуваних УФ-абсорберів та антиоксидантів

Назва	Номер CAS	Хімічна формула	Зовнішній вигляд	Розчинність у воді / спирті, г/л
УФ-абсорбери				
2,5-дигідроксиацетофенон (ДГАФ)	490-78-8		жовтуватий порошок	нерозчинний / добре розчинний
2,4-дигідроксибензофенон (ДГБФ)	131-56-6		жовтуватий порошок	4,1 / добре розчинний
фенілсаліцилат (ФС)	118-55-8		білі кристали	нерозчинний / добре розчинний
Антиоксиданти				
пірокатехін	120-80-9		безбарвні кристали зі слабким запахом	461 / добре розчинний
гідрохінон	123-31-9		безбарвні кристали	6,72 / 46,4
резорцин	108-463		білі кристали зі слабким запахом	добре розчинний / добре розчинний

Приготування розчинів УФ-абсорберів полягало у використанні співрозчинника – етилового спирту – у співвідношенні з водою 1:9.

Відомо, що найефективніше застосування світлостабілізаторів для забарвлених волокнистих матеріалів відбувається після фарбування і передбачає послідовне просочення, сушіння і термофіксацію [14, 27, 28]. У роботі світлостабілізацію бавовняного трикотажу запропоновано проводити після фарбування активними барвниками та промивання забарвленого трикотажного матеріалу. Технологічний режим застосування досліджуваних світлостабілізаторів наведений на рис. 1.

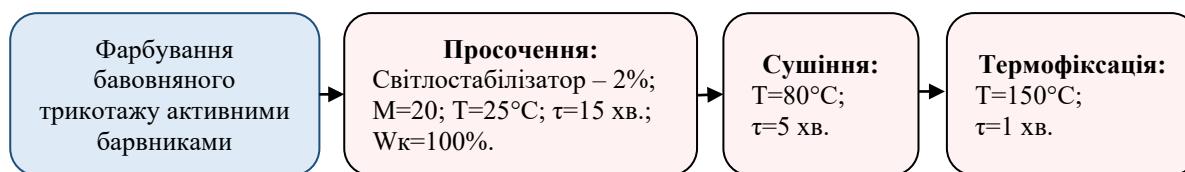


Рис. 1. Технологічний режим застосування світлостабілізаторів у технології фарбування бавовняного трикотажу активними барвниками

Таким чином, застосування світлостабілізаторів не вимагає додаткового обладнання, обробка трикотажного полотна вказаними речовинами передбачається на фарбувальному обладнанні.

Речовини, що забезпечують світлостабілізацію забарвлених трикотажних полотен, повинні, в першу чергу, не впливати на їх колір. Тому спочатку було перевірено індивідуальний вплив досліджуваних світлостабілізаторів на зміну кольору забарвленого трикотажного полотна після обробки шляхом визначення загальних колірних відмінностей dE зразків трикотажу у порівнянні з необробленим матеріалом за допомогою колориметра TCR-200 («PCE Instruments», Німеччина). Результати дослідження наведені на рис. 2.

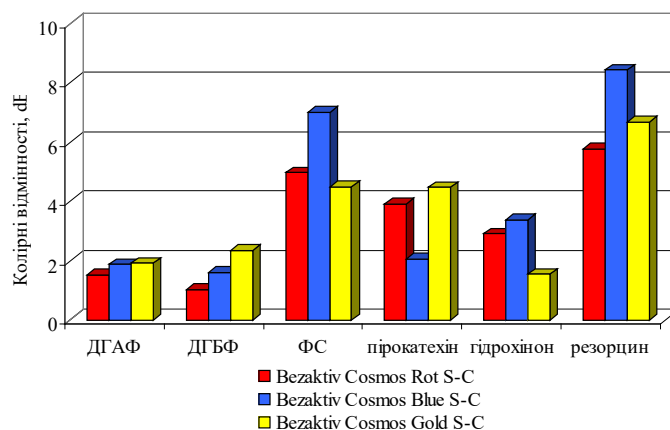


Рис. 2. Вплив світлостабілізаторів на зміну кольору бавовняного трикотажу, забарвленого активними барвниками марки Bezaktiv

Наведені на рис. 2 результати свідчать, що зміна початкових забарвлень після обробки світлостабілізаторами залежить від кольору барвника та від типу світлостабілізатора. Найбільші зміни кольору спостерігаються при використанні ФС, пірокатехіну та резорцину. ДГАФ, ДГБФ і гідрохінон викликають менші зміни досліджуваного показника для забарвлених зразків трикотажного полотна.

Далі для оброблених індивідуальними світлостабілізаторами зразків трикотажу було досліджено кінетику фотодеструкції забарвлень шляхом визначення показників загальних колірних відмінностей dE зразків трикотажу після інсоляції на приладі із ртутно-вольфрамовою лампою RF 1201 BS («REFOND», Китай). Отримані результати представлені на рис. 3.

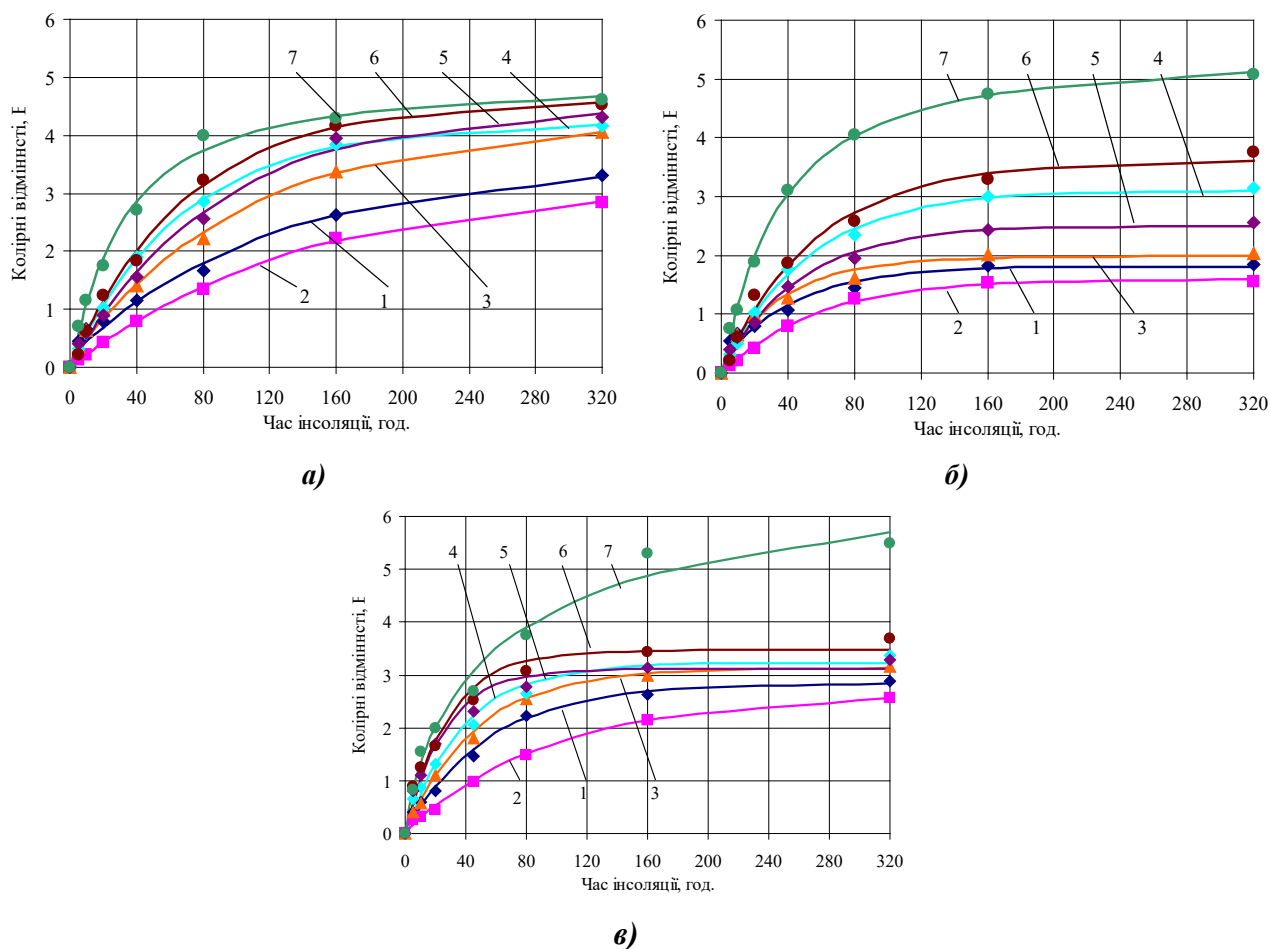


Рис. 3. Вплив обробки світлостабілізаторами на кінетику фотодеструкції забарвлень активними барвниками бавовняного трикотажу: а) Bezaktiv Cosmos Rot S-C; б) Bezaktiv Cosmos Blue S-C; в) Bezaktiv Cosmos Gold S-C: 1) ДГАФ; 2) ДГБФ; 3) ФС; 4) пірокатехін; 5) гідрохінон; 6) резорцин; 7) без обробки

Аналіз отриманих кінетичних кривих фотодеструкції забарвлень (рис. 3) показує, що досліджувані світлостабілізатори забезпечують зниження швидкості руйнування активних барвників під дією світла у порівнянні з необробленими зразками, про що свідчить різний характер кривих фотодеструкції. Необхідно зазначити, що УФ-абсорбери проявляють світлозахисний ефект в більшій мірі, ніж антиоксиданти. Це можна пояснити тим, що антиоксиданти не перешкоджають дії УФ-випромінювання на барвник і трикотажне полотно на I стадії фотодеструкції, а запобігають реакціям збуджених молекул барвника з вільними радикалами субстрату та іншими активними частинками на I стадії цього процесу.

На рис. 4 наведені результати визначення кольорних відмінностей пофарбованих активними барвниками зразків бавовняного трикотажу після обробки досліджуваними світлостабілізаторами та інсоляції протягом 320 год.

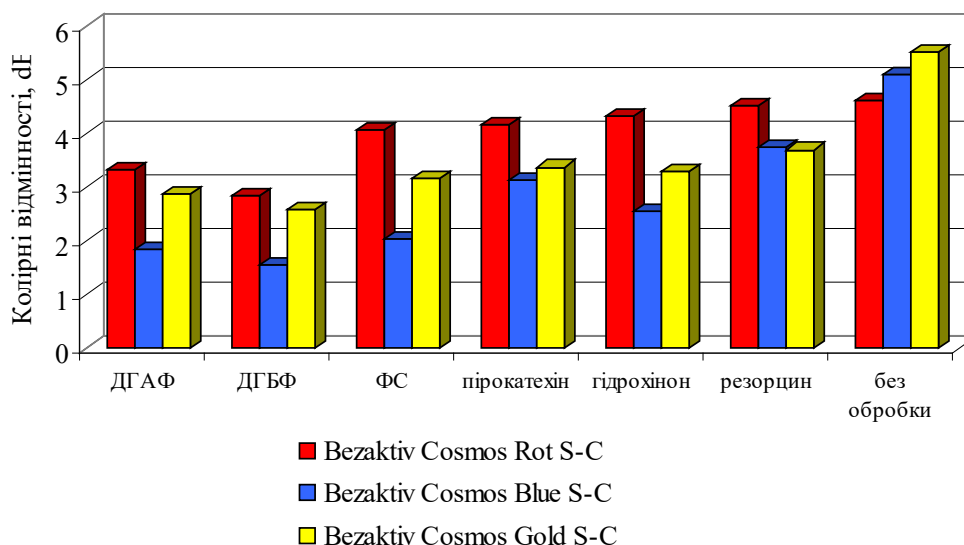


Рис. 4. Вплив обробки світлостабілізаторами на фотодеструкцію забарвлень активними барвниками марки Bezaktiv після інсоляції протягом 320 год

Представлені на діаграмі рис. 5.11 дані дозволяють зробити висновок, що найменше піддаються фотодеструкції забарвлення бавовняного трикотажу після його обробки ДГАФ та ДГБФ, які є УФ-абсорберами. Серед антиоксидантів слід відмітити гідрохінон. Невисокий ступінь світлозахисту при цьому можна пояснити, виходячи з двохстадійного механізму фотодеструкції забарвлених трикотажних полотен. Індивідуальні світлостабілізатори перешкоджають протіканню тільки однієї зі стадій, що є неефективним.

Висновки. Таким чином, експериментально доведено необхідність одночасного використання УФ-абсорберів та антиоксидантів з метою результативної світлостабілізації забарвленого бавовняного трикотажу. Найефективніший тип світлостабілізаторів та оптимальне їх співвідношення у композиції доцільно визначити шляхом математичного планування експерименту.

Література

1. Uddin F. Introductory Chapter: Textile Manufacturing Processes. Режим доступу <https://www.intechopen.com/books/textile-manufacturing-processes/introductory-chapter-textile-manufacturing-processes>.
2. Knitted Fabric Market Size, Share & Trends Report. Knitted Fabric Market Size, Share & Trends Analysis Report By Product (Weft-knit, Warp-knit), By Application (Technical, Household), By Region, And Segment Forecasts, 2019-2025. Режим доступу <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/knitted-fabric-market>.
3. Аналітичні матеріали галузі легкої промисловості. Режим доступу <https://ukrlegprom.org/ua/analytics>.

References

1. Uddin, F. Introductory Chapter: Textile Manufacturing Processes. Retrieved from <https://www.intechopen.com/books/textile-manufacturing-processes/introductory-chapter-textile-manufacturing-processes> [in English].
2. Knitted Fabric Market Size, Share & Trends Report. Knitted Fabric Market Size, Share & Trends Analysis Report By Product (Weft-knit, Warp-knit), By Application (Technical, Household), By Region, And Segment Forecasts, 2019-2025. Retrieved from <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/knitted-fabric-market> [in English].
3. Analytical materials of light industry [Analytical materials of light industry]. Retrieved from <https://ukrlegprom.org/ua/analytics> [in Ukrainian].

4. Пугачевський Г.Ф. Товарознавство непродовольчих товарів. Частина 1. Текстильне товарознавство / Г.Ф. Пугачевський, Б.Д. Семак. – К.: НМЦ «Укоопосвіта», 1999. – 596.
5. Галик І.С. Товарознавство непродовольчих товарів : Підруч. для студ. вищ. закл. освіти. Ч. 2. Товарознавство трикотажних товарів / І.С. Галик, Б.Д. Семак. – К.: НМЦ «Укоопосвіта», 2001. – 292 с.
6. Зіміна Н.К. Товарознавство трикотажних товарів / Н.К. Зіміна, Н.О. Дзюбак, Л.В. Черняк. – К.: КНТЕУ, 2002. – 159 с.
7. Солнечная энергия. Режим доступу: <http://www.rea.org.ua/dieret/Solar/solar.html>.
8. Кліматичні та рекреаційні ресурси України. Режим доступу: https://pidruchniki.com/15100827/ekologiya/klimatichni_rekreatsiyini_resursi_ukrayini.
9. Карта солнечной инсоляции Украины. Режим доступу: <http://www.artenergy.com.ua/novosti/karta-solnechnoy-insoliatsii-ukrainy>.
10. Рэнби Б. Фотодеструкция, фотоокисление, фотостабилизация полимеров / Б. Рэнби, Я. Рабек. – М.: Мир, 1978. – 676 с.
11. Saravanan D. UV Protection textile material / D. Saravanan // Autex Research Journal. – 2007. – Vol. 7. – P. 53-62.
12. Holme I. UV absorbers for protection and performance / I. Holme // International Dyer. – 2003. – Vol. 13. – P. 9-10.
13. Hustvedt D. The ultraviolet protection factor of naturally pigmented cotton / D. Hustvedt, P. Crews // The Journal of Cotton Science. – 2005. – Vol. 9. – P. 47-55.
14. Sekar N. UV absorbers in textiles / N. Sekar // Colourage. – 2000. – Vol. 11. – P. 27-28.
15. Rupp J. Textiles for protection against harmful ultraviolet radiation / J. Rupp, A. Bohringer, A. Yonenaga, J. Hilden // International Textile Bulletin. – 2001. – Vol. 6. – P. 8-20.
16. Achwal W.B. Use of UV absorbers for minimising photodegradation of disperse dyes as well as polyester fibres / W.B. Achwal // Colourage. – 1994. – Vol. 6. – P. 21-22.
17. Giles C.H. The Lightfastness of Dyes: a Review / C.H. Giles, R.B. McKay // Textile Research Journal. – 1963. – Vol. 33 (7). – P. 528-577.
18. Шляпинтох В.Я. Фотохимические превращения и стабилизация полимеров / В.Я. Шляпинтох. – М.: Химия, 1979. – 344 с.
19. Кричевский Г. Светостойкость окрашенных текстильных изделий / Г. Пухачевс'кyy, Н.Ф., Семак, В.Д. (1999). *Tovaroznnavstvo neprodovol'chykh tovariv. Chastyna 1. Tekstyl'ne tovaroznavstvo* [Commodity science of non-food products. Part 1. Textile commodity science]. Kyiv, Ukooposvita [in Ukrainian].
5. Halyk, I.S., Semak, B.D. (2001). *Tovaroznnavstvo neprodovol'chykh tovariv: Pidruch. dlya stud. vyshch. zakl. osvity. Chastyna 2. Tovaroznnavstvo trykotazhnykh tovariv* [Commodity science of non-food products: Textbook. for students. higher lock education. Part 2. Commodity of knitted goods]. Kyiv, Ukooposvita [in Ukrainian].
6. Zimina, N.K., Dzyubak, N.O., Chernyak, L.V. (2002). *Tovaroznnavstvo trykotazhnykh tovariv* [Commodity science of knitted goods]. Kyiv, KNTEU [in Ukrainian].
7. *Solnechnaya energiya* [Solar power]. Retrieved from <http://www.rea.org.ua/dieret/Solar/solar.html> [in Russian].
8. *Klimatychni ta rekreatsinyi resursy Ukrayiny* [Climatic and recreational resources of Ukraine]. Retrieved from https://pidruchniki.com/15100827/ekologiya/klimatichni_rekreatsiyini_resursi_ukrayini [in Ukrainian].
9. *Karta solnechnoy insolyatsii Ukrainy* [Map of solar insolation of Ukraine]. Retrieved from <http://www.artenergy.com.ua/novosti/karta-solnechnoy-insoliatsii-ukrainy> [in Russian].
10. Renbi, B., Rabek, Ya. (1978). *Fotodestruktsiya, fotookisleniye, fotostabilizatsiya polimerov* [Photodestruction, photooxidation, photo stabilization of polymers]. Moscow, Mir [in Russian].
11. Saravanan, D. (2007). UV Protection textile material. *Autex Research Journal*, 7, 53-62.
12. Holme, I. (2003). UV absorbers for protection and performance. *International Dyer*, 13, 9-10.
13. Hustvedt, D., Crews, P. (2005). The ultraviolet protection factor of naturally pigmented cotton. *The Journal of Cotton Science*, 9, 47-55.
14. Sekar, N. (2000). UV absorbers in textiles. *Colourage*, 11, 27-28.
15. Rupp, J., Bohringer, A., Yonenaga, A., Hilden, J. (2001). Textiles for protection against harmful ultraviolet radiation. *International Textile Bulletin*, 6, 8-20.
16. Achwal, W.B. (1994). Use of UV absorbers for minimising photodegradation of disperse dyes as well as polyester fibres. *Colourage*, 6, 21-22.
17. Giles, C.H., McKay, R.B. (1963). The Lightfastness of Dyes: a Review. *Textile Research Journal*, 33 (7), 528-577.
18. Shlyapintokh, V.Ya. (1979). *Fotokhimicheskiye prevrashcheniya i stabilizatsiya polimerov*

- Кричевский, Я. Гомбкете. – М.: Легкая индустрия, 1975. – 167 с.
20. Эмануэль Н.М. Физическая химия и старение полимеров / Н.М. Эмануэль, А.Л. Бучаченко. – М.: Наука, 1982. – 381 с.
21. Katoh K. Effects of Organic Sulfur and Phosphor Compounds Used as Antioxidants on the Thermal Behavior of Nitrocellulose and its Decomposition Mechanism / K. Katoh, S. Yoshino, S. Kubota, Y. Wada, Y. Ogata, M. Nakahama, S. Kawaguchi, M. Arai // *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*. – 2007. – Vol. 32(5). – P. 406-410. doi:10.1002/prop.200700044.
22. Нонхибел Д. Радикалы / Д. Нонхибел, Дж. Теддер, Дж. Уолтон; под ред. В.А. Смита. – М.: Мир, 1982. – 266 с.
23. Эмануэль Н.М. Некоторые проблемы химической физики старения и стабилизация полимеров / Н.М. Эмануэль // *Успехи химии*. – 1979. – Т. 48, №12. – С. 2113-2163. doi: 10.1070/RC1979v048n12ABEH002434.
24. Semeshko O., Asaulyuk T., Saribyeikova Yu. Optimization of preparation technology of a cotton knitted fabric by the method of mathematical planning / *EastWest Chemistry Conference: Proceedigns of 2th International Conference (October 10-12, 2018)*. – Lviv: Lviv Polytechnic National University, 2018. – P. 186.
25. Hassaan M.A. Health and Environmental Impacts of Dyes: Mini Review / M.A. Hassaan, A. El Nemr // *American Journal of Environmental Science and Engineering*. – 2017. – Vol. 1(3). – P. 64-67. doi: 10.11648/j.ajese.20170103.11.
26. *Textile Dyes Market Report – Global Forecast till 2025*. Режим доступа: <https://www.marketresearchfuture.com/reports/textile-dyes-market-3111>.
27. Gantz G.M. Stable ultraviolet light absorbers / G.M. Gantz, W.G. Sumner // *Textile Research Journal*. – 1957. – Vol. 27. – P. 244-251.
28. Thiagarajana P. Effect of combined application ultraviolet absorber and antioxidant on light fastness of reactive dyed cotton fabric / P. Thiagarajana, G. Nalankilib // *Science International (Lahore)*. – 2014. – Vol. 26(1). – P. 253-256.
- [Photochemical transformations and stabilization of polymers]. Moscow, Khimiya [in Russian].
19. Krichevskiy, G., Gombkete, Ya. (1975). *Svetostoykost' okrashennykh tekstil'nykh izdeliy* [Lightfastness of dyed textile products]. Moscow, Legkaya industriya [in Russian].
20. Emanuel', N.M., Buchachenko, A.L. (1982). *Fizicheskaya khimiya i starenije polimerov* [Physical chemistry and aging polymers]. Moscow, Nauka [in Russian].
21. Katoh, K., Yoshino, S., Kubota, S., Wada, Y., Ogata, Y., Nakahama, M., Kawaguchi, S., Arai, M. (2007). Effects of Organic Sulfur and Phosphor Compounds Used as Antioxidants on the Thermal Behavior of Nitrocellulose and its Decomposition Mechanism. *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*, 32(5), 406-410. doi:10.1002/prop.200700044.
22. Nonkhibel, D., Tedder, Dzh. Uolton, Dzh. (1982). *Radikaly* [Radicals]. Moscow, Mir [in Russian].
23. Emanuel', N.M. (1979). *Nekotoryye problemy khimicheskoy fiziki stareniya i stabilizatsiya polimerov* [Some problems of the chemical physics of aging and stabilization of polymers]. *Uspekhi khimii*, 48, No12, 2113-2163. doi: 10.1070/RC1979v048n12ABEH002434.
24. Semeshko, O., Asaulyuk, T., Saribyeikova, Yu. (2018). Optimization of preparation technology of a cotton knitted fabric by the method of mathematical planning / *EastWest Chemistry Conference: Proceedigns of 2th International Conference (October 10-12, 2018)*. – Lviv: Lviv Polytechnic National University, 2018. – P. 186.
25. Hassaan, M.A., El Nemr, A. (2017). Health and Environmental Impacts of Dyes: Mini Review. *American Journal of Environmental Science and Engineering*, 1(3), 64-67. doi: 10.11648/j.ajese.20170103.11.
26. *Textile Dyes Market Report – Global Forecast till 2025*. Retrieved from <https://www.marketresearchfuture.com/reports/textile-dyes-market-3111>.
27. Gantz, G.M., Sumner, W.G. (1957). Stable ultraviolet light absorbersю. *Textile Research Journal*. 27. 244-251.
28. Thiagarajana P., Nalankilib, G. (2014). Effect of combined application ultraviolet absorber and antioxidant on light fastness of reactive dyed cotton fabric. *Science International (Lahore)*, 26(1), 253-256.

SARIBYEKOVA YULIA

Research sector

Scopus Author ID: 57189389867

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6430-6509>

Kherson National Technical University

SEMESHKO OLGA

Research sector
solgaya@gmail.com
Scopus Author ID: 56527168200
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8309-5273>
Kherson National Technical University

ASAULYUK TATYANA

Research sector
Scopus Author ID: 56572975800
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5961-6895>
Kherson National Technical University

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СВЕТОСТАБИЛИЗАТОРОВ НА СВЕТОСТОЙКОСТЬ ОКРАШЕННОГО АКТИВНЫМИ КРАСИТЕЛЯМИ ХЛОПЧАТОБУМАЖНОГО ТРИКОТАЖА

СЕМЕШКО О. Я., АСАУЛЮК Т. С., САРИБЕКОВА Ю. Г.

Херсонский национальный технический университет

Цель. Цель работы заключается в исследовании влияния светостабилизаторов на светостойкость окрасок хлопчатобумажного трикотажа, окрашенного активными красителями.

Методика. Исследование осуществлялось с использованием хлопчатобумажного трикотажного полотна переплетения ластик 1+1 с поверхностной плотностью 150 г/см², подготовленного по совмещенной технологии отваривания и отбеливания. Крашение волокнистого материала осуществлялось с использованием активных красителей марки Bezaktiv периодическим способом при их концентрации 0,3% от массы материала. В качестве светостабилизаторов выбраны УФ-абсорберы: 2,5-дигидроксиацетофенон, 2,4-дигидроксибензофенон и фенилсалицилат – и антиоксиданты: двухатомные фенолы – гидрохинон, пирокатехин и резорцин. В работе светостабилизацию хлопчатобумажного трикотажа проводили после крашения активными красителями и промывки окрашенного трикотажного материала. Технологический режим применения исследуемых светостабилизаторов заключался в пропитке трикотажного полотна, сушке и термофиксации материала. Для окрашенных образцов трикотажа были исследованы индивидуальное влияние светостабилизаторов на изменение цвета окрашенных образцов трикотажного полотна и кинетика фотодеструкции окрасок. Инсоляцию образцов осуществляли на приборе с ртутно-вольфрамовой лампой RF 1201 BS («REFOND»). После обработки и инсоляции определяли общие цветовые различия dE образцов трикотажа по сравнению с необработанным материалом с помощью колориметра TCR-200 («PCE Instruments»).

Результаты. Полученные результаты свидетельствуют о том, что изменение начальных окрасок после обработки светостабилизаторами зависит от цвета красителя и от типа светостабилизатора. Наибольшие изменения цвета наблюдаются при использовании фенилсалицилата, пирокатехина и резорцина. Установлено, что УФ-абсорберы проявляют светозащитный эффект в большей степени, чем антиоксиданты. Полученные экспериментальные результаты также свидетельствуют о необходимости одновременного использования УФ-абсорберов и антиоксидантов с целью эффективной светостабилизации окрашенного хлопчатобумажного трикотажа.

Научная новизна. Исследовано индивидуальное влияние светостабилизаторов – УФ-абсорберов и антиоксидантов – на светостойкость окрасок хлопчатобумажного трикотажа активными красителями марки Bezaktiv.

Практическая значимость. Установлено, что для эффективной светозащиты окрасок хлопчатобумажного трикотажа активными красителями необходимо одновременное использование УФ-абсорберов и антиоксидантов.

Ключевые слова: хлопчатобумажный трикотаж, активные красители, общие цветовые различия, кинетика фотодеструкции, светостабилизаторы, УФ-абсорберы, антиоксиданты.

INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF LIGHT STABILIZERS ON THE
LIGHTFASTNESS OF COTTON KNIT FABRIC DYED WITH REACTIVE DYES

SEMESHKO O. Ya., ASAULYUK T. S., SARIBYEKOVA Yu. G.

Kherson National Technical University

Purpose. The goal of the work is to study the effect of light stabilizers on the lightfastness of colours of cotton knit fabric dyed with reactive dyes.

Methodology. The study was carried out using a cotton 1+1 rib knit fabric with a surface weight of 150 g/cm², prepared by the combined technology of boiling and bleaching. Dyeing of the fibrous material was carried out using Bezaktiv reactive dyes in a batch method at a concentration of 0.3% by weight of the material. UV absorbers 2,5-dihydroxyacetophenone, 2,4-dihydroxybenzophenone, phenyl salicylate and antioxidants – diatomic phenols – hydroquinone, pyrocatechol and resorcinol were chosen as light stabilizers. In the work, the light stabilization of cotton knit fabric was carried out after dyeing with reactive dyes and washing the dyed knit material. The technological mode of application of the studied light stabilizers was to impregnate a knit fabric, drying and curing the material. The individual effect of light stabilizers on the colour change of dyed knit fabric samples and the photodestruction kinetics of dyes were investigated. The insolation of the samples was carried out on a device with a mercury-tungsten lamp RF 1201 BS ("REFOND"). After treatment and insolation, the total colour difference dE of knit samples were determined compared to untreated material using a TCR-200 colorimeter ("PCE Instruments").

Findings. The results obtained indicate that the change in the initial colours after treatment with light stabilizers depends on the colour of the dye and on the type of light stabilizer. The greatest colour changes are observed with phenyl salicylate, pyrocatechol and resorcinol. It has been established that UV absorbers exhibit a light-shielding effect to a greater extent than antioxidants. The obtained experimental results also indicate the need for the simultaneous use of UV absorbers and antioxidants in order to efficiently stabilize dyed cotton knit fabric.

Originality. The individual effect of light stabilizers – UV absorbers and antioxidants – on the lightfastness of colours of cotton knit fabric dyed with Bezaktiv reactive dyes is investigated.

Practical value. It was established that for effective light protection of colours of cotton knit fabric dyed with reactive dyes, the simultaneous use of UV absorbers and antioxidants is necessary.

Keywords: cotton knit fabric, reactive dyes, total colour difference, photodestruction kinetics, light stabilizers, UV absorbers, antioxidants.

УДК 678.03

СУПРУН Н. П.¹, РЯБЧИКОВ М. Л.², ІВАНОВ І. О.¹

¹Київський національний університет технологій та дизайну, Україна,

²Українська інженерно-педагогічна академія, Україна

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ТЕРТЯ В ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛАХ

Мета. Створити модель визначення коефіцієнту тертя текстильних матеріалів для виявлення основних факторів, що впливають на процес тертя, з урахуванням структурних та механічних властивостей матеріалів.

Методика. Моделювання процесу тертя в текстильних матеріалах як комбінації адгезійних і пружних явищ.

Результати. Шорсткість твердих тіл та основні параметри шорсткості, такі, як висота мікронерівностей, їх крок, загострення та ін. описані в багатьох стандартах і наукових працях. Однак моделювання процесу тертя в таких системах дуже ускладнюється у зв'язку з нерівномірністю розподілу мікрошорсткостей. Аналіз літературних даних засвідчив, що шорсткість поверхні текстильних матеріалів - важливий та ефективний фактор прогнозування тактильних властивостей виробів різного призначення. Оцінювання шорсткості поверхні, як правило, здійснюється з використанням суб'єктивних та об'єктивних методів, причому останні можуть бути контактними та безконтактними. В роботі розроблена модель визначення коефіцієнту тертя текстильних матеріалів для виявлення основних факторів, що впливають на процес тертя з врахуванням структурних і механічних властивостей матеріалів. Сила тертя представлена, як комбінація двох основних факторів. Перший – пружний опір деформуванню, другий – адгезійний опір при стисканні структурних елементів матеріалу. Встановлено основні параметри, що впливають на коефіцієнт тертя текстильних полотен – модулі пружності структурних елементів, їх геометричні параметри – поверхнева густина текстильного матеріалу, лінійна густина структурних елементів.

Наукова новизна. Одержані результати дозволяють якісно передбачати зусилля тертя текстильного матеріалу з відомими параметрами його структурних елементів, а також нормувати ці параметри для створення матеріалів з заданими показниками тертя.

Практична значимість. Отримані результати надають можливість підбору ниток, що формують текстильний матеріал, за значеннями модуля пружності, товщини, щільності розташування для забезпечення мінімальної сили тертя.

Ключові слова: текстильні матеріали, тертя, адгезія, пружний опір, структурні параметри.

Вступ. Вибір текстильних матеріалів для конкретних виробів зумовлюється необхідним комплексом властивостей. У ряді випадків вирішальним фактором для вибору матеріалу є його гладкість, яка чисельно може визначатися коефіцієнтом тертя, а фізично - характеризує ступінь шорсткості поверхні. У різних виробках, у тому числі, медичного призначення, можуть висуватися різні вимоги до значень коефіцієнту тертя. Наприклад, матеріали простирадл для переміщення нерухомих лежачих хворих мають бути з низьким коефіцієнтом тертя і, відповідно, з підвищеним коефіцієнтом ковзання [1-3]. Інші вироби (текстильні фіксуєчі реміні, перев'язувальні медичні матеріали) вимагають збільшення коефіцієнту тертя. У загальному випадку можливі вимоги фіксованого коефіцієнту для виконання конкретних задач. Незважаючи на важливість оцінки показника тертя для текстильних матеріалів і виробів, фактори, що впливають на цей показник, для текстильних матеріалів досліджені недостатньо. Складність визначення коефіцієнту тертя полягає в багатофакторності його виникнення і тісним зв'язком із макро- та мікроструктурою матеріалу.

У ряді наукових робіт зроблено спробу визначити фактори, які впливають на коефіцієнт тертя та обґрунтувати методи його визначення. Перші прилади для визначення сил тертя текстильних матеріалів з'явилися досить давно [4]. На жаль, дані, отримані за їх допомогою, мають досить високий ступінь суб'єктивізму, бо ґрунтуються на характеристиці тактильних відчуттів людини при дотику до матеріалу. Визначення реальних характеристик проводилося із застосуванням методу парних порівнянь [5]. Деякі модифікації цього методу описані в роботі [6] - зокрема, зроблено спроби знизити вплив суб'єктивності оцінки шляхом виключення візуального контролю матеріалу оцінювачем.

Однак до останніх часів запропоновані методи оцінки шорсткості або гладкості матеріалів залишалися без достатніх прикладних впроваджень. Поява в останні часи технологічних можливостей створення текстильних матеріалів із заданими структурними і механічними властивостями, підвищення гуманітарної складової при виробництві текстильних матеріалів і виробів з заданим рівнем тактильного комфорту, створили передумови для поглиблених досліджень в цій галузі. Процес визначення коефіцієнту тертя текстильних матеріалів, пов'язаний з нерівністю поверхні, досліджувався в [7, 8]. Перспективними для визначення шорсткості текстилю можна також вважати оптичні, у тому числі фотометричні, методи [9,10], в яких визначається яскравість відбивання світла. Однак у більшості випадків параметри гладкості, шорсткості і тертя визначаються на основі суб'єктивних, зокрема, тактильних методів [11-13].

Постановка завдання. Шорсткість твердих тіл описана в багатьох стандартах і наукових працях. Також визначені основні параметри шорсткості, такі, як висота мікронерівностей, їх крок, загострення та ін. Сухе тертя по цих тілах пов'язане з подвійним впливом двох процесів – адгезійного зчеплення по поверхні контакту і пружного опору деформування мікронерівностей. Моделювання цього процесу дуже ускладнюється у зв'язку з нерівномірністю мікросшорсткостей. На відміну від наявності досить розвиненої бази стандартів і методик визначення шорсткості металевих і інших твердих поверхонь, для текстильних матеріалів слід відзначити практичну відсутність на сьогоднішній день загального підходу як до фізики процесу тертя, так і до стандартних методик визначення шорсткості поверхні. У зв'язку з цим у деяких роботах пропонуються методи, аналогічні визначенню показників шорсткості для твердих тіл [14]. На наш погляд даний підхід є корисним, однак його використання вимагає обов'язкове врахування особливостей структури текстильних матеріалів. Крім того, безсумнівно, треба враховувати різницю в пружних характеристиках. Мета даної роботи – створити модель визначення коефіцієнту тертя текстильних матеріалів для виявлення основних факторів, що впливають на процес тертя з врахуванням структурних і механічних властивостей матеріалів.

Результати досліджень. Сухе тертя (без змащування) твердих матеріалів, як правило, пов'язують з їх шорсткістю. В стандартах з визначення шорсткості твердих суцільних матеріалів [14] наведений ряд параметрів, що визначає нерівномірну форму поверхні твердого тіла, наприклад, у вигляді, наведеному на (Рис.1).

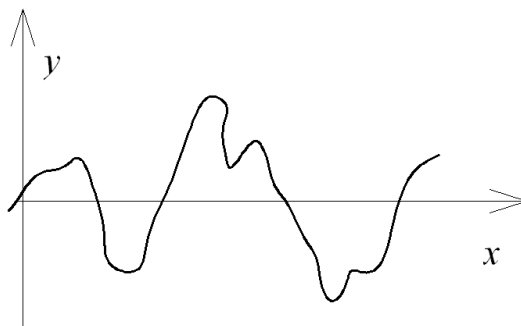


Рис.1. Шорсткість твердих матеріалів (x- довжина матеріалу, y – висота мікрошорсткостей)

У випадку зсувної дії при контакті з іншим матеріалом виникає сила тертя, що чинить опір цій дії. При цьому цей опір можна уявити у двох аспектах. Перший передбачає стискування вершин виступів шорсткості (Рис.2)

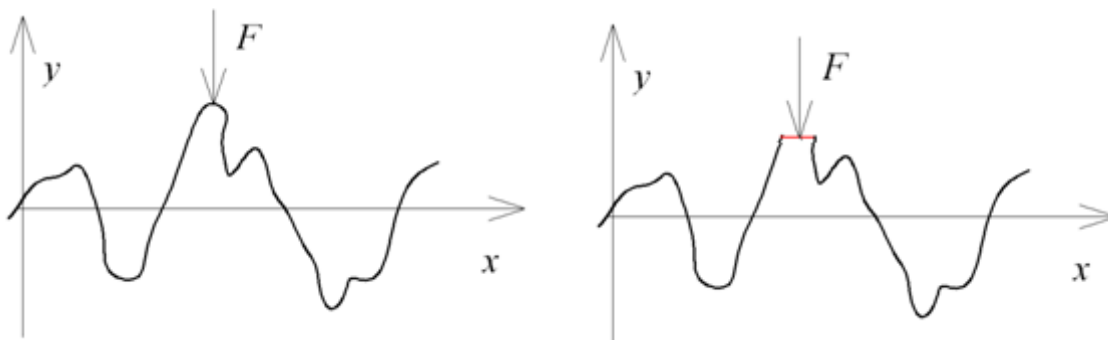


Рис.2. Стискування вершин шорсткості (x- довжина матеріалу, y – висота мікрошорсткостей)

При цьому площа контакту з тілом збільшується, виникають адгезійні міжмолекулярні сили, які утримують тіло, що переміщується.

Другий аспект передбачає опір шорсткості пружному деформуванню (Рис.3).

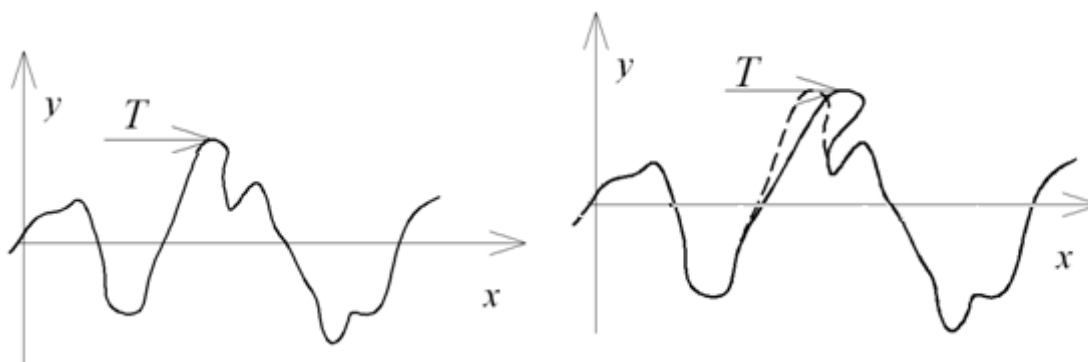


Рис.3. Пружне деформування шорсткості (x- довжина матеріалу, y – висота мікрошорсткостей)

Загальний процес є складним і взаємопов'язаним. Для твердих тіл з нерегулярними шорсткостями цей процес моделюється дуже складно. На відміну від твердих тіл, текстильні матеріали мають регулярну структуру (Рис.4), що дозволяє проводити моделювання процесу тертя.

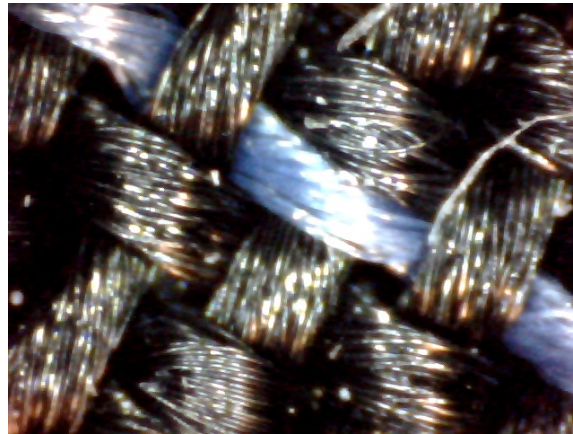


Рис.4. USB-фото поверхні текстильного матеріалу з регулярною структурою

Представимо такий матеріал, як ряд комірок, що мають вигляд періодично вигнутих структур. Властивості кожної комірки визначаються діаметром нитки d , щільністю ниток в матеріалі, що будемо визначати відстанню між нитками, у нашому означенні – радіус кривизни нитки у комірці R (Рис.5). Також нитки в комірці мають параметри жорсткості, що у загальному вигляді характеризуються модулем пружності E . У даному випадку поки будемо вважати модуль пружності ниток основи і утку однаковим. У подальшому модель може бути розширена на випадок різної їх жорсткості.

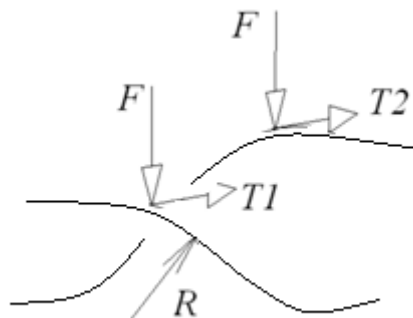


Рис.5. Параметри комірки текстильного матеріалу

У разі контакту твердої поверхні з ниткою тканини виникають контактні напруження, які призводять до деформування нитки (аналог – стискання шорсткості твердого матеріалу, Рис.2). У загальному вигляді площа контакту являє собою еліпс з напівосями [15]:

$$a = \alpha \cdot \sqrt[3]{\frac{3F}{E \left(\frac{1}{R1} + \frac{1}{R2} + \frac{1}{R3} + \frac{1}{R4} \right)}} \quad (1)$$

$$b = \beta \cdot \sqrt[3]{\frac{3F}{E \left(\frac{1}{R1} + \frac{1}{R2} + \frac{1}{R3} + \frac{1}{R4} \right)}} \quad (2)$$

де – $R1, R2, R3, R4$ - радіуси викривлення контактних поверхонь. Будемо вважати верхню контактну поверхню у вигляді площини з безкінцевими радіусами;

- E - модуль пружності;
- коефіцієнти α , β залежать від функції співвідношення радіусів.

З урахуванням безкінцевості радіусів верхнього контактного тіла функція співвідношення радіусів буде мати наступний вигляд:

$$\cos\psi = \frac{\left| \frac{1}{R2} - \frac{1}{R1} \right|}{\frac{1}{R2} + \frac{1}{R1}} = \frac{\left| \frac{2}{d} - \frac{1}{R} \right|}{\frac{2}{d} + \frac{1}{R}} = \frac{|1 - \zeta|}{1 + \zeta} \quad (3)$$

де $\zeta = \frac{2R}{d}$.

Для даної величини коефіцієнти α , β визначаються залежністю, наведеною на (Рис.6):

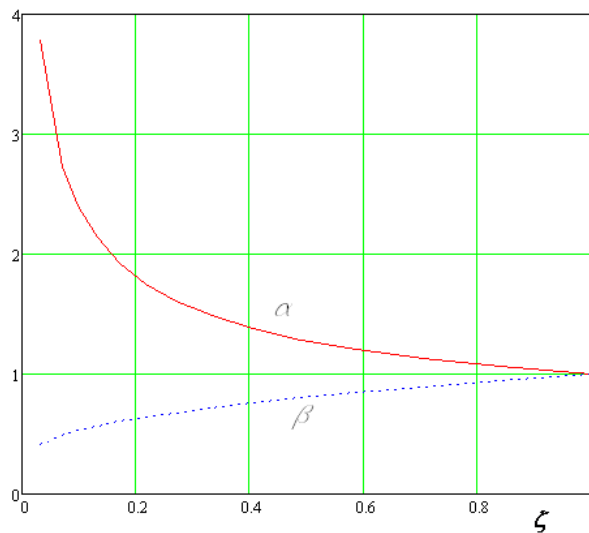


Рис.6. Коефіцієнти α , β в залежності від співвідношення розмірів комірок

Пошук апроксимаційних залежностей дає найбільш наближені функції у вигляді:

$$\alpha = \frac{1}{\zeta^{0,37}}, \quad \beta = \zeta^{0,29}. \quad (4)$$

Площа еліпса стискування визначається залежністю:

$$S = \pi \cdot a \cdot b = \frac{1}{\zeta^{0,08} (1 + \zeta)^{0,66}} \cdot \sqrt[3]{\left(\frac{3F \cdot d}{2E}\right)^2} = \varphi \cdot \sqrt[3]{\left(\frac{3F \cdot d}{2E}\right)^2} \quad (5)$$

На поверхні контакту виникають дотичні напруження, викликані адгезійними властивостями матеріалу, що перешкоджають руху і викликають силу тертя. Сили, що підсумовують ці напруження, пропорційні площі контакту.

При ковзанні тіла по тканині спостерігається згинання ниток тканини. При цьому для різних напрямів схема згинання може бути представлена у двох видах (Рис.7). Дані схеми – аналоги пружного деформування шорсткості твердого матеріалу (Рис.3). У залежності від

розташування комірок відносно напрямку переміщення тіла, деформація комірок відбувається в площині колового сектору або в перпендикулярному до колового сектору напрямі.

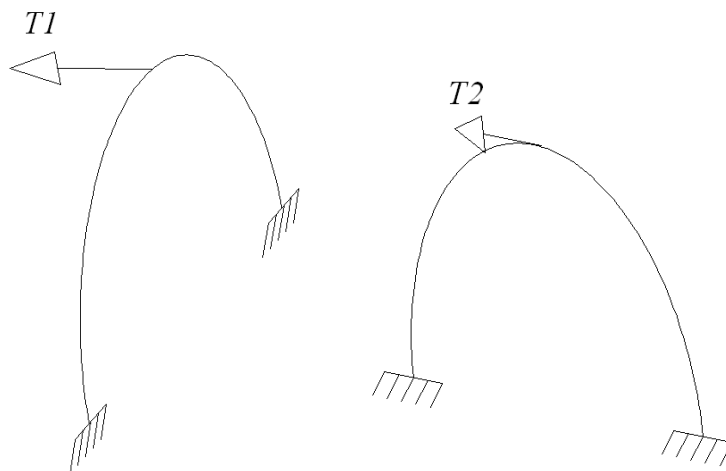


Рис.7. Деформація ниток основи і утку в точках переплетення

Величини прогинів можуть бути визначені при розв'язанні статично невизначеної задачі згину колового сектору. Розв'язання цих задач дає вирази:

$$w = \frac{8 \cdot T \cdot R^3}{\pi \cdot E \cdot d^4} \left(\pi^2 \frac{\sqrt{2} - 1}{\sqrt{2}} + 4 - 2\pi \right), \quad v = \frac{4 \cdot T \cdot R^3}{\pi \cdot E \cdot d^4} (4 - \pi). \quad (6)$$

У загальному випадку, таким чином, сила тертя визначається з одного боку, пружним опором ниток тканини при їх деформуванні, з іншого – адгезійним опором стиснутих поверхонь.

Перше зусилля визначається виразом:

$$T1 = z1 \cdot \frac{Ed^4}{R^3} \quad (7)$$

Друге зусилля визначається виразом:

$$T2 = z2 \cdot \sqrt[3]{\frac{d^2}{E^2} \cdot \frac{R^{0,74}}{d^{0,08} (2R + d)^{0,66}}} \quad (8)$$

де $z1, z2$ – коефіцієнти.

Тоді сумарна сила тертя визначається сумою:

$$T = T1 + T2 \quad (9)$$

Відповідно, означивши f – коефіцієнт тертя, можна знайти:

$$f = f1 + f2 \quad (10)$$

Таким чином, сила тертя визначається сумісною дією пружного опору текстильних ниток і адгезійним опором при стисканні ниток.

Висновки: Визначено фактори, що впливають на процес тертя у текстильних матеріалах. До них відносяться пружні опори деформаціям текстильних ниток сумісно з опором при стисканні. Залежність включає показники жорсткості текстильних ниток, параметри

структури текстильного матеріалу, які виражаються поверхневою густиною матеріалу та діаметром ниток, що визначається їх лінійною густиною. Одержані залежності можуть бути використані для прогнозування властивостей гладкості та показників тертя текстильних матеріалів з метою забезпечення функціональних властивостей текстильних виробів.

Література

1. Bartnik L.M., Rice M.S. Comparison of caregiver forces required for sliding a patient up in bed using an array of slide sheets. *Workplace Health Saf.* 2013. Vol. 61. p.393-400.
2. Lloyd J.D., Baptiste A. Friction-reducing devices for lateral patient transfers. A biomechanical evaluation. *AAOHN Journal.* 2006. VOL. 54, No. 3. p. 113-119.
3. Coman R.L., Caponecchia C., McIntosh A.S. Manual Handling in aged care: impact of environment-related interventions on mobility. *Safety and Health at Work.* 2018. №9. p.372-380.
4. Dreby E.C. A friction meter for determining the coefficient of kinetic friction of fabrics. *Part of Journal of Research of the National Bureau of Standards.* 1943. V. 31. October. p.237-246.
5. Stockbridge H.C. The subjective assessment of the roughness of fabrics. *J. Text. Inst.* 1957. N 48, p 26-34.
6. Bertaux E., Lewandowski M., Derler S. Relationship between friction and tactile properties for woven and knitted fabrics. *Textile Res. J.* 2007. V. 77 (6). p. 387-396.
7. Parmar M.S., Sisodia N., Maheshwar S., Vasundhara V. Development of smoothness tester for finished fabrics. *Proceedings of 57th Joint Technological Conference.* February 2017.
8. Mooneghi S. A., Saharkhiz S., Varkiani S. Surface roughness evaluation of textile fabrics: a literature review. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics.* 2014. V.9. N 2. p. 1-18.
9. Kang T. J., Cho D. H., Kim S. M. New objective evaluation of fabric smoothness appearance. *Textile Res. J.* 2001, V. 71 (5), p.446-453.
10. Xin B. X., Hu J. L., Baciu G. Visualization of textile surface roughness based on silhouette image analysis. *Text. Res. J.* 2010. V. 80(2). p. 166-176.
11. Tadesse M.G., Nagy L., Nierstrasz V., Loghin C., Chen Y., Wang L. Low-stress mechanical property study of various functional fabrics for tactile property evaluation. *Materials (Basel).* 2018. 11(12). p. 2466 – 2472.
12. Tadesse M.G., Loghin E., Pislaru M., Wang L., Chen Ya. Prediction of functional fabric

References

1. Bartnik L.M., Rice M.S. Comparison of caregiver forces required for sliding a patient up in bed using an array of slide sheets. *Workplace Health Saf.* 2013. Vol. 61. p.393-400. [in English].
2. Lloyd J.D., Baptiste A. Friction-reducing devices for lateral patient transfers. A biomechanical evaluation. *AAOHN Journal.* 2006. VOL. 54, No. 3. p. 113-119. [in English].
3. Coman R.L., Caponecchia C., McIntosh A.S. Manual Handling in aged care: impact of environment-related interventions on mobility. *Safety and Health at Work.* 2018. №9. p.372-380. [in English].
4. Dreby E.C. A friction meter for determining the coefficient of kinetic friction of fabrics. *Part of Journal of Research of the National Bureau of Standards.* 1943. V. 31. October. p.237-246. [in English].
5. Stockbridge H.C. The subjective assessment of the roughness of fabrics. *J. Text. Inst.* 1957. N 48, p 26-34. [in English].
6. Bertaux E., Lewandowski M., Derler S. Relationship between friction and tactile properties for woven and knitted fabrics. *Textile Res. J.* 2007. V. 77 (6). p. 387-396. [in English].
7. Parmar M.S., Sisodia N., Maheshwar S., Vasundhara V. Development of smoothness tester for finished fabrics. *Proceedings of 57th Joint Technological Conference.* February 2017. [in English].
8. Mooneghi S. A., Saharkhiz S., Varkiani S. Surface roughness evaluation of textile fabrics: a literature review. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics.* 2014. V.9. N 2. p. 1-18. [in English].
9. Kang T. J., Cho D. H., Kim S. M. New objective evaluation of fabric smoothness appearance. *Textile Res. J.* 2001, V. 71 (5), p.446-453. [in English].
10. Xin B. X., Hu J. L., Baciu G. Visualization of textile surface roughness based on silhouette image analysis. *Text. Res. J.* 2010. V. 80(2). p. 166-176. [in English].
11. Tadesse M.G., Nagy L., Nierstrasz V., Loghin C., Chen Y., Wang L. Low-stress mechanical property study of various functional fabrics for tactile property evaluation. *Materials (Basel).* 2018. 11(12). p. 2466 – 2472. [in English].
12. Tadesse M.G., Loghin E., Pislaru M., Wang L., Chen Ya. Prediction of functional fabric comfort using fuzzy logic and artificial neural-network from finishing

comfort using fuzzy logic and artificial neural network from finishing parameters. *Textile Research Journal*. 2019. Vol. 89. Issue 19-20. p. 4083-4094.

13. Liao X., Hu J., Li Y., Li Q., Wu X. A review on fabric smoothness-roughness sensation studies. *Journal of Fiber Bioengineering & Informatics*. 2011. V.4:2. p. 105-114

14. ДСТУ ISO 4287:2012. Технічні вимоги до геометрії виробів (GPS). Структура поверхні. Профільний метод. Терміни, визначення понять і параметри структур. Видання офіційне. Київ, Мінекономрозвитку України. 2013. 16 с.

15. Popov Valentin L. Contact mechanics and friction. Physical principles and applications. 2010. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 362 p.

parameters. *Textile Research Journal*. 2019. Vol. 89. Issue 19-20. p. 4083-4094. [in English].

13. Liao X., Hu J., Li Y., Li Q., Wu X. A review on fabric smoothness-roughness sensation studies. *Journal of Fiber Bioengineering & Informatics*. 2011. V.4:2. p. 105-114. [in English].

14. DSTU ISO 4287:2012. Tekhnichni vymohy do heometriyi vyrobiv (GPS). Struktura poverkhni. Profil'nyy metod. Terminy, vyznachennya ponyat' i parametry struktur. [Technical requirements for product geometry (GPS). Surface structure. Profile method. Terms, definitions and parameters of structures]. Vydannya ofitsiyne. Kyiv, Minekonomrozvytku Ukrayiny, 2013. 16 p. [in Ukrainian].

15. Popov Valentin L. Contact mechanics and friction. Physical principles and applications. 2010. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 362 p. [in English].

RYABCHIKOV N.

Department of Technology and Design,
Ukrainian Engineering and Pedagogical Academy,
Ukraine

IVANOV I.

postgraduate
Kyiv National University of Technologies and Design

SUPRUN NATALIYA

Dr. Sc., professor
suprun.knutd@ukr.net
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3937-8399>
Researcher ID: 6701785670
Kyiv National University of Technologies & Design

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТРЕНИЯ В ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛАХ СУПРУН Н. П.¹, РЯБЧИКОВ Н. Л.², ИВАНОВ И. А.¹

¹Киевский национальный университет технологий и дизайна, Украина

²Украинская инженерно-педагогическая академия, Украина

Цель. Создать модель определения коэффициента трения текстильных материалов для выявления основных факторов, влияющих на процесс трения, с учетом структурных и механических свойств.

Методика. Моделирование процесса трения в текстильных материалах как комбинации адгезионных и упругих явлений.

Результаты. Шероховатость твердых тел и основные параметры шероховатости, такие, как высота микронеровностей, их шаг, острота и др. описаны во многих стандартах и научных трудах. Однако моделирование процесса трения в таких системах очень усложняется в связи с неравномерностью распределения микрошероховатостей. Анализ литературных данных показал, что шероховатость поверхности текстильных материалов - важный и эффективный фактор прогнозирования тактильных свойств изделий различного назначения. Оценка шероховатости поверхности, как правило, осуществляется с использованием субъективных и объективных методов, причем последние могут быть контактными и бесконтактными. В работе разработана модель определения коэффициента трения текстильных материалов для выявления основных факторов, влияющих на процесс трения с учетом структурных и механических свойств. Сила трения представлена как комбинация двух основных факторов. Первый - упругое сопротивление деформированию, второй - адгезионное сопротивление при сжатии структурных элементов материала. Установлены основные параметры, влияющие на коэффициент трения текстильных

полотен - модули упругости структурных элементов, их геометрические параметры - поверхностная плотность текстильного материала, линейная плотность структурных элементов.

Научная новизна. Полученные результаты позволяют качественно предусматривать усилие трения текстильного материала с известными параметрами его структурных элементов, а также нормировать эти параметры для создания материалов с заданными показателями трения.

Практическая значимость. Полученные результаты дают возможность подбора нитей, формирующих текстильный материал, по значениям модуля упругости, толщины, плотности расположения для обеспечения минимальной силы трения.

Ключевые слова: текстильные материалы, трение, адгезия, упругое сопротивление, структурные параметры.

SIMULATION OF THE FRICTION PROCESS IN TEXTILE MATERIALS SUPRUN N. P.¹, RYABCHIKOV N. L.², IVANOV I. O.¹

¹ Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine

² Ukrainian Engineering and Pedagogical Academy, Ukraine

Goal. Create a model for determining the coefficient of friction of textile materials to identify the main factors influencing the process of friction, taking into account the structural and mechanical properties of materials.

Method. Modeling of friction process in textile materials as a combination of adhesive and elastic phenomena.

Results. Roughness of solid bodies and the main parameters of roughness, such as the height of micro-irregularities, their pitch, sharpening, etc. described in many standards and scientific papers. However, the modeling of the friction process in such systems is very complicated due to the irregularity of distribution of microroughness. The analysis of literature data showed that the surface roughness of textile materials is an important and effective factor in predicting the tactile properties of products for various purposes. Estimation of surface roughness is usually carried out using subjective and objective methods, and the latter can be contact and non-contact. The paper develops a model for determining the coefficient of friction of textile materials to identify the main factors influencing the friction process, taking into account the structural and mechanical properties of materials. Friction force is presented as a combination of two main factors. The first is the elastic resistance to deformation, the second is the adhesive resistance to compression of the structural elements of the material. The main parameters influencing the coefficient of friction of textile fabrics - modulus of elasticity of structural elements, their geometrical parameters - surface density of textile material, linear density of structural elements are established.

Scientific novelty. The obtained results allow to qualitatively predict the friction forces of a textile material with known parameters of its structural elements, as well as to normalize these parameters to create materials with specified friction indices.

Practical significance. The obtained results make it possible to select the threads that form the textile material, according to the values of the modulus of elasticity, thickness, location density to ensure the minimum friction force.

Keywords: textile materials, friction, adhesion, elastic resistance, structural parameters.

<https://doi.org/DOI:10.30857/1813-6796.2020.2.5>

УДК 677.017.636

ЩУЦЬКА Г. В.¹, СУПРУН Н. П.², ПОЖИЛОВ–НЕСМІЯН Г. М.²

¹ Київський коледж легкої промисловості

² Київський національний університет технологій та дизайну

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ВОЛОГОПЕРЕНОСУ В БАГАТОШАРОВИХ АПЛІКАЦІЙНИХ МАТЕРІАЛАХ МЕДИЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Мета. Для прогнозування цілеспрямованого транспорту ліків визначеної ефективної концентрації в осередок ураження, виходячи із геометричних параметрів ран, провести моделювання процесів вологопереносу в багатошарових аплікаційних матеріалах медичного призначення.

Методика. Засобами цифрової фотографії з подальшою обробкою зображення в комп'ютерному середовищі розроблені методи проектування тривимірних ефектів розповсюдження рідини в багатошарових пакетах матеріалів медичного призначення.

Результати. Встановлено, що сучасні ранові покриття представляють собою багатошарові багатомірні композиції із складною кінетикою розповсюдження рідини. Крім того, самі рани на тілі людини мають складну просторову геометричну форму. Це потребує врахування об'ємних ефектів при аналізі та прогнозуванні процесів змочування й розповсюдження рідини в таких системах. Запропоновано алгоритм порядку визначення границь рани засобами цифрової фотографії з подальшою обробкою зображення рани в комп'ютерному середовищі. Для оцінки вологотранспортних властивостей з метою контрольованого вивільнення лікувальних речовин у необхідній концентрації в різних шарах пакетів ранових покриттів проведено експеримент при змочуванні з двох і трьох джерел з подальшим тривимірним моделюванням. Експериментально встановлено, що параметри поширювання рідкої вологи в багатошарових перев'язочних матеріалах значно розрізняються. Результати проведеного моделювання придатні для прийняття оперативних рішень щодо вибору типу, необхідних геометричних параметрів медичних матеріалів і ранових покриттів.

Наукова новизна. Запропонована методика встановлення реальної геометрії рани разом з тривимірним моделюванням дає змогу прогнозувати точні границі нанесення медичного засобу, розрахувати його необхідну кількість і час руху до рани. З використанням тривимірної комп'ютерної графіки дискретних об'єктів розроблено методи, які дозволяють прогнозувати умови надійного функціонування багатошарових перев'язувальних матеріалів.

Практична значимість. Досліджені процеси транспорту і розповсюдження рідкої вологи можуть бути використані при виборі компонентів сировинного складу, структури і кількості шарів багатошарових ранових покриттів з урахуванням реального геометричного профілю рани.

Ключові слова: багатошарові аплікаційні матеріали, вологоперенесення, геометрія рани, тривимірне моделювання.

Вступ. Розробка нових аплікаційних матеріалів медичного призначення є перспективним і важливим напрямком як в текстильній промисловості, так і в медицині. Світовий ринок перев'язувальних засобів зростає дуже швидкими темпами - об'єм продаж на ньому у 2018 році досяг 8,63 млрд. доларів США, і, як передбачається, до 2026 року складе 13,94 мільярда доларів, збільшуючись на 6,14% з 2019 до 2026 року [1]. Основними факторами прискорення світових темпів виробництва ранових покриттів та різних перев'язувальних матеріалів є старіння населення, яке супроводжується поширенням хронічних захворювань, підвищення обізнаності пацієнтів та збільшення витрат на охорону здоров'я, зростання числа дорожньо-транспортних пригод та випадків ранової інфекції, збільшення інвестування в медицину в країнах з економікою, що розвивається. Слід зазначити, що згідно аналізу, проведеного оглядачами відомої компанії Fast Market Research [1], основна частка зростання

(до 77%) загального ринку ранових пов'язок припадає на сегмент сучасних високотехнологічних перев'язувальних засобів (advanced wound dressings), які представляють собою багатофункціональні системи, що вирішують ряд лікувально-терапевтичних задач. Рациональна тактика використання нового покоління покриттів для ран складається в забезпеченні їх поліфункціональної дії – адресної доставки ліків необхідної концентрації в місце порушення цілісності покривних тканин при мінімізації їх накопичування у неушкоджених тканинах та органах, та забезпечення відтоку ексудату.

В Україні зараз існує підвищений попит на сучасні ранові покриття, між тим, як представлені вони переважно імпортними товарами, які мають високу ціну. Розроблення перев'язувальних засобів із заданими волого-транспортними властивостями є перспективним і важливим напрямком, який надасть змогу розширити асортимент вітчизняних товарів на ринку медичних виробів, сприятиме скороченню терміну перебування хворих в медичних закладах, матиме суттєвий вплив на кінцеву вартість лікування пацієнтів і якість їх життя.

Постановка завдання. Найчастіше сучасні ранові пов'язки представляють собою складні багатошарові композиції, в яких комбінуються текстильні матеріали різної хімічної природи і фізичної форми. Кінетика розповсюдження рідини в таких системах може значно ускладнюватися. Крім того, самі рани на тілі людини мають складну просторову геометричну форму. Тому неврахування об'ємних ефектів при аналізі та прогнозуванні процесів змочування та розтікання рідини в таких системах може призвести до значних похибок. Аналіз вимог до сучасних перев'язувальних засобів для загоювання ран [2 - 8] свідчить про те, що їх основними функціями є (Рис.1) здатність ефективно видаляти надлишок ранового ексудату та продуктів метаболізму 1, сприяти створенню оптимального середовища для природного процесу загоєння ран 2, захищати рану від механічних ушкоджень і запобігати її вторинному інфікуванню 3.

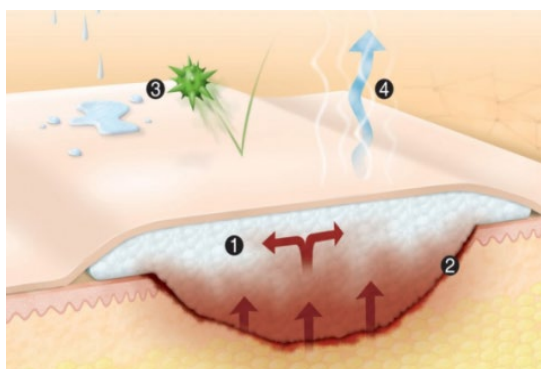


Рис.1. Об'ємна модель ранової пов'язки

Розповсюдження рідини у вигляді руху по товщині або площині матеріалів медичного призначення розглядалися [9,10] в одно- або двовимірній постановці. Однак, зважаючи на те, що сучасні перев'язувальні матеріали, як правило, є поліфункціональними і складаються із декількох шарів (верхній шар захищає рану від інфекцій, нижній - покриває рану, між ними знаходиться проміжний шар, який виконує сорбційну функцію), виникає необхідність використання багатовимірних моделей для прогнозування процесів масопереносу.

Наявність надійної моделі надає змогу застосовувати активний контроль, передбачити розміри змоченої зони і прогнозувати якість та ефективність аплікаційних виробів з досліджуваних матеріалів. Правильне визначення геометричних параметрів ран і, відповідно, параметрів ранового покриття, може значно підвищити ефективність його використання, прискорити одужання, знизивши при цьому вартість лікування.

Метою даної роботи є прогнозування інтенсивності процесів внутрішнього переміщення вологи в багатошарових пакетах матеріалів медичного призначення, встановлення границь змочених зон та подальшого тривимірного моделювання процесу.

Результати досліджень. Тіло людини є дуже складним геометричним об'єктом, що визначається десятками розмірних характеристик. Також надзвичайно різноманітними є геометричні параметри ран і травм і місця їх розташування на тілі. У роботі розв'язується технічна задача проектування матеріалів для ранових покриттів. З цієї точки зору рана – це геометрична фігура, яка має границю замкненої форми. Ця границя може бути зображена в довільній плоскій системі координат. Для моделювання подібних кривих зручно використовувати полярні системи координат, у якій координатами є кут φ і радіус вектор ρ розташування певної точки (Рис.2).

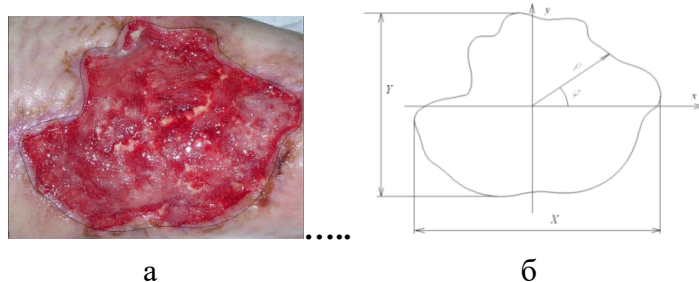


Рис. 2. Рана (а) та її границі у декартових і полярних координатах (б)

Пропонується наступний алгоритм порядку визначення границь рани:

- рана фотографується засобами цифрової фотографії;
- у комп'ютерному середовищі зображення рани обробляється у зручний для аналізу спосіб;
- визначаються максимальні поздовжні X і поперечні Y розміри рани. Нами для цих цілей використовувалось програмне середовище AutoCAD 2016;
- визначаються координати ряду точок в обраній системі координат. Визначені точки перераховуються в полярні координати за формулами.

$$\rho_i = \sqrt{x_i^2 + y_i^2}, \quad \varphi_i = \arctg \frac{y_i}{x_i}$$

Одержану криву можна апроксимувати у вигляді ступеневого, тригонометричного ряду або системою сплайнів.

Розроблений алгоритм дає змогу визначити динаміку об'ємного проходження ексудату крізь тривимірну пов'язку з урахуванням реальної геометрії рани (Рис.3,а), що дозволяє розв'язувати задачі довговічності функціонування пов'язок. У якості показника, який характеризує термін використання ранового покриття, може бути відсутність вологої плями або обмеження площі поширення ексудату на його зовнішній поверхні. У випадку

використання пов'язки для транспортування лікарських засобів до рани може бути розв'язана задача визначення зони первинного нанесення засобу на поверхню матеріалу медичного призначення, виходячи з реальної геометрії рани. На рис. 3,б показана реальна тривимірна поверхня розповсюдження лікарської рідини при її русі через матеріал медичного призначення до рани.

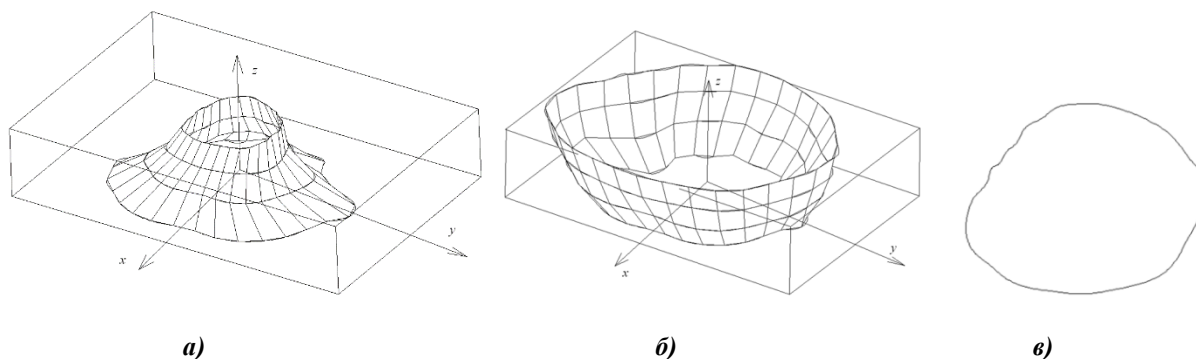


Рис.3. Модель видалення ексудату з рани при використанні багатошарового ранового покриття (а), постачання лікувального матеріалу до рани (б), необхідна конфігурація розташування лікувального препарату в рановому покритті (в)

3D моделювання з урахуванням геометрії рани надає змогу прогнозувати необхідну конфігурацію нанесення лікувального препарату на пов'язку (рис.3, в), його кількість і час трансферу до рани. Все це можна використовувати для прийняття оперативних рішень щодо вибору типу, розміру, товщини ранового покриття, кількості лікарського матеріалу та способу його нанесення.

Методика оцінки особливостей переносу рідкої вологи в різних шарах композиційної структури ранового покриття полягає у наступному. На верхній шар багатошарового пакету наносилась крапля підфарбованої дистильованої води, після чого пакет пошарово розділявся і в кожному із шарів визначалась форма і площа змоченої зони. Кількість проб для досліджень визначалась, виходячи з заданої гарантійної похибки коефіцієнта варіації 5 – 8%.

Необхідність використання тривимірних моделей для аналізу сорбційних процесів в багатошарових аплікаційних покриттях зумовлена наступними міркуваннями. У ранових виразках, як правило, існує декілька джерел, з яких з різною інтенсивністю виділяється ексудат. З іншого боку, сама форма рани зумовлює складну геометрію зони розповсюдження рідин (видалення ексудату, транспорт лікарських препаратів) яку, у загальному випадку, можна апроксимувати замкненою кривою. Порівняно великі товщини сучасних ранових пов'язок також мають бути враховані при описанні сорбційних процесів в таких системах.

Для оцінки вологотранспортних властивостей в багатошарових ранових покриттях проведено експеримент при змочуванні з двох і трьох джерел з подальшим тривимірним моделюванням, результати якого наведені на рис.4.

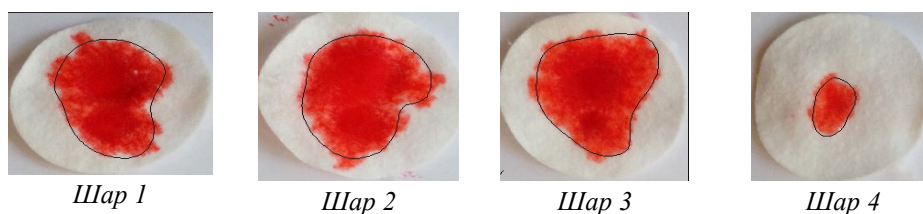


Рис.4. Розповсюдження рідини в шарах багат шарового ранового покриття при змочуванні з двох джерел

Концентрацію рідини u на поверхні матеріалу при дії окремих джерел з інтенсивністю зволоження P можна виразити, згідно [7], як:

$$u_1(x, y) = P_1 \cdot e^{-k \cdot (x^2 + y^2)}, \quad u_2(x, y) = P_2 \cdot e^{-k \cdot ((x-x_2)^2 + y^2)},$$

Для двох джерел концентрація рідини на поверхні може бути розглянута, як суперпозиція:

$$u(x, y) = u_1(x, y) + u_2(x, y).$$

Графічно така залежність може бути виражена у вигляді, представленому на рис. 5, а. Границю змоченої зони визначимо, як залежність $g(x, y)$ з умови досягнення концентрації мінімального значення:

$$\delta = P_1 \cdot e^{-k \cdot (x^2 + y^2)} + P_2 \cdot e^{-k \cdot ((x-x_2)^2 + y^2)}.$$

Залежність концентрації для трьох координат в просторовому випадку, враховуючи функцію розповсюдження по глибині $f(z)$, знайдена в [7], може бути записана як:

$$u(x, y, z) = \left(P_1 \cdot e^{-k \cdot (x^2 + y^2)} + P_2 \cdot e^{-k \cdot ((x-x_2)^2 + y^2)} \right) \cdot f(z).$$

Звідси, поверхня зони зволоження при дії двох джерел може бути представлена у вигляді (рис.5,в).

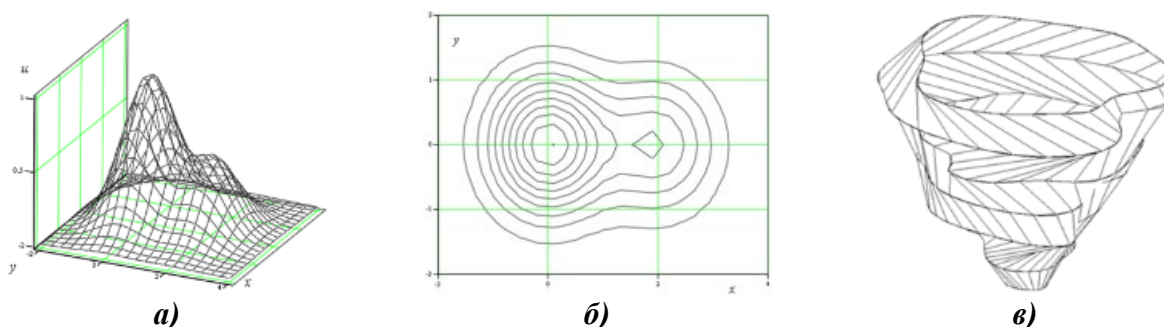


Рис.5. Модель зони змочування в багат шаровому матеріалі при двох джерелах змочування: а- концентрація рідини на поверхні; б- кола розповсюдження рідини в різних шарах; в- поверхня змочування

При дії трьох джерел змочування конфігурація зони розповсюдження рідини змінюється, що викликає зміни і поверхні змочування (Рис. 6).

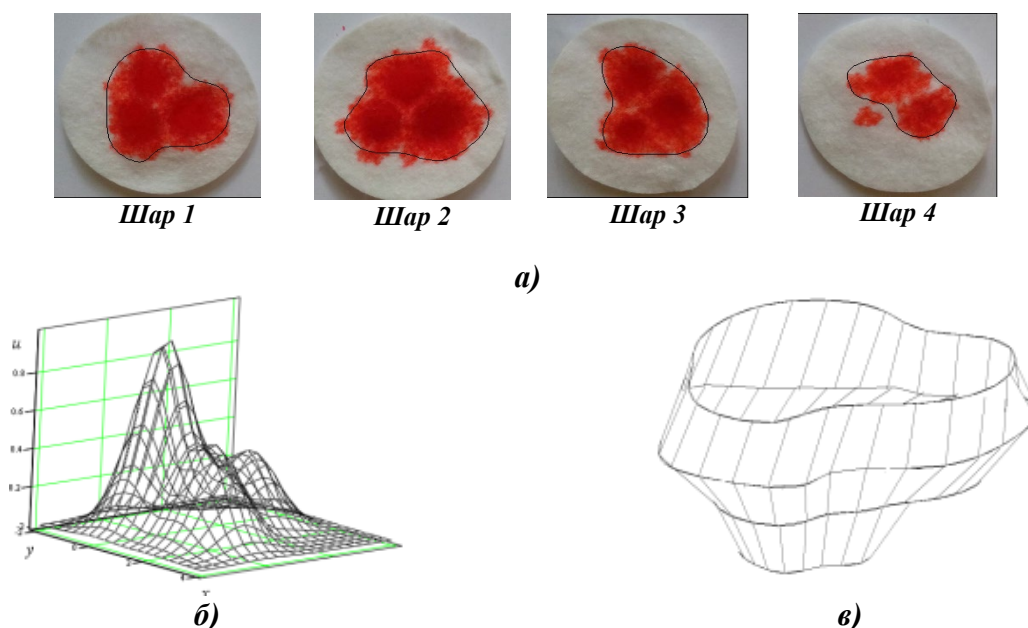


Рис.6. Змочена зона в багат шаровому матеріалі при трьох джерелах змочування: а - розтікання рідини в шарах ранового покриття, б - концентрація рідини на поверхні, в - поверхня змочування

Висновок. Результати проведеного моделювання придатні для прийняття оперативних рішень щодо вибору типу, необхідних геометричних параметрів медичних матеріалів і ранових покриттів. Використання методів визначення концентрацій при трансфері лікувальних препаратів до рани дозволяє проводити вибір компонентів сировинного складу і структури багат шарових ранових покриттів, встановити кількість лікувального препарату і спосіб його нанесення і подачі, виходячи з вимог лікувального процесу, визначати час функціонування матеріалів медичного призначення з урахуванням реальних геометричних параметрів рани.

Література

1. Wound Care Market by Product (Foams, Hydrocolloids, Alginates, Antimicrobial Dressings, Assessment, NPWT Devices, Substitutes, Sutures, Staples, Tapes), Wound (Surgical, Trauma, Diabetic Ulcers, Burns), End-User, Region - Global Forecast to 2024/ www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/woundCare
2. Thomas S. Wound management and dressings. London: The Pharmaceutical Press. 1990. 326 P.
3. Коваленко О. М. Сучасні ранові покриття (огляд). *Сучасні медичні технології*. 2010. № 4, с.88-97.
4. Абаев Ю.К. Раневые повязки в хирургии. *Медицинские новости*. 2003. №12. с.56-58.
5. Andreu V., Mendoza G., Arruebo M., S. Irusta S. Smart Dressings Based on

References

1. Wound Care Market by Product (Foams, Hydrocolloids, Alginates, Antimicrobial Dressings, Assessment, NPWT Devices, Substitutes, Sutures, Staples, Tapes), Wound (Surgical, Trauma, Diabetic Ulcers, Burns), End-User, Region - Global Forecast to 2024/ www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/woundCare. [in English].
2. Thomas S. Wound management and dressings. London: The Pharmaceutical Press. 1990. 326 P. [in English].
3. Kovalenko O. M. Suchasni ranovi pokryttya (ohlyad).*Suchasni medychni tekhnolohiyi*. 2010. № 4, p.88-97 [Modern wound coverings (review)] [in Ukrainian].
4. Abayev Y.K. [Wound dressings in surgery] *Ranevye povyazki v khirurgii. Meditsynskiyе novosti*. 2003. №12. P.56-58.[in Russian]
5. Andreu V., Mendoza G., Arruebo M., S. Irusta S. Smart Dressings Based on Nanostructured Fibers

Nanostructured Fibers Containing Natural Origin Antimicrobial, Anti-Inflammatory and Regenerative Compounds. *Materials (Basel)*. 2015. № 8. P. 5154–5193.

6. Turner T.D. Advances in wound management /T.D. Turner, R.J. Schmidt, K. G. Harding. – London: John Wiley&Sons, 1986. 149 P.

7. Sood A. Wound Dressings and Comparative Effectiveness Data / Sood A., Granick M., Tomaselli N. *Adv. Wound Care (New Rochelle)*. 2014. № 8. P. 511–529.

8. Винник Ю.С., Маркелова Н.М., Соловьева Н.С., Шишацкая Е.И., Кузнецов М.Н., Зуев А.П. Современные раневые покрытия в лечении гнойных ран. *Новости хирургии*. 2015. Том 23. № 5. С.552-558.

9. Щуцька Г.В., Супрун Н.П. Вологоперенос в багатослойных перев'язочных засобах. Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Серія «Технічні науки» 2018. № 5 (126). С. 63–71.

10. Щуцька Г. В., Супрун Н. П. Особливості розробки виробів медичного призначення з заданими вологотрансферними властивостями. Монографія. Київ. КНТУД. 2018. 250 с.

Containing Natural Origin Antimicrobial, Anti-Inflammatory, and Regenerative Compounds. *Materials (Basel)*. 2015. № 8. P. 5154–5193. [in English].

6. Turner T.D. Advances in wound management /T.D. Turner, R.J. Schmidt, K. G. Harding. – London: John Wiley&Sons, 1986. 149 P. [in English].

7. Sood A. Wound Dressings and Comparative Effectiveness Data / Sood A., Granick M., Tomaselli N. *Adv. Wound Care (New Rochelle)*. 2014. № 8. P. 511–529. [in English].

8. Vinnik YU.S., Markelova N.M., Solov'yeva N.S., Shishatskaya Ye.I., Kuznetsov M.N., Zuyev A.P. Sovremennyye ranevyye pokrytiya v lechenii gnoynnykh ran [Modern wound dressings in the treatment of purulent wounds] *Novosti khirurgii*. 2015. Tom 23. № 5. P.552-558. [in Russian]

9. Shchuts'ka H.V., Suprun N.P. Volohoperenos v bahatosharovykh perev'yazochnykh zasobakh. [Moisture transfer in multilayer dressings.] *Visnyk Kyiv National University of Technologies & Design – Bulletin of the KNUTD*. 2018. № 5 (126). P. 63–71. [in Ukrainian].

10. Shchuts'ka H. V., Suprun N. P. [Peculiarities of development of medical products with given moisture transfer properties] *Osoblyvosti rozrobky vyrobiv medychnoho pryznachennya z zadanyimi volohotransfernyimi vlastyvostyamy*. Monohrafiya. Kyiv. KNTUD. 2018. 250 P. [in Ukrainian].

SHCHUTSKA G.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7182-8556>
Researcher ID: [57190428341](https://orcid.org/57190428341)
Kyiv College of Light Industry

SUPRUN NATALIYA

suprun.knutd@ukr.net
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3937-8399>
Researcher ID: 6701785670
Kyiv National University of Technologies & Design

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ВЛАГОПЕРЕНОСА В МНОГОСЛОЙНЫХ АППЛИКАЦИОННЫХ МАТЕРИАЛАХ МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ ЩУЦКАЯ А. В.¹, СУПРУН Н. П.², ПОЖИЛОВ-НЕСМИЯН Г. М.²

¹Київський коледж легкої промисловості

²Київський національний університет технологій та дизайну

Цель. Для прогнозирования целенаправленного транспорта лекарств определенной эффективной концентрации в очаг поражения, исходя из геометрических параметров ран, провести моделирование процессов влагопереноса в многослойных аппликационных материалах медицинского назначения.

Методика. Средствами цифровой фотографии с последующей обработкой изображения в компьютерной среде разработаны методы проектирования трехмерных эффектов распространения жидкости в многослойных пакетах материалов медицинского назначения.

Результаты. Установлено, что современные раневые покрытия представляют собой многослойные многомерные композиции со сложной кинетикой распространения жидкости. Кроме того, сами раны на теле человека имеют сложную пространственную геометрическую форму. Это требует учета объемных эффектов при анализе и прогнозировании процессов смачивания и

растекания жидкости в таких системах. Предложен алгоритм порядка определения границ раны средствами цифровой фотографии с последующей обработкой изображения раны в компьютерной среде. Для оценки влаготранспортных свойств с целью контролируемого высвобождения лекарственных веществ в необходимой концентрации в различных слоях пакетов раневых покрытий был проведен эксперимент при смачиванию из двух и трех источников с последующим трехмерным моделированием. Экспериментально установлено, что параметры послойного распространения жидкой влаги в многослойных перевязочных материалах значительно различаются. Результаты проведенного моделирования могут быть использованы для принятия оперативных решений по выбору типа, необходимых геометрических параметров медицинских материалов и раневых покрытий.

Научная новизна. Предложенная методика установления реальной геометрии раны с трехмерным моделированием позволяет прогнозировать точные границы нанесения медицинского средства, рассчитать его необходимое количество и время движения к ране. С использованием трехмерной компьютерной графики дискретных объектов разработаны методы, позволяющие прогнозировать условия надежного функционирования многослойных перевязочных материалов.

Практическая значимость. Исследованные процессы транспорта и распространения жидкой влаги могут использоваться при выборе компонентов сырьевого состава, структуры и количества слоев многослойных раневых покрытий с учетом реального геометрического профиля раны.

Ключевые слова: многослойные аппликационные материалы, влагоперенос, геометрия раны, трехмерное моделирование.

MODELING OF MOISTURE TRANSFER PROCESSES IN MULTILAYER MEDICAL APPLICATION MATERIALS

SHCHUTSKA G. V^{1.}, SUPRUN N. P.², POZHILOV-NESMIYAN G. M.

¹Kyiv College of Light Industry

²Kyiv National University of Technologies and Design

Purpose. To carry out modeling of moisture transfer processes in multilayer medical application materials for forecasting of targeted transport of drugs of a certain effective concentration into the lesion center, based on the geometric parameters of the wounds.

Methodology. Using digital image processing techniques in a computer environment have developed methods for designing three-dimensional fluid propagation effects in multilayer medical wound dressings.

Findings. Modern wound dressings have been found to be multilayer multidimensional compositions with complex fluid kinetics. Additionally, the wounds on the human body itself have a complex space geometric shape. This requires taking into account the volumetric effects when analyzing and forecasting the processes of wetting and fluid flow in such systems. An algorithm for ordering the boundary of a wound by digital photography with the subsequent processing of a wound image in a computer environment is proposed. To evaluate the moisture transport properties for the controlled release of medicinal substances at the desired concentration in different layers of wound dressings, an experiment was made with wetting from two and three sources, followed by three-dimensional modeling. It has been experimentally found that the parameters of the layered distribution of liquid moisture in multilayer dressings vary significantly. The results of the simulation are suitable for making prompt decisions about the type, the required geometric parameters of medical materials and wound dressings.

Scientific novelty. The proposed method of establishing the real geometry of the wound, together with three-dimensional modeling, allows to predict the exact boundaries of the application of the drug, to calculate its required amount and time of movement to the wound. Using 3D computer graphics of discrete objects, methods have been developed to predict the conditions for the reliable functioning of multilayer dressings.

Practical value. Investigated processes of transport and distribution of liquid moisture can be used in the selection of components of the raw material composition, structure and number of layers of multilayer wound dressings, taking into account the real geometric profile of the wound.

Keywords: multilayer application materials, moisture transfer, wound geometry, three-dimensional modeling.

УДК 677.017

ЗДОРЕНКО В. Г., БАРИЛКО С. В., ЛІСОВЕЦЬ С. М.,
ШИПКО Д. О., ВАСИЛЕНКО В. М.

Київський національний університет технологій та дизайну

ВІДБИТТЯ УЛЬТРАЗВУКОВИХ ХВИЛЬ ВІД ДВОШАРОВОГО ПАКЕТУ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ЗІ ЩІЛЬНИМ ВЕРХНІМ ШАРОМ

Мета. Отримати та показати у загальному вигляді вираз для модуля комплексного коефіцієнта відбиття ультразвукових хвиль від двошарового пакету текстильних матеріалів зі щільним верхнім шаром. Зазначене необхідне для можливості безконтактного контролю таких матеріалів.

Методика. У роботі для аналізу процесу відбиття хвиль від контрольованого матеріалу використаний метод суперпозиції зондуючих коливань.

Результати. У загальному вигляді показано вираз для комплексного коефіцієнта відбиття ультразвукових хвиль від двошарового пакету текстильних матеріалів зі щільним верхнім шаром. Доведено, що, враховуючи повне згасання перевідбитих хвиль у шарі першого складового матеріалу, можна спростити основні вирази для комплексного коефіцієнта відбиття від текстильного пакету. Показано, що залежність зміни амплітуди відбитих ультразвукових хвиль для наведеного в роботі текстильного пакету від зміни товщин його шарів дуже мала. Зміну амплітуди відбитих хвиль для таких матеріалів, в основному, спричиняє щільніший верхній шар пакету.

Наукова новизна. Отримано залежності дійсної та уявної частини комплексного коефіцієнта відбиття ультразвукових хвиль від двошарового пакету текстильних матеріалів зі щільним верхнім шаром, які допоможуть аналітично визначати як зміну амплітуди хвиль, так і їхній фазовий зсув, що спричиняються взаємодією цих коливань з пакетом матеріалів.

Практична значимість. Запропоновано використовувати складові вирази для модуля комплексного коефіцієнта відбиття ультразвукових хвиль, що дасть можливість налаштовувати параметри безконтактних перетворювачів під різний двошаровий пакет текстильних матеріалів зі щільним поверхневим шаром. Для забезпечення можливості визначення малої зміни вимірюваної величини амплітуди відбитих ультразвукових хвиль від двошарового пакету матеріалів з верхнім щільним шаром, можна скористатися комутаційно-модуляційними приладами та перетворювачами. Це дасть можливість усунути похибки, які можуть бути пов'язані з неідентичністю вимірювальних каналів при визначенні малої зміни амплітуди відбитих ультразвукових хвиль.

Ключові слова: двошаровий пакет текстильних матеріалів, ультразвукові хвилі, модуль комплексного коефіцієнта відбиття хвиль, пори матеріалу, дефекти матеріалу.

Вступ. Сьогодні існує багато різноманітних технологічних об'єктів та виробів легкої промисловості, в основу яких можуть входити різні багатошарові матеріали. Одними із таких матеріалів є пакети з текстильними шарами в своїй структурі. До основних параметрів цих матеріалів можна віднести їх товщину та щільність, за умови виключення наявності дефектів у їхній структурі. У свою чергу, дефекти можуть призвести до різного ступеню неоднорідності пакету із різних текстильних матеріалів. Такі дефекти можуть впливати на їхню витривалість до зміни форми при навантаженнях, міцність матеріалу та ремонтпридатність виробу з багатошарових текстильних пакетів. Для вчасного виявлення прихованих дефектів необхідно застосовувати сучасні методи неруйнівного контролю [1-5] на всіх етапах життєвого циклу виробу.

Постановка завдання. Практична реалізація методу контролю двошарового пакету текстильних матеріалів в процесі його виробництва на наявність неоднорідностей в його

структурі, при нормальному падінні ультразвукової хвилі, може бути ускладнена з технічної точки зору. Тому покажемо можливість безконтактного ультразвукового контролю пакету з текстильними шарами в процесі його вироблення, якщо зважати на те, що це випадок при падінні хвилі під кутом до поверхні самого матеріалу. Під час падіння хвиля відбивається від матеріалу або проходить, в основному, крізь середовища складових текстильних шарів, а також середовища повітряних проміжків пор у цих шарах, так як більшість хвиль огинають нитки текстильного матеріалу [6-8]. Тому будемо розглядати цей процес як взаємодію ультразвукових коливань із газоподібними середовищами з волокнами текстилю, якщо взяти текстильні прошарки пакету, для яких виконується маловиражене співвідношення довжини зондуючої хвилі до розмірів пор між їх нитками або між їх міжволоконними відстанями.

Результати дослідження. Для можливості контролю текстильних стрічок, ниток з великою лінійною щільністю або двошарових пакетів текстильних матеріалів безконтактним методом необхідно вирішити задачу підвищення чутливості зміни амплітуди зондуючих хвиль до параметрів цих матеріалів. Під час взаємодії ультразвукових хвиль з двошаровим текстильним пакетом та з жорсткою відбиваючою поверхнею збільшується амплітуда відбитих ультразвукових хвиль. За наявності зміни товщини першого щільного шару пакету або дефекту в його структурі змінюється амплітуда відбитої ультразвукової хвилі від такого матеріалу. Ультразвукові перетворювачі потрібно налаштовувати так, щоб хвилі, які випромінюються ними та проходять крізь структуру текстильного матеріалу, були прийняті до іншого перетворювача коливань із більшою зміною своєї амплітуди.

Для контролю двошарового пакету текстильних матеріалів з порами або просто текстилю зі значними міжволоконними відстанями у своїй структурі, необхідно проаналізувати взаємодію ультразвукових хвиль з цим матеріалом, якщо враховувати його рух по жорсткій опорі або у спеціальному хвилеводі в процесі виробництва. Швидкість руху матеріалу по направляючій набагато менша за швидкість розповсюдження звуку у повітрі, тому її впливом на перевідбивання хвиль у структурі рухомого пакету можна знехтувати. Такий випадок, що представляє собою відбиття хвиль від матеріалу під час його руху, можна описати взаємодією наступних хвиль (див рис.1, для повного внутрішнього згасання перевідбитих хвиль у верхньому щільному шарі матеріалу) та зміною їхніх тисків відповідно так:

$$\begin{aligned} P_1 &= P_0 (-V_{\theta 12}); \\ P_2 &= P_0 \left(-W_{\theta 12} V_{\theta 23} W_{\theta 21} \cdot e^{2j K_2 h_2} \right); \\ P_3 &= P_0 \left(-W_{\theta 12} W_{\theta 23} V_{\theta 34} W_{\theta 32} W_{\theta 21} \cdot e^{2j (K_2 h_2 + K_3 h_3)} \right); \\ P_4 &= P_0 \left(-W_{\theta 12} W_{\theta 23} V_{\theta 34} V_{\theta 32} V_{\theta 34} W_{\theta 32} W_{\theta 21} \cdot e^{2j (K_2 h_2 + 2K_3 h_3)} \right); \\ P_5 &= P_0 \left(-W_{\theta 12} W_{\theta 23} V_{\theta 34} V_{\theta 32} V_{\theta 34} V_{\theta 32} V_{\theta 34} W_{\theta 32} W_{\theta 21} \cdot e^{2j (K_2 h_2 + 3K_3 h_3)} \right); \\ &\dots; \\ P &= \sum_{i=1}^m P_i, \end{aligned} \tag{1}$$

$$\begin{aligned}
 V_{\theta 1} = \frac{P}{P_0} = & -V_{\theta 12} - W_{\theta 12} V_{\theta 23} W_{\theta 21} \cdot e^{2j K_2 h_2} - W_{\theta 12} W_{\theta 23} V_{\theta 34} W_{\theta 32} W_{\theta 21} \times \\
 & \times e^{2j(K_2 h_2 + K_3 h_3)} - W_{\theta 12} W_{\theta 23} V_{\theta 34} V_{\theta 32} V_{\theta 34} W_{\theta 32} W_{\theta 21} \cdot e^{2j(K_2 h_2 + 2K_3 h_3)} - \\
 & - W_{\theta 12} W_{\theta 23} V_{\theta 34} V_{\theta 32} V_{\theta 34} V_{\theta 32} V_{\theta 34} W_{\theta 32} W_{\theta 21} \cdot e^{2j(K_2 h_2 + 3K_3 h_3)} - \dots
 \end{aligned} \quad (2)$$

де $V_{\theta 1}$ – комплексний коефіцієнт відбиття ультразвукових хвиль від пакету текстильних матеріалів з двома складовими шарами і середовища опори, по якій рухається пакет; P_0 – тиск у падаючій хвилі на поверхню контрольованого пакету; P – сумарний тиск у відбитій хвилі від контрольованих шарів пакету; $P_1, P_2, P_3, P_4, \dots, P_m$ – тиски у хвилях, що взаємодіють з текстильними шарами та з жорсткою опорою; m – кількість перевідбитих складових хвиль; $W_{\theta 12}, W_{\theta 21}, W_{\theta 23}, W_{\theta 32}, V_{\theta 12}, V_{\theta 23}, V_{\theta 32}, V_{\theta 34}$ – коефіцієнти часткового проходження та відбивання хвиль від відповідних середовищ; K_2, K_3 – хвильові числа першого та другого складових шарів пакету; h_2, h_3 – умовні товщини першого та другого складових шарів пакету для цього випадку.

Якщо представити залежність (2) через геометричну прогресію, то ми можемо тоді подати її так:

$$\begin{aligned}
 V_{\theta 1} = & -V_{\theta 12} - W_{\theta 12} V_{\theta 23} W_{\theta 21} \cdot e^{2j K_2 h_2} - W_{\theta 12} W_{\theta 23} V_{\theta 34} W_{\theta 32} W_{\theta 21} \times \\
 & \times e^{2j(K_2 h_2 + K_3 h_3)} \cdot \sum_{N=0}^{m-3} \left(V_{\theta 32} V_{\theta 34} \cdot e^{2j K_3 h_3} \right)^N.
 \end{aligned} \quad (3)$$

Враховуючи, що $-V_{\theta 12} = V_{\theta 21}$ та, прийнявши структуру тканин з порами за шари контрольованого пакету, вираз (3) можна показати ще як:

$$\begin{aligned}
 V_{\theta 1} = & V_{\theta 21} - W_{\theta 12} V_{\theta 23} W_{\theta 21} \cdot e^{2j K_2 d_{oy2} \frac{\pi}{4} \cos v_2} - W_{\theta 12} W_{\theta 23} V_{\theta 34} W_{\theta 32} W_{\theta 21} \times \\
 & \times e^{2j \left(K_2 d_{oy2} \frac{\pi}{4} \cos v_2 + K_3 d_{oy3} \frac{\pi}{4} \cos v_3 \right)} \cdot \sum_{N=0}^{m-3} \left(V_{\theta 32} V_{\theta 34} \cdot e^{2j K_3 d_{oy3} \frac{\pi}{4} \cos v_3} \right)^N,
 \end{aligned} \quad (4)$$

таку геометричну прогресію можна подати для подальших перетворень ще так:

$$\begin{aligned}
 V_{\theta 1} = & V_{\theta 21} - W_{\theta 12} V_{\theta 23} W_{\theta 21} \cdot e^{2j K_2 d_{oy2} \frac{\pi}{4} \cos v_2} - \\
 & - \frac{W_{\theta 12} W_{\theta 23} V_{\theta 34} W_{\theta 32} W_{\theta 21} \cdot e^{2j \left(K_2 d_{oy2} \frac{\pi}{4} \cos v_2 + K_3 d_{oy3} \frac{\pi}{4} \cos v_3 \right)}}{1 - V_{\theta 32} V_{\theta 34} \cdot e^{2j K_3 d_{oy3} \frac{\pi}{4} \cos v_3}},
 \end{aligned} \quad (5)$$

або

$$V_{\theta 1} = V_{\theta 21} - W_{\theta 12} V_{\theta 23} W_{\theta 21} \cdot e^{2j K_2 d_{oy2} \frac{\pi}{4} \cos v_2} - \left(\frac{1}{W_{\theta 12} W_{\theta 23} V_{\theta 34} W_{\theta 32} W_{\theta 21}} \times \right. \\ \left. \times e^{-2j \left(K_2 d_{oy2} \frac{\pi}{4} \cos v_2 + K_3 d_{oy3} \frac{\pi}{4} \cos v_3 \right)} - \frac{V_{\theta 32}}{W_{\theta 12} W_{\theta 23} W_{\theta 32} W_{\theta 21}} \times e^{-2j K_2 d_{oy2} \frac{\pi}{4} \cos v_2} \right)^{-1}.$$

Для визначення дійсної $ReV_{\theta 1}$ та уявної $ImV_{\theta 1}$ частини виразу (4) переписемо залежність (5) ще так:

$$V_{\theta 1} = \left(V_{\theta 21} - V_{\theta 21} V_{\theta 32} V_{\theta 34} \cdot e^{2j K_3 d_{oy3} \frac{\pi}{4} \cos v_3} - W_{\theta 12} V_{\theta 23} W_{\theta 21} \times \right. \\ \left. \times e^{2j K_2 d_{oy2} \frac{\pi}{4} \cos v_2} + W_{\theta 12} W_{\theta 21} V_{\theta 34} (V_{\theta 23} V_{\theta 32} - W_{\theta 23} W_{\theta 32}) \times \right. \\ \left. \times e^{2j \left(K_2 d_{oy2} \frac{\pi}{4} \cos v_2 + K_3 d_{oy3} \frac{\pi}{4} \cos v_3 \right)} \right) \cdot \left(1 - V_{\theta 32} V_{\theta 34} \cdot e^{2j K_3 d_{oy3} \frac{\pi}{4} \cos v_3} \right)^{-1}, \quad (6)$$

тоді, врахувавши (4) та (6), можна показати дійсну $ReV_{\theta 1}$ та уявну $ImV_{\theta 1}$ частини комплексного коефіцієнта відбиття від двошарового пакету текстильних матеріалів з верхнім щільним шаром як:

$$ReV_{\theta 1} = V_{\theta 21} \sum_{N=0}^{m-3} (V_{\theta 32} V_{\theta 34})^N \cdot \cos \left(2N K_3 d_{oy3} \frac{\pi}{4} \cos v_3 \right) - V_{\theta 21} V_{\theta 32} V_{\theta 34} \times \\ \times \sum_{N=0}^{m-3} (V_{\theta 32} V_{\theta 34})^N \cdot \cos \left((2N+2) K_3 d_{oy3} \frac{\pi}{4} \cos v_3 \right) - W_{\theta 12} V_{\theta 23} W_{\theta 21} \times \\ \times \sum_{N=0}^{m-3} (V_{\theta 32} V_{\theta 34})^N \cdot \cos \left(2K_2 d_{oy2} \frac{\pi}{4} \cos v_2 + 2N K_3 d_{oy3} \frac{\pi}{4} \cos v_3 \right) + \\ + W_{\theta 12} W_{\theta 21} V_{\theta 34} (V_{\theta 23} V_{\theta 32} - W_{\theta 23} W_{\theta 32}) \cdot \sum_{N=0}^{m-3} (V_{\theta 32} V_{\theta 34})^N \times \\ \times \cos \left(2K_2 d_{oy2} \frac{\pi}{4} \cos v_2 + (2N+2) K_3 d_{oy3} \frac{\pi}{4} \cos v_3 \right), \quad (7)$$

$$ImV_{\theta 1} = V_{\theta 21} \sum_{N=0}^{m-3} (V_{\theta 32} V_{\theta 34})^N \cdot \sin \left(2N K_3 d_{oy3} \frac{\pi}{4} \cos v_3 \right) - V_{\theta 21} V_{\theta 32} V_{\theta 34} \times \\ \times \sum_{N=0}^{m-3} (V_{\theta 32} V_{\theta 34})^N \cdot \sin \left((2N+2) K_3 d_{oy3} \frac{\pi}{4} \cos v_3 \right) - W_{\theta 12} V_{\theta 23} W_{\theta 21} \times \\ \times \sum_{N=0}^{m-3} (V_{\theta 32} V_{\theta 34})^N \cdot \sin \left(2K_2 d_{oy2} \frac{\pi}{4} \cos v_2 + 2N K_3 d_{oy3} \frac{\pi}{4} \cos v_3 \right) - W_{\theta 12} W_{\theta 21} V_{\theta 34} (V_{\theta 23} V_{\theta 32} - W_{\theta 23} W_{\theta 32}) \times \\ \times \sum_{N=0}^{m-3} (V_{\theta 32} V_{\theta 34})^N \cdot \sin \left(2K_2 d_{oy2} \frac{\pi}{4} \cos v_2 + (2N+2) K_3 d_{oy3} \frac{\pi}{4} \cos v_3 \right), \quad (8)$$

$$\begin{aligned} & \times \sum_{N=0}^{m-3} (V_{\theta 32} V_{\theta 34})^N \cdot \sin \left(2 K_2 d_{oy2} \frac{\pi}{4} \cos v_2 + 2N K_3 d_{oy3} \frac{\pi}{4} \cos v_3 \right) + \\ & + W_{\theta 12} W_{\theta 21} V_{\theta 34} (V_{\theta 23} V_{\theta 32} - W_{\theta 23} W_{\theta 32}) \cdot \sum_{N=0}^{m-3} (V_{\theta 32} V_{\theta 34})^N \times \\ & \times \sin \left(2 K_2 d_{oy2} \frac{\pi}{4} \cos v_2 + (2N+2) K_3 d_{oy3} \frac{\pi}{4} \cos v_3 \right), \end{aligned}$$

а сам модуль покажемо загальним його видом:

$$|V_{\theta 1}| = \sqrt{\operatorname{Re} V_{\theta 1}^2 + \operatorname{Im} V_{\theta 1}^2}. \quad (9)$$

Отримані вирази для модуля $|V_{\theta 1}|$, для комплексного коефіцієнту відбиття $V_{\theta 1}$ ультразвукових хвиль від двошарового пакету текстильних матеріалів та для його дійсної $\operatorname{Re} V_{\theta 1}$ та уявної $\operatorname{Im} V_{\theta 1}$ частин дадуть змогу аналітично визначати можливу зміну амплітуди відбитих зондуючих хвиль, а також їх фазовий зсув у порівнянні з падаючими коливаннями на контрольований матеріал.

За вимірними значеннями амплітуди відбитих хвиль від матеріалу, які пропорційні модулю комплексного коефіцієнту відбиття хвиль від двошарового пакету, можна робити висновок про наявність дефектів в його структурі при безконтактному контролі [9-11].

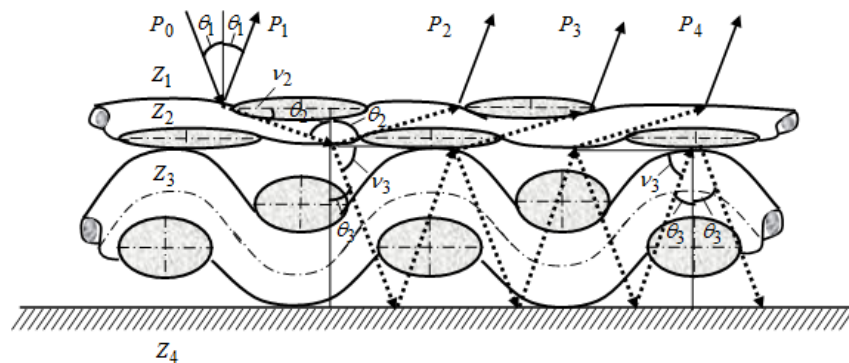


Рис. 1. Відбиття ультразвукових хвиль від двошарового пакету текстильних матеріалів з верхнім щільним шаром, який рухається по направляючій

На рис.2 розглянуто приклад поверхні для двошарового пакету, яка показує як змінюється модуль комплексного коефіцієнта відбиття від умовних товщин складових шарів пакету, якщо співвідношення акустичного опору Z_2 першого щільнішого шару до такого ж параметру Z_3 для другого текстильного шару, який опирається на жорстку опору, буде $Z_2 / Z_3 = 6,3$, а порівняно з повітрям $Z_2 / Z_1 \approx 2048$, де Z_1 – акустичний опір повітря.

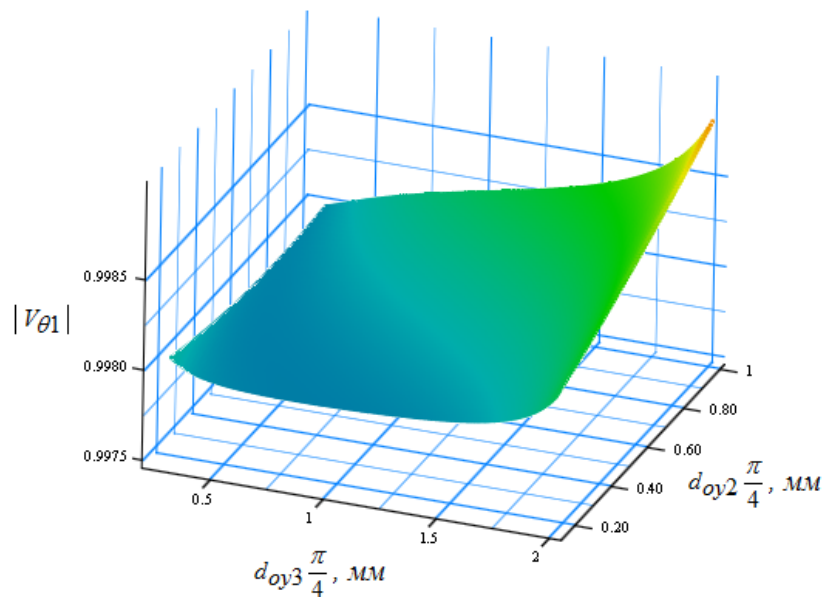


Рис. 2. Поверхня, що показує зміну модуля $|V_{\theta 1}|$, який пропорційний амплітуді відбитих ультразвукових хвиль, від умовної товщини $d_{oy2} \frac{\pi}{4}$ першого щільного шару матеріалу та від умовної товщини $d_{oy3} \frac{\pi}{4}$ другого його шару

З рис.2 можна побачити, що зміна амплітуди відбитих ультразвукових хвиль для наведеного двошарового пакету текстильних матеріалів зі зміною товщин його шарів дуже мала. Тому для забезпечення можливості визначення такої малої зміни вимірюваної величини можна скористатися комутаційно-модуляційними приладами та перетворювачами. Також слід звернути увагу на те, що зміну амплітуди відбитих хвиль для таких матеріалів, в основному, спричиняє щільніший верхній шар пакету.

Висновки. Якщо розглядати багатошарові текстильні пакети з наявними значними порами, то для пористих шарів таких матеріалів чутливість ультразвукових датчиків може бути малою. Тому можливий варіант використання комутаційно-модуляційних приладів та перетворювачів для безконтактного контролю двошарових пакетів текстильних матеріалів. Це може допомогти вирішити проблему чутливості амплітуди зондуючих хвиль до наявності дефекту, але при цьому додатково необхідно налаштовувати параметри частоти, потужності і навіть самої форми випромінюваних коливань. Проведений аналіз показав, що отримані вирази для ультразвукових хвиль, які відбиваються від двошарового пакету текстильних матеріалів зі щільним верхнім шаром, можна використати для створення нових методів та засобів безконтактного контролю однорідності матеріалів зі складною багатошаровою структурою. Зазначене дозволить реалізувати на практиці безконтактний оперативний контроль таких матеріалів у процесі їх виробництва.

Література

1. Костюков А.Ф. Модель регистрации признаков многослойной структуры с помощью акустических колебаний. А.Ф. Костюков. Вестник АГАУ. 2010. № 3. С. 94—98.

References

1. Kostukov, A.F. (2010). Model registracii priznakov mnogoslojnoj struktury s pomoshyu akusticheskikh kolebanij [The Registration Model of features of the multilayer structure using acoustic oscillations]. Vestnik AGAU. Bulletin of Altai State Agricultural University, 3, 94 — 98

2. Костюков А.Ф. Метод контроля технологических параметров сельскохозяйственных волокон с помощью ультразвука. А.Ф. Костюков. Вестник АГАУ. 2013. № 1. – С. 96–99.
3. Кандрин Ю.В. Скорость распространения ультразвуковых колебаний в волоконной среде. Ю.В. Кандрин, О.В. Цымбалист, Н.П. Воробьев. Вестник АГАУ. 2011. № 1. С. 95–98.
4. Ермолов И. Н. Методы и средства неразрушающего контроля качества. И.Н. Ермолов, Ю.Я. Останин. — М.: Высшая школа, 1988. 368 с.
5. Бреховских Л.М. Волны в слоистых средах. Л.М. Бреховских. М.: Наука, 1973. 343 с.
6. Здоренко В.Г. Дослідження проходження імпульсного ультразвукового сигналу крізь тканину при контролі поверхневої щільності. В.Г. Здоренко, С.В. Барилко. Вісник ХНУ. 2013. №3. С. 90—96.
7. Здоренко В.Г. Технологічний контроль текстильних матеріалів. В.Г. Здоренко, С.В. Барилко, О.В. Барилко. Метрологія та прилади. 2017. №5. С. 86 – 88.
8. Здоренко В.Г. Технологічний контроль пористості текстильних матеріалів із складною структурою. В.Г. Здоренко, С.В. Барилко, А.С. Дяченко. Вісник Херсонського національного технічного університету. 2017. №1. С. 105 – 112.
9. Здоренко В.Г. Дослідження застосування ультразвукового безконтактного методу визначення технологічних параметрів для процесу ткацтва. В.Г. Здоренко, С.В. Барилко, О.В. Барилко, С.М. Лісовець, Т.В. Лебедюк. Вісник ХНТУ. 2018. №4(67). С. 152 – 161.
10. Здоренко В.Г. Контроль технологічних параметрів тканини за допомогою ультразвукового адаптивного пристрою. В.Г. Здоренко, С.В. Барилко. Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2013. №3. С. 7–11.
11. Здоренко В.Г. Дослідження згасання ультразвукових хвиль при [In Russian].
2. Kostukov, A.F. (2013). Metod kontrolya tehnologicheskikh parametrov selskohozyajstvennyh volokon s pomoshyu ultrazvuka [The method of monitoring the technological parameters of agricultural fibers using ultrasound]. Vestnik AGAU. - Bulletin of Altai State Agricultural University, 1, 96 - 99 [In Russian].
3. Kandrin, Yu.V., Tsymbalist O.V., & Vorobiev N.P. (2011). Skorost rasprostraneniya ultrazvukovyh kolebanij v volokonnoj srede [The propagation velocity of ultrasonic vibrations in a fiber medium]. Vestnik AGAU. Bulletin of Altai State Agricultural University, 1, 95 - 98 [In Russian].
4. Ermolov, I. N., & Ostanin, Yu. A. (1988). Metody i sredstva nerazrushayushego kontrolya kachestva [Methods and tools for not eroding quality control]. Moscow: Vysshaya shkola. 368 p. [In Russian].
5. Brekhovskikh, L.M. (1973). Volny v sloistyh sredah [The waves in layered medium]. Moscow: Nauka. 343 p. [In Russian].
6. Zdorenko, V.G., & Barylko, S.V. (2013). Doslidzhennya prohodzhennya impulsnogo ultrazvukovogo signalu kriz tkaninu pri kontroli poverhnevoy shilnosti [Research of ultrasonic passing of pulsed signal through the fabric during the control of basis weight]. Visnik KhNU. Herald of Khmelnytskyi national university, 3, 90-96 pp. [In Ukrainian].
7. Zdorenko, V.G., & Barylko, S.V. (2017). Tehnologichnij kontrol tekstilnih materialiv [Technological control of textile materials]. Metrologiya ta priladi. Metrology and instruments, 5, 86 - 88 [In Ukrainian].
8. Zdorenko, V.G., Barylko, S.V., & Dyachenko A.S. (2017). Tehnologichnij kontrol poristosti tekstilnih materialiv iz skladnoyu strukturoyu [Technological control of porosity of textile materials with complex structure]. Visnik KhNTU. Visnyk of Kherson National Technical University, 1, 105 – 112 pp. [In Ukrainian].
9. Zdorenko, V.G., Barylko, O.V., Barylko, S.V., Lisovets S.N., & Lebedyuk T.V. (2018). Doslidzhennya zastosuvannya ultrazvukovogo bezkontaktnogo metodu viznachennya tehnologichnih parametrov dlya procesu tkactva [Investigation of the use of ultrasonic non-contact method for determining technological parameters for the weaving process]. Visnik KhNTU. Visnyk of Kherson National Technical University, 4, 152 – 161 pp. [In Ukrainian].
10. Zdorenko, V.G., & Barylko, S.V. (2013). Kontrol tehnologichnih parametrov tkanini za dopomogoyu ultrazvukovogo adaptivnogo pristroyu [Control of the technological parameters of the fabric with the ultrasonic adaptive device]. Visnik Vinnickogo politechnichnogo institutu. — Visnyk of Vinnytsia Politechnical Institute, 3, 7-11 pp. [In Ukrainian].
11. Zdorenko, V.G., Barylko, S.V., & Kiselov V.B. (2014).

безконтактному контролю товщини полімерного покриття текстильних матеріалів. В.Г. Здоренко, С.В. Барилко, В.Б. Кисельов. Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. – 2014. №4(78). С. 169 – 177.

Doslidzhennya zgasannya ultrazvukovih hvil pri bezkontaktному kontroli tovshini polimernogo pokryttya tekstilnih materialiv [Investigation of the attenuation of ultrasonic waves in contactless control of the thickness of the polymer coating of textile materials]. Visnik KNUTD. Bulletin of the Kiev National University of Technology and Design, 4, 169-177pp. [In Ukrainian].

BARYLKO S.

poo4ta@bigmir.net

ORCID: 0000-0002-2785-5784

Kyiv National University of Technologies and Design

LISOVETS S.

ser.lis.290171@gmail.com

ORCID: 0000-0003-3643-046X

Kyiv National University of Technologies and Design

ZDORENKO V.

alzd123@meta.ua

ORCID: 0000-0001-6508-4290

Kyiv National University of Technologies and Design

SHIPKO D.

kaks@kmutd.com.ua

Kyiv National University of Technologies and Design

VASYLENKO V.

ORCID: 0000-0003-3482-2750

Scopus ID: 57210801224

[https://www.scopus.com/authid/detail.uri?author](https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57210801224)

Id=57210801224

Kyiv National University of Technologies and Design

ОТРАЖЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ВОЛН ОТ ДВУХСЛОЙНОГО ПАКЕТА ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ПЛОТНЫМ ВЕРХНИМ СЛОЕМ ЗДОРЕНКО В. Г., БАРЫЛКО С. В. ЛИСОВЕЦ С. Н., ШИПКО Д. А., ВАСИЛЕНКО В. Н.

Київський національний університет технологій і дизайну

Цель. Получить и показать в общем виде выражение для модуля комплексного коэффициента отражения ультразвуковых волн от двухслойного пакета текстильных материалов с плотным верхним слоем. Указанное необходимо для возможности бесконтактного контроля таких материалов.

Методика. В работе для анализа процесса отражения волн от контролируемого материала использован метод суперпозиции зондирующих колебаний.

Результаты. В общем виде показано выражение для комплексного коэффициента отражения ультразвуковых волн от двухслойного пакета текстильных материалов с плотным верхним слоем. Доказано, что, учитывая полное затухание переотраженных волн в слое первого составного материала, можно упростить основные выражения для комплексного коэффициента отражения от текстильного пакета. Показано, что зависимость изменения амплитуды отраженных ультразвуковых волн для приведенного в работе текстильного пакета от изменения толщины его слоев очень мала. Изменение амплитуды отраженных волн для таких материалов, в основном, вызывает плотный верхний слой пакета.

Научная новизна. Получены зависимости действительной и мнимой части комплексного коэффициента отражения ультразвуковых волн от двухслойного пакета текстильных материалов с плотным верхним слоем, которые помогут аналитически определять как изменение амплитуды волн, так и их фазовый сдвиг, вызванных взаимодействием этих колебаний с пакетом материалов.

Практическая значимость. Предложено использовать составляющие выражения для модуля комплексного коэффициента отражения ультразвуковых волн, что позволит настраивать параметры бесконтактных преобразователей под разный двухслойный пакет текстильных материалов с плотным поверхностным слоем. Для обеспечения возможности определения малого изменения измеряемой величины амплитуды отраженных ультразвуковых волн от двухслойного пакета материалов с верхним плотным слоем, можно воспользоваться коммутационно-

модуляційними приборами и преобразователями. Это позволит устранить погрешности, которые могут быть связаны с неидентичностью измерительных каналов при определении малого изменения амплитуды отраженных ультразвуковых волн.

Ключевые слова: двухслойный пакет текстильных материалов, ультразвуковые волны, модуль комплексного коэффициента отражения волн, поры материала, дефекты материала.

REFLECTIONS OF ULTRASONIC WAVES FROM A TWO-LAYER PACKAGE OF TEXTILE MATERIALS WITH A DENSE FIRST LAYER

ZDORENKO V. G., BARYLKO S. V., LISOVETS S. N., SHIPKO D. A., VASYLENKO V. N.

Kyiv National University of Technologies & Design

Purpose. Obtain and show in general terms the expression for the module of the complex reflection coefficient of ultrasonic waves from a two-layer package of textile materials with a dense first layer. The above is necessary for the possibility of research of contactless control of such materials.

Methodology. To analyze the process of reflection of waves from a controlled material, the method of superposition of sounding vibrations is used.

Findings. In general terms, the expression for the complex reflection coefficient of ultrasonic waves from a two-layer package of textile materials with a dense first layer is shown. It is proved that taking into account the complete attenuation of the reflected waves in the layer of the first material, it is possible to simplify the basic expressions for the complex reflection coefficient from a package of textile materials. It is shown that the change in the amplitude of the reflected ultrasonic waves for the material presented in the work with a change in the thickness of its layers is very small. The change in the amplitude of the reflected waves for such materials mainly causes a dense first layer of package of textile materials.

Originality. The dependences of the real and imaginary parts of the complex reflection coefficient of ultrasonic waves on a package of textile materials with a dense first layer are obtained, which will help analytically determine both the change in the amplitude of the waves and their phase shift caused by the interaction of these vibrations with the material.

Practical value. It is proposed to use the component expressions for the module of the complex reflection coefficient of ultrasonic waves, which will allow you to adjust the parameters of the contactless transducers for different two-layer package of textile materials with a dense surface layer. To ensure the possibility of determining a small change in the measured magnitude of the amplitude of the reflected ultrasonic waves from the two-layer package of textile materials with the first dense layer, you can use switching and modulation devices and transducers. This will eliminate the errors that may be associated with the non-identity of the measuring channels when determining a small change in the amplitude of the reflected ultrasonic waves.

Keywords: two-layer package of textile materials, ultrasonic waves, module of the complex coefficient of reflection of waves, pores of the material, defects of the material.

УДК 677.074:
{620.17:658.662}

СЛІЗКОВ А. М., КОЛЕСНИК О. В.

Київський національний університет технологій та дизайну

АНАЛІЗ МЕТОДІВ МОДИФІКАЦІЇ ПОЛІМЕРНИХ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

Мета. Аналіз методів модифікації полімерних текстильних матеріалів для визначення перспективних напрямків отримання нових матеріалів із заданими властивостями.

Методика. В статті використані аналітичні методи дослідження наукової проблеми отримання нових полімерних текстильних матеріалів із заданими властивостями різними видами та способами їх хімічної та фізичної модифікації.

Результати. На сьогодні основними напрямками оновлення та розширення асортименту полімерних текстильних матеріалів є не тільки отримання нових видів текстильних волокон та ниток, а й їх модифікація різними способами та методами. У представленій статті проаналізовані різновиди модифікації полімерних текстильних матеріалів та визначені перспективні способи їх модифікації для отримання нових матеріалів із заданими властивостями. Одними з перспективних способів модифікації полімерних текстильних матеріалів є фізичні, а з них плазмові технології обробки волокон та ниток. Серед плазмових технологій найбільш ефективним є спосіб застосування низькотемпературної плазми, що дозволяє досягти прогнозованої зміни властивостей волокон при незмінній хімічній будові полімеру.

Наукова новизна. Проведено аналіз способів модифікації текстильних матеріалів та визначенні особливості зміни їх властивостей від дії на них різних хімічних та фізичних чинників. Проаналізовані основні фактори впливу плазмових технологій на зміну структури та властивостей полімерних текстильних волокнистих матеріалів та зазначені найбільш перспективні з них.

Практична цінність. Визначено, що найбільш ефективними, економічними та екологічними способами фізичної модифікації полімерів ПТМ є електрофізичні. Способи електрофізичної модифікації полімерів текстильних ниток та волокон дозволяють надати їх специфічних заданих властивостей. Низькотемпературна плазмова обробка полімерів не впливає на їх надмолекулярну будову і не погіршує інші їх споживчі властивості у може здійснюватися в залежності від параметрів плазми та особливостей природи полімеру волокон текстильного матеріалу.

Ключові слова: модифікація; властивості матеріалів; полімерний текстильний матеріал; надмолекулярна структура полімеру; плазмова обробка.

Вступ. Видозміну текстильних матеріалів із набуттям ними нових властивостей, називають модифікацією. На сьогодні модифікація полімерних текстильних матеріалів (надалі – ПТМ) і отримання на їх базі нових матеріалів із заданими властивостями, є одним з актуальних напрямків.

При модифікації полімерів ПТМ необхідно зберегти їх корисні властивості, одночасно надаючи нові або усуваючи небажані. Модифікація ПТМ дозволяє направлено регулювати структуру полімерів і усувати властиві їм недоліки, наприклад, підвищити міцність та ін. Відомо, що для модифікації ПТМ застосовують два її види: хімічну та фізичну.

Хімічна модифікація супроводжується зміною хімічного складу і молекулярної маси полімеру волокон. Також при хімічній модифікації здійснюється введення на стадії синтезу невеликої кількості речовини, які вступають з основним полімером ПТМ в сополімеризацію або сополіконденсацію. Цей вид модифікації значно допомагає розширити асортимент і сферу застосування існуючих ПТМ, що в багатьох випадках простіше і економічно доцільніше, ніж синтез нових полімерів.

Фізична модифікація впливає на зміну надмолекулярної структури полімеру ПТМ, а його хімічний склад і молекулярна будова залишаються сталими. При цьому виді модифікації полімер ПТМ залишився тим же, але він має дещо інші властивості, що визначаються його надмолекулярною будовою [1-5].

Постановка завдання. Для досягнення поставленої в статті мети необхідно провести аналіз існуючих видів модифікації полімерних текстильних матеріалів та визначити особливості їх впливу на формування структури та властивостей цих матеріалів. Слід визначити найбільш перспективні технології фізичної модифікації полімерів, які не погіршують структуру та споживчі властивості полімерних текстильних матеріалів. Визначити особливості та обґрунтувати можливість використання плазмової обробки для отримання нових матеріалів із заданими властивостями.

Результати дослідження. При хімічній модифікації ПТМ змінюється хімічний склад полімеру реагентами, що замінюють реакційноздатні групи основного полімеру. Це призводить до набуття зміненим полімером ПТМ нових бажаних властивостей (термостійкості, стійкості до дії лугів, кислот, гігроскопічності тощо).

До хімічних способів та методів модифікації ПТМ відносять наступні: синтез волокнуотворюючих сополімерів; синтез привитих сополімерів; «зшивання»; хімічне перетворення полімерів та ін.

Синтез волокнуотворюючого сополімеру здійснюється на етапі приготування прядильного розчину полімеру та його формування, при цьому порушується будова макромолекул полімеру завдяки введенню в його структуру блок-сополімерів з новими властивостями. Метод синтезу привитих сополімерів полягає у прививанні до реакційноздатних груп основного полімеру ділянок сополімеру, який надає йому певних заданих властивостей. Метод «зшивання» полягає в утворенні між макромолекулами або їх ділянками певних хімічних зв'язків при обробці основного полімеру різними поліфункціональними речовинами. Хімічне перетворення полімеру полягає у обробці текстильних ниток або волокон спеціальними реагентами, які здатні замінювати або змінювати реакційноздатні групи основного полімеру.

Різні методи та способи хімічної модифікації полімерів ПТМ використовують різноманітні хімічні речовини та реагенти, що значно підвищує витрати на їх нейтралізацію та утилізацію. Вони також можуть призводити до забруднення навколишнього середовища та погіршення його екологічного стану.

На сьогодні значний інтерес при облагороджуванні матеріалів з натуральних волокон представляє біохімічна модифікація. З урахуванням сировинних проблем, підвищення вартості енергоносіїв, посилення вимог до екологічної чистоти продукції, зростає увага до реалізації потенціалу ферментативного каталізу технологічних процесів [1-5].

Фізична модифікація полімерів здійснюється у результаті дії на полімери ПТМ різних механічних, електричних, магнітних силових полів, або в результаті термічних впливів. Перспективним способом є синтез та одночасна модифікація полімерів за допомогою ударних впливів із зсувом. При малих значеннях температур синтезу полімерів, які близькі до кімнатної, отримують полімери з високою густиною. Також одним із цікавих способів фізичної модифікації полімерів є їх обробка під тиском. При використанні цього способу

відбувається зменшення вільного об'єму полімеру, що дозволяє утворити стійкі фізичні зв'язки, а також можливі руйнування старих і утворення нових хімічних зв'язків [6].

Перспективним способом фізичної модифікації є їх формування із накладенням вібрації, що призводить до зменшення обсягу і кількості мікропорожнин, а також при цьому знижуються внутрішні механічні пошкодження полімеру. Поряд із цим поки не встановлено, при яких значеннях амплітуди, частоти і температури досягається найбільший ефект впливу вібрацій. Вплив ультразвукових хвиль на полімери ПТМ призводить до розриву деяких їх хімічних зв'язків. Орієнтація макромолекул полімеру має суттєвий вплив на дію електричних і магнітних полів і, відповідно, на формування властивостей полімерів [7-10].

Одним з найбільш ефективних та економічними способів фізичної модифікації полімерів ПТМ є електрофізичні. Ці способи модифікації ПТМ також є найбільш екологічними [11-13]. До електрофізичних способів відносять способи зміни властивостей полімерів ПТМ під впливом наступних чинників:

- електричного струму та його розрядів;
- електромагнітного поля;
- електронного або оптичного випромінювання;
- плазмового струменя;
- високоенергетичних імпульсів та ін. [13-15].

Особливістю зазначених вище методів модифікації є використання електричної енергії безпосередньо для технологічних цілей без проміжного перетворення її в інші види енергії. Використання електричної енергії при цьому здійснюється безпосередньо в робочій зоні через хімічні, теплові та механічні дії.

Основними технологічними відмінностями зазначених способів модифікації полімерів ПТМ є наступні [11, 13-16]:

- здійснення обробки різних полімерів з будь-якими фізико-механічними властивостями, які проводять або не проводять електричний струм;
- інструментом дії на полімери є сформований відповідним чином потік електронів або іонів;
- суттєво менша, порівняно з хімічними методами, залежність основних технологічних показників процесів від фізико-хімічних властивостей полімерів;
- механізація і автоматизація основних технологічних і допоміжних переходів з можливістю застосування робототехнічних засобів і комплексної автоматизації процесів.

Одним з методів підвищення стійкості ПТМ з натуральних волокон (особливо вовни) до атмосферних змін є їх сушка. Якість обробки ПТМ істотно залежить від правильності проведення попередніх процесів, що супроводжуються промиванням, сушінням і зволоженням.

На сьогодні для видалення вологи з вовни після її промивання можливе використання іонізуючого опромінення та опромінення у полі струмів високої та надвисокої частоти. Такі способи сушіння матеріалу дозволяють в декілька раз зменшити час її висушування.

Для модифікації деяких натуральних полімерів ПТМ використовувалися потужні нестационарні струми до декількох десятків і навіть сотень кілоампер при відповідних напруженнях в десятки кіловольт. Застосовуючи методи магнітної гідродинаміки, легко здійснити і початковий поділ компонент іонізованої середовища за ступенями полімеризації.

Складнощі застосування цього способу модифікації полягають у одночасному утворенні (при використанні потужних імпульсних струмів) великої кількості зруйнованих полімерних ланок та низькомолекулярних фракцій полімеру, що погіршує його фізико-механічні властивості. Тому при модифікації полімерів ПТМ прискореними електронами, гамма-променями і потужними нестандартними електричними струмами досягається підвищення їх стійкості до атмосферної дії за рахунок зміцнення, але при цьому порушується їх структура.

Так дослідження впливу гамма випромінювання на полімери поліамідних ниток в повітрі показали, що ця дія призводить до екстремальних змін їх структури й міцності та термомеханічних характеристик [12-15].

Радіаційне опромінення полімерів ПТМ дозволяє підвищити їх зносостійкість, міцність, стійкість до старіння, теплостійкість, а також стійкість до атмосферних і біологічних змін, однак при цьому також відбувається зміна їх структури.

У ході досліджень інтенсивних способів підготовки і вибілювання бавовняних, лляних та змішаних бавовняних з еластаном тканин із застосуванням ультрафіолетового (надалі – УФ) випромінювання [14-16] визначено, що при мінімальній відстані від джерела опромінення вологість тканини знижується з 100% до 50% вже за 15 с обробки. Так як процес вибілювання тканин вимагає підтримки її вологості на досить високому рівні, то виникає необхідність організації процесу УФ обробки циклами, тобто шляхом чергування просочення тканини вибілювальним розчином і короткочасною дією УФ опромінювання. Визначено, що є можливість надання бавовняним і змішаним бавовно-еластановим тканинам (55% бавовни і 45% еластану) покращених гігроскопічних властивостей в умовах короткочасної циклічної УФ обробки.

Також визначено, що УФ опромінення дозволяє досягти істотного підвищення стійкості ПТМ до атмосферних впливів, поліпшення їх адгезійних властивостей і зносостійкості. Однак поряд із зазначеним встановлено, що як і радіаційна обробка - УФ-опромінення значно впливає на будову полімерів ПТМ.

Існують також технології обробки ПТМ з використанням високо- і надвисокочастотного нагріву із застосуванням інфрачервоної техніки імпульсних електричних розрядів в рідині [17, 18].

Одним з напрямків розвитку фізичної модифікації ПТМ є фотохімічна активація деяких технологічних процесів. Так використання надвисокочастотного (мікрохвильового) випромінювання дозволяє інтенсифікувати деякі способи фарбування бавовняних тканин активними барвниками, які передбачають одностадійне здійснення процесів сушіння ПТМ та закріплення барвників [19, 20].

Зазначені вище способи електрофізичної модифікації полімерів ПТМ дозволяють досягти підвищення їх стійкості до біологічних і атмосферних впливів, але їх загальним недоліком є зміна надмолекулярної будови полімерів, що призводить до деякої зміни їх фізико-механічних властивостей.

На сьогодні одними із перспективних способів фізичної модифікації полімерів ПТМ є застосування низькотемпературної плазми. За допомогою такої обробки можна:

- надати поверхні ПТМ необхідних адгезійних властивостей;
- поліпшити технологічні і споживчі властивості ПТМ;
- видалити з ПТМ органічні сполуки;

- провести травлення ПТМ;
- поліпшити механічні властивості ПТМ.

Плазмова обробка ПТМ включає в себе низку процесів, що призводять до зміни їх властивостей і структури поверхневого шару волокон, а також до утворення газоподібних продуктів з подальшим зменшенням його маси. В залежності від параметрів плазми, природи полімеру ПТМ можна змінювати фізико-механічні властивості ПТМ в заданому напрямку. Також плазмова обробка полімерів ПТМ не впливає на їх надмолекулярну будову і не погіршує інші їх властивості [21, 22].

Висновки. Проаналізовано хімічні та фізичні методи модифікації полімерів ПТМ та визначено, що більш практичними та екологічними є фізичні. Найбільш ефективними та економічно доцільними способами фізичної модифікації полімерів ПТМ є електрофізичні. Способи електрофізичної модифікації полімерів ПТМ дозволяють досягти підвищення їх стійкості до біологічних і атмосферних впливів, але їх загальним недоліком є зміна надмолекулярної будови волокноутворюючого полімеру, що призводить до деякої зміни їх фізико-механічних властивостей.

Одними із перспективних способів електрофізичної модифікації полімерів ПТМ є застосування низькотемпературної плазми. Зміна фізико-механічних властивостей ПТМ в заданому напрямку може здійснюватися в залежності від параметрів плазми та особливостей природи полімеру ПТМ. При цьому низькотемпературна плазмова обробка полімерів ПТМ не впливає на їх надмолекулярну будову і не погіршує інші їх споживчі властивості.

Література

1. Назаров В. Г. Поверхностная модификация полимеров. М.: МГУП, 2008. – 474 с.
2. Зеленов Ю. В. Прогнозирование изменения физических свойств полимерных материалов при разных способах их модификации. Ю. В. Зеленов, В. И. Хромов. Пластические массы. – 2002. - № 11. – С. 13 – 17.
3. Cardone F. Influence of polymer modification on asphalt binder dynamic and steady flow viscosities. F. Cardone, G. Ferrotti, F. Frigio. Construction and Building Materials. – 2014. – Vol. 71. – P. 435 – 443.
4. Карамурзов Б. С. Термическая модификация и морфология кристаллизующихся полимеров. Б. С. Карамурзов, Е. М. Жазаева. Известия КБГУ. – 2014. – Т. IV, № 4. – С. 93 – 95.
5. Su G. M. Polymer side chain modification alters separation in ferroelectric-semiconductor polymer blends for organic memory. G. M. Su, E. Lim, A. R. Jacobs. ACS Macro Letters. – 2014. – Vol. 3, № 12. P. 1244 – 1248.

References

1. Nazarov, V.G. (2008). Poverkhnostnaya modifikatsiya polimerov [Surface modification of polymers]. Moscow: MGUP [in Russian].
2. Zelenev, Yu.V., Khromov, V.I. (2002). Prognozirovanie izmeneniya fizicheskikh svoystv polimernykh materialov pri raznykh sposobakh ikh modifikatsii [Prediction of changes in the physical properties of polymeric materials in different ways of modifying them] *Plasticheskie massy – Plastics, Vol. 11, 13 – 17* [in Russian].
3. Cardone F. Influence of polymer modification on asphalt binder dynamic and steady flow viscosities. F. Cardone, G. Ferrotti, F. Frigio. Construction and Building Materials. – 2014. – Vol. 71. – P. 435 – 443.
4. Karamurзов, B.S., Zhazaeva, E.M. (2014). Termicheskaya modifikatsiya i morfologiya kristallizuyushchikhsya polimerov [Thermal modification and morphology of crystallizing polymers]. *Izvestiya KBGU - KBGU News, Vol. IV, 4, 93 – 95* [in Russian].
5. Su G. M. Polymer side chain modification alters separation in ferroelectric-semiconductor polymer blends for organic memory. G. M. Su, E. Lim, A. R. Jacobs. ACS Macro Letters. 2014. Vol. 3, № 12. P. 1244 – 1248.
6. Stadnik, A.D., Moroz, I.A. (2015). Struktura i svoystva polimernykh kompozitov i nanokompozitov, podvergnutykh termomagnitnoy obrabotke [Structure and properties of

6. Стадник А. Д. Структура и свойства полимерных композитов и нанокомпозитов, подвергнутых термомагнитной обработке. А. Д. Стадник, И. А. Мороз. Журнал нано- та електронної фізики. – 2015. – Т. 7, № 3. – С. 03046 – 03050.
7. Szajnar J. Influence of electromagnetic field on pure metals and alloys structure. J. Szajnar, M. Stawarz, T. Wrobel. Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering. – 2009. – Vol. 34, № 1. – P. 95 – 102.
8. Віленський В. О. Вплив постійного магнітного поля на структуру та властивості композитів на основі епоксидного полімеру та оксидів металів (Fe₂O₃, Al₂O₃). В. О. Віленський, В. Л. Демченко. Журнал фізичних досліджень. – 2010. – 14, № 1. – С. 1401 – 1406.
9. Демченко В. Л. Мікрогетерогенна структура та властивості композитів на основі епоксидного полімеру та одного з оксидів металів (Al₂O₃, Fe₂O₃), сформованих у постійному магнітному полі. В. Л. Демченко, В. І. Унрод, С. П. Бененко. Вісник ЧДТУ. – 2010. – № 2. – С. 147 – 151.
10. Влияние магнитного поля на прочностные свойства изделий из полиолефинов. С. М. Алиева, М. С. Акутин [и др.]. Тр. Моск. Химико-технол. Ин-та им. Д. И. Менделеева. – 1975. – Вып. 86. – С. 71 – 91.
11. Stabik J. Magnetic properties of polymer matrix composites filled with ferrite powders. J. Stabik, A. Chrobak, G. Haneczok, A. Dybowska. Archives of Materials Science and Engineering. 2011. Vol. 48. – P. 97 – 102.
12. Рамазанов М. А. Влияние постоянного магнитного поля на прочностные, диэлектрические и магнитные свойства композиций на основе полимеров и ферромагнетиков. М. А. Рамазанов, С. Дж. Керимли, Р. З. Садыхов. Пласт. массы. 2005. № 10. С. 5 – 7.
13. Тонкопієва Л. С. Структурні перетворення полімерних систем при відпаленні в електричному полі. Л. С. Тонкопієва, В. Г. Сиромятнікова. Полімер. журн. 2005. 27, № 4. С. 249 – 254.
14. Овсянкін В. О. Дослідження теплофізичних та діелектричних polymer composites and nanocomposites subjected to thermomagnetic processing]. Zhurnal nano- ta elektronnoї fiziki - Journal of Nanotechnology and Electronic Physics. - 2015. - Vol. 7, No. 3. - P. 03046 – 03050 [in Russian].
7. Szajnar J. Influence of electromagnetic field on pure metals and alloys structure. J. Szajnar, M. Stawarz, T. Wrobel // Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering. 2009. Vol. 34, № 1. P. 95 – 102.
8. Vilenskyi, V.O., Demchenko, V.L. (2010). Vplyv postoiinoho mahnitnoho polia na strukturu ta vlastyvoli kompozytiv na osnovi epoksyidnoho polimeru ta oksydiv metaliv (Fe₂O₃, Al₂O₃) [The influence of a permanent magnetic field on the structure and properties of composites based on epoxy polymer and metal oxides (Fe₂O₃, Al₂O₃)]. Zhurnal fizychnykh doslidzhen - Journal of Physical Studies. Vol. 14, 1, 1401 – 1406 [in Ukraine].
9. Demchenko, V.L., Unrod, V.I., Benenko, S.P. (2010). Mikroheterohenna struktura ta vlastyvoli kompozytiv na osnovi epoksyidnoho polimeru ta odnogo z oksydiv metaliv (Al₂O₃, Fe₂O₃), sformovanykh u postoiinomu mahnitnomu poli [The microheterogenic structure and properties of composites based on epoxy polymer and one of the metal oxides (Al₂O₃, Fe₂O₃) formed in a permanent magnetic field]. Visnyk ChDTU – ChTTU Bulletin, Vol. 2. 147 – 151 [in Ukraine].
10. Alieva, S.M., Akutin, M.S. [i dr.] (1975). Vliyanie magnitnoho polya na prochnostnye svoystva izdeliy iz poliiolefinov [Influence of the magnetic field on the strength properties of polyolefin products]. Tr. Mosk. Khimiko-tekhnol. In-ta im. D. I. Mendeleeva - Trudy Inst. Mosk. Chemical Technology. Their inst. DI Mendeleev, Vol. 86. 71 – 91 [in Russian].
11. Stabik J. Magnetic properties of polymer matrix composites filled with ferrite powders. J. Stabik, A. Chrobak, G. Haneczok, A. Dybowska. Archives of Materials Science and Engineering. – 2011. – Vol. 48. – P. 97 – 102.
12. Ramazanov, M.A., Kerimli, S.Dzh., Sadykhov, R.Z. (2005). Vliyanie postoyannogo magnitnoho polya na prochnosnye, dielektricheskie i magnitnye svoystva kompozitsiy na osnove polimerov i ferromagnetikov [Influence of a constant magnetic field on the strength, dielectric and magnetic properties of compositions based on polymers and ferromagnets]. Plast. massy – Plast. the masses, Vol. 10, 5 – 7 [in Russian].
13. Tonkopiieva, L.S., Syromiatnikova, V.H. (2005). Strukturni peretvorennia polimernykh system pry vidpalenni v elektrychnomu poli [Structural transformations of polymeric systems during annealing in an electric field]. Polimer. zhurn – Polymer Vol. 27, 4, 249 – 254 [in Ukraine].
14. Ovsiankina, V.O. Vilenskyi, V.O., Kercha Yu.Yu. (2003). Doslidzhennia teplofizychnykh ta dielektrychnykh vlastyvoitei sumishei «umovno sumisnykh» poliuretanu ta ABTs [Investigation of thermophysical and dielectric properties of mixtures of "conditionally compatible"

- властивостей сумішей «умовно сумісних» поліуретану та АБЦ. В. О. Овсянкіна, В. О. Віленський, Ю. Ю. Керча. Доп. НАН України. 2003. № 6. С. 147 – 151.
15. Виленский В. А. Постоянные магнитные и электрические поля как факторы влияния на фазовые процессы в гетерогенных полимерных системах. В. А. Виленский. Фазовые процессы в гетерогенных полимерных системах. К.: Наук. думка. – 2012. – 430 с.
16. Conditions for similitude between the fluid velocity and electric field in electroosmotic flow / E. B. Cummings, S. K. Griffiths, R. H. Nilson, P. H. Paul. Anal. Chem. 2000. 72, 11. P. 2526 – 2532.
17. Віленський В. О. Дослідження композитів епоксиполімероксид металу, модифікованих постійними магнітними чи електричними полями В. О. Віленський, В. Л. Демченко, Ю. Ю Керча. Полім. журнал. 2010. Т. 32, № 4. С. 321 – 327.
18. Блайт Э. Р. Электрические свойства полимеров. Э. Р. Блайт, Д. Блур. М.: Физматлит, 2008. – 376 с.
19. Бородин Ю. В. Исследование наноконпозиционной структуры материалов рентгенографическим методом. Ю. В.Бородин, Ф. Мышкин, В. А. Хан. КубГАУ. 2011. № 72, 8. С. 1 – 7.
20. Дослідження впливу електричного поля при формуванні при формуванні структури на електропровідність металонаповнених полімерних композицій. В. А. Мащенко, Б. С. Колупаєв, М. А. Бордюк, Т. В. Рухляк. Фізика конденсованих високомолекулярних систем. 1998. Вип. 4. С. 9 – 12.
21. Головятинский С. А. Модификация поверхности полимеров импульсной плазмой атмосферного давления. Вісник Харківського університету. Серія фізична: Ядра, частинки, поля.–2004. №628. Выпуск 2(24). – С.80-86.
22. Гильман А.Б. Плазмохимическая модификация поверхности полимерных материалов [Режим доступа]. URL: http://www.isuct.ru/rus/nich/konfer/plasma/LECTIONS/Gilman_lecture.html.
- polyurethanes and ABCs] *Dop. NAN Ukrainy – V.O. NAS of Ukraine. Vol. 6, 147 – 151* [in Ukraine].
15. Vilenskiy, V.A. (2012). *Postoyannye magnitnye i elektricheskie polya kak faktory vliyaniya na fazovye protsessy v geterogennykh polimernykh sistemakh* [Permanent magnetic and electric fields as factors of influence on phase processes in heterogeneous polymer systems]. *Fazovye protsessy v geterogennykh polimernykh sistemakh*. Kyiv: Nauk.Dumka [in Russian].
16. Conditions for similitude between the fluid velocity and electric field in electroosmotic flow. E. B. Cummings, S. K. Griffiths, R. H. Nilson, P. H. Paul. *Anal. Chem.* – 2000. – 72, 11. P. 2526 – 2532.
17. Vilenskiy, V.O., Demchenko, V.L., Kercha, Yu.Yu. (2010). *Doslidzhennia kompozytiv epoksyopolimeroksyd metalu, modyfikovanykh postoinymy mahnitnymy chy elektrychnymy poliamy* [Investigation of composites of metal epoxy polymeroxide modified by permanent magnetic or electric fields]. *Polim. zhurnal – Polim. Magazine, Vol. 4, 321 – 327* [in Ukraine].
18. Blayt, E.R. (2008) *Elektricheskie svoystva polimerov* [Electrical properties of polymers]. Moscow: Fizmatlit [in Russian].
19. Borodin, Yu. V., Myshkin, F., Khan, V.A. (2011). *Issledovanie nanokompozitsionnoy struktury materialov rengenograficheskim metodom* [Investigation of the nanocomposite structure of materials by the X-ray method]. *KubGAU – KubgaU, Vol. 72, 8, 1 – 7.* [in Russian].
20. Mashchenko, V.A., Kolupaiev, B.S., Bordiuk, M.A., Rukhliak T.V. (1998). *Doslidzhennia vplyvu elektrychnoho polia pry formuvanni pry formuvanni struktury na elektroprovodnist metalonapovnenykh polimernykh kompozytsii* [Investigation of the influence of the electric field during the formation of structure on the conductivity of metal-filled polymer compositions]. *Fizyka kondensovanykh vysokomolekuliarnykh system – Physics of condensed macromolecular systems, Vol. 4, 9 – 12* [in Ukraine].
21. Golovyatinskiy, S.A. (2004). *Modifikatsiya poverkhnosti polimerov impul'snoy plazmoy atmosfernogo davleniya* [Modification of the Surface of Polymers by Pulsed Plasma Atmospheric Pressure]. *Visnik Kharkivs'kogo universitetu. Serii fizichna: Yadra, chastinki, polya – Bulletin of the Kharkiv University. Physical series: Nuclei, particles, fields, Vol. 628, 2(24), 80-86* [in Russian].
22. Gil'man, A.B. *Plazmokhimicheskaya modifikatsiya poverkhnosti polimernykh materialov* [Plasma-chemical surface modification of polymeric materials]. [Rezhim dostupa]. URL: http://www.isuct.ru/rus/nich/konfer/plasma/LECTIONS/Gilman_lecture.html [in Russian].

SLIZKOV A.

Researcher ID: 6506711753

andrew.slizkov@gmail.com

ORCID: 0000-0002-2693-7147

Kyiv National University of Technologies and Design

KOLESNIK O.

Kolesnik.oleksandr7@gmail.com

Kyiv National University of Technologies and Design

АНАЛИЗ МЕТОДОВ МОДИФИКАЦИИ ПОЛИМЕРНЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

СЛИЗКОВ А. М., КОЛЕСНИК О. В.

Киевский национальный университет технологий и дизайна

Цель. Анализ методов модификации полимерных текстильных материалов для определения перспективных направлений получения новых полимерных текстильных материалов с заданными свойствами.

Методика. В статье использованы аналитические методы исследования научной проблемы получения новых полимерных текстильных материалов с заданными свойствами различными видами и способами их химической и физической модификации.

Результаты. На сегодня основными направлениями обновления и расширения ассортимента полимерных текстильных материалов является не только получение новых видов текстильных волокон и нитей, а их модификация различными способами и методами. Поэтому в представленной статье проанализированы разновидности модификации полимерных текстильных материалов определены перспективные способы их модификации для получения новых материалов с заданными свойствами. Одними из перспективных способов модификации полимерных текстильных материалов являются физические, а из них плазменные технологии обработки волокон и нитей. Из плазменных технологий и способов наиболее эффективен способ применения низкотемпературной плазмы, что позволяет, не меняя химическое строение полимера волокон, достичь прогнозируемого изменения их свойств.

Научная новизна. Проведен анализ способов модификации текстильных материалов и определены особенности изменения их свойств от воздействия на них различных химических и физических факторов. Проанализированы основные факторы влияния плазменных технологий изменение структуры и свойств полимерных текстильных волокнистых материалов и определены наиболее перспективные из них.

Практическая ценность. Определено, что наиболее эффективными, экономичными и экологичными способами физической модификации полимеров ПТМ является электрофизические. Способы электрофизической модификации полимеров текстильных нитей и волокон позволяют предоставить их специфических заданных свойств. Низкотемпературная плазменная обработка полимеров не влияет на их надмолекулярную строение и не ухудшает другие их потребительские свойства в может осуществляться в зависимости от параметров плазмы и особенностей природы полимера волокон текстильного материала.

Ключевые слова: модификация; свойства материалов; полимерный текстильный материал; надмолекулярная структура полимера; плазменная обработка.

ANALYSIS OF MODIFICATION METHODS FOR POLYMERIC TEXTILE MATERIALS
SLIZKOV A. M., KOLESNIK O. V.

Kyiv National University of Technologies and Design

Purpose. *Analysis of methods of modification of polymeric textile materials to determine promising directions of obtaining new polymeric textile materials with specified properties.*

Methodology. *The analytical methods of researching the scientific problem of obtaining new polymeric textile materials with given properties of different types and methods of their chemical and physical modification are used in the article.*

Results. *Today, the main directions of updating and expanding the range of polymeric textile materials are not only obtaining new types of textile fibers and filaments, but their modification in various ways and methods. Therefore, the presented article analyzes the types of modification of polymeric textile materials and identifies promising ways of modifying them to obtain new materials with specified properties. One of the promising ways of modifying polymeric textile materials is the physical, and plasma technology of processing fibers and filaments. Of the plasma technologies and methods, the most effective is the method of application of low-temperature plasma, which allows without changing the chemical structure of the polymer fibers to achieve the predicted change in their properties.*

Scientific novelty. *The analysis of the methods of modification of textile materials is carried out and the peculiarities of the change in their properties from the influence of various chemical and physical factors on them are determined. The main factors of influence of plasma technologies, changes in the structure and properties of polymeric textile fibrous materials are analyzed and the most promising of them are determined.*

Practical value. *It has been determined that the most effective, economical and environmentally friendly methods of physical modification of PTM polymers are electrophysical. Methods for the electrophysical modification of polymers of textile threads and fibers make it possible to provide their specific desired properties. Low-temperature plasma treatment of polymers does not affect their supramolecular structure and does not impair their other consumer properties; it can be carried out depending on the plasma parameters and the nature of the polymer fibers of the textile material.*

Key words: *modification; properties of materials; polymeric textile material; supramolecular structure of the polymer; plasma treatment.*

<https://doi.org/DOI:10.30857/1813-6796.2020.2.8>

УДК 677.075.44.025.3

СЛІНА Т.В., ГАЛАВСЬКА Л.Є., МАНОЙЛЕНКО О.П.

Київський національний університет технологій та дизайну

СТВОРЕННЯ ПАРАМЕТРИЧНОЇ МОДЕЛІ ПОВЕРХНІ ТРИКОТАЖУ ПЕРЕПЛЕТЕННЯ ЛАСТИК 2x2

Мета. Метою даного дослідження є розробка алгоритму побудови моделей поверхні (макромоделей) трикотажу ластичних переплетень, придатних для тривимірного моделювання деформацій розтягу по ширині та прогнозування фізико-механічних характеристик трикотажних полотен та виробів.

Методика. У процесі дослідження використано методи теоретичного аналізу, теорія сплайнів, засоби комп'ютерної графіки, засоби програмування.

Результати. У ході дослідження встановлено, що для моделювання ряду фізико-механічних характеристик трикотажу переплетення ластик, що знаходиться у деформованому стані, доцільно використовувати геометричні моделі, що відтворюють геометрію поверхні трикотажу з високою точністю, але не мають деталізації на рівні волокон та ниток. За необхідності, значення повітропроникності, теплопровідності та пористості для таких моделей можуть бути враховані у вигляді відповідних коефіцієнтів. У той же час для розрахунку коефіцієнтів пористості та повітропроникності можна використовувати як експериментальні дані, так і моделі з більшою високою деталізацією структури текстильного матеріалу (мезо-моделі). У ході дослідження сформовано набір геометричних характеристик зразків трикотажу переплетення ластик з рапортом більше 2-х. На плосков'язальному обладнанні 10-го класу вироблено зразки трикотажу переплетення ластик 2x2 з ПАН пряжі лінійної густини 31x2 текс. Зразки підвишувались у затискачах релаксометра типу «стійка» та поетапно навантажувались тягарцями вагою від 20 до 120 г з інтервалом 20 г. За допомогою фотокамери зафіксовано та визначено необхідні для моделювання геометричні характеристики поверхні трикотажу в умовно-рівноважному стані та у 6-ти дискретних станах розтягу. За отриманими даними побудовано параметричні 3D моделі поверхні трикотажу.

Наукова новизна. Розроблено алгоритм побудови моделі поверхні (макромоделі) трикотажу переплетення ластик 2x2 у процесі розтягу у напрямку петельних рядів з урахуванням особливостей ситуативної зміни геометрії нитки всередині рапорту.

Практична значимість. Створено тривимірні параметричні макромоделі трикотажу переплетення ластик 2x2 у середовищі Autodesk Inventor.

Ключові слова: трикотаж ластичних переплетень, деформації розтягу, тривимірне моделювання.

Вступ. Одним з актуальних питань у технології трикотажного виробництва є створення тривимірних моделей структури трикотажу, придатних для використання у системах тривимірного моделювання з метою прогнозування їхньої фізико-механічної поведінки. Відомий досвід створення моделей кулірного трикотажу різноманітних ластичних переплетень в умовно-рівноважному стані. Але у процесі експлуатації трикотажні вироби часто перебувають у деформованому стані, а під дією деформацій ряд фізико-механічних характеристик трикотажу змінюється. Зокрема, змінюються такі фізико-механічні властивості як повітропроникність та теплопровідність. На даний час існують системи опису геометрії розтягу кулірного трикотажу ластичних переплетень з використанням їхніх 2D моделей. Такі системи доречно застосовувати у технологічних розрахунках, але вони не придатні для створення параметричних 3D-моделей, що використовуються у ході прогнозування фізико-механічних властивостей за допомогою сучасних універсальних програмно-аналітичних комплексів таких як ANSYS, Autodesk CFD-simulation, SolidWorks Simulation, та інших.

Постановка завдання. Вивчення питання можливості моделювання властивостей трикотажу переплетення ластик 2×2 , що знаходиться у деформованому стані, пов'язано із дотриманням принципу раціонального використання інформаційних ресурсів [1], адже геометрія моделей таких об'єктів є складною та може створювати надзвичайно високе навантаження на комп'ютерну систему в процесі виконання розрахунку. З метою забезпечення оптимального співвідношення між точністю моделі та економічною доцільністю її використання, запропоновано дослідити можливість застосування макромоделей структури трикотажу ластичних переплетень для опису геометрії трикотажу даного виду у програмно-аналітичних комплексах, придатних для моделювання фізико-механічних процесів. Основою такого дослідження є аналіз існуючих проектних розробок та публікацій, деталізація опису геометрії трикотажу з використанням можливостей сучасних комп'ютерних засобів, розробка алгоритму та створення параметричної моделі трикотажу переплетення ластик 2×2 , придатної для моделювання деформації розтягу по ширині.

Результати досліджень. Впродовж останнього десятиліття все більше уваги приділяється вивченню можливостей використання сучасних програмно-аналітичних комплексів для моделювання фізико-механічної поведінки текстильних матеріалів. Так, у роботі [2] представлено огляд основних напрямків щодо створення та використання тривимірних моделей текстильних матеріалів. У роботі [3] сформульовано основні вимоги до тривимірних моделей структури трикотажу, придатних для моделювання властивостей. Створенню 3D моделей структури трикотажу, у тому числі трикотажу ластичних переплетень, присвячені роботи [3-7]. Однак питання вивчення особливостей зміни геометрії нитки під дією розтягуючих зусиль з метою оцінки фізико-механічної поведінки не розглядалося. Раніше для виконання технологічних розрахунків використовували геометричну модель, описану у роботах [8, 9]. Вплив рапорту трикотажу ластичних переплетень на показники закручуваності та розтяжності розглянуто у роботах [10, 11].

Трикотаж переплетення ластик 2×2 відноситься до неповних подвійних переплетень. Кожна ділянка петельних стовпчиків лицьового шару трикотажу закручується на виворотну сторону, а виворітних – на лицьову [9]. Це призводить до значного збільшення товщини трикотажу. Схематично трикотаж переплетення ластик 2×2 , що знаходиться в умовно-рівноважному стані (у розрізі вздовж лінії петельного ряду) можна представити так, як показано на рис. 1.

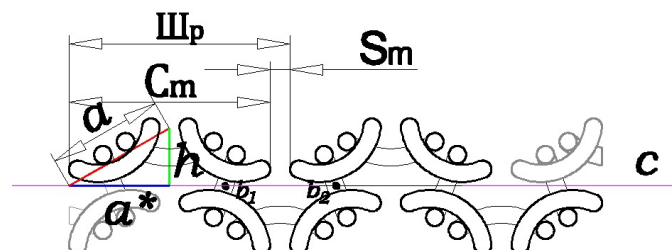


Рис. 1. Переплетення ластик 2×2 в умовно-рівноважному стані

Припустимо, що при поступовому розтязі зразка трикотажу переплетення ластик по ширині, існують дискретні стани розтягу трикотажу T_m , де m – номер стану, що змінюється від

вільного (без навантаження), при якому $m=0$ до початку руйнування зразка, де $m=r$. Кожен стан розтягу T_m характеризується певним значенням прикладеного зусилля, видовженням, шириною, товщиною, конфігурацією нитки в елементах структури трикотажу, а також певним співвідношенням між шириною лицьових та виворітних петельних стовпчиків всередині кожного рапорту у проекції на площину полотна. Якщо позначити ширину рапорту – $Шр_m$, ширину опуклої частини – C_m , а відстань між найближчими точками двох сусідніх опуклих частин – S_m (див. рис.1), можна сказати, що в процесі розтягу по ширині за рахунок розпрямлення опуклих частин спочатку збільшується відстань S_m . Якщо у вільному стані для трикотажу ластик 2x2 з деяких видів сировини відстань S_0 практично дорівнює нулю, тобто $Шр_0 = C_0$, то поступово під дією розтягуючих зусиль зі збільшенням ширини рапорту $Шр$, частка опуклої частини C_m у рапорті зменшується, а частка S_m у рапорті збільшується.

При подальшому розтязі можна визначити таке значення $m=k$, при якому виконується рівність $C_k = S_k$ (рис. 2). У спеціалізованій літературі [12] розрізняють протяжки типу «е», що з'єднують остови петель одного шару трикотажу, та протяжки типу «в», що з'єднують остови різних шарів трикотажу (див. рис. 2). Стан T_k характеризується тим, що протяжки типу «в» повертаються навколо точки перетину з лінією c (точки b_1 та b_2 на рис.2), але перерозподілу нитки в петлях та перетягування нитки в протяжку з остова ще не відбувається. Розпрямлення протяжок типу «е» та перетягування ниток у протяжки з остовів відбувається пізніше. Це характерно для станів T_m , де $m > k$.

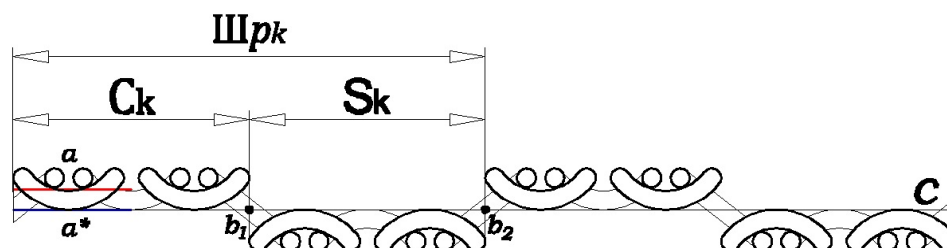


Рис. 2. Ширина рапорту та його складових частин без закручування та без заходу остовів одного шару трикотажу за остови іншого

Враховуючи потужності сучасних комп'ютерів можна зробити висновок, що деталізація поверхонь трикотажних виробів на рівні ниток (та на рівні волокон) може призводити до надмірного навантаження на комп'ютерну систему та є економічно недоцільною. Таке проєктування протирічить принципу раціонального використання інформаційних ресурсів. Тому в контексті вирішення поставленої задачі прийнято припущення про можливість застосування поетапного моделювання з використанням як моделей мезо-рівня (з деталізацією на рівні ниток), так і моделей макро-рівня, що відтворюють геометрію трикотажу у спрощеному вигляді (як просторову оболонку певної товщини). А також про можливість моделювання деформацій розтягу трикотажу ластичних переплетень з використанням моделі саме макро-рівня. У залежності від алгоритмів та мети моделювання фізичних процесів, трикотаж може бути представлений як оболонка певної товщини, що характеризується заданими показниками пористості, пружності, гігроскопічності, теплопровідності, жорсткості, драпірувальності, та ін. У

роботах [2 та 7] такий рівень деталізації вважають макрорівнем у контексті моделювання властивостей текстильних матеріалів. Якщо у моделі [1, стор. 145] враховується структура трикотажу на рівні ниток, то такі моделі називають моделями мезо-рівня. Моделі, що враховують молекулярну або атомну структуру ниток, зазвичай у технології трикотажного виробництва не розглядаються.

У системах моделювання одягу тканина чи трикотаж подаються як текстильні оболонки. Для їх опису використовують математичний апарат, призначений для роботи з поверхнями з різною кривизною. З іншого боку, у моделюванні структури трикотажу, ми зазвичай використовуємо поняття «площини полотна», під якою розуміємо площину, що проходить по центру полотна, викладеного на плоску основу, паралельно площині цієї основи. У контексті опису макромоделі трикотажу переплетення ластик 2x2 пропонується використовувати поняття центральної та серединної поверхонь. Під центральною поверхнею розуміємо поверхню, що проходить через середини протяжок типу «в» (точки b_1, b_2 на рис. 1 та 2). На рис. 3 центральна поверхня позначена як P_c . А під серединною пружною поверхнею розуміємо поверхню P_s (рис. 3), що проходить через точки переплетення усіх остовів та у проєкції на площину, перпендикулярну поверхні P_c , та паралельну лініям петельних рядів. Дана серединна пружна поверхня утворює періодичну криву лінію, як показано на рис. 3 (б). У загальному випадку обидві поверхні можуть мати кривизну у взаємно перпендикулярних площинах. Але у даному дослідженні ми розглядаємо окремий випадок, який показано на рис. 6, коли центральна поверхня P_c є площиною, а серединна поверхня має кривизну у площині, паралельній площині XOZ .

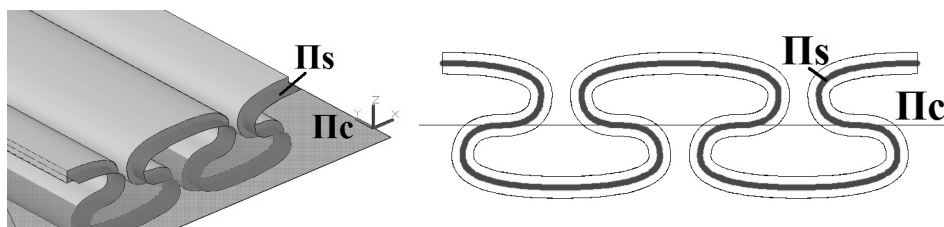


Рис. 3. Модель трикотажу переплетення ластик 2x2 з позначенням центральної (P_c) та серединної (P_s) поверхонь

У відповідності до прийнятого раніше припущення, вважаємо, що стан T_k характеризується тим, що так звані ділянки гладі, що у вільному стані утворюють опуклі напівциліндри вздовж лінії петельних стовпчиків, розпрямлюються, але суттєвого перетягування нитки з остовів у протяжки ще не відбувається. Тоді, якщо поділити ширину цієї ділянки S_k на кількість лицьових петельних стовпчиків у рапорті (у нашому випадку це 2), отримаємо значення петельного кроку на цій ділянці A_k . Проведемо відрізок, що проходить через точки переплетення (він завжди буде паралельним лінії петельного ряду). Для стану T_k характерним є те, що ділянки гладі розпрямлені, тому відрізок a буде у даному стані паралельним площині P_c та розташований на відстані одного розрахункового діаметра нитки від площини P_c . На рис. 1 та 2 відрізок, що відповідає значенню A_k показано червоним кольором та літерою a .

Якщо зняти зусилля розтягування, петельні стовпчики гладі переходять із положення, показаного на рис. 2, де відрізки a паралельні центральній площині полотна, у положення,

показане на рис. 1, де відрізки, що проходять через точки переплетення кожної петлі, будуть розташовані під кутом до центральної площини. При цьому, вважаємо, що ширина петельного стовпчика не змінюється. Змінюється лише її проєкція на площину полотна. На рис. 1 проєкція відрізка a на площину полотна показана синім кольором та позначена літерою a^* . Тоді можемо записати:

$$a = A_k = \frac{C_k}{2} \quad (1)$$

$$a^* = \frac{C_m}{2} \quad (2)$$

У такому випадку товщина трикотажу розрахункова M_p (мм) з урахуванням прийнятих припущень буде визначена за формулою:

$$h = \sqrt{a^2 - (a^*)^2} \quad (3)$$

$$M_p = 2 * h + 2 * D_p \quad (4)$$

де D_p – розрахунковий діаметр нитки, мм.

Проекцію поверхні P_s на площину, паралельну площині XOZ (рис. 3) може бути описано з використанням математичного апарату кривих Без'є другого порядку, або NURBS. Для одного рапорту необхідно задати 10 управляючих вершин $P_0 - P_8$ (рис. 4).

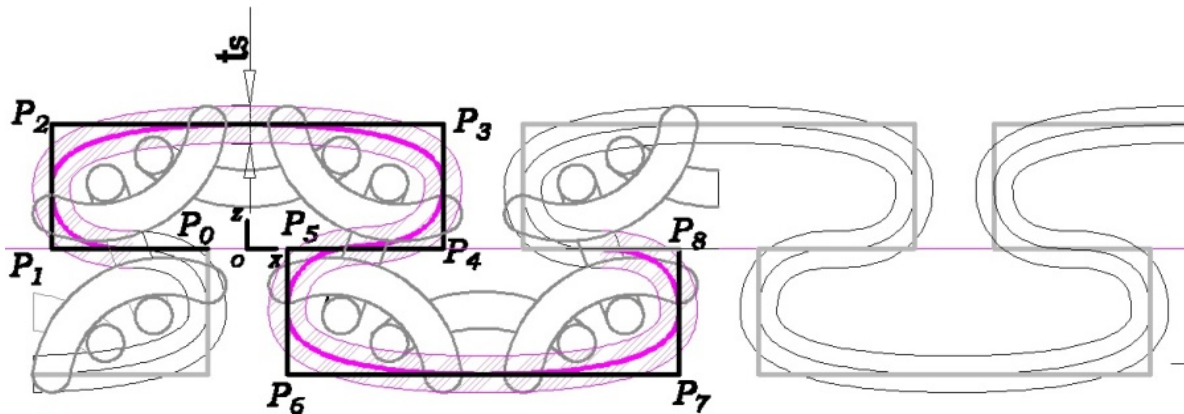


Рис. 4. Побудова сплайна-основи по керівним вершинам

Якщо розмістити систему координат так як показано на рис. 7, то в площині XOZ можемо знайти координати вершин $P_0 - P_8$, використовуючи описані раніше припущення та позначення. Для визначення координат точок, приймаємо, що відстані:

$$|P_2 P_3| = |P_6 P_7| = C_m - D_p \quad (5)$$

$$|P_1 P_2| = |P_3 P_4| = |P_5 P_6| = |P_7 P_8| = h \quad (6)$$

Товщина t_s (див. рис. 4) може бути розрахована таким чином, щоб забезпечити рівність (7):

$$V_s = V_n \quad (7)$$

де V_s – об'єм моделі на ділянці одного рапорту;

V_n – об'єм нитки, що припадає на один рапорт.

Якщо l_n – довжина нитки в одному рапорті, то об'єм цієї нитки можна розрахувати за формулою (8):

$$V_n = \pi \left(\frac{Dp}{2} \right)^2 \cdot l_n \quad (8)$$

Об'єм твердотільної моделі оболонки при цьому буде дорівнювати площі криволінійної трапеції $l_s \cdot t_s$, помноженої на висоту петельного ряду B .

$$V_s = l_s \cdot t_s \cdot B \quad (9)$$

де l_s – довжина сплайну s , що представляє собою проекцію серединної лінії моделі на площину XOZ (дис. Рис. 3).

З виразів (7) та (9) випливає, що

$$t_s = \frac{V_n}{l_s \cdot B} \quad (10)$$

У ході дослідження на плосков'язальному обладнанні 10-го класу вироблено зразки трикотажу переплетення ластик 2x2 з ПАН пряжі лінійної густини 31x2 текс. Зразки підвішувались у затискачах релаксометра типу «стійка» та поетапно навантажувались тягарцями вагою від 20 до 120 г з інтервалом 20 г. Для збору даних кожен етап процесу розтягу зафіксовано на цифрову фотокамеру разом з калібрувальним шаблоном. Процес обробки даних процесу поетапного розтягу наведено на рис. 5.



Рис. 5. Отримання даних для моделювання шляхом обробки фотозображень зразків, зроблених у процесі поетапного збільшення величини розтягуючого зусилля

Для кожного стану також вимірювалась товщина зразка за допомогою товщиноміра без прикладання стискаючого зусилля. Дані, отримані після обробки зразків, наведено у таблиці 1.

Таблиця 1

**Зміна геометричних характеристик поверхні трикотажу
 переплетення ластик 2x2 у процесі поетапного розтягу по ширині**

Порядк овий номер стану m	Вага тягарців, г	Ширина рапорту, Шр, мм	Ширина опуклої частини рапорту, С _м , мм	Ширина увігнутої частини рапорту, S _м , мм	Товщина трикота жу М, мм	Висота петельн ого ряду В, мм	Довжина сплайну ls, мм	Товщина оболонки ts, мм
0	0	3,13	3,13	0,00	2,80	1,19	10,8	0,15
1	20	3,44	3,44	0,00	2,40	1,17	11,08	0,15
2	40	4,53	3,72	0,82	2,15	1,15	10,8	0,15
3	60	5,72	3,72	2,00	2,08	1,11	9,8	0,18
4	80	6,29	3,65	2,64	1,80	1,09	8,78	0,20
5	100	6,89	3,79	3,10	1,50	1,07	8,48	0,21
6	120	6,92	3,46	3,46	1,35	1,05	8,6	0,21

Встановлено, що процес розтягу можна умовно поділити на три етапи: на першому етапі (Т₀-Т₂) відбувається видовження зразка за рахунок зменшення закручуваності ділянок гладі. На другому етапі (Т₂-Т₆) відбувається взаємне зміщення ділянок гладі, що належать різним шарам трикотажу та продовжується розпрямлення (зменшення закручуваності). Встановлено, що існує такий стан деформації Т_к (початок третього етапу), на якому ширина видимої частини ділянки рапорту, що належить виворітному шару трикотажу дорівнює ширині ділянки лицьового шару. Запропоновано прийняти припущення, що перерозподіл нитки в структурі трикотажу з одного елемента в іншій починається тільки після проходження стану Т_к. Перерозподіл, що відбувається на більш ранніх стадіях розтягу вважатимемо незначним та пропонуємо не враховувати у моделюванні.

За отриманими даними побудовано макромоделі, фрагменти яких представлено на (рис. 5.)

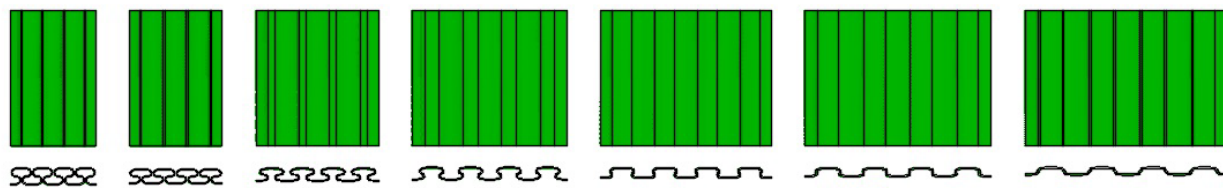


Рис. 6. Зображення макромоделей трикотажу переплетення ластик 2x2 у станах Т₀-Т₆

Побудована модель враховує особливості зміни геометрії поверхні трикотажу в процесі розтягу по ширині. Таким чином, можна говорити про можливість використання макромоделі поверхні переплетення ластик у тих випадках, коли відтворення структури трикотажного полотна і деталізація на рівні ниток та волокон не є необхідною. Це відповідає принципу раціонального використання інформаційних ресурсів та пришвидшує усі види аналітичних розрахунків.

Висновок. У ході роботи досліджено можливість використання тривимірних моделей макро-рівня для представлення трикотажу ластичних переплетень у розрахунково-

аналітичних комплексах, описано геометрію серединної поверхні та алгоритм побудови параметричної моделі. Вихідними даними для такої моделі є геометричні характеристики структури та поверхні трикотажу, отримані експериментальним шляхом. Параметрична модель, побудована у ході дослідження, придатна для використання у системах моделювання фізико-механічних процесів, зокрема, деформації розтягу, теплопереносу та повітропроникності за умови використання експериментальних показників повітропроникності та теплопровідності текстильного матеріалу заданої структури та сировинного складу. Крім того, дана модель може використовуватись як частина дворівневого процесу проєктування, коли модель більш високого рівня деталізації (мезо-модель з деталізацією на рівні ниток, або навіть волокон) використовується для подання мінімального репрезентативного об'єму для виконання попереднього віртуального експерименту, а потім, дані, отримані у результаті такого експерименту, використовуються у якості коефіцієнтів для макромоделі.

Подяка. Робота виконувалась у рамках спільного українсько-литовського науково-дослідного проєкту «Трикотажні матеріали для засобів індивідуального захисту від механічних пошкоджень та дії полум'я (акронім - PERPROKNIT)» за підтримки Міністерства освіти і науки України.

Література

1. Єліна Т.В., Боброва С.Ю., Галавська Л.Є., Дзикович Т.А. Автоматизоване проєктування текстилю: навч. посіб. Київ: Кафедра, 2017. 280 с.
2. Chen X (Eds). (2010). Modelling and predicting textile behavior. Woodhead Publishing Series in Textiles: No 94. Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC. 536 p.
3. Ausheva N., Halavska L., Yelina T. Geometric representation features of textile yarn in the 3D modeling systems. Scientific Conference [«Unitech-13»], (Gabrovo, Bulgaria, 22-23 November, 2013). Gabrovo, 2013. Iss. 3. P. 199–202.
4. Kurbak A., Ekmen O. Basic Studies for Modeling Complex Weft Knitted Fabric Structures Part I: A Geometrical Model for Widthwise Curlings of Plain Knitted Fabrics. Textile Research Journal, 2008. Vol. 78 (3). P. 198-208.
5. Wadekar P., Goel P., Amanatides Ch., Dion G., Kamien R.D., Breen D.E. Geometric modeling of knitted fabrics using helicoids scaffolds. Journal of Engineered Fibers and Fabrics, 2020. Vol. 15. P. 1-15
6. Kyoungme Ch., Jongiun K., Nagun S. A study on the Analyses of 3D Scanning of Knit Stitches and Modeling System – Jersey, Rib and Cable Stitches. Journal of Fashion Business, 2012. Vol. 16, №3 pp. 125-135

References

1. Yelina T.V., Bobrova S.Yu, Galavska L.Ye, Dzykovich T.A. [Automated textile design] Avtomatyzovane proektuvannya tekstyliu: navch. posib. Kyiv: Kafedra, 2017. 280 p. [in Ukrainian].
2. Chen X (Eds). (2010). Modelling and predicting textile behavior. Woodhead Publishing Series in Textiles: No 94. Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC. 536 p.
3. Ausheva N., Halavska L., Yelina T. Geometric representation features of textile yarn in the 3D modeling systems. Scientific Conference [«Unitech-13»], (Gabrovo, Bulgaria, 22-23 November, 2013). Gabrovo, 2013. Iss. 3. P. 199–202. [in English].
4. Kurbak A., Ekmen O. Basic Studies for Modeling Complex Weft Knitted Fabric Structures Part I: A Geometrical Model for Widthwise Curlings of Plain Knitted Fabrics. Textile Research Journal, 2008. Vol. 78 (3). P. 198-208. [in English].
5. Wadekar P., Goel P., Amanatides Ch., Dion G., Kamien R.D., Breen D.E. Geometric modeling of knitted fabrics using helicoids scaffolds. Journal of Engineered Fibers and Fabrics, 2020. Vol. 15. P. 1-15. [in English].
6. Kyoungme Ch., Jongiun K., Nagun S. A study on the Analyses of 3D Scanning of Knit Stitches and Modeling System – Jersey, Rib and Cable Stitches. Journal of Fashion Business, 2012. Vol. 16, №3 pp. 125-135. [in English].
7. Kaldor J.M. Simulating yarn-based cloth. A Dissertation Presented to the Faculty of the Graduate School of Cornell University in Partial Fulfillment of the

7. Kaldor J.M. Simulating yarn-based cloth. A Dissertation Presented to the Faculty of the Graduate School of Cornell University in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Doctor of Philosophy, 2011, 148p.
8. Далидович А.С. Основы теории вязания. М.: Легкая индустрия, 1970. 432 с.
9. Кудрявин Л.А., Шалов И.И. Основы технологии трикотажного производства: Учеб. пособие для вузов. М.: Легпромбытиздат, 1991. 496 с.
10. Галавська Л.Є. Теоретичні аспекти визначення розтяжності та закручуваності подвійного неповного трикотажу. Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки, 2015. №2. С. 107-110.
11. Галавська Л.Є. Дослідження розтяжності та закручуваності подвійного неповного трикотажу. Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки, 2015. №3. С. 80-85.
12. Шалов И.И., Кудрявин Л.А. Основы проектирования трикотажного производства с элементами САПР: Учеб. для вузов. - 2-е изд., перераб. и доп. М.: Легпромбытиздат, 1989. 288 с.

Requirements for the Degree of Doctor of Philosophy, 2011, 148p. [in English].
8. Dalidovich A.S. [Knitting theory basics] Osnovy teorii vyazaniya. M.: Legkaya industriya, 1970. 432 p. [in Russian].
9. Kudryavin L.A., Shalov I.I. . [Fundamentals of knitting technology] Osnovy tekhnologii trikotazhnogo proizvodstva: Ucheb. posobie dlya vuzov. M.: Legprombytizdat, 1991. 496 p [in Russian].
10. Galavska L.Ye. [Theoretical aspects of extensibility and curling definition of incomplete double knittings]. Teoretychni aspekty vyznachennia roztiazhnosti ta zakruchuvanosti podviinoho nepovnoho trykotazhu. Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky, 2015. №2. P. 107-110. [in Ukrainian].
11. Galavska L.Ye. [Research of extensibility and curling of incomplete double knittings] Doslidzhennia roztiazhnosti ta zakruchuvanosti podviinoho nepovnoho trykotazhu. Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky, 2015. №3. P. 80-85. [in Ukrainian].
12. Shalov I.I., Kudryavin L.A. [Basics of designing knitwear production with CAD elements] Osnovy proektirovaniya trikotazhnogo proizvodstva s elementami SAPR: Ucheb. dlya vuzov. 2-e izd., pererab. i dop. M.: Legprombytizdat, 1989. 288 p. [in Russian].

YELINA T. V.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9310-0582>

Scopus Author ID: 57203861122

Department of Textile Technology and Design,
Kyiv National University of Technologies and
Design,
Ukraine

HALAVSKA L. Ye.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6994-6641>

Scopus Author ID: 57191413261

Department of Textile Technology and Design,
Kyiv National University of Technologies and Design,
Ukraine

MANOILENKO O. P.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5670-4977>

Department of Applied Mechanics and Machines,
Kyiv National University of Technologies and Design,
Ukraine

СОЗДАНИЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПОВЕРХНОСТИ ТРИКОТАЖА ПЕРЕПЛЕТЕНИЯ ЛАСТИК 2X2

ЕЛИНА Т. В., ГАЛАВСКАЯ Л. Е., МАННОЙЛЕНКО А. П.

Киевский национальный университет технологий и дизайна

Цель. Целью данного исследования является разработка алгоритма построения моделей поверхности (макромоделей) трикотажных ластичных переплетений, для трехмерного моделирования деформаций растяжения по ширине и прогнозирования физико-механических характеристик трикотажных полотен и изделий.

Методика. В процессе исследования использованы методы теоретического анализа, теория сплайнов, средства компьютерной графики, средства программирования.

Результаты. В ходе исследования установлено, что для моделирования ряда физико-механических характеристик трикотажного переплетения ластик, находящегося в деформированном

состоянии, целесообразно использовать геометрические модели, которые воспроизводят геометрию поверхности трикотажа с высокой точностью, но не имеют детализации на уровне волокон и нитей. При необходимости значение воздухопроницаемости, теплопроводности и пористости для таких моделей могут быть учтены в виде соответствующих коэффициентов. В то же время для расчета коэффициентов пористости и воздухопроницаемости можно использовать как экспериментальные данные, так и модели с более высокой детализацией структуры текстильного материала (мезо-модели). В ходе исследования сформирован набор геометрических характеристик образцов трикотажа переплетения ластик с рапортом больше 2-х. На плосковязальном оборудовании 10-го класса изготовлены образцы трикотажа переплетения ластик 2x2 из ПАН пряжи линейной плотности 31x2 текс. Образцы подвешивались в зажимах релаксметра типа «стойка» и поэтапно нагружались грузиками весом от 20 до 120 г с интервалом 20 г. С помощью фотокамеры зафиксированы и определены необходимые для моделирования геометрические характеристики поверхности трикотажа в условно-равновесном состоянии и в 6-ти дискретных состояниях растяжения. По полученным данным построены параметрические 3D-модели поверхности трикотажа.

Научная новизна. Разработан алгоритм построения моделей поверхности (макромоделей) трикотажа переплетения ластик 2x2 в процессе растяжения в направлении петельных рядов с учетом особенностей ситуативного изменения геометрии нити внутри рапорта.

Практическая значимость. Созданы трехмерные параметрические макромоделли трикотажа переплетения ластик 2x2 в среде Autodesk Inventor.

Ключевые слова: трикотаж ластичных переплетений, деформации растяжения, трехмерное моделирование.

DEVELOPMENT OF A PARAMETRIC SURFACE MODEL OF RIB 2X2 KNITS

YELINA T. V., HALAVSKA L. Ye, MANOILENKO O. P.

Kyiv National University of Technologies and Design

Purpose. This study aims to develop an algorithm for constructing surface models (macro-models) of rib knitted structures, for three-dimensional modeling of tensile deformations in coursewise direction and predicting the physical and mechanical characteristics of knitted fabrics and products.

Methodology. During the research, methods of theoretical analysis, spline theory, computer graphics, programming tools have been used.

Findings. As a result of the research, it was found that for modeling of some physical and mechanical characteristics of knitted rib structures in a deformed state, it is advisable to use geometric models that reproduce the geometry of the knitted fabric surface with high accuracy, but do not have detailed structure at the level of fibers and threads. If necessary, the values of air permeability, thermal conductivity and others porosity for such models can be taken into account under the form of appropriate indexes. At the same time, to calculate the coefficients of porosity and air permeability, one can use both experimental data and 3D models with a higher detailed structure of the textile material (meso-model). In the course of research a set of geometrical characteristics of samples of rib knits patterns is formed. Samples of 2x2 rib knits of PAN yarn of 31x2 tex have been made with a flat bed knitting machine of 10th gauge. The samples were suspended in the clamps of the relaxometer type "rack" and loaded with weights weighing from 20 to 120 g with an interval of 20 g. By means of the camera, the geometrical characteristics of the knitted surface in dry-relaxed state and in 6 discrete tensile states were recorded and determined. According to the obtained data, parametric 3D models of the knitted surface were built.

Scientific novelty. An algorithm for constructing a macromodel of knitted rib 2x2 structure in the process of stretching in the coursewise direction, taking into account the peculiarities of the situational change in the geometry of the thread within the report has been developed.

Practical value. Three-dimensional parametric models of knitted surface (macro-models) of knitted 2x2 rib structures in the Autodesk Inventor environment have been created.

Keywords: knitted rib structures, tensile deformation, three-dimensional modeling.

<https://doi.org/DOI:10.30857/1813-6796.2020.2.9>

УДК 621.35

РУТКОВСЬКА К. С., ТУЛЬСЬКИЙ Г. Г., ГОМОЗОВ В. П.,
ВОРОНА Т. В.

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

КІНЕТИКА СУМІЩЕНИХ КАТОДНИХ ПРОЦЕСІВ У ВОДНОМУ РОЗЧИНІ NaCl

Мета. Дослідження кінетики суміщених катодних процесів в електрохімічному синтезі гіпохлориту натрію. Інтенсифікація процесу відновлення молекулярного кисню у водному розчині NaCl для удосконалення електрохімічного синтезу гіпохлориту натрію із застосуванням газодифузійного катоду. Дослідження впливу газодифузійного режиму на кінетику катодних процесів, визначення діапазонів потенціалів та густин струму перебігу суміщених катодних реакцій.

Методика. Циклічна вольтамперометрія для дослідження кінетичних параметрів катодного процесу із застосуванням імпульсного потенціостата MТech PGP-550M. Йодомеритричне титрування для визначення концентрації гіпохлориту натрію.

Результати. Встановлені діапазони потенціалів перебігу суміщених катодних процесів в умовах без подачі повітря і з подачею повітря через газодифузійний електрод. Показана можливість деполаризації киснем повітря катодного процесу із застосуванням газодифузійного режиму роботи поруватого графітового електроду. Для більшого розуміння впливу подачі повітря на перебіг суміщених катодних процесів побудовано сумарну та парціальні (відновлення кисню і виділення водню) поляризаційні залежності без подачі повітря та при подачі повітря у водному розчині 3 моль/дм³ NaCl. Одержані поляризаційні залежності доводять, що подача повітря в газодифузійний електрод призводить до зростання граничної густини струму відновлення кисню з 2 до 8 мА/см², що вказує на перспективу застосування газодифузійного катоду.

Наукова новизна. Зміна природи катодного процесу дозволяє значно знизити різницю електродних потенціалів. Керуючі швидкістю подачі кисню, можна перешкоджати підводу ClO⁻ до поверхні катоду.

Практична значимість. Для галузі електрохімічних виробництв полягає в удосконаленні електрохімічного синтезу гіпохлориту натрію за рахунок підвищення виходу за струмом та зниження питомих витрат електроенергії. При зміні природи катодного процесу з виділення водню на відновлення підведеного до границі катод-електроліт кисню, за допомогою газодифузійного катоду буде вирішена проблема катодного відновлення ClO⁻, без забруднення кінцевих розчинів гіпохлориту натрію.

Ключові слова: відновлення кисню, газодифузійний електрод, електросинтез, деполаризація, гіпохлорит натрію, вольт-амперна залежність.

Вступ. Лімітуючим фактором одержання висококонцентрованих розчинів гіпохлоритів в без діафрагмовому електрохімічному синтезі водних розчинів гіпохлоритів є катодне відновлення гіпохлорит - іонів [1–3]. Цю проблему вирішують шляхом додавання у вихідні водні розчини хлориду натрію сполук кальцію, магнію або хрому (VI). В умовах проведення катодного процесу ці елементи утворюють нерозчинні сполуки на поверхні катоду, що не перешкоджає видаленню водню, але частково гальмує катодне відновлення гіпохлорит - іонів. Даний метод не може бути використаний при одержанні товарного розчину гіпохлориту натрію [4–7]. Тому актуальним є проведення досліджень з можливості застосування газодифузійного катоду для підвищення концентрації цільового продукту в технології електрохімічного синтезу водних розчинів гіпохлоритів.

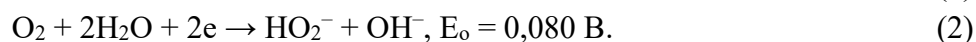
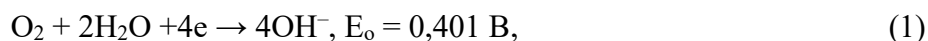
Постановка завдання. Для встановлення можливості застосування газодифузійного катоду в електрохімічному синтезі водних розчинів гіпохлоритів необхідно дослідити вплив

газодифузійного режиму на кінетику катодних процесів, визначити діапазони потенціалів та густини струму перебігу суміщених катодних реакцій. Для інтенсифікації електрохімічного синтезу водних розчинів гіпохлоритів необхідно підібрати електродні матеріали з низькою перенапругою кисню і, одночасно, з високою перенапругою водню.

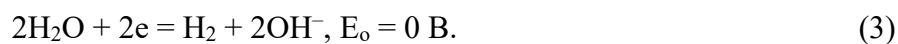
Методика експерименту. Для дослідження кінетики електродних процесів використовували графітовий газодифузійний електрод [8–10]. В якості основи електродів використовувався поруватий графіт ПГ–50. Графіт ПГ–50 має високу хімічну стійкість в широкому діапазоні концентрацій. Його поруватість становить 50 %, що дозволяє встановити баланс між дисперсністю пухирців повітря та ефективністю газопроникнення через поруватий електрод. Графітовий газдифузійний електрод монтувався в корпусі титанового струмовідводу [10].

Вольт-амперні залежності отримували за допомогою імпульсного потенціостата МТесh RGP-550М. Швидкість розгортки потенціалу 50 мВ/с. Катод – газодифузійний, анод – платиновий. Електрод порівняння – хлорид-срібний. Всі значення потенціалів перераховані щодо водневого електрода.

Результати експерименту та їх обговорення. При катодній поляризації у водних розчинах до потенціалів виділення водню на катоді можливий перебіг наступних реакцій [9]:



Виділення водню на катоді перебігає за наступною реакцією:



Для аналізу циклічних вольт-амперних залежностей (рис. 1) потрібно враховувати значення рівноважних потенціалів кожного з наведених процесів для визначення діапазонів потенціалів і густин струму перебігу цих процесів.

Отримані циклічні залежності на графітовому електроді дозволили визначити діапазони потенціалів і густин струмів для різних режимів роботи газодифузійного електрода.

На циклічній залежності можна виділити ділянки, які вказують на перебіг 2х різних процесів. Перша ділянка починається від рівноважних потенціалів і проходить до –0,4 В. В діапазоні цих потенціалів єдиним можливим процесом є відновлення кисню.

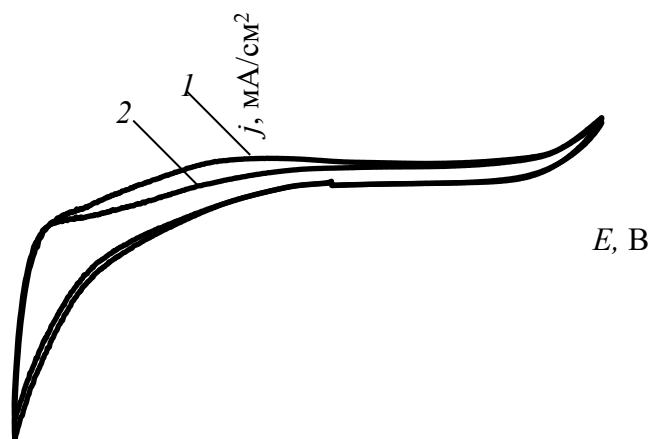


Рис. 1. Циклічні вольт-амперні поляризаційні залежності у водному розчині 3 моль/дм³ NaCl: 1 – без подачі повітря; 2 – з подачею повітря

При потенціалах менше за $-0,4$ В процеси відновлення кисню та виділення водню перебігають суміщено. Потім хід вольт-амперної залежності різко змінюється, починається значне зростання густини струму, що відповідає, переважно, процесу виділення водню.

Одержані результати дозволили побудувати сумарні та парціальні залежності для суміщених реакцій які перебігають на катоді у водному розчині 3 моль·дм⁻³ NaCl (рис. 2, а) без подачі повітря та з подачею повітря (рис. 2, б).

З одержаних залежностей можна встановити діапазони потенціалів перебігу суміщених катодних процесів в умовах без подачі повітря і з подачею повітря через газодифузійний електрод. Так, в умовах без подачі повітря (рис. 2, а), в діапазоні потенціалів від рівноважного ($0,65 \pm 0,03$ В) до $0,4$ В перебігає єдиний можливий процес відновлення кисню, який перебігає з граничною густиною струму близько $1,8 \dots 2,0$ мА/см². Значення граничної густини струму залежить від швидкості розгортки потенціалу, що вказує на концентраційні або дифузійні ускладнення для реакції (1).

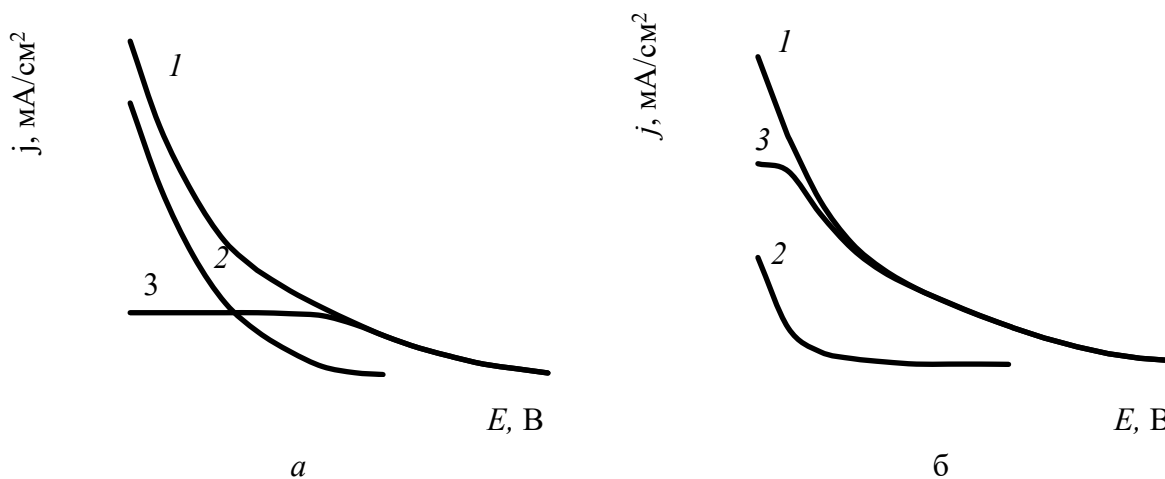


Рис. 2. Сумарні та парціальні залежності у водному розчині 3 моль/дм³ NaCl без подачі повітря (а) та з подачею повітря (б)

З одержаних залежностей можна встановити діапазони потенціалів перебігу сумішених катодних процесів в умовах без подачі повітря і з подачею повітря через газодифузійний електрод. Так, в умовах без подачі повітря (рис. 2, *a*), в діапазоні потенціалів від рівноважного ($0,65 \pm 0,03$ В) до 0,4 В перебігає єдиний можливий процес відновлення кисню, який перебігає з граничною густиною струму близько $1,8 \dots 2,0$ mA/cm^2 . Значення граничної густини струму залежить від швидкості розгортки потенціалу, що вказує на концентраційні або дифузійні ускладнення для реакції (1).

Зі зміщенням потенціалу в більш негативну область спостерігається зміна ходу вольт-амперної залежності до потенціалів 0,7...0,8 В. Для цієї області потенціалів доведено відновлення розчиненого кисню до HO_2^- , яке відбувається паралельно з відновленням кисню за реакцією (1).

Значне зростання швидкості катодного процесу, при подальшому зміщенні потенціалу в негативну область відповідає перебігу реакції електрохімічного виділення водню. Сумарна катодна залежність (рис. 2, *a*, лінія 1) і парціальні залежності виділення водню (рис. 2, *a*, лінія 2) та відновлення кисню (рис. 2, *a*, лінія 3) добре ілюструють діапазони перебігу сумішених катодних процесів та вклад парціального струму в кожен з цих процесів.

В умовах подачі повітря хід загальної вольт амперної залежності практично не змінюється (рис 2, *б*, лінія 1). Більш значні зміни відбуваються в ході парціальних залежностей (рис. 2, *б*, лінія 2, 3). Газодифузійний режим роботи катоду приводив до зсуву потенціалу виділення водню на 350...400 мВ та зростанню граничної густини струму відновлення кисню з 2 до 8 mA/cm^2 . Ці дослідження показали високу ефективність газодифузійного режиму роботи катоду для гальмування електрохімічного відновлення водню за рахунок деполаризації катодного процесу.

На рис. 3 наведено вплив потенціалу катоду та газодифузійного режиму роботи катоду на сумарну густину струму (лінія 1, 2) роботи катоду на сумарну густину струму (лінія 1, 2) і на вихід за струмом (BC) відновлення кисню (лінія 1', 2').

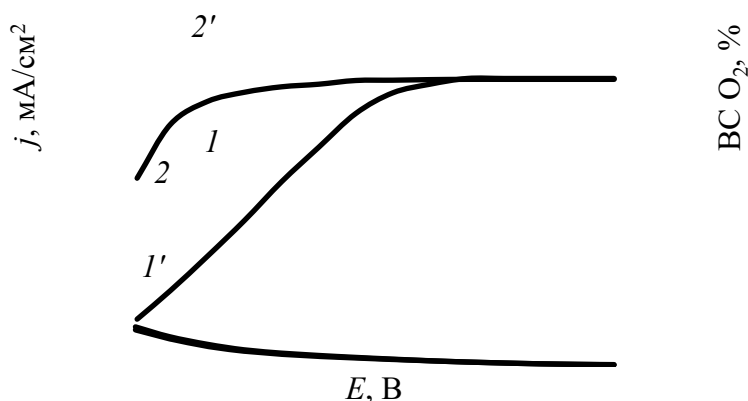


Рис. 3. Вплив потенціалу катоду та газодифузійного режиму роботи катоду на сумарну густину струму (1, 2) і на вихід за струмом (BC) відновлення кисню (1', 2')

Встановлено, що до потенціалу $\approx -0,7$ В відновлення кисню перебігає практично з 100 % BC, а до потенціалу $\approx -1,0$ В BC відновлення кисню складає не менше 90 %. При потенціалах, які перевищують $-1,0$ В BC відновлення кисню різко знижується через зростання

ВС відновлення водню. Тому, вважаємо за недоцільну роботу катоду при потенціалах, більших за $-1,0$ В.

Результати дослідження впливу газодифузійного режиму роботи графітового катоду на кінетику кисневої реакції дозволили обґрунтувати робочі діапазони катодних потенціалів в водному розчині, що містить ClO^- . Вольт-амперними дослідженнями було встановлено значне зростання катодної густини струму у модельному розчині із додаванням гіпохлориту натрію, в обраному діапазоні потенціалів (табл). Гіпохлорит натрію був утворений в результаті електрохімічного без-діафрагмового електролізу розчину 3 моль/дм³ NaCl .

Таблиця

Результати дослідження впливу газодифузійного режиму роботи графітового катоду на кінетику кисневої реакції

Катодна густина струму, А/см ²	Склад електроліту			
	3 моль/дм ³ NaCl		2.9 моль/дм ³ NaCl + 0.1 моль/дм ³ NaClO	
	Електродний потенціал, В		Електродний потенціал, В	
	Без деполяризації	З деполяризацією	Без деполяризації	З деполяризацією
3.0	-0.65	-0.70	-0.20	-0.33
5.0	-0.88	-0.91	-0.32	-0.44
7.0	-0.99	-1.02	-0.39	-0.50
9.0	-1.08	-1.10	-0.46	-0.55

З наведених в таблиці даних видно, що в електроліті з генерованим гіпохлоритом натрію в досліджувальному діапазоні катодних густин струму електродні потенціали значно зміщуються в електропозитивну область. Крім того, збільшилась різниця між електродними потенціалами при деполяризації катодного процесу киснем повітря. Це вказує на значну перебудову границі електрод-електроліт. Для обраного діапазону густин струму потенціали катодних процесів відповідають реакціям відновлення кисню до гідроксид іонів (1) та перексид іонів (2). Наведені дані підтверджують ефективність застосування газодифузійного режиму роботи катоду при електрохімічному синтезі гіпохлориту натрію.

Висновки. Досліджено кінетику суміщених катодних процесів на графітовому електроді у водному розчині 3 моль/дм³ NaCl , визначені діапазони електродного потенціалу та густину струму перебігу реакції відновлення кисню та суміщеного відновлення кисню і виділення водню.

Застосування газодифузійного режиму роботи поруватого графітового електроду дозволило підвищити граничну густину струму відновлення кисню в досліджуваному розчині з 2 до 8 мА/см².

Показана можливість деполяризації киснем повітря катодного процесу в діапазоні потенціалів $-0,6 \dots -1,2$ В з виходом за струмом відновлення кисню не менше за 80 %, що вказує на перспективу застосування газодифузійного катоду при електрохімічному синтезі водного розчину гіпохлориту натрію.

Література

1. Гиренко Д.В. Влияние условий получения на образования гипохлорита и хлората при электролизе низкоконцентрированных растворов хлорида натрия / Д.В. Гиренко, А.А. Пилецкая, А.Б. Величенко // *Вопр. химии и хим. технологии* – 2014 – №1 – С. 138–144;
2. Katashynski A. S., Barsukov V. Z., Khomenko V.G., Reduction of molecular oxygen on the surface of transition metal complex oxide // *Mat.-wiss. u. Werkstofftech.* – 2016 – Vol. 47 – P. 112–119;
3. Королянчук Д.Г. Влияние температуры на электропроводность в тонких слоях электролита на границе с воздухом / Д.Г. Королянчук, В.Г. Нефедов // *Вопр. химии и хим. технологии.* – 2012. – № 1. – С. 172–175;
4. Нефедов В.Г. Оценка факторов, влияющих на аномалии электропроводности тонких слоев жидкости у поверхности воздух-электролит / В.Г. Нефедов, Д.В. Бондарь // *Вопр. химии и хим. технологии.* – 2007. – № 4. С 121–126;
5. Смирнов О.О. Электролизная установка для синтеза концентрированных растворов NaClO та ClO_2 / О.О. Смирнов, Г.Г. Тульський, С.Г. Дерібо, Хассан Муса Діаб // *Вісник НТУ «ХП».* – Харків: НТУ «ХП». – 2011. – № 31. – С. 148 – 151;
6. Jung Y.J., Baek K.W., Oh B.S. An investigation of the formation of chlorate and perchlorate during electrolysis using Pt/Ti electrodes: the effects of pH and reactive oxygen species and the results of kinetic studies // *Water Res.* – 2010. – Vol. 44. – P. 5345–5355;
7. Staser J.A., Gorenssek M.B., Weidner J.W. Quantifying Individual Potential Contributions of the Hybrid Sulfur Electrolyzer. *Journal of the Electrochemical Society*, 2010, Vol. 6 (157), pp. 952–958;
8. Saldan I., Girella A., Milanese C., Fratini E., Dobrovetska O., Levchuk I., Kuntiyi O. Size and distribution of palladium nanoparticles electrodeposited on graphite. *Functional materials*. 2018, vol. 25, no1, pp 82–87;
9. Tulskiy G. Electrochemical synthesis of hydrogen with depolarization of the anodic process / G. Tulskiy, A. Tulskaia, L. Skatkov, V. Gomofov, S. Deribo // *Electrochemical Energy Technology.* – De Gruyter, 2016. – № 2. P. 13–16;

References

1. Girenko D. V., Nikolenko N. V., Velichenko A. B. (2014). Vliianie uslovii polucheniia na obrazovaniia gipokhlorita i khlorata pri elektrolize nizkokontcentrirovanykh rastvorov khlorida natriia [Influence of production conditions on the formation of hypochlorite and chlorate during electrolysis of low-concentrated sodium chloride solutions] *Vopr. khimii i khim. Tekhnologii, 1, 138–144* [in Russian];
2. Katashynski A. S., Barsukov V. Z., Khomenko V.G., Reduction of molecular oxygen on the surface of transition metal complex oxide // *Mat.-wiss. u. Werkstofftech.* – 2016 – Vol. 47 – P. 112–119;
3. Korolyanchuk D.G., Nefedov V.G. (2012) Vliyanie temperatury na elektroprovodnost' v tonkikh sloyakh elektrolita na granitse s vozdukhom [The effect of temperature on electrical conductivity in thin layers of electrolyte at the interface with air] *Vopr. khimii i khim. Tekhnologii, 1, 172–175* [in Russian];
4. Nefedov V.G., Bondar' D.V. (2007) Otsenka faktorov, vliyayushchikh na anomalii elektroprovodnosti tonkikh sloev zhidkosti u poverkhnosti vozdukh-elektrolit [Assessment of factors affecting the anomalies in the electrical conductivity of thin layers of liquid at the air-electrolyte surface] *Vopr. khimii i khim. Tekhnologii, 4, 121–126* [in Russian];
5. Smyrnov O.O., Tulskeyi H.H., Deribo S.H., Diab Khassan Musa (2011). Elektrolizna ustanovka dlia syntezu kontsentrovanykh rozchyniv NaClO ta ClO_2 [Electric installation for the synthesis of concentrated solutions of NaClO and ClO_2] *Kharkiv: NTU «KhPI», 31, 148–151* [in Ukraine];
6. Jung Y.J., Baek K.W., Oh B.S. An investigation of the formation of chlorate and perchlorate during electrolysis using Pt/Ti electrodes: the effects of pH and reactive oxygen species and the results of kinetic studies // *Water Res.* – 2010. – Vol. 44. – P. 5345–5355;
7. Staser J.A., Gorenssek M.B., Weidner J.W. Quantifying Individual Potential Contributions of the Hybrid Sulfur Electrolyzer. *Journal of the Electrochemical Society*, 2010, Vol. 6 (157), pp. 952–958;
8. Saldan I., Girella A., Milanese C., Fratini E., Dobrovetska O., Levchuk I., Kuntiyi O. Size and distribution of palladium nanoparticles electrodeposited on graphite. *Functional materials*. 2018, vol. 25, no1, pp 82–87;
9. Tulskiy G. Electrochemical synthesis of hydrogen with depolarization of the anodic process / G. Tulskiy, A. Tulskaia, L. Skatkov, V. Gomofov, S. Deribo // *Electrochemical Energy Technology.* – De Gruyter, 2016. – № 2. P. 13–16;
10. Bairachnyi B.I., Tulskaia A.G., Bairachnyi V.B. (2013) Kompozitsionnye gazodiffuzionnye anody dlia

10. Тульская А.Г. Композиционные газодиффузионные аноды для реализации сульфатнокислотного способа получения водорода / Б.И. Байрачный, А.Г. Тульская, В.Б. Байрачный // Журнал прикладной химии. – 2013. – Т. 86. – Вып. 11. – С. 1780–1785.

realizacii sulfatnokislотноgo sposoba polucheniia vodoroda [Composite gas diffusion anodes for implementing the sulfate-acid method for producing hydrogen] Zhurnal prikladnoi khimii, Vol. 86, 1780–1785 [in Russian].

RUTKOVSKA KATERINA

rutkovskaya9@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0460-1906>

National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»

HOMOZOV VALERII

vp.gomozov@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2014-0919>

National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»

TULSKYI HENNADII

tgg@kpi.kharkov.ua

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2662-8333>

National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»

VORONA TETIANA

National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»

Institute»

КИНЕТИКА СОВМЕЩЕННЫХ КАТОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ВОДНОМ РАСТВОРЕ NaCl

РУТКОВСКАЯ Е.С., ТУЛЬСКИЙ Г. Г., ГОМОЗОВ В. П., ВОРОНА Т. В.

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»

Цель. Исследование кинетики совмещенных катодных процессов в электрохимическом синтезе гипохлорита натрия. Интенсификация процесса восстановления молекулярного кислорода в водном растворе NaCl для совершенствования электрохимического синтеза гипохлорита натрия с применением газодиффузионного катода. Исследование влияния газодиффузионного режима на кинетику катодных процессов, определения диапазонов потенциалов и плотностей тока течения совмещенных катодных реакций.

Методика. Циклическая вольтамперометрия для исследования кинетических параметров катодного процесса с применением импульсного потенциостата MTech PGP-550M. Йодометрическое титрование для определения концентрации гипохлорита натрия. **Результаты.** Установлены диапазоны потенциалов протекания совмещенных катодных процессов в условиях без подачи воздуха и с подачей воздуха через газодиффузионный электрод. Показана возможность деполяризации кислородом воздуха катодного процесса с помощью газодиффузионного режима работы пористого графитового электрода. Для большего понимания влияния подачи воздуха на ход совмещенных катодных процессов построено суммарную и парциальные восстановления (восстановления кислорода и выделения водорода) поляризационные зависимости без подачи воздуха и при подаче воздуха в водном растворе 3 моль/дм³ NaCl. Полученные поляризационные зависимости доказывают, что подача воздуха в газодиффузионный электрод приводит к росту предельной плотности тока восстановления кислорода с 2 до 8 мА/см², что указывает на перспективу применения газодиффузионного катода

Научная новизна. Изменение природы катодного процесса позволяет значительно снизить разницу электродных потенциалов. Управляя скоростью подачи кислорода, можно препятствовать подводу ClO⁻ к поверхности катода.

Практическая значимость. Для области электрохимических производств заключается в совершенствовании электрохимического синтеза гипохлорита натрия за счет повышения выхода по току и снижение удельных расходов электроэнергии. При изменении природы катодного процесса выделения водорода на восстановление подведенного к границе катод-электролит кислорода, с помощью газодиффузионного катода будет решена проблема катодного восстановления ClO⁻ без загрязнения конечных растворов гипохлорита натрия.

Ключевые слова: восстановление кислорода, газодиффузионный электрод, электросинтез, деполяризация, гипохлорит натрия, вольт-амперная зависимость.

KINETICS OF COMBINED CATHODE PROCESSES IN AQUEOUS NaCl SOLUTION
RUTKOVSKA K., TULSKYI H., HOMOZOV V., VORONA T.

National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»

Purpose. Investigation of the kinetics of combined cathode processes in the electrochemical synthesis of sodium hypochlorite. Intensification of the process of molecular oxygen reduction in aqueous NaCl solution to improve the electrochemical synthesis of sodium hypochlorite using a gas diffusion cathode. Investigation of the effect of the gas diffusion regime on the kinetics of cathode processes, determination of the ranges of potentials and current densities of combined cathode reactions.

Methodology. Cyclic voltammetry for the study of kinetic parameters of the cathode process using the MTech PGP-550M pulse potentiostat. Iodometric titration to determine the concentration of sodium hypochlorite.

Findings. Ranges of potentials of combined cathode processes in conditions without air supply and with air supply through a gas diffusion electrode the possibility of depolarization by air oxygen of the cathode process using the gas diffusion mode of operation of a porous graphite electrode is shown. Total and partial reductions (oxygen reduction and hydrogen evolution) polarization dependences without air supply and with air supply in an aqueous solution of 3 mol/dm³ NaCl are constructed to better understand the effect of air supply on the course of combined cathode processes. The obtained polarization dependences prove that the air supply to the gas diffusion electrode leads to an increase in the limiting density of the oxygen reduction current from 2 to 8 mA/cm², which indicates the prospect of using a gas-diffusion cathode.

Scientific novelty. Changing the nature of the cathode process can significantly reduce the difference in electrode potentials, and by controlling the oxygen supply rate, ClO⁻ can be impeded to the cathode surface.

Practical significance. For the field of electrochemical production, it consists in improving the electrochemical synthesis of sodium hypochlorite by increasing the current efficiency and reducing specific electricity consumption. By changing the nature of the cathode process of hydrogen evolution for the reduction of oxygen brought to the cathode-electrolyte interface using a gas diffusion cathode, the problem of cathode reduction of ClO⁻ will be solved without contamination of the final solutions of sodium hypochlorite.

Keywords: oxygen reduction, gas diffusion electrode, electrosynthesis, depolarization, sodium hypochlorite, current-voltage dependence.

УДК 577.151.042

КИСЛОВА О. В.

Київський національний університет технологій та дизайну

ВПЛИВ ЗАМІЩЕНОГО НІКОТИНАМІДУ ТА ЙОГО МОЖЛИВИХ МЕТАБОЛІТІВ НА АКТИВНІСТЬ ФЕРМЕНТІВ ОБМІНУ ЕТАНОЛУ

Мета. Дослідити дію *N*-феніл-*N*-(1-циклопропілетил)нікотинаміду та можливих його метаболітів: гідрохлоридів *N*-(1-циклопропілетил)аміну та *N*-феніл-*N*-(1-циклопропілетил)аміну - на активність ферментів основного шляху метаболізму етанолу – алкогольдегідрогенази та альдегіддегідрогенази - в умовах *in vitro*, а також кінетичний характер їх взаємодії.

Методика. Дослідження проводили з використанням алкогольдегідрогенази та альдегіддегідрогенази субклітинних фракцій печінки щурів, які отримували методом диференціального центрифугування. Активність ферментів визначали спектрофотометричним методом. Кінетичний характер їх взаємодії з заміщеним нікотинамідом досліджували в діапазоні концентрацій 25-100 мкМ. Отримані результати обробляли за методом Лайнуївера-Берка.

Результати. Проведені дослідження показали, що *N*-феніл-*N*-(1-циклопропілетил)-нікотинамід зменшує швидкість зворотної алкогольдегідрогеназної реакції відновлення ацетальдегіду до етанолу в присутності NADH на 46% з константою інгібування 53 мкМ. Активність розчинної альдегіддегідрогенази мітохондрій пригнічувалась на 50% з константою інгібування 108 мкМ. Кінетичний характер взаємодії заміщеного нікотинаміду з ферментами при насичуючих концентраціях кофакторів реакції NADH та NAD⁺ є достатньо складним. Значну роль в ферментативній активності можуть відігравати алостеричні ефекти. Можливі метаболіти дослідженої сполуки - гідрохлориди *N*-(1-циклопропілетил)аміну та *N*-феніл-*N*-(1-циклопропілетил)аміну - достовірно не змінювали активність ферментів обміну етанолу.

Наукова новизна. Виявлено новий інгібітор активності зворотної алкогольдегідрогеназної реакції та розчинної мітохондріальної ізоферментної форми альдегіддегідрогенази, які змінюють метаболізм етанолу та призводять до накопичення ацетальдегіду в організмі.

Практична значимість. *N*-феніл-*N*-(1-циклопропілетил)нікотинамід може бути використаний як потенційний антиалкогольний препарат сенсibiliзуючої дії.

Ключові слова: алкогольдегідрогеназа, альдегіддегідрогеназа, інгібітор, препарати сенсibiliзуючої дії.

Вступ. Одним з методів лікування хронічного алкоголізму та протирецидивної терапії є застосування засобів сенсibiliзуючої дії, які значно підвищують чутливість організму до спиртних напоїв. Основним шляхом метаболізму етанолу в організмі є його перетворення за участю алкогольдегідрогенази (АДГ, КФ 1.1.1.1), яка каталізує окиснення спиртів (пряма реакція) та відновлення альдегідів (зворотня реакція) в присутності кофакторів NAD⁺ та NADH відповідно. Подальше окиснення ацетальдегіду до оцтової кислоти з використанням кофактора реакції NAD⁺ відбувається за участю альдегіддегідрогенази (АльДГ, КФ 1.2.1.3) [1-3]. Саме на інгібуванні активності цього ферменту і накопиченні в організмі ацетальдегіду базується принцип дії препаратів сенсibiliзуючої дії. В результаті ацетальдегідної інтоксикації виникають важкі порушення в функціонуванні організму (так звана дисульфірам-алкогольна реакція), що спонукає пацієнтів зменшувати або припиняти вживання спиртних напоїв [4,5].

До сенсibiliзуючих препаратів належать дисульфірам, карбамід кальцію, метронідазол, фуразолідон. Аналогічну дисульфірам-алкогольну реакцію викликає копрін, виділений з грибів *Coprinopsis atramentarius* та ідентифікований як *N*-(1-гідроксіциклопропіл)-

L-глутамін, активним метаболітом якого є аміноциклопропанол [4]. Проте тривалий прийом зазначених препаратів супроводжується високим ризиком розвитку серйозних ускладнень та смертельними випадками.

Тому перспективним напрямком лікувальної терапії є пошук нових ефективних лікувальних засобів, а також створення комбінованих препаратів, які виявляють більшу специфічність і нижчу токсичність [5]. Наприклад, препарат Лідевін містить крім дисульфіраму ще нікотинамід та аденін. Такий склад препарату забезпечує виражений вияв алкоголь-дисульфірамової реакції при малих дозах препарату і алкоголю, водночас зменшує токсичність дисульфіраму та ризик виникнення побічних ефектів, покращує результат лікування.

Постановка завдання. Дослідити дію N-феніл-N-(1-циклопропілетил)нікотинаміду та можливих його метаболітів: гідрохлоридів N-(1-циклопропілетил)аміну та N-феніл-N-(1-циклопропілетил)аміну - на активність ферментів обміну етанолу та кінетичний характер їх взаємодії в умовах *in vitro*.

Матеріали та методи дослідження. Було використано наступні реактиви: натрій дезоксихолат, ротенон, NAD^+ та NADH ("Sigma", США); сироватковий альбумін людини ("Reanal", Угорщина); барвник кумасі діамантовий блакитний G-250 ("Serva", США). Інші реагенти були вітчизняного виробництва. Досліджувані сполуки були синтезовані в Інституті біоорганічної хімії та нафтохімії НАН України.

Субклітинні фракції печінки безпородних білих щурів отримували методом диференціального центрифугування при температурі 4°C. Концентрацію білка цитоплазматичної фракції визначали методом прямого спектрофотометрування [6], інших фракцій - за методом Бредфорда [7]. Швидкість прямої та зворотної АДГ-реакцій та активність різних ізоферментних форм АльДГ визначали спектрофотометричним методом при довжині хвилі 340 нм і виражали в нмоль $\text{NADH}/(\text{мг білка} \cdot \text{хв})$ [8]. Реакційна суміш містила: 1) для АДГ: 0,1 М Na-фосфатний буфер ($\text{pH} = 7,3$), 0,040 М KCl, 500 мкг білку, для прямої реакції – 1 мМ NAD^+ та 1-5 мМ етанолу, для зворотної реакції – 0,5 мМ NADH та 0,25-1 мМ ацетальдегіда; 2) для АльДГ: 50 мМ Na-пірофосфатний буфер ($\text{pH} = 8,8$); 500 мкг білку; 0,5 мМ NAD^+ ; 0,0125-5 мМ ацетальдегіду, 1 мкМ ротенону для мітохондріальної фракції (інгібітор NADH -оксидази). Спектрофотометричні вимірювання проводили протягом 5 хв на приладі "Beckman DU-6" (США). N-феніл-N-(1-циклопропілетил)нікотинамід розчиняли в етанолі з об'ємною часткою 96%, а гідрохлориди - у воді.

Результати дослідження. N-феніл-N-(1-циклопропілетил)нікотинамід (I) містить циклопропільний залишок - активний компонент копріну з сімейства грибів Coprinopsis, що виявляє сенсibiliзуючу дію, а також залишок нікотинаміду, який відіграє важливу роль в біохімічних процесах в організмі, входить до складу NAD^+ та NADH , необхідних для функціонування ферментів етанол-окиснюючої системи та здатен знижувати токсичний вплив препаратів [1,4]. Вплив заміщеного нікотинаміду та його можливих метаболітів - гідрохлоридів N-(1-циклопропілетил)аміну (II) та N-феніл-N-(1-циклопропілетил)аміну (III)- на активність ферментів етанолокиснюючої системи наведено в таблиці.

**Вплив N-феніл-N-(1-циклопропілетил)нікотинамід (I),
N-(1-циклопропілетил)аміну (II) та N-феніл-N-(1-циклопропілетил)аміну (III)
на активність ферментів обміну етанолу (нмоль NADH/(мг білку·хв), M±m, n=6)**

Шифр сполук	Активність АДГ		Активність ізоферментних форм АльДг		
	Пряма реакція	Зворотня реакція	Розчинна мітохондрій	Мембранна мітохондрій	Мембранна мікросом
Контроль	6,32±0,96	5,83±0,66	9,61±0,67	14,88±1,98	7,26±0,97
I	5,12±0,89	3,17±0,45*	4,83±0,81*	13,86±1,83	6,29±1,45
II	5,69±0,89	6,12±0,92	8,13±0,67	16,67±2,14	7,05±0,78
III	6,64±1,18	5,66±1,05	9,45±1,03	15,72±1,14	8,18±1,13

Проведені дослідження показали, що в умовах *in vitro* N-феніл-N-(1-циклопропілетил)-нікотинамід (I) пригнічував активність АДГ, яка каталізує зворотню реакцію відновлення ацетальдегіду до етанолу в присутності NADH, на 46%.

В печінці щурів АльДГ представлена трьома ізоферментними формами: розчинна мітохондріальна форма та мембранні форми мітохондрій і мікросом. Перша з них відіграє основну роль при окисненні ацетальдегіду в фізіологічних умовах, функціонування мембранозв'язаних форм відбувається в умовах хронічного алкоголізму [3]. Проведені дослідження показали, що циклопропілетилвмісний нікотинамід зменшував активність тільки розчинної АльДГ мітохондрій на 50%. Можливі метаболіти заміщеного нікотинамід - гідрохлориди N-(1-циклопропілетил)аміну (II) та N-феніл-N-(1-циклопропілетил)аміну (III) - достовірно не змінювали активність ферментів обміну етанолу. Таким чином, інгібуючу здатність виявляє N-феніл-N-(1-циклопропілетил)нікотинамід в цілому, тоді як копрін в умовах *in vitro* є неактивним, а його метаболіт 1-аміноциклопропанол в умовах *in vivo* інгібує розчинну АльДГ [4].

З точки зору ферментативної кінетики реакції, які каталізуються АДГ та АльДГ, є двохсубстратними (спирт (альдегід) та NAD⁺ (NADH)) і відбуваються за впорядкованим Бі-Бі механізмом. Приєднання NAD⁺ (NADH) призводить до зміни конформації ферменту і сприяє подальшому зв'язуванню спирту або альдегіду [9]. Інгибування швидкості зворотньої АДГ-реакції та розчинної АльДГ мітохондрій призводить до накопичення ацетальдегіду в організмі. N-феніл-N-(1-циклопропілетил)нікотинамід оборотно взаємодіє з обома ферментами, оскільки спостерігається стабілізація їх активності в процесі преінкубації. Вплив інгібітора на швидкість зворотньої АДГ-реакції визначали при насичуючій концентрації NADH і різних концентраціях ацетальдегіду (рис.1а).

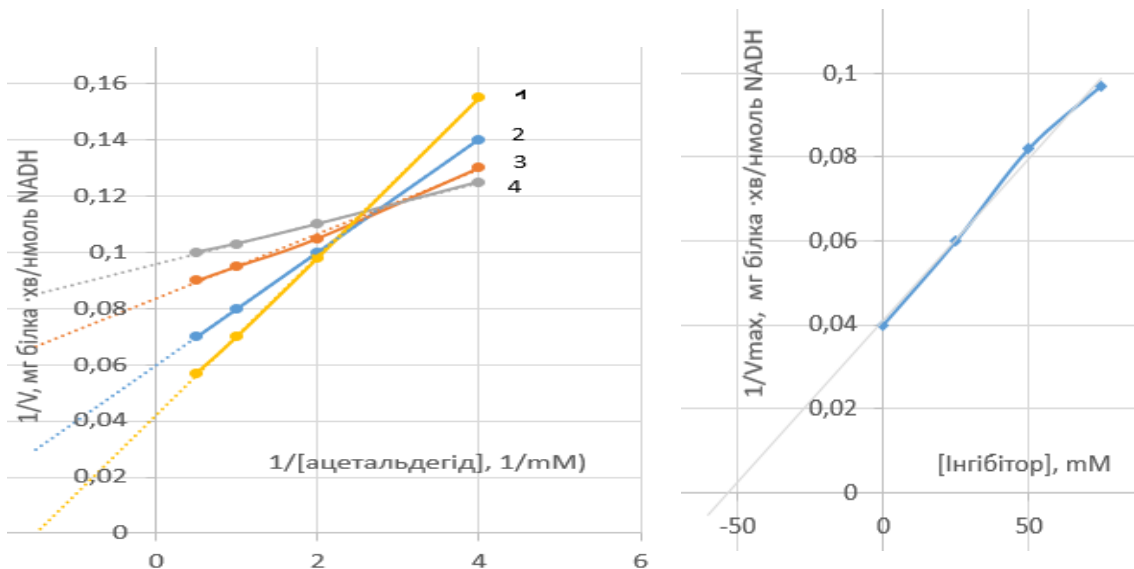


Рис.1. а) Залежність швидкості зворотної АДГ – реакції від концентрації ацетальдегіду в присутності N-феніл-N-(1-циклопропілетил)нікотинаміду в концентраціях 0, 25, 50, 75 μM для прямих 1-4 відповідно при насичуючих концентраціях NADH; б) вторинний графік перетинів прямих 1-4 з віссю ординат в координатах Лайнуівера-Берка (рис.1а) від концентрації інгібітора

Отримані дані представляли в координатах подвійних обернених величин за методом Лайнуівера-Берка [9]. При низьких концентраціях ацетальдегіду амід виступає як активатор, а при зростанні концентрацій – як інгібітор. Такий складний характер інгібування переважно спостерігається для багатосубстратних реакцій. Приєднання інгібітора змінює конформацію молекули ферменту таким чином, що порушується взаємодія субстрату з активним центром ферменту та відбувається зниження швидкості ферментативної реакції. За даними вторинного графіку залежності перетинів прямих 1-4 з віссю ординат в координатах Лайнуівера-Берка від концентрації інгібітора константа інгібування становить 53 μM (рис. 1б).

Для розчинної АльДГ мітохондрій характер інгібування по відношенню до ацетальдегіду при насичуючих концентраціях NAD^+ змінювався від безконкурентного (прямі 2,3 при концентрації амиду до 50 μM) до змішаного (пряма 4) (рис. 2а). При невисоких концентраціях інгібітор може зв'язуватись тільки з фермент-субстратним комплексом та дезактивувати його. При підвищенні концентрацій можлива взаємодія з алостеричними центрами ферменту, що робить його конфігурацію непридатною для ефективного каталізу.

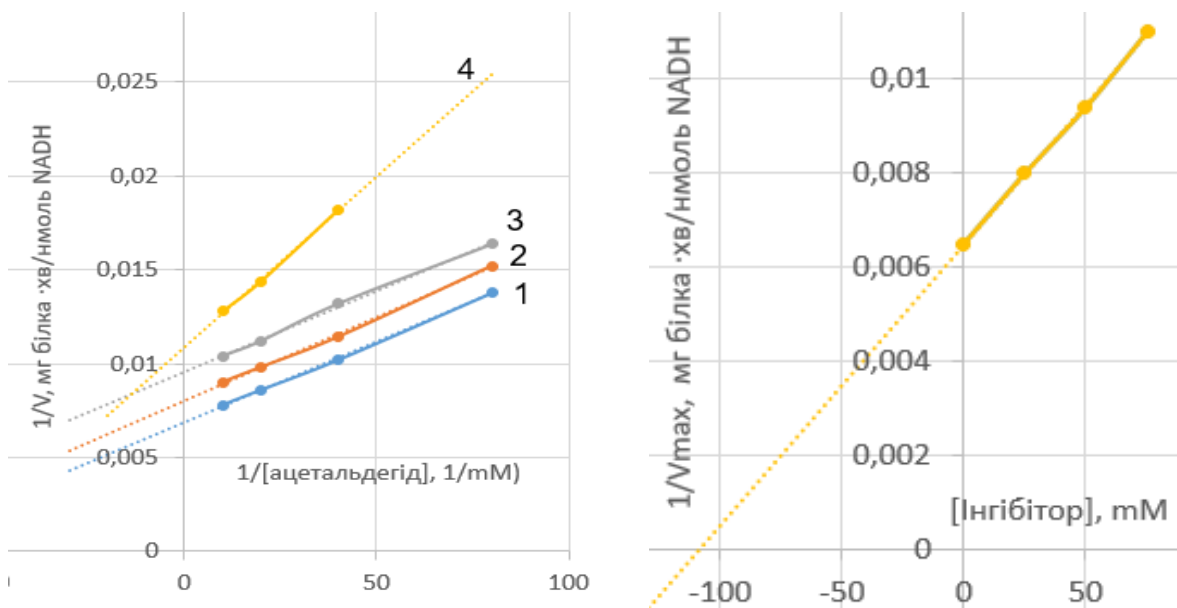


Рис.2. а) Залежність швидкості АльДГ реакції від концентрації ацетальдегіду в присутності N-феніл-N-(1-циклопропілетил)нікотинамід у концентраціях 0, 25, 50, 75 мкМ для прямих 1-4 відповідно при насичуючих концентраціях NAD⁺; б) Вторинний графік перетинів прямих 1-4 з віссю ординат в координатах Лайнуівєра -Берка від концентрації інгібітора

За даними вторинного графіку залежності перетинів прямих 1-4 з віссю ординат в координатах Лайнуівєра-Берка від концентрації інгібітора (рис. 2б) константа інгібування становить 108 мкМ.

Висновок. Проведені дослідження показали, що N-феніл-N-(1-циклопропілетил)нікотинамід здатен зменшувати швидкість зворотної АДГ-реакції відновлення ацетальдегіду в етанол у присутності NADH на 46%, а активність розчинної АльДГ мітохондрій на 50%. Його можливі метаболіти - гідрохлориди N-(1-циклопропілетил)аміну (II) та N-феніл-N-(1-циклопропілетил)аміну (III) - достовірно не змінювали активність ферментів обміну етанолу. Кінетичний характер взаємодії заміщеного нікотинамід з ферментами є достатньо складним, оскільки ферменти складаються з декількох субодиниць і значну роль в ферментативній активності можуть відігравати алостеричні ефекти. Необхідне подальше дослідження N-феніл-N-(1-циклопропілетил)нікотинамід у умовах «in vivo» на моделі хронічного алкоголізму для застосування в комплексній антиалкогольній терапії як можливого засобу сенсibiliзуючого типу.

Література

1. Jones A. Alcohol, its absorption, distribution, metabolism, and excretion in the body and pharmacokinetic calculations / A. Jones // *WIREs Forensic Sci.* – 2019. – P.1-26.
2. Jörnvall H. Origin and evolution of medium chain alcohol dehydrogenases / H.Jörnvall, J. Hedlund, T.Bergman, Y.Kallberg, E.Cederlund, B.Persson // *Chem. Biol. Interact.* – 2013. – 202. – P.91–96.
3. Plapp B. Contribution of liver alcohol dehydrogenase to metabolism of alcohols in rats / B.Plapp, K.Leidal, B.Murch, D.Green. *Chem. Biol.*

References

1. Jones A. (2019). Alcohol, its absorption, distribution, metabolism, and excretion in the body and pharmacokinetic calculations. *WIREs Forensic Sci.*, 1-26.
2. Jörnvall H., Hedlund J., Bergman T., Kallberg Y., Cederlund E., Persson B. (2013). Origin and evolution of medium chain alcohol dehydrogenases. *Chem. Biol. Interact.*, 202, 91–96.
3. Plapp B., Leidal K., Murch B., Green D. (2015). Contribution of liver alcohol dehydrogenase to metabolism of alcohols in rats. *Chem. Biol. Interact.*,

Interact. – 2015. – 234. – P.85-95.

4. Koppaka V. Aldehyde Dehydrogenase Inhibitors: a Comprehensive Review of the Pharmacology, Mechanism of Action, Substrate Specificity, and Clinical Application / V. Koppaka, D. Thompson, Y. Chen, M. Ellermann, C. Kyriacos // *Pharmacol. Rev.* – 2012. – 64(3). – P. 520–539.

5. Edenberg H. Genetics and Alcoholism / H. Edenberg, T. Foroud // *Nature Reviews Gastroenterol. & Hepatol.* – 2013. – P. 487-494.

6. Okutucu B. Comparison of five methods for determination of total plasma protein concentration / B. Okutucu, A. Dincer, O. Habib, F. Zihnioglu // *J. of Biochem. and Biophys. Methods.* – 2007. – Vol. 70, № 5. – P. 709-711.

7. Bradford M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding / M. Bradford // *Anal. Biochem.* – 1976. – 72. – P. 248-254.

8. Walker JRL. Spectrophotometric determination of enzyme activity: alcohol dehydrogenase (ADH) / JRL. Walker // *Biochem. Education.* – 1992. – Vol. 20, № 1. – P. 42-43.

9. Bhagavan N.V. *Medical Biochemistry* (fourth edition). Chapter 6 - Enzymes I: General Properties, Kinetics, and Inhibition. – Academic Press. 2002. – P. 85-108.

234, 85-95.

4. Koppaka V., Thompson D., Chen Y., Ellermann M., Kyriacos C. (2012). Aldehyde Dehydrogenase Inhibitors: a Comprehensive Review of the Pharmacology, Mechanism of Action, Substrate Specificity, and Clinical Application. *Pharmacol. Rev.*, 64(3), 520–539.

5. Edenberg H., Foroud T. (2013). Genetics and Alcoholism. *Nature Reviews Gastroenterol. & Hepatology*, 10(8), 487-494.

6. Okutucu B., Dincer A., Habib O., Zihnioglu F. (2007). Comparison of five methods for determination of total plasma protein concentration. *J. of Biochem. and Biophys. Methods*, 70(5), 709-711.

7. Bradford M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Anal. Biochem*, 72, 248-54.

8. Walker JRL. (1992). Spectro-photometric determination of enzyme activity: alcohol dehydrogenase (ADH). *Biochemical Education*, 20 (1), 42-43.

9. Bhagavan N.V. (2002). *Medical Biochemistry* (fourth edition). Chapter 6 - Enzymes I: General Properties, Kinetics, and Inhibition. *Academic Press.*, 85-108.

KYSLOVA OLHA

Scopus Author ID: 22034723000;

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0223-1860>;

kievkislova@gmail.com;

Department of department of Chemistry and Electrochemical Energy,
Kyiv National University of Technologies and Design

ВЛИЯНИЕ ЗАМЕЩЕННОГО НИКОТИНАМИДА И ЕГО ВОЗМОЖНЫХ МЕТАБОЛИТОВ НА АКТИВНОСТЬ ФЕРМЕНТОВ ОБМЕНА ЭТАНОЛА

КИСЛОВА О. В.

Киевский национальный университет технологий и дизайна

Цель. Исследовать действие *N*-фенил-*N*-(1-циклопропилэтил)никотинамида и возможных его метаболитов: гидрохлоридов *N*-(1-циклопропилэтил)амин и *N*-фенил-*N*-(1-циклопропилэтил)амин на активность ферментов основного пути метаболизма этанола в условиях *in vitro*, а также кинетический характер их взаимодействия.

Методика. Исследования проводились с использованием алкогольдегидрогеназы и альдегиддегидрогеназы субклеточных фракций печени крыс, полученных дифференциальным центрифугированием. Активность ферментов определяли спектрофотометрически. Кинетический характер их взаимодействия с замещенным никотинамидом проводили в диапазоне концентраций 25-100 мкм. Результаты исследований обрабатывали по методу Лайнуивера-Берка.

Результаты. Проведенные исследования показали, что *N*-фенил-*N*-(1-циклопропилэтил) - никотинамид уменьшал скорость обратной алкогольдегидрогеназной реакции восстановления

ацетальдегида в етанол в присутствии NADH на 46% с константой ингибирования 53 мкМ. Активность растворимой альдегиддегидрогеназы митохондрий подавлялась на 50% с константой ингибирования 108 мкМ. Кинетический характер взаимодействия замещенного никотинамида с ферментами при насыщающих концентрациях кофакторов реакции NADH и NAD⁺ достаточно сложный. Значительную роль в изменении ферментативной активности могут играть аллостерические эффекты. Возможные метаболиты соединения - гидрохлориды N-(1-циклопропилэтил)амин и N-фенил-N-(1-циклопропилэтил)амин - достоверно не влияли на активность ферментов обмена этанола.

Научная новизна. Обнаружен новый ингибитор активности обратной алкогольдегидрогеназной реакции и растворимой митохондриальной изоферментной формы альдегиддегидрогеназы, действие которого приводит к накоплению ацетальдегида в организме.

Практическая значимость. N-фенил-N-(1-циклопропилэтил)никотинамид может быть использован как потенциальный антиалкогольный препарат сенсibiliзирующего действия.

Ключевые слова: алкогольдегидрогеназа, альдегиддегидрогеназа, ингибитор, препараты сенсibiliзирующего действия.

EFFECT OF SUBSTITUTED NICOTINAMIDE AND ITS POSSIBLE METABOLITES ON THE ACTIVITY OF ETHANOL OXIDIZING ENZYMES

KYSLOVA O. V.

Kyiv National University of Technologies and Design

Purpose. To study the influence of N-phenyl-N-(1-cyclopropylethyl)nicotinamide and its possible metabolites: hydrochlorides of N-(1-cyclopropylethyl)amine and N-phenyl-N-(1-cyclopropylethyl)amine - on the activity of main ethanol oxidation enzymes *in vitro* and kinetic nature of their interaction.

Methodology. The studies were carried out using alcohol dehydrogenase and aldehyde dehydrogenase of rat liver subcellular fractions, which were obtained by differential centrifugation. The enzyme activity was determined spectrophotometrically. The kinetic nature of alcohol dehydrogenase and isozyme form of aldehyde dehydrogenase interaction with substituted nicotinamide was investigated in the concentration range of 25-100 μM. The research results were processed by the Lineweaver-Burk method.

Findings. Studies have shown that N-phenyl-N-(1-cyclopropylethyl)nicotinamide is able to reduce the rate of the reverse alcohol dehydrogenase reaction of acetaldehyde reduction to ethanol in the presence of NADH by 46% with an inhibition constant 53 μM. The activity of soluble mitochondrial aldehyde dehydrogenase was suppressed by 50% with an inhibition constant 108 μM. The kinetic nature of the substituted nicotinamide interaction with enzymes at saturating concentrations of the reaction cofactors NADH and NAD⁺ is quite complex. Allosteric effects can play a significant role in enzymatic activity. Possible metabolites of the compound - hydrochlorides of N-(1-cyclopropylethyl)- and N-phenyl-N-(1-cyclopropylethyl)amine – didn't significantly influence on ethanol metabolism enzymes activity.

Originality. A new inhibitor of the rate of the reverse alcohol dehydrogenase reaction and the activity of soluble mitochondrial isozyme form of aldehyde dehydrogenase, which lead to the accumulation of acetaldehyde in the body, has been discovered.

Practical value. N-phenyl-N-(1-cyclopropylethyl)nicotinamide can be used as a potential antialcohol sensitizing drug after research *in vivo*.

Keywords: alcohol dehydrogenase, aldehyde dehydrogenase, inhibitor, sensitizing drugs.

<https://doi.org/DOI:10.30857/1813-6796.2020.2.11>

УДК 620.193.01:
544.636.638

НИРКОВА Л. І.¹, ОСАДЧУК С. О.¹, БОРИСЕНКО Ю. В.²,
МАКАТЬОРА Ф. М.²

¹Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України

²Київський національний університет технологій та дизайну

АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ВНУТРІШНЬОЇ КОРОЗІЇ НАФТОПРОВОДУ ТА МЕТОДОЛОГІЯ ЇЇ ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДОМ ПОЛЯРИЗАЦІЙНОГО ОПОРУ

Мета. Розроблення методології дослідження та оцінювання внутрішньої корозії нафтопроводу з низьковуглецевої сталі уздовж нижньої твірної в вуглеводневому середовищі з різним вмістом води.

Методика. Застосовували візуальний огляд та метод поляризаційного опору.

Результати. На основі аналізу особливостей внутрішньої корозії нафтопроводів розроблено методологію її дослідження. Запропоновано та виготовлено лабораторний стенд для випробувань, який моделює внутрішню поверхню трубопроводу. Удосконалено конструкцію датчика поляризаційного опору шляхом застосування вологоутримуючого шару, що дозволило визначати швидкість корозії в нафто-водній емульсії. Для підвищення чутливості датчика в цьому середовищі у вологоутримуючий шар введено добавки, що сприяють поглинанню та утриманню вологи. Досліджено вплив різних добавок на підвищення чутливості датчика, відпрацьовано спосіб нанесення вологоутримуючого шару, який є придатним для використання. Визначено мінімальну концентрацію добавки, при якій отримано твердий вологоутримуючий шар, стійкий до дії вологи повітря.

Наукова новизна. Запропоновано та обґрунтовано методологію дослідження внутрішньої корозії нафтопроводу уздовж нижньої твірної на основі моделювання в лабораторних умовах поверхні труби. Виготовлено лабораторний стенд та удосконалено конструкцію датчика поляризаційного опору, за допомогою якого з'явилася можливість проводити вимірювання в нафто-водній емульсії. Це дозволило розширити сферу застосування методу поляризаційного опору для нафтових середовищ з низьким вмістом води (від 50 % до 5 %).

Практична значимість. Удосконалено конструкцію електрохімічного двохелектродного датчика поляризаційного опору з коповехневим розташуванням електродів, на який нанесено вологоутримуючий шар та визначено його склад. Отримано твердий шар, стійкий до дії вологи повітря. Датчик з вологоутримуючим шаром придатний для використання у нафто-водній емульсії з вмістом води від 50 % до 5 %.

Ключові слова: трубна сталь 17ГІС, метод поляризаційного опору, електрохімічний двохелектродний датчик з коповехневим розташуванням електродів, електрохімічна корозія, нафтово-водна емульсія, вологоутримуючий шар.

Вступ. Корозія нафтопроводів є однією з основних причин зниження їх працездатності, викликає величезні економічні втрати й екологічні збитки [1]. Досвід експлуатації трубопроводів і резервуарів збору нафти показує, що найбільш небезпечними видами руйнування є «канавкове» корозійно-механічне руйнування і корозійна втома, які викликані взаємодією металу труби і корозивного середовища, що перекачується. Швидкість рівномірної корозії внутрішньої стінки нафтопроводу може становити від 0,10 до 18 мм/рік, у той час як на дні виразки – на порядок вище [2].

Захист від такого виду корозії на сьогодні є актуальним для багатьох країн, зокрема України, урахувавши те, що зі збільшенням терміну експлуатації родовищ зростає обсяг видобутої мінералізованої води. Безпечна експлуатація нафтопроводів може бути забезпечена, в першу чергу, шляхом вивчення причин їх руйнування, лабораторними дослідженнями закономірностей взаємодії поверхні труби і корозивно-активних

компонентів, присутніх в продуктах, що видобуваються, розробленням заходів щодо уповільнення цього процесу.

Нафтопродукти є неелектропровідними, тому електрохімічна корозія в них неможлива. Але в них завжди присутні корозійні реагенти (вода та кисень) у кількості, достатній для того, щоб викликати корозію внутрішньої поверхні трубопроводів під час експлуатації. Вода, що містить водорозчинні компоненти нафти (наприклад, сірководень і різні сірковмісні кислоти), конденсується на контактуючих з газовою фазою металевих поверхнях, сприяючи розвитку електрохімічної корозії [3].

Корозія протікає, переважно, на поверхні, що контактує з вуглеводневою фазою, через тонку плівку електроліту. У такій системі реалізуються зони нерівномірної аерації, де катодом служить поверхня металу під плівкою електроліту та частково контактуюча з вуглеводнем, а анодний процес протікає на металі, зануреному в електроліт, переважно, поблизу границі розподілу рідких фаз.

При дії знакозмінних навантажень на трубопровід механо-хімічна активність металу зростає. Крім того, при впливі на метал циклічних напружень, що виникають при зміні режимів перекачування, з'являється можливість розвитку втомного руйнування металу. При різних тисках може відбуватися розшарування нафто-водної емульсії не тільки на висхідних ділянках трубопроводу, але й на спадних і горизонтальних ділянках [4].

Різниця потенціалів на локальних ділянках труби при контакті підтоварної води з поверхнею в початковий момент викликає електрохімічну корозію стінки, яка протікає з високою швидкістю, утворюючи «канавки» вздовж нижньої твірної. Потенціал оголеного металу поблизу «канавки» найчастіше є більш від'ємним порівняно з потенціалом на інших ділянках, тому на внутрішній поверхні труби виникає макрогальванопара «окалина-метал труби», анодом в якій є оголений метал труби, а катодом – шар окалини та відкладень. Макрогальванопари прискорюють локальну корозію стінки труби. При цьому з найбільшою швидкістю корозія перебігає по берегах канавки. Розподіл мікротвердості вказує на локальне зміцнення або розміцнення (пластифікацію) сталі в області канавки. Реальні швидкості корозії нафтопроводів в умовах механо-хімічного впливу можуть бути більше ніж 2 мм/рік [1].

Швидкість корозійного руйнування верхньої частини нафтопроводу визначається складом повітря, що знаходиться в трубопроводі, та його вологістю. При зменшенні температури на внутрішній поверхні, яка в контактує з газовою фазою, відбувається конденсація парів води та насичення конденсату, що утворився, киснем. При наявності електроліту (води) та активного деполяризатору (кисню) відбувається електрохімічне руйнування металу.

В області постійного змочування нафтою також відбувається корозійне руйнування металу. При підвищенні температури пристінні шари нафти нагріваються. Одночасно з цим підігріта нафта піднімається вгору, захоплюючи за собою підтоварну воду. В результаті шари нафти збагачуються водою, що створює сприятливі умови для корозії металу. При зниженні температури та охолодженні шарів нафти, що прилягають до стінки, конвективні потоки, спрямовані вниз. При цьому нафта захвачує краплі води, що осідають на холодній стінці з боку пароповітряної суміші, що також сприяє корозії нафтопроводу.

Корозія трубопроводу *уздовж нижньої твірної* відбувається завдяки присутності в нафтопроводі підтоварної води, яка містить розчинені солі та кислоти.

Особливу небезпеку для нафтопроводу представляють ділянки на пониженнях рельєфу з поворотами (кривими вставками) труби, механічні та корозійні дефекти зварних монтажних швів, де волога та солі затримуються, утворюючи сприятливі умови для прискорення локальних корозійних процесів в десятки та сотні разів. В цих умовах активізується біологічний чинник. Дуже імовірна також зміна природи корозійного процесу: киснева деполяризація може переходити, наприклад, у водневу за рахунок зміни pH всередині дефекту.

З вищезазначеного витікає, що корозія нафтопроводів – є процес неминучий. Однак, розуміння механізму корозії та володіння методиками її оцінювання дозволяє контролювати цей процес, і тим самим забезпечувати безвідмовну роботу нафтопроводів впродовж тривалого часу.

У роботі [6] запропоновано методику дослідження корозії нафтопроводу *уздовж нижньої твірної* з урахуванням таких чинників: корозивності середовища, деформованого стану металу, наявності на стінці труби осаду та ерозійного впливу.

В інших джерелах [7] розглянуто методи та засоби боротьби з корозією *уздовж нижньої твірної* шляхом розрахунку залишкового ресурсу трубопроводів, створення гомогенізації потоку тощо, що дозволить знизити ризик руйнування нафтопроводу та зменшити наслідки таких інцидентів.

Із використанням комплексної програми Autodesk Inventor на основі оброблення даних внутрішньої трубної дефектоскопії, визначення типів дефектів, будівництва 3D моделі, обчислення навантажень та напружень, отримали візуалізацію розподілу напружень і переміщень в зразку при впливі тиску. Розрахунками показано, що максимальні напруження в трубопроводі з локальними корозійними ураженнями знаходяться на дні канавки [8].

Для контролю корозійного стану використовуються он-лайн вимірювання лінійного опору поляризації (LPR), гальванічні зонди та зонди електричного опору (ER) [9]. Вимірюючи фактичну швидкість корозії в системі можна отримати пряме точне оцінювання, що дозволить зменшити ризики раптового руйнування.

Постановка завдання. Мета роботи полягала у розробленні методології дослідження та оцінювання корозії нафтопроводу *уздовж нижньої твірної* з низьковуглецевої сталі на прикладі сталі 17Г1С в вуглеводневому середовищі з різним вмістом води, що дозволить розширити сферу застосування методу поляризаційного опору.

Методика експерименту. Випробування проводили за кімнатної температури. Швидкість корозії оцінювали методом поляризаційного опору за допомогою двохелектродного датчика, виготовленого з цієї сталі. Тривалість випробувань – 3 години.

Перед дослідженнями поверхню зразків та датчиків зачищали наждаковим папером різної зернистості (мінімальна – 2000), знежирювали оксидом магнію, промивали проточною, потім дистильованою водою, висушували фільтрувальним папером.

Робочими середовищами слугували проби нафти, відібрані на діючих нафтопроводах та нафтово-водні емульсії, склад яких наведено нижче.

Результати дослідження. Як витікає з літературних джерел, за характером корозійних пошкоджень внутрішньої поверхні та ступеню впливу корозійно-активних компонентів

нафтопродуктів трубопровід розділяють на наступні характерні зони: верхня частина трубопроводу, що знаходиться в контакт з газоповітряною сумішшю, частина трубопроводу, що знаходиться в зоні періодичного змочування (зона ватерлінії), частина трубопроводу, що знаходиться в зоні постійного змочування нафтою, частина трубопроводу, що знаходиться в контакт з підтоварною водою, та супроводжується розвитком локальної корозії виразками та «канавками» вздовж нижньої твірної.

В цій роботі розглянуто методологію дослідження та оцінювання саме внутрішньої корозії труби уздовж нижньої твірної. Раніше розроблено датчик для визначення швидкості корозії у нафті [10], електроди якого розміщуються в одній площині та розділяються електроізолюючим прошарком. Конструкцією передбачено монтаж датчика у трубопровід так, щоб його робоча поверхня співпадала з внутрішньою поверхнею труби.

Для лабораторних досліджень розроблено та виготовлено лабораторний стенд на основі притискної електрохімічної комірки, ескіз якої наведено на рис. 1.

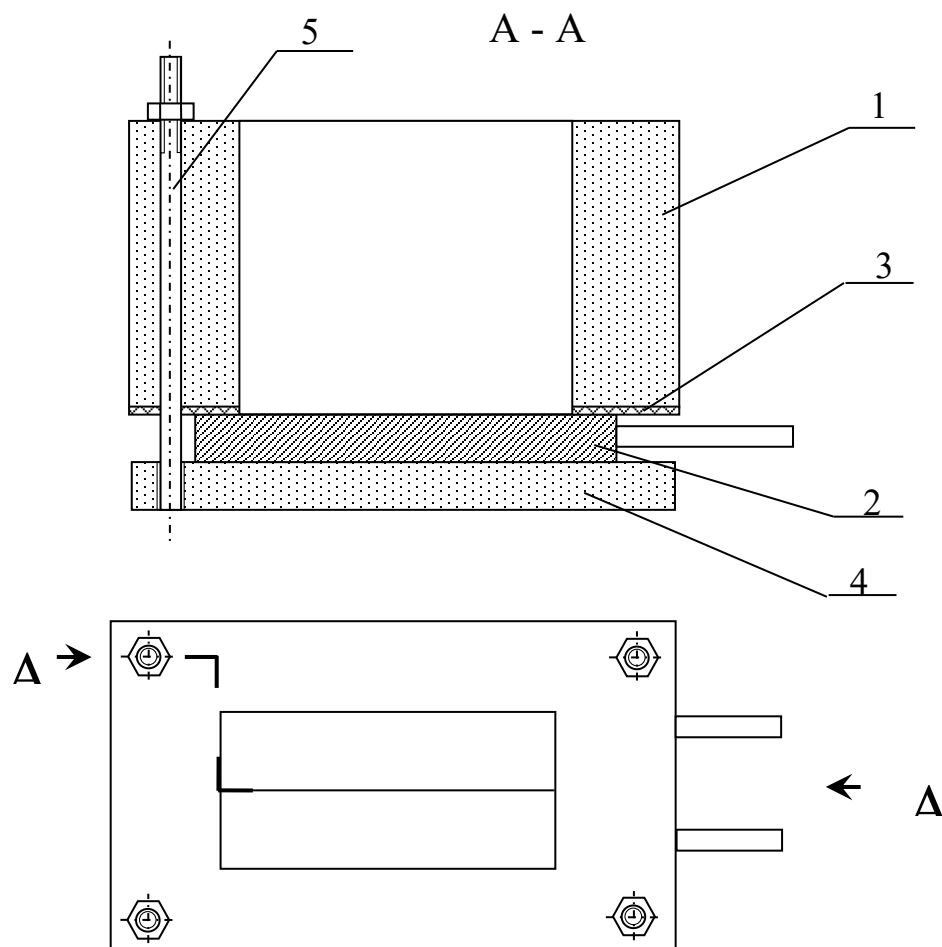


Рис. 1. Лабораторний стенд на основі притискної комірки та датчика поляризаційного опору: 1 – комірка; 2 – датчик; 3 – гумова прокладка; 4 – підкладка; 5 – шпилька

Її конструкцією передбачено, що робоча поверхня датчика розташована горизонтально, так само, як внутрішня поверхня нафтопроводу.

Внаслідок того, що нафта є неелектропровідною, і застосування електрохімічних методів потребує розроблення спеціальних підходів, запропоновано таку методику. Пробу

нафти змішували з дистильованою водою (або 3 % розчином NaCl) у співвідношенні 1:1, перемішували за допомогою магнітної мішалки зі швидкістю 300 об/хв впродовж 1 хв, залишали до повного розшарування емульсії. Після розшарування водну фазу відділяли від нафти за допомогою ділильної воронки та вимірювали швидкість корозії сталі 17Г1С у водній фазі.

Досліджено 4 проби нафти, наведені в табл. 1.

Таблиця 1.

Характеристика досліджуваних проб нафти

Ч. ч.	Позначення проб нафти	Час до розшарування, год	Примітка
1	Проба № 1	20	100 % розшарування емульсії
2	Проба № 2	45	100 % розшарування емульсії
3	Проба № 3	-	Емульсія не розшарувалась
4	Проба № 4	-	Емульсія не розшарувалась

Як видно з табл. 1, проби № 3 та № 4 не розшарувались упродовж двох місяців. В цих пробах вимірювання проводили в нафтово-водній емульсії.

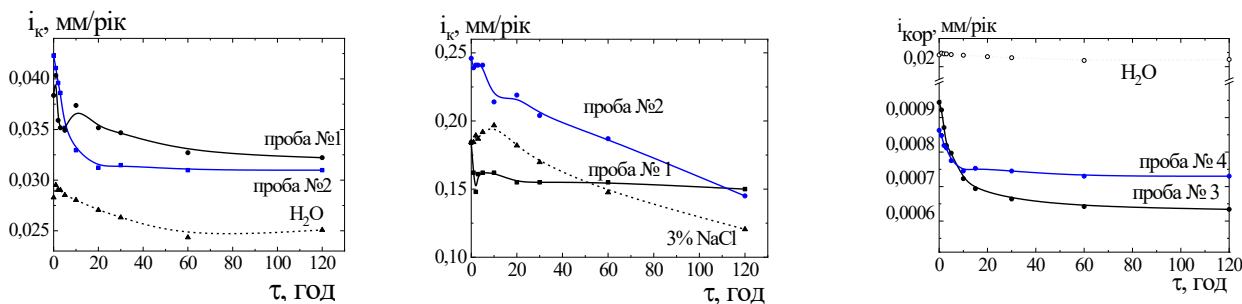


Рис. 2. Залежність швидкості корозії від часу вимірювань на контрольному датчику в водних витяжках проб з нафти, дистильованій воді та 3% NaCl

Визначені методом поляризаційного опору швидкості корозії в водних витяжках проб № 1, № 2 та дистильованій воді дорівнювали 0,032 мм/рік, 0,031 мм/рік та 0,025 мм/рік, відповідно, у водних витяжках, приготовлених за допомогою 3 % NaCl, – 0,15 мм/рік, 0,15 мм/рік та 0,12 мм/рік, відповідно. Отримані результати, рис. 2, вказують на те, що корозивність проби № 1 відносно трубної сталі 17Г1С дещо вище ніж проби № 2. Швидкості корозії в пробах № 3 та № 4 (нафтово-водній емульсії) дорівнювали 0,00063 мм/рік, 0,00059 мм/рік, відповідно. Імовірно, що отримані значення швидкості корозії менше реальних.

Тому запропоновано для підвищення чутливості визначення швидкості корозії на поверхню наносити шар водорозчинного паперу. При контакті з нафтою папір не допускав її проникнення до металевої поверхні, але краплі води з нафтово-водної емульсії розчиняли папір, і поверхня металу під краплею починала кородувати. Досліди щодо перевірки його працездатності в емульсії 90 г нафти та 10 г 3 % NaCl показали, що миттєві значення швидкості корозії для контрольного датчика та датчика, з вологоутримуючим шаром на поверхні становили відповідно 0,155 мм/рік та 0,103 мм/рік. Тобто похибка вимірювань не перевищує 35 %.

Для подальшого підвищення чутливості вологоутримуючого шару використовували добавки, що сприяють поглинанню та утриманню вологи. Досліджено два види добавок (умовно названі добавка А та Б), які додавали до вологоутримуючого шару у концентраціях – 15 %, 10 % та 5 %. Визначали мінімальну концентрацію добавки, при якій вологоутримуючий шар можна нанести на поверхню та цей шар стає твердим, та не розм'якшується при контакті з вологою повітря.

Фотографії поверхні зразків після випробувань наведено на рис. 4, а, результати вимірювань – на рис. 4, б.

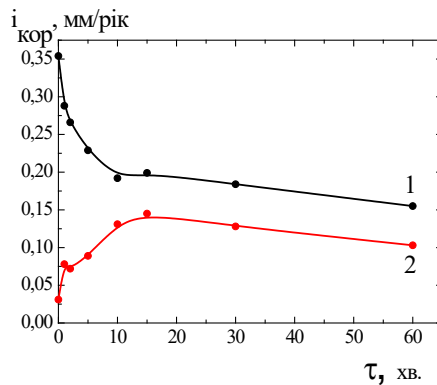


Рис. 3. Швидкість корозії, визначена на контрольному датчику та на датчику з вологоутримуючим шаром: 1 – контрольний датчик; 2 – датчик з вологоутримуючим шаром [10]

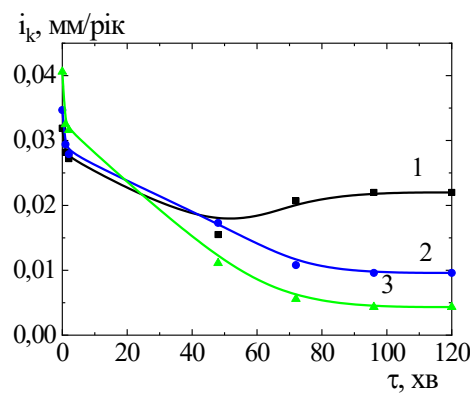
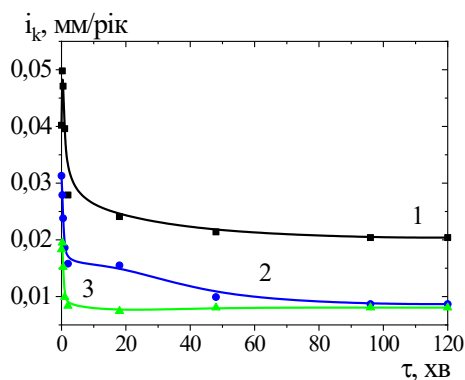
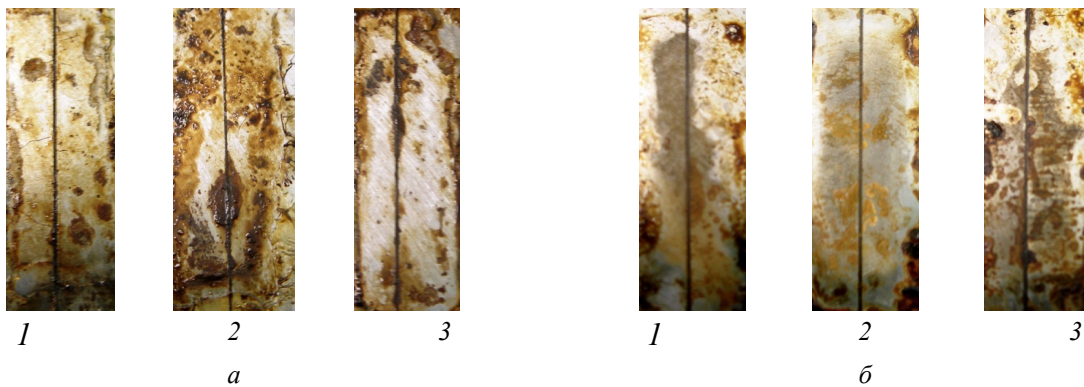


Рис. 4. Фото поверхонь датчиків (1) та швидкість корозії сталі 17Г1С в емульсії 50 % нафти+50 % води, визначена методом поляризаційного опору за допомогою датчика з вологоутримуючим шаром з різним вмістом добавок (2): а – датчик з вологоутримуючим шаром і добавкою А; б – датчик з вологоутримуючим шаром і добавкою Б. Концентрації добавок: 1 – 15 %; 2 – 10 %; 3 – 5 %

З аналізу експериментальних даних видно, що швидкість корозії, виміряна за допомогою датчика з вологостримуючим шаром з добавкою А при концентраціях добавки 10 % та 5 % практично співпадають, а при застосуванні добавки Б – продовжує знижуватися при зменшенні концентрації добавки від 10 до 5 %. Це свідчить про більшу чутливість датчика з вологостримуючим шаром з добавкою Б. Мінімальна концентрація добавки Б, у присутності якої отримали твердий вологостримуючий шар, становила 10 %. Тому для наступних вимірювань було вибрано саме цей вологостримуючий шар.

Працездатність удосконаленого датчика підтверджено вимірюваннями у дистильованій воді та водних розчинах 3% NaCl і 3% NaHCO₃, рис. 5. Із аналізу даних рисунку витікає, що різниця значень швидкості корозії в досліджених розчинах, отримана за допомогою контрольного датчика та датчика удосконаленої конструкції не перевищує 10 %.

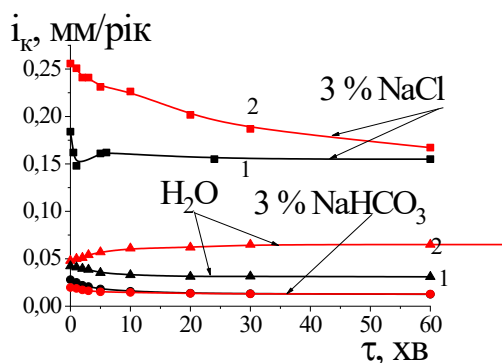


Рис. 5. Швидкість корозії сталі 17Г1С, отримана методом поляризаційного опору, у різних розчинах: 1 – контрольний датчик; 2 – удосконалений датчик (з вологостримуючим шаром та добавкою Б)

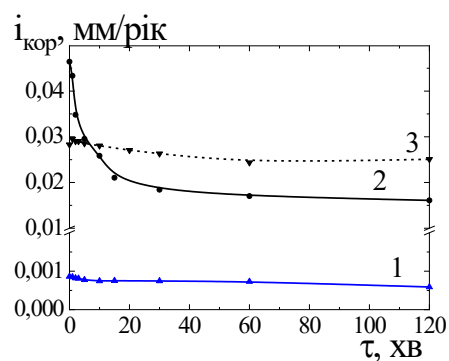


Рис. 6. Швидкість корозії сталі 17Г1С в дистильованій воді та емульсії 95 % нафти+5 % води, визначена методом поляризаційного опору: 1 – контрольний датчик, емульсія; 2 – датчик з вологостримуючим шаром з добавкою Б, емульсія; 3 – контрольний датчик, дистильована вода

У завершення досліджень за допомогою удосконаленого датчика з вологостримуючим шаром з добавкою Б, проведено повторне вимірювання швидкості корозії в емульсії 50 % нафта + 5 % H₂O, яку приготували з проби № 4. Швидкість корозії, наведена на рис. 6, дорівнювала 0,016 мм/рік, що досить близько до значення швидкості корозії в дистильованій воді, яка складає 0,025 мм/рік.

Таким чином, отримані результати лабораторних досліджень свідчать про працездатність удосконаленого датчика з вологостримуючим шаром в нафтово-водних емульсіях та нафті.

Висновки. На основі аналізу особливостей внутрішньої корозії нафтопроводів запропоновано методологію її дослідження в лабораторних умовах. Розроблено та виготовлено стенд для випробувань та удосконалено конструкцію електрохімічного двохелектродного датчика поляризаційного опору з коповерхневим розташуванням електродів, який моделює ділянку поверхні, де накопичується та утримується волога.

Відпрацьовано спосіб нанесення вологостримуючого шару, який є придатним для використання. Для підвищення чутливості датчика при оцінюванні швидкості корозії в нафто-водній емульсії до вологостримуючого шару введено добавки, що сприяють поглинанню та утриманню вологи. Визначено мінімальну концентрацію добавки, при якій отримано твердий вологостримуючий шар, стійкий до дії вологи повітря.

Розширено сферу застосування методу поляризаційного опору для нафтових середовищ з низьким вмістом води (від 50 % до 5 %).

Робота виконана за підтримки Національної академії наук України (державний реєстраційний номер теми 0106U011959).

Література

1. Про причини корозійних руйнувань промислових трубопроводів / В. Ю.Чернов, В. Д. Макаренко, Е. І. Крижанівський, Л. С. Шлапак // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2002. – 38, №6. – С. 93-95.
2. Скоромный В. И., Гареев А. Г. Актуальные вопросы борьбы с канавочной коррозией// Технологические проблемы развития машиностроения в Башкортостане: Сб. науч. тр. Уфа: Гилем. – 2001. С.68 – 69.
3. Askaria M., Aliofkhazraei M., Afroukhteh S. A comprehensive review on internal corrosion and cracking of oil and gas pipelines // Journal of Natural Gas Science and Engineering. – 2019. V. 71. – doi.org/10.1016/j.jngse.2019.102971
4. Oki M., Adediran A. A., Anawe P. A. L. Corrosion Monitoring in the Oil Pipeline Industry // Journal of Multidisciplinary Engineering Science and Technology. – 2015. – V. 2, Issue 1. – P. 299-302.
5. Борьба с коррозией в нефтедобывающей промышленности / В. Г. Негреев, А. А. Гоник, И. А. Мамедов, Г. С. Кесельман // Серия. Борьба с коррозией в нефтедобывающей промышленности. – ЦНИИТЭнефтегаз. – Москва, 1965. – 84 с.
6. Болобов В.И., Попов Г.Г., Кривокрысенко Е.А. Стенд для изучения условий возникновения "ручейковой" коррозии нефтепроводов / Проблемы и перспективы студенческой науки. – 2017. – № 2. – С. 14-16.
7. Попов Г.Г., Кривокрысенко Е.А. Определение основных закономерностей возникновения "ручейковой" коррозии трубопроводов / Актуальные вопросы в науке и практике. Сборник статей по материалам IV международной научно-практической конференции. В 5-ти частях. Том. Часть 5. – 2017. – С. 182-187.
8. Бурков П.В., Буркова С.П. Пространственное напряженно-деформируемое состояние трубы с ручейковым износом в условиях осадки / Современные научные исследования и

References

1. Makarenko, V. D., Kryzhaniv's'kyj, E. I., Shlapak L. S., Chernov, V. Ju. (2002). Pro prychny korozijnyh rujnuvan' promyslovyh truboprovodiv/ [On the causes of corrosion damage of industrial pipelines] *Fizyko-himichna mehanika materialiv*. 38, №6. P. 93-95 [in Ukrainian].
2. V. Y., Skoromnyj, A. G., Gareev (2001). Aktual'nye voprosy bor'by s kanavochnoj korrozijej [Actual issues of combating groove corrosion]. *Tehnologicheskye problemy razvytyja mashynostroenija v Bashkortostane*: Sb. nauch. tr. Ufa: Gylem. P.68 – 69 [in Russian].
3. Askaria, M., Aliofkhazraei, M., Afroukhteh, S. (2019). A comprehensive review on internal corrosion and cracking of oil and gas pipelines. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*. V. 71. doi.org/10.1016/j.jngse.2019.102971
4. Oki, M., Adediran, A. A., Anawe, P. A. L. (2019). Corrosion Monitoring in the Oil Pipeline. *Industry Journal of Multidisciplinary Engineering Science and Technology*. V. 2, Issue 1. P. 299-302.
5. Negreev, V. G., Gonyk, A. A., Mamedov, Y. A., Kesel'man, G. S. (1965). Bor'ba s korrozijej v neftedobyvajushhej promyshlennosti [Fighting against corrosion in the oil mining industry]. *Seryja. Bor'ba s korrozijej v neftedobyvajushhej promyshlennosti*. CNYTЭneftegaz. Moskva. 84 p. [in Russian].
6. Bolobov, V. Y., Popov, G. G., Kryvokrysenko, E. A. (2017). Stend dlja yzuchenyja uslovyj voznyknovenija "ruchejkovoj" korroziju nefteprovodov [Stand for studying the conditions of occurrence of "stream" corrosion of oil pipelines]. *Problemy u perspektivnyj studencheskij nauky*. № 2. P. 14-16 [in Russian].
7. Popov, G. G., Kryvokrysenko, E. A. Opredelenye osnovnyh zakonomernostej voznyknovenija "ruchejkovoj" korroziju truboprovodov (2017). [Determination of the basic regularities of the origin of "stream" corrosion of pipelines] *Aktual'nye voprosy v nauke y praktyke. Sbornyk statej po materyalam IV mezhdunarodnoj nauchno-praktycheskoj konferencyu*. V 5-ty chastjah. Tom. Chast' 5. P. 182-187 [in Russian].
8. Burkov, P. V., Burkova, S. P. Prostranstvennoe naprjazhenno-deformyruemoe sostojanye truby s ruchejkovym yznosom v uslovyjah osadky [Spatial

инновации. 2015. № 6. Ч. 1 [Электронный ресурс]. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2015/06/54657> (дата звернення: 03.02.2020).

9. Zaabi A. A. L., Feroz S., Rao N. L. Investigation of High Corrosion Rate in Oil Production Carbon Steel Pipelines / International Journal of Chemical Engineering and Processin. – 2016 – Vol. 2: Issue 2. – P. 42-51.

10. Методический подход к изучению внутренней коррозии магистральных нефтепроводов / Л. Ныркова, С. Поляков, С. Мельничук, Н. Гапула, В. Пастушенко / Фізико-хімічна механіка матеріалів. Спеціальний випуск № 7. – 2008. – С.756-760.

stress-strain state pipes with-belt wear and precipitation]. *Sovremennye nauchnye yssledovaniya y ynnovacyu*. 2015. № 6. Ch. 1 [Elektronnyj resurs]. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2015/06/54657> (data zvernennja: 03.02.2020) [in Russian].

9. Zaabi, A. A. L., Feroz, S., Rao, N. L. (2016). Investigation of High Corrosion Rate in Oil Production Carbon Steel Pipelines International Journal of Chemical Engineering and Processing Vol. 2, Issue 2. P. 42-50.

10. Nyrkova, L., Poljakov, S., Mel'nychuk, S., Gapula, N., Pastushenko, V. (2008) *Metodycheskyj podhod k yzuchenju vnutrennej korrozyu magystral'nyh nefteprovodov* [Methodological approachement to the study of internal corrosion of oil pipelines]. *Fizyko-himichna mehanika materialiv. Special'nyj vypusk № 7*. P. 756-760 [in Russian].

LYUDMILA NYRKOVA

lnyrkova@gmail.com

Chief of the department of welding of oil and gas pipes

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3917-9063>

Researcher ID: 6506092726

E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine

YULIYA BORYSENKO

boria95@ukr.net

Associate professor, assistant professor of department for

electrochemical power engineering & chemistry

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1639-0205>

Kyiv National University of Technologies and Design

SVETLANA OSADCHUK

svetlanaosadchuk@meta.ua

Junior Researcher of welding of oil and gas pipes

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9559-0151>

Researcher ID: 5215010000

E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine

FEDIR MAKATORA

fedyamakatora@gmail.com

maister of department for electrochemical power

engineering & chemistry

Kyiv National University of Technologies and Design

АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ ВНУТРЕННЕЙ КОРРОЗИИ НЕФТЕПРОВОДА И МЕТОДОЛОГИЯ ЕЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕТОДОМ ПОЛЯРИЗАЦИОННОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ

НЫРКОВА Л. И.¹, ОСАДЧУК С. А.¹, БОРИСЕНКО Ю. В.², МАКАТЬОРА Ф. С.²

¹Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины

²Київський національний університет технологій і дизайну

Цель. Разработка методологии исследования и оценки внутренней коррозии нефтепровода из низкоуглеродистой стали вдоль нижней образующей в углеводород-содержащей среде с различным содержанием воды.

Методика. Использовали метод визуального осмотра и метод поляризационного сопротивления.

Результаты. На основе анализа особенностей внутренней коррозии нефтепроводов разработана методология ее исследования. Предложен и изготовлен лабораторный стенд для испытаний, моделирующий внутреннюю поверхность трубопровода. Усовершенствована конструкция датчика поляризационного сопротивления путем применения влагоудерживающего слоя, что позволило определять скорость коррозии в нефте-водной эмульсии. Для повышения чувствительности датчика в этой среде во влагоудерживающий слой введены добавки, способствующие поглощению и удержанию влаги. Исследовано влияние различных добавок на повышение чувствительности датчика, отработан способ нанесения влагоудерживающего слоя, пригодного для использования. Определена минимальная концентрация добавки, при которой получено твердый влагоудерживающий слой, устойчивый к воздействию влаги воздуха.

Научная новизна. Предложена и обоснована методология исследования внутренней коррозии нефтепровода вдоль нижней образующей на основе моделирования в лабораторных условиях поверхности трубы. Изготовлен лабораторный стенд и усовершенствована конструкция датчика поляризационного сопротивления, с помощью которого появилась возможность проводить измерения в нефте-водной эмульсии. Это позволило расширить сферу применения метода поляризационного сопротивления для нефтяных сред с низким содержанием воды (от 50% до 5%).

Практическая значимость. Усовершенствована конструкция электрохимического двухэлектродного датчика поляризационного сопротивления с коповехностным расположением электродов, на который нанесен влагоудерживающий слой, определен состав слоя. Получен твердый слой, устойчивый к воздействию влаги воздуха. Датчик с влагоудерживающим слоем пригоден для использования в нефтегазовой водной эмульсии с содержанием воды от 50% до 5%.

Ключевые слова: трубная сталь 17Г1С, метод поляризационного сопротивления, электрохимический двухэлектродный датчик с коповехностным расположением электродов, электрохимическая коррозия, нефте-водная эмульсия, влагоудерживающий слой.

ANALYSIS OF THE PECULIARITIES OF THE OIL PIPELINE INTERNAL CORROSION AND METHODOLOGY OF ITS RESEARCH BY POLARIZATION RESISTANCE METHOD

NYRKOVA L. I.¹, OSADCHUK S. O.¹, BORYSENKO Yu. V.²
MAKATORA F. S.²

¹E.O. Paton Electric Welding Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine

²Kyiv National University of Technologies and Design

Purpose. Development of methodology for research and evaluation of internal corrosion of low-carbon steel pipeline along the bottom moving line in a hydrocarbon medium with different water content.

Methodology. Visual inspection and polarization resistance method were used.

Results. Based on the analysis of the peculiarities of internal corrosion of oil pipelines, the methodology of its research has been developed. A laboratory testing facility is proposed and manufactured, which simulates the inner surface of the pipeline. The design of the polarization resistance sensor was improved by applying a moisture-retaining layer, which allowed to determine the corrosion rate in the oil-water emulsion. To increase the sensitivity of the sensor in this environment, additives are introduced into the moisture-retaining layer, which promote the absorption and retention of moisture. The influence of various additives on the sensitivity of the sensor has been studied, the method of applying the moisture-retaining layer, which is suitable for use, has been worked out. The minimum concentration of the additive was determined, at which a solid moisture-retaining layer resistant to the action of moisture was obtained.

Scientific originality. The methodology of research of internal corrosion of the oil pipeline along the bottom moving line on the basis of modeling in laboratory conditions of a surface of a pipe is offered and substantiated. A laboratory testing facility was made and the design of the polarization resistance sensor was improved, which made it possible to perform measurements in oil-water emulsion. This allowed to expand the scope of the method of polarization resistance for oil environments with low water content (from 50% to 5%).

Practical value. The design of the electrochemical two-electrode sensor of polarization resistance with the cosurface arrangement of electrodes on which the moisture-retaining layer is put and its composition is defined is improved. A solid layer resistant to air moisture is obtained. The sensor with a moisture-retaining layer is suitable for use in oil-water emulsion with water content from 50% to 5%.

Key words: pipe steel 17G1S, polarization resistance method, electrochemical two-electrode sensor with cosurface arrangement of electrodes, electrochemical corrosion, oil-water emulsion, moisture-retaining layer.