

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ВІСНИК

**КИЇВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ**

№ 1 (142), 2020
Частина 2 (серія «Технічні науки»)

DOI:10.30857/1813-6796.2020.1

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)

№1 (142), 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 № 5 від 26.02.2020 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 1 (142), 2020 Part 2.
Technical Science Series**

DOI:10.30857/1813-6796.2020.1

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)

№1 (142), 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 № 5, originating date 26.02.2020.

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. **СТАЦЕНКО В. В., БУРМІСТЕНКОВ О. П., БІЛА Т. Я.** Вплив конструкцій відцентрових змішувачів на їх згладжувальну здатність 11
2. **БІДЮК П. І., ДЕМКІВСЬКИЙ Є. О., ДЕМКІВСЬКА Т. І.** Методика побудови моделей гетероскедастичних процесів 19
3. **ЗАЛЮБОВСЬКИЙ М. Г., ПАНАСЮК І. В., МАЛИШЕВ В. В.** Експериментальне дослідження впливу режимів руху робочого масиву та об'єму заповнення ємкості на інтенсивність відділення металевих деталей від ливників 27

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО ІНДУСТРІЇ МОДИ, ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОБНИЦТВА ТЕКСТИЛЮ, ОДЯГУ ТА ВЗУТТЯ

4. **АРАБУЛІ С. І., СУПРУН Н. П., ОЧЕРЕТНА Л., АРАБУЛІ А. Т.** Дослідження показників сенсорного комфорту текстильних матеріалів для лікарняної постільної білизни 38
5. **ЗДОРЕНКО В. Г., БАРИЛКО С. В., ЛІСОВЕЦЬ С. М., ШИПКО Д. О.** Дослідження проходження ультразвукових хвиль крізь двошаровий матеріал із складною структурою при контролі його технологічних параметрів 50
6. **ПОЖИЛОВ-НЕСМІЯН Г. М., СУПРУН Н. П., ГІРНА Т. В.** Розробка аплікаційних вкладок у швейні вироби для людей з інвалідністю 63

ХІМІЧНІ ТА БІОФАРМАЦЕВТИЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ

7. **ПЕРВАЯ Н. В., АНДРЕЄВА О. А.** Дослідження нових хімічних матеріалів для рідинного оздоблення шкіри 71
8. **САВЧЕНКО Б. М., СОВА Н. В., ДЕБЕЛИЙ. Б. С., ІСКАНДАРОВ Р. Ш., СЛЕПЦОВ О. О., ПОЛЩУК Т. А.** Адитивне формування еластичних виробів з ПВХ пластизолу 86
9. **КАБАТ О. С., КАРПЕНКО В. А., БАБЕНКО В. Г.** Вплив методів отримання полімерних композицій на основі термостійких полімерів на якість суміщення їх вихідних компонентів 94
10. **ПЛАВАН В. П., ТКАЧЕНКО І. М., ЛЯШОК І. О., СТУПА В. І.** Екологічно-безпечна технологія оздоблення текстильних матеріалів з використанням екстракту чаю листок полуниці 102
11. **SHELTONOV M. M., KYRUCHENKO O. L.** Experimental studies on processing of polybutadiene-based solid propellant to extract ammonium perchlorate 112

УДК 621:542.3

СТАЦЕНКО В. В., БУРМІСТЕНКОВ О. П., БІЛА Т. Я.

Київський національний університет технологій та дизайну

ВПЛИВ КОНСТРУКЦІЙ ВІДЦЕНТРОВИХ ЗМІШУВАЧІВ НА ЇХ ЗГЛАДЖУВАЛЬНУ ЗДАТНІСТЬ

Мета. Дослідження залежності згладжувальної здатності відцентрових змішувачів безперервної дії від їх конструктивних особливостей.

Методика. У роботі використані методи дискретних елементів, математичного моделювання та регресійного аналізу.

Результати. У роботі розглянуто п'ять конструкцій відцентрових змішувачів безперервної дії із роторами конічної та параболічної форми. Визначено конструктивні особливості змішувачів, що дозволяють змінювати їх згладжувальну здатність. На основі методу дискретних елементів розроблено математичні моделі руху частинок сипких матеріалів всередині кожного змішувача. Досліджено реакцію змішувачів, що розглядаються, на стрибкоподібну зміну кількості ключового компоненту. Розраховано параметри перехідних процесів та визначено середній час перебування частинок у змішувачі. Встановлено, що введення турбулізаторів у конструкцію змішувачів підвищує кінетичну енергію частинок, що призводить до зменшення часу їх перебування у змішувачі. При цьому відсутність турбулізатора призводить до зниження інтенсивності перемішування. Також встановлено, що найбільш ефективним способом підвищення згладжувальної здатності змішувача є введення додаткових роторів. За сукупністю технологічних та конструктивних параметрів використання змішувачів з конічним ротором та турбулізатором є найбільш ефективним з точки зору підвищення згладжувальної здатності.

Наукова новизна. На основі методу дискретних елементів розроблені моделі руху частинок сипких матеріалів у відцентрових змішувачах безперервної дії п'яти конструкцій. Визначено вплив конструктивних особливостей змішувачів на їх згладжувальну здатність та середній час змішування.

Практична значимість. Отримані результати дозволяють за заданими вимогами до згладжувальної здатності обрати конструкцію змішувача, що їм відповідає.

Ключові слова: змішувач, сипкий матеріал, метод дискретних елементів, ротор, турбулізатор.

Вступ. Змішувальні комплекси безперервної дії використовуються для виготовлення композицій сипких матеріалів у легкій, хімічній, харчовій та будівельній галузях промисловості [1, 2]. Безпосередньо змішування компонентів суміші відбувається у змішувачах, які розрізняються за принципом дії та конструкцією [3]. З точки зору енерговитрат, масогабаритних показників та інтенсивності впливу робочих органів на матеріал, відцентрові змішувачі безперервної дії є одними з найбільш перспективних. Водночас, завданням будь-якого змішувача є забезпечення заданих значень відсоткового складу та однорідності готової суміші. Принцип роботи обладнання безперервної дії передбачає надходження вхідних компонентів суцільними потоками, що мають задані об'ємні або масові продуктивності. Відхилення параметрів потоків від заданих значень призводить до виникнення у готовій суміші зон із некоректним відсотковим складом, тобто до зниження її однорідності [4]. Змінити кількість матеріалу, що надійшла у змішувач, неможливо. Водночас, значна кількість відхилень продуктивності потоків вхідних компонентів пов'язана із дискретною природою їх руху, наприклад, із схильністю до грудкоутворення. В таких випадках відхилення носять короткочасний характер та частково можуть бути компенсовані за рахунок згладжувальної здатності змішувача. З фізичної точки зору ефект згладжування досягається розділенням у змішувачі вхідних потоків сипких матеріалів та формуванням

складних траєкторій руху частинок, що взаємно перетинаються. Характер руху окремих частинок визначається їх взаємодією із робочими органами та корпусом змішувача, тобто його конструкцією. Це зумовлює актуальність дослідження впливу конструктивних особливостей змішувачів на їх згладжувальну здатність.

Постановка завдання. Завданням дослідження є визначення згладжувальної здатності відцентрових змішувачів безперервної дії різних конструкцій. З цією метою необхідно дослідити можливість змішувача компенсувати пульсації у потоках вхідних компонентів суміші.

Результати та їх обговорення. Для аналізу у роботі обрано п'ять конструкцій відцентрових змішувачів безперервної дії, які відрізняються формою ротора, наявністю турбулізатора та кількістю роторів (рис. 1-5).

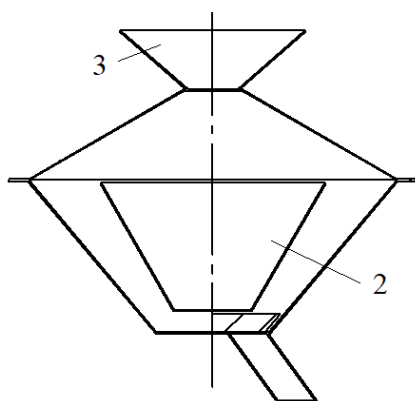


Рис.1. Схема змішувача з конічним ротором

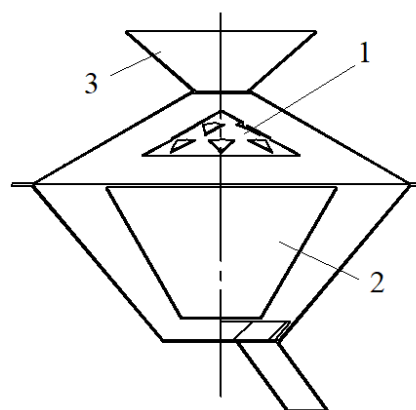


Рис. 2. Схема змішувача з конічним ротором та турбулізатором

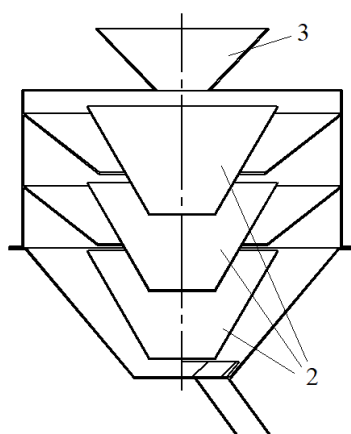


Рис. 3. Схема змішувача конструкції Ластовцева

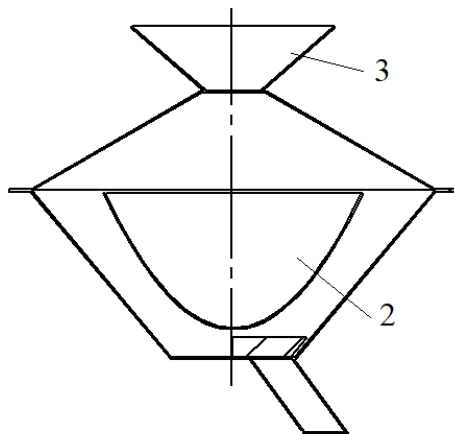


Рис. 4. Схема змішувача з параболічним ротором

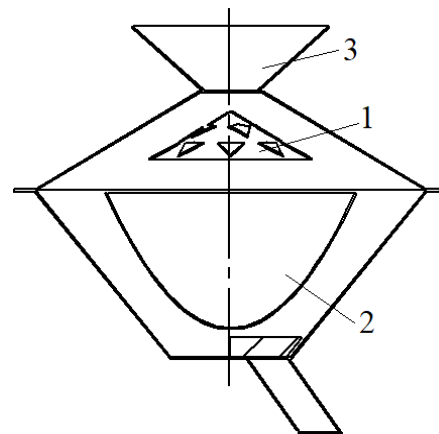


Рис. 5. Схема змішувача з параболічним ротором та турбулізатором

Вибір саме цих конструкцій зумовлено тим, що вони відображають основні підходи, які використовуються при проектуванні відцентрових змішувачів безперервної дії [5, 6]. Забезпечення якісного змішування передбачає створення умов, за яких частинки всіх компонентів будуть розподілені рівномірно по всьому об'єму змішувача. Це досягається розділенням вхідних потоків на частини, формуванням складних траєкторій руху частинок та збільшенням часу змішування. Конструкції змішувачів, що розглядаються у роботі, містять конструктивні елементи, які забезпечують використання всіх перелічених підходів. Турбулізатор 1 розділює вхідні потоки компонентів, ротор 2 – змінює прямолінійну траєкторію руху частинок на спіральну, послідовно розташовані ротори збільшують час змішування.

В усіх конструкціях сипкі компоненти, що змішуються, подаються через вхідний патрубок 3, розташований у верхній частині змішувача. Далі частинки під дією сили тяжіння потрапляють всередину змішувача. У конструкціях без турбулізатора (рис. 1 та 4) частинки падають у ротор, що обертається із постійною кутовою швидкістю. За рахунок дії відцентрових сил, компоненти суміші рухаються вгору вздовж бічної стінки ротора за спіральними траєкторіями. Після виходу з ротора вони відбиваються від верхньої частини корпусу змішувача та потрапляють у його нижню частину, де за допомогою ножа подаються до вихідного патрубку. Процес змішування відбувається переважно за рахунок взаємного перетинання траєкторій частинок різних компонентів суміші.

У конструкціях із турбулізаторами, що обертаються із заданими кутовими швидкостями та містять наскрізні отвори (рис. 2 та 5), вхідні потоки розділюються на декілька складових [5]. Одна частина вхідного потоку проходить крізь ці отвори та потрапляє у ротор, інша – відбивається від поверхні турбулізатора та верхньої частини корпусу ротора і лише після цього потрапляє всередину ротора. Таким чином, вхідний потік розділюється на складові, що мають різні початкові швидкості та положення всередині ротора. Це призводить до зміни форми спіральної траєкторії частинок та, відповідно, до додаткового їх перемішування.

Змішувач конструкції Ластовцева (рис. 3) містить три розташованих послідовно конічних ротори [6]. Після виходу із першого ротора частинки потрапляють у другий і далі у

третьої ротор. Це призводить до збільшення часу змішування та довжини спіральних траєкторій частинок, що у свою чергу, підвищує рівномірність їх розподілення.

Моделювання роботи змішувачів здійснювалось за методом дискретних елементів (МДЕ) [7-10]. Тривимірні моделі змішувачів створено у програмному середовищі Solidworks, а рух частинок моделювався за допомогою системи EDEM 2017.

Швидкість обертання роторів та турбулізаторів всіх змішувачів становила 126 рад/с.

Для всіх конструкцій змішувачів моделювання надходження частинок двох компонентів (основного та ключового) у зону вхідного патрубку здійснювалось протягом двох секунд. Інтенсивність надходження основного компоненту була задана постійною та становила 2000 частинок у секунду. Інтенсивність руху ключового компонента змінювалась стрибкоподібно: на інтервалі часу від 0 до 0,5 с становила 500 частинок у секунду, а у момент часу 0,5 с збільшувалась до 1000 частинок за секунду. Графік зміни кількості частинок ключового (КК) та основного (ОК) компонентів суміші на вході змішувача показано на рис.6. Тривалість надходження частинок у змішувач для всіх конструкції становила 2 секунди.

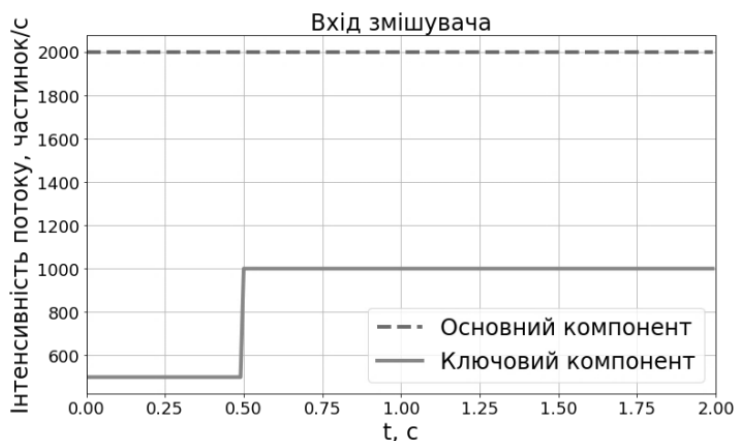


Рис. 6. Залежність кількості частинок на вході змішувача від часу

З метою оцінки відсоткового складу суміші для всіх змішувачів розраховано залежності зміни концентрації ключового компонента від часу:

$$C_{KK} = \frac{N_{KK}}{N_{KK} + N_{OK}} 100\%, \quad (1)$$

де N_{KK} , N_{OK} – кількість частинок ключового та основного компонентів, відповідно.

Результати розрахунків показані на рис. 7-12. Момент часу $t = 0$ відповідає моменту стрибкоподібної зміни інтенсивності надходження ключового компоненту. Реакцію системи на зміну вхідного сигналу можна наближено описати за допомогою експоненціальної функції вигляду:

$$C_{KK} = C_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right), \quad (2)$$

де C_0 – концентрація КК в усталеному режимі роботи; τ – постійна часу певного типу змішувача.

Для кожного перехідного процесу змінювання C_{KK} , що представлені на рис. 7-12, методом найменших квадратів розраховані коефіцієнти експоненціальної залежності (2) та побудовані графіки цих залежностей (показані суцільними лініями).

На рис.12 наведено всі графіки експоненціальних залежностей, що дозволяє візуально оцінити вплив конструкції змішувача на тривалість перехідного процесу. Чисельні значення коефіцієнтів наведені у табл.1.

Також для всіх конструкцій змішувачів за допомогою МДЕ визначено середній час перебування частинок всередині змішувача (табл.1).

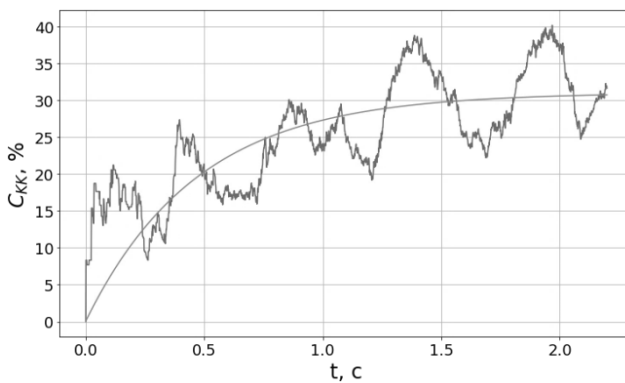


Рис. 7. Зміна концентрації КК на виході змішувача з кінчним ротором

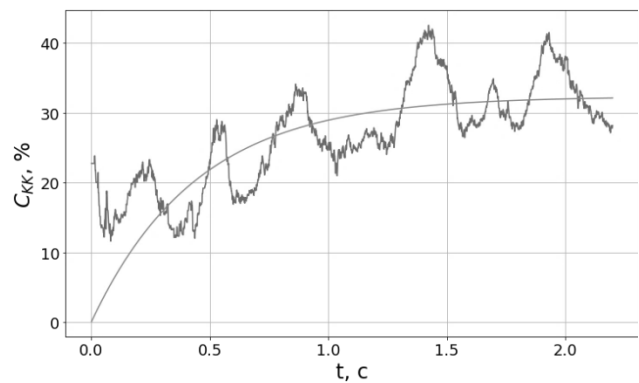


Рис. 8. Зміна концентрації КК на виході змішувача з кінчним ротором та турбулізатором

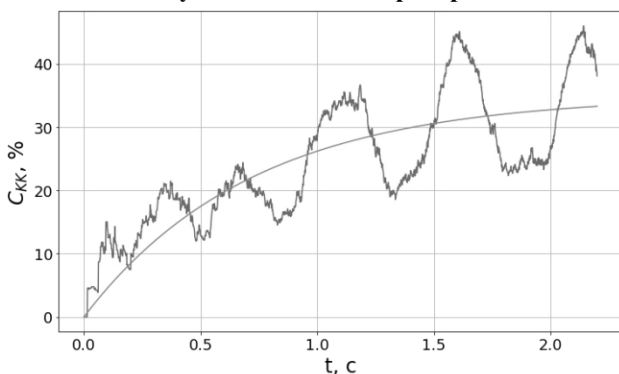


Рис. 9. Зміна концентрації КК на виході змішувача конструкції Ластовцева

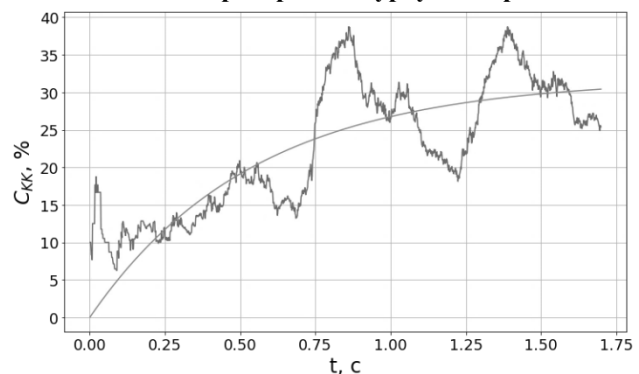


Рис. 10. Зміна концентрації КК на виході змішувача з параболічним ротором

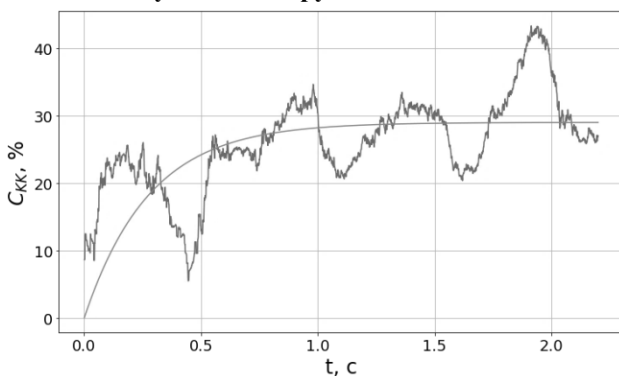


Рис. 11. Зміна концентрації КК на виході змішувача з параболічним ротором та турбулізатором

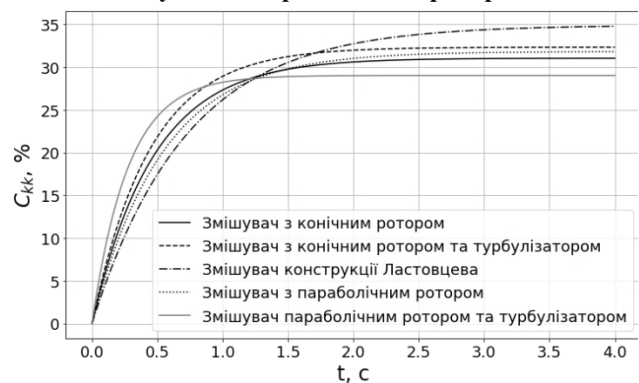


Рис. 12. Перехідні процеси зміни концентрації КК для різних конструкцій змішувачів

Таблиця 1

Параметри перехідних процесів у змішувачах різних типів

№ п/п	Тип змішувача	Параметри перехідного процесу	Середній час перебування частинок у змішувачі, с
1	Змішувач з конічним ротором	$C_{KK} = 31,037 \left(1 - e^{-\frac{1}{0,472}t} \right)$	0,9
2	Змішувач з конічним ротором та турбулізатором	$C_{KK} = 32,326 \left(1 - e^{-\frac{1}{0,444}t} \right)$	0,85
3	Змішувач конструкції Ластовцева	$C_{KK} = 34,906 \left(1 - e^{-\frac{1}{0,721}t} \right)$	2,7
4	Змішувач з параболічним ротором	$C_{KK} = 31,811 \left(1 - e^{-\frac{1}{0,543}t} \right)$	1,4
5	Змішувач з параболічним ротором та турбулізатором	$C_{KK} = 29,013 \left(1 - e^{-\frac{1}{0,278}t} \right)$	0,9

Висновки:

1) Запропоновані математичні моделі дозволяють оцінити згладжувальну здатність відцентрових змішувачів безперервної дії різних конструкцій.

2) Введення турбулізаторів у конструкцію змішувача підвищує кінетичну енергію частинок, що призводить до зменшення часу їх перебування у змішувачі та, відповідно, до зменшення постійної часу.

3) Введення додаткових роторів (змішувач конструкції Ластовцева) є найбільш ефективним способом підвищення згладжувальної здатності, але у цьому випадку в 1,31..2,56 рази збільшується час перебування частинок всередині змішувача.

4) Відсутність турбулізатора у конструкції змішувача призводить до зменшення кількості потоків матеріалу, що взаємно перетинаються, а отже до зменшення інтенсивності перемішування.

5) Враховуючи, що технологічно змішувачі з параболічними роторами та декількома роторами складніше виготовити ніж змішувач з одним конічним ротором, в більшості випадків доцільно застосовувати змішувач з конічним ротором та турбулізатором.

Література

1. Стаценко В. В. Автоматизовані комплекси безперервного приготування композицій сипких матеріалів: монографія / В.В. Стаценко, О.П. Бурмістенков, Т.Я. Біла. – Київ: КНУТД, 2017. – 220с.
 2. Бурмістенков О. П. Процеси та обладнання підготовчих виробництв легкої промисловості / О. П. Бурмістенков, О. А. Стародуб, В. П. Місяць, Т. Я. Біла, В. В. Стаценко. - К. : КНУТД, 2011. – 137 с.
 3. Зайцев А. И. Современные конструкции и основы расчета

References

1. Statsenko V. V., Burmistenkov O. P., Bila T. Y. (2017). Avtomatyzovani kompleksi bezperervnoho pryhotuvannya kompozycij sykkykh materialiv: monohrafiya [Automated complexes for bulk material compositions continuous preparation]. Kyiv: Kyiv National University of Technologies and Design [in Ukrainian].
 2. Burmistenkov O. P., Starodub O. A., Misiats V. P., Bila T. Ya., Statsenko V. V. (2011). Protsesty ta obladnannia pidhotovchykh vyrobnytstv lehkoj promyslovosti [Processes and equipment of light industry

смесительных аппаратов с тонкослойным движением сыпучих материалов / А. И. Зайцев, Д. О. Бытев, В. А. Северцев и др. // Обзорная информация. Серия: Хим-фарм. пром. – М : Изд-во. ЦБНТИ Мед. пром., 1984. – 23 с.

4. Біла Т. Я. Аналітичне дослідження руху часток суміші у двороторному змішувачі безперервної дії / Т. Я. Біла, В. В. Стаценко // Вісник КНУТД. 2006. – № 5. – С. 30–34.

5. Бурмистенков А. П., Белая Т. Я., Корзун В. В., Слижевский В. А., винахідники. Смеситель непрерывного действия: А. с. СССР № 1165446, 1985.

6. Ластовцев А. М. Устройство для непрерывного смешивания мелкодисперсных материалов: А.с. СССР №92181, 1950.

7. Ante Munjiza. The Combined Finite-Discrete Element Method. Wiley, 2004. – 333 p.

8. Mindlin R. D., Deresiewicz H. Elastic Spheres in Contact under Varying Oblique Force. Trans. ASME, J. Appl. Mech. 20. 1953. – P. 327–344.

9. Tsuji Y., Tanaka T., Ishida T. Lagrangian numerical simulation of plug flow of cohesionless particles in a horizontal pipe. Powder Technology. Volume 71, Issue 3. 1992. – P. 239–250.

10. Попов В. Л. Механика контактного взаимодействия и физика трения, М: Физматлит, 2012. – 348с.

preparatory industries] – Kyiv: Kyiv National University of Technologies and Design, 137 p. [in Ukrainian]

3. Zaitsev A. Y., Bytev D. O., Severtsev V. A. i dr. (1984) Sovremennye konstruksyy u osnovy rascheta smesytelnykh apparatov s tonkosloinym dvyzhenyem syrpuchykh materyalov [Modern designs and calculation fundamentals of mixing apparatus with a thin-layer bulk materials movement] – Moscow: Izdatelstvo. Central'noe bjuro nauchno-tehnicheskoy informacii meditsynskoy promyshlennosti, 23p. [in Russian].

4. Bila T. Ya., Statsenko V. V. (2006). Analitychne doslidzhennia rukhu chastok sumishi u dvorotornomu zmishuvachi bezperervnoi dii [The particles motion analytical study of a mixture in a two-rotor continuous mixer] – Visnyk Kyiv National University of Technologies and Design. – № 5. – P. 30–34. [in Ukrainian]

5. Burmystenkov A. P., Belaia T. Ya., Korzun V. V., Slyzhevskiy V. A. (1985). Smesytel nepreryvnoho deistvyia [Continuous mixer]. USSR patent, no.1165446.

6. Lastovtsev A. M. (1950). Ustrojstvo dlya nepreryvnogo smeshivaniya melkodispersnykh materialov [Device for continuous mixing of finely divided materials]. USSR patent, no. 92181.

7. Ante Munjiza. (2004) The Combined Finite-Discrete Element Method. Wiley., 333 p. [in English].

8. Mindlin R. D., Deresiewicz H. (1953) Elastic Spheres in Contact under Varying Oblique Force. Trans. ASME, J. Appl. Mech. 20. P. 327–344. [in English]

9. Tsuji Y., Tanaka T., Ishida T. (1992) Lagrangian numerical simulation of plug flow of cohesionless particles in a horizontal pipe. Powder Technology. Volume 71, Issue 3. P. 239–250. [in English]

10. Popov V. L. (2012) Mekhanyka kontaktnoho vzaymodeistvyia u fyzyka treniya [Contact mechanics interaction and physics of friction] – Moscow: Fyzmatlyt. 348p. [in Russian]

STATSENKO V. V
statsenko.v@knutd.edu.ua
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3932-792X>
Researcher ID: C-3646-2017
Kyiv National University of Technologies & Design

BURMISTENKOV O. P
burmistenkov.op@knutd.edu.ua
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0001-4229>
Researcher ID: T-5180-2018
Kyiv National University of Technologies & Design

BILA T. Y.
bila.ty@knutd.edu.ua
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8937-5244>
Researcher ID: T-5276-2018
Kyiv National University of Technologies & Design

ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКЦИЙ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ СМЕСИТЕЛЕЙ НА ИХ СГЛАЖИВАЮЩУЮ СПОСОБНОСТЬ

СТАЦЕНКО В. В., БУРМИСТЕНКОВ А. П., БЕЛАЯ Т. Я.

Киевский национальный университет технологий и дизайна

Цель. Исследование зависимости сглаживающей способности центробежных смесителей непрерывного действия от их конструктивных особенностей.

Методика. В роботі використані методи дискретних елементів, математического моделювання та регресійного аналізу.

Результати. В роботі розглянуті п'ять конструкцій центробіжних змішувачів неперервного дії з роторами конічної та параболічної форми. Визначені конструктивні особливості змішувачів, що дозволяють змінювати їх згладжуючу здатність. На основі методу дискретних елементів розроблені математическі моделі руху частинок сыпучих матеріалів всередині кожного змішувача. Досліджено реакцію розглянутих змішувачів на скачкообразне змінювання кількості ключового компонента. Розраховані параметри перехідних процесів та визначено середнє час перебування частинок в змішувачі. Встановлено, що введення турбулізаторів в конструкцію змішувачів збільшує кінетическу енергію частинок, що призводить до зменшення часу їх перебування в змішувачі. При цьому відсутність турбулізатора призводить до зниження інтенсивності перемішування. Також встановлено, що найбільш ефектйвним способом збільшення згладжуючої здатності змішувача є введення додаткових роторів. По сукупності технологіческіх та конструктйвних параметрів використання змішувачів з коніческім ротором та турбулізатором є найбільш ефектйвним з точки зору збільшення згладжуючої здатності.

Научесна новизна. На основі методу дискретних елементів розроблені моделі руху частинок сыпучих матеріалів в центробіжних змішувачах неперервного дії п'яти конструкцій. Визначено вплив конструктйвних особливостей змішувачів на їх згладжуючу здатність та середнє час змішування.

Практическа значимість. Отримані результати дозволяють по заданим вимогам до згладжуючої здатності вибрати підходящу конструкцію змішувача.

Ключеві слова: змішувач, сыпучий матеріал, метод дискретних елементів, ротор, турбулізатор.

THE CENTRIFUGAL MIXERS DESIGNS INFLUENCE ON THEIR SMOOTHING ABILITY

STATSENKO V. V., BURMISTENKOV O. P., BILA T. Y.

Kyiv National University of Technologies and Design

Purpose. Studying the influence of continuous centrifugal mixers design features on their smoothing ability.

Methodology. The methods used are discrete elements, mathematical modeling and regression analysis.

Findings. The paper considers five continuous centrifugal mixers designs with conical and parabolic rotors. The mixers design features are determined, allowing to change their smoothing ability. Mathematical models of the bulk materials particles movement inside each mixer have been developed based on the discrete element method. The considered mixers reaction to a step change of the key component amount is investigated. The transients parameters are calculated and the particles average residence time in the mixer is determined. It is established that the introduction of turbulizers in the mixers design increases the particles kinetic energy, which leads to a decrease in their residence time in the mixer. Moreover, the absence of a turbulizer leads to a decrease in the mixing intensity. It was also found that the most effective way to increase the mixer smoothing ability is the introduction of additional rotors. In terms of the technological and design parameters combination, the use of mixers with a conical rotor and a turbulizer is the most effective from the point of view for increasing the smoothing ability.

Originality. On the discrete element method basis, the bulk materials particles movement models in continuous centrifugal mixers of five designs have been developed. The influence of the mixers design features on their smoothing ability and average mixing time is determined.

Practical value. The results obtained allow us to select the appropriate mixer design according to the specified requirements for smoothing ability.

Keywords: mixer, bulk material, discrete element method, rotor, turbulizer.

УДК 004.4:519.85

БІДЮК П. І.¹, ДЕМКІВСЬКИЙ Є. О.², ДЕМКІВСЬКА Т. І.³

¹Інститут прикладного системного аналізу НТУУ «КПІ» ім. Ігоря Сікорського

²Київський національний університет імені Тараса Шевченка

³Київський національний університет технологій та дизайну

МЕТОДИКА ПОБУДОВИ МОДЕЛЕЙ ГЕТЕРОСКЕДАСТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ

Мета. Метою дослідження є вдосконалення методики побудови гетероскедастичних моделей часових рядів, яка ґрунтується на використанні кореляційного аналізу та множини статистичних характеристик моделі.

Методика ґрунтується на принципах системного аналізу у застосуванні до оцінювання структури і параметрів моделей за допомогою статистичних даних. Спочатку статистичні дані попередньо обробляються: фільтруються, нормуються, заповнюються пропуски і, за необхідності, виміри розмножуються. Далі на основі кореляційного аналізу виконується оцінювання структури моделі і реалізується оцінювання її параметрів за допомогою коректно вибраного методу. Оцінювання адекватності моделі та якості прогнозів виконується за вибраними статистичними критеріями.

Результати. Удосконалено методику побудови моделей гетероскедастичних процесів, яка забезпечує отримання адекватних моделей динаміки дисперсії за умов наявності інформативних даних. Наведено приклад побудови адекватної моделі динаміки дисперсії гетероскедастичного процесу. Виконані обчислювальні експерименти, спрямовані на моделювання динаміки умовної дисперсії. Проілюстровано ефективність запропонованої методики моделювання процесів, нестационарних стосовно дисперсії. Отримані характеристики побудованих моделей УАРУТ свідчать про можливість їх використання для прогнозування умовної дисперсії на практиці.

Наукова новизна. Запропоновано системний підхід до моделювання нелінійних нестационарних процесів з використанням статистичних даних та принципів системного аналізу. Побудовано нову модель досліджуваного фінансового процесу, яка забезпечує отримання високоякісного короткострокового прогнозу волатильності.

Практична значимість. Розроблена методика моделювання гетероскедастичних процесів може бути застосована для аналізу процесів такого типу у різних галузях діяльності для створення адекватних моделей та оцінювання прогнозів. Програмна реалізація методики забезпечує побудову високоякісних моделей.

Ключові слова: гетероскедастичний процес, волатильність, побудова моделі, критерії адекватності, автокореляційна функція, часткова автокореляційна функція.

Вступ. В даний час, в умовах зростання кількості фінансових ринків та збільшення кількості їх учасників, є актуальною побудова моделей, які адекватно описують фінансові та фінансово-економічні процеси з метою прийняття оптимальних рішень для врахування і мінімізації можливих ризиків та отримання максимальних прибутків.

Такі процеси можуть бути представлені у формі часових рядів. Тому виникає необхідність удосконалювати існуючі методики моделювання таких процесів. Дана робота присвячена дослідженню нестационарних процесів, представлених у формі часових рядів. В роботі розглядається нестационарність у формі гетероскедастичності, тобто дисперсія досліджуваного процесу змінюється у часі на інтервалі дослідження. Моделі, що описують динаміку дисперсії, дають можливість виконувати її короткострокове прогнозування, яке знаходить застосування у системах торгівлі на біржі, у менеджменті фінансових ризиків і т.

ін. Для дослідження використовується інтелектуальний аналіз даних (статистичний аналіз), шляхом оцінювання структури і параметрів математичних.

Постановка завдання. Завданнями даного дослідження є такі: вдосконалення методики побудови моделей гетероскедастичних процесів у формі часових рядів, яка ґрунтується на використанні кореляційного аналізу даних, множини статистичних характеристик моделі та застосуванні принципів системного аналізу; ілюстрація застосування методики моделювання нестационарних гетероскедастичних процесів до аналізу фактичних фінансових даних.

Методика ґрунтується на принципах системного аналізу даних, що застосовуються до оцінювання структури і параметрів моделей за допомогою статистичних даних. Для моделювання гетероскедастичного процесу необхідно визначити структуру моделі та оцінити її параметри, побудувати декілька моделей-кандидатів та визначити кращу модель, яка описує процес, використавши множину статистичних характеристик моделі.

Результати дослідження. Для моделювання екологічних, економічних та технологічних процесів використовується методика Дженкінса і Бокса [1]. Дана методика, яка ґрунтується на аналізі автокореляційної та часткової автокореляційної функції і застосовується для побудови моделей стаціонарних процесів (моделей авторегресії та моделей ковзного середнього) та нестационарних процесів (моделей авторегресії та інтегрованого ковзного середнього).

Інший підхід до моделювання процесів, які описані часовими рядами, запропоновано в [2]. Цей підхід побудований на використанні інтелектуального аналізу даних (кореляційного аналізу) для оцінювання структури і параметрів регресійних моделей часових рядів. Для оцінювання параметрів моделей пропонується використовувати метод найменших квадратів (МНК) і метод максимальної правдоподібності (ММП) та, інші нелінійні методи і універсальний метод Монте-Карло для марковських ланцюгів [3].

Гетероскедастичні процеси виникають при дослідженні деяких технічних, екологічних та фінансово-економічних процесів, особливо в умовах нестійкої економіки. Ці процеси відносять до слабо стаціонарних процесів. До відомого підходу моделювання таких процесів належить метод групового урахування аргументів (МГУА) [4]. Питання побудови моделей нестационарних процесів розглядається в [5 - 9]. При моделюванні гетероскедастичних процесів спочатку виконують перевірку на наявність гетероскедастичності, яка потребує додаткових обчислень. Опис тестів на гетероскедастичність наведено в [10 - 12].

Відомо, що деякі технічні, екологічні та фінансово-економічні процеси мають досить мінливий характер, тобто їх параметри постійно зростають або спадають. Волатильність – це ступінь мінливості параметра у часі. Мірою волатильності є дисперсія або середньоквадратичне відхилення.

Якщо дисперсія процесу змінюється (зменшується або збільшується) в часі, то такий процес називають гетероскедастичним, якщо дисперсія не змінюється, то такий процес називається гомоскедастичним.

$$\text{var}(z_i) = \delta_z^2 = \text{const}$$

Для моделювання гетероскедастичного процесу необхідно знайти закон, за яким змінюється дисперсія.

Розглянемо гетероскедастичний процес:



Рис.1. Графік гетероскедастичного процесу

Математичний опис динаміки дисперсії формально ґрунтується на рівняннях авторегресії та авторегресії з ковзним середнім. Подальше ускладнення таких моделей приводить до експоненційної узагальненої моделі авторегресії з умовною гетероскедастичністю. Для того щоб забезпечити скінченність значень умовної дисперсії, корені характеристичного рівняння моделі (для її авторегресійної складової) повинні знаходитися всередині кола одиничного радіуса.

Для побудови моделі авторегресійної умовно гетероскедастичної моделі (АРУГ) пропонується така послідовність кроків:

1. Побудувати авторегресійну модель низького порядку, наприклад, АР(1) з метою виділення випадкової складової досліджуваного процесу.
2. Побудувати ряд залишків моделі $\hat{\varepsilon}(k)$
3. Побудувати автокореляційну (АКФ) та часткову автокореляційну функцію (ЧАКФ) для ряду залишків моделі
4. Згенерувати новий ряд із квадратів залишків.
5. Побудувати корелограму для ряду, сформованого із квадратів залишків.

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob	
		1	0.404	0.404	16.655	0.000
		2	0.025	-0.165	16.720	0.000
		3	-0.029	0.032	16.809	0.001
		4	-0.022	-0.020	16.859	0.002
		5	-0.019	-0.008	16.896	0.005
		6	-0.022	-0.015	16.949	0.009
		7	-0.005	0.011	16.951	0.018
		8	0.000	-0.006	16.951	0.031
		9	-0.020	-0.024	16.997	0.049
		10	-0.038	-0.023	17.156	0.071

Рис 2. Автокореляційна та часткова автокореляційна функція для побудови моделі АРУГ фінансового процесу

5. Аналізуємо ЧАКФ ряду, сформованого із квадратів залишків. Оскільки найбільшу значимість має лаг з номером 1, то ми можемо включити його в модель:

$$\varepsilon^2(k) = \alpha_0 + \alpha_1 \varepsilon^2(k-1) + v(k),$$

де $v(k)$ – випадковий процес, утворений залишками наведеної моделі.

За допомогою МНК обчислюємо оцінки коефіцієнтів рівняння першого порядку для дисперсії залишків.

Отримали таку модель умовної дисперсії:

$$\varepsilon^2(k) = 3.371626 + 0.404188 * \varepsilon^2(k-1)$$

Наводимо статистичні характеристики даної моделі:

R-squared	0.163358	Mean dependent var	5.661678
Adjusted R-squared	0.154643	S.D. dependent var	25.72049
S.E. of regression	23.64828	Akaike info criterion	9.184655
Sum squared resid	53687.14	Schwarz criterion	9.237409
Log likelihood	-448.0481	Durbin-Watson stat	1.866692

Рис. 3. Статистичні характеристики моделі моделі АРУГ (1)

Наступною моделлю, яку можна побудувати згідно із значеннями розрахованої часткової автокореляційної функції, є АРУГ(2):

$$\varepsilon^2(k) = \alpha_0 + \alpha_1 \varepsilon^2(k-1) + \alpha_2 \varepsilon^2(k-2)$$

За допомогою МНК обчислюємо коефіцієнти і отримуємо таку модель:

$$\varepsilon^2(k) = 3.973860 + 0.470585 * \varepsilon^2(k-1) - 0.165058 * \varepsilon^2(k-2).$$

R-squared	0.185958	Mean dependent var	5.719935
Adjusted R-squared	0.168638	S.D. dependent var	25.84761
S.E. of regression	23.56761	Akaike info criterion	9.188063
Sum squared resid	52210.63	Schwarz criterion	9.267693
Log likelihood	-442.6211	Durbin-Watson stat	1.989608

Рис. 4. Статистичні характеристики моделі моделі АРУГ (2)

Оскільки отримана модель адекватна за коефіцієнтом Дарбіна Ватсона 1,98, але показує неадекватність за коефіцієнтом детермінації 0,185, для підвищення адекватності гетероскедастичного процесу розширюємо модель, включивши до її складу авторегресійну складову стосовно умовної дисперсії $h(k)$, яка обчислюється за наявними статистичними даними. Припускаємо, що дисперсія збурюється процесом у вигляді білого шуму.

Якщо умовна гетероскедастичність в процесі наявна, то корелограма повинна вказувати на цей факт. Алгоритм аналізу корелограми квадратів залишків можна записати таким чином:

1. Побудувати модель АРКС (або АР) для послідовності $\{y(k)\}$ і побудувати додатковий ряд із квадратів похибок $\hat{\varepsilon}^2(k)$. Обчислити вибірку (на основі значень елементів ряду) дисперсію залишків

$$\hat{\sigma}^2 = \sum_{k=1}^N \frac{\hat{\varepsilon}^2(k)}{N-1},$$

де N – кількість елементів ряду похибок.

2. Визначити вибірку АКФ для ряду квадратів залишків

$$\rho(s) = \frac{\sum_{k=s+1}^N [\hat{\varepsilon}^2(k) - \hat{\sigma}^2][\hat{\varepsilon}^2(k-s) - \hat{\sigma}^2]}{\sum_{k=1}^N [\hat{\varepsilon}^2(k) - \hat{\sigma}^2]^2}.$$

3. Побудова ряду умовної дисперсії для цього ряду даних виконується так:

$$h(k) = \frac{1}{w-1} \sum_{i=k-\frac{w-1}{2}}^{k+\frac{w-1}{2}} [y(i) - \bar{y}]^2,$$

де $k = 2, 3, 4, \dots, w$ – розмір рухомого вікна, за яким розраховується умовна дисперсія.

Для отриманого ряду значень умовної дисперсії автокореляційна та часткова автокореляційна функція мають такий вигляд.

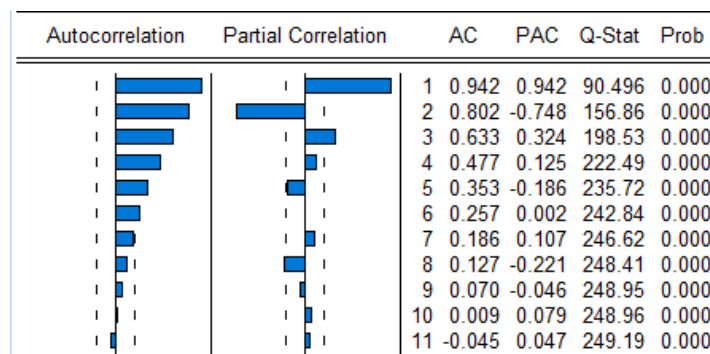


Рис. 5. Автокореляційна та часткова автокореляційна функція для побудови моделі УАРУГ

З аналізу ЧАКФ видно, що в модель УАРУГ можна включити лаги 1, 2, 3. Серед множини побудованих моделей найкращою є модель УАРУГ(3,2):

$$\text{HH} = \text{C}(1) + \text{C}(2) * \text{HH}(-1) + \text{C}(3) * \text{HH}(-2) + \text{C}(4) * \text{HH}(-3) + \text{C}(5) * \text{RESID}_2(-1) + \text{C}(6) * \text{RESID}_2(-2)$$

	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C(1)	1.960486	1.444592	1.357121	0.1781
C(2)	2.078621	0.099025	20.99095	0.0000
C(3)	-1.604740	0.180503	-8.890393	0.0000
C(4)	0.471638	0.101540	4.644846	0.0000
C(5)	-0.062267	0.057662	-1.079866	0.2831
C(6)	0.046292	0.057669	0.802723	0.4242

R-squared	0.965701	Mean dependent var	36.16667
Adjusted R-squared	0.963795	S.D. dependent var	62.88463
S.E. of regression	11.96538	Akaike info criterion	7.862373
Sum squared resid	12885.32	Schwarz criterion	8.022645
Log likelihood	-371.3939	Durbin-Watson stat	1.983704

Рис. 6. Статистичні характеристики моделі моделі УАРУГ(3,2)

В результаті виконаних обчислень побудовано таку модель:

$$h(k) = 1.960486 + 2.078621 * h(k - 1) - 0.1604740 * h(k - 2) + 0.471638 * h(k - 3) + 0.062267 * \varepsilon^2(k - 1) + 0.046292 * \varepsilon^2(k - 2)$$

З аналізу статистичних характеристик отриманої моделі видно, що дана модель краще описує гетероскедастичний процес, оскільки значення характеристики Дарбіна Ватсона наближається до 2, що означає відсутність автокореляції залишків моделі, а коефіцієнт детермінації, який показує ступінь адекватності моделі, дорівнює 0,96, що є прийнятним значенням для прогнозуючої моделі.

Висновки. Гетероскедастичні процеси широко розповсюджені у фінансах та інших галузях досліджень. Необхідність побудови моделей гетероскедастичних процесів зумовлена тим, що у багатьох випадках необхідно знаходити прогнози оцінок умовної дисперсії, наприклад, для виконання торговельних операцій, для оцінювання фінансових ризиків та для використання у діагностичних системах. Запропонована удосконалена методика моделювання динаміки дисперсії гетероскедастичних процесів. Виконані обчислювальні експерименти, спрямовані на моделювання динаміки умовної дисперсії, ілюструють ефективність запропонованої методики моделювання процесів, нестационарних стосовно дисперсії. Отримані характеристики побудованих моделей УАРУГ свідчать про можливість їх використання для прогнозування умовної дисперсії на практиці.

Література

1. Бокс Дж. Анализ временных рядов. Прогноз и управление: Вып. 1 / Дж. Бокс, Г. Дженкинс. – М.: Мир, 1974. – 406 с.
2. Бідюк П.І., Романенко В.Д., Тимошук О.Л. Аналіз часових рядів: Навчальний посібник. – Київ.: НТУУ КПІ, 2013. – 599 с.
3. Tsay R.S. Analysis of financial time series. – Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons Inc., 2010. – 715 p.
4. Ивахненко А.Г. Индуктивный метод самоорганизации моделей сложных систем. – Киев: Наукова думка, 1982. – 296 с.
5. Себер Дж. Прикладной регрессионный анализ. – М.: Мир, 1982. – 450 с.
6. Бард Й. Нелинейное оценивание параметров. – М.: Статистика, 1979. – 349
7. Дрейпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ (т. 2). – М.: Финансы и статистика, 1986. – 366 с.
8. Лукашин Ю.П. Адаптивные методы краткосрочного прогнозирования временных рядов. М.: Финансы и статистика, 2003, 416 с.
9. Enders W. Applied Econometrics Time Series : 3nd ed. / W. Enders. – Jon Wiley and Sons, Inc., – 2010. – 517 p.
10. Enders W. Applied econometric time

References

1. Dzh. Boks, G. Dzhenkins, (1974). Analiz vremennykh ryadov. Prognoz i upravlenie [Time Series Analysis. Forecast and Management] Monografiya M.: Mir [in Russian]
2. Bidiuk P.I., Romanenko V.D., Tymoshchuk O.L., (2013) *Analiz chasovykh riadiv* [Time Series Analysis] Kyiv.: NTUU KPI [in Ukrainian]
3. Tsay R.S., (2010). Analysis of financial time series. – Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons Inc., 715 [in English]
4. Ivakhnenko, A.G., (1982). *Induktivnyy metod samoorganizatsii modeley slozhnykh sistem* [Inductive method of self-organization of complex systems models] Kyiv: Nauk. Dumka [in Russian]
- Seber. Dzh., (1982). *Prikladnoy regressionnyy analiz* [Applied Regression Analysis] M.: Mir [in Russian]
6. Bard, Y., (1979). *Nelineynoe otsenivanie parametrov* [Non-linear parameter estimation] M.: Statistika [in Russian]
7. Dreyper, N., Smit, G., *Prikladnoy regressionnyy analiz (t.2)* [Applied Regression Analysis] M.: Finansy i statistika [in Russian]
8. Lukashin Yu.P., (2003), *Adaptivnye metody kratkosrochnogo prognozirovaniya vremennykh ryadov.* [Adaptive methods of short-term forecasting of time series], . M.: Finansy i statistika, 416 [in Russian]
9. Enders W, (2010), *Applied Econometrics Time Series* 3nd ed. /W. Enders. – Jon Wiley and Sons, Inc., 517 [in English]
10. Enders W., (1995), *Applied econometric time series.* –

series. – New York: John Wiley & Sons, Inc., 1995. – 434 p.

11. Johnston J., DiNardo J. Econometric methods. – New York: McGraw-Hill, Inc., 1997. – 530 c.

12. Демківський О.Б., Красницький С.М., Пилипенко Ю.М., Слізков А.М. – Статистична обробка результатів вимірювань та експериментальних даних в текстильній промисловості: Навчальний посібник. – Київ.: КНУТД, 2012. – 105 с.

New York: John Wiley & Sons, Inc., 434 [in English]

11. Johnston J., DiNardo J., (1997), Econometric methods. – New York: McGraw-Hill, Inc., – 530 [in English]

12. Demkivskyi, O.B., Krasnytskyi, S.M., Pylypenko, Yu.M., Slizkov A.M., (2012)– *Statystychna obrobka rezultativ vymyriuvan ta eksperymentalnykh danykh v tekstylnii promyslovosti* [Statistical processing of measurement results and experimental data in the textile industry] Kyiv. Kyiv National University of Technologies and Design [in Ukrainian]

VIDYUK PETRO

pbidyuke_00@ukr.net

ID: 6602445011

ORCID: (<http://orcid.org/>) 0000-0002-7421-3565

ResearcherID:

(<http://www.researcherid.com>) S-1161-2016

Institute for applied system analysis National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

DEMKIVSKIY YEVGEN

demkivsky@gmail.com

ORCID: (<http://orcid.org/>) 0000-0002-9383-7466

Taras Shevchenko National University of Kyiv

DEMKIVSKA TETIANA

demkivskiy@gmail.com

ORCID: (<http://orcid.org/>) 0000-0002-2176-163X

Kyiv National University of Technologies & Design

МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛЕЙ ГЕТЕРОСКЕДАСТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

БИДЮК П. И.¹, ДЕМКОВСКИЙ С. О.², ДЕМКОВСКАЯ Т. И.³

¹Институт прикладного системного анализа НТУУ «КПИ» им. Игоря Сикорского

²Киевский национальный университет имени Тараса Шевченка

³Киевский национальный университет технологий и дизайна

Цель. Целью исследования является совершенствование методики построения гетероскедастических моделей временных рядов, основанной на использовании корреляционного анализа данных и множества статистических характеристик модели.

Методика основывается на принципах системного анализа данных в применении к оценке структуры и параметров моделей с помощью статистических данных. Для моделирования гетероскедастических моделей временных рядов необходимо решить следующие задачи: воспользоваться принципами системного анализа для формулирования методики моделирования, обеспечить надлежащую подготовку данных для моделирования, оценить структуру и параметры моделей, а также сформировать критериальную базу для корректного выбора лучших моделей из множества оцененных кандидатов.

Результаты. Усовершенствована методика построения моделей гетероскедастических процессов, которая обеспечивает получение адекватных моделей динамики дисперсии при наличии информативных данных. Приведен пример построения адекватной модели динамики дисперсии гетероскедастического процесса. Выполнены вычислительные эксперименты, направленные на моделирование динамики условной дисперсии. Проиллюстрировано эффективность предложенной методики моделирования процессов, нестационарных относительно дисперсии. Полученные характеристики построенных моделей УАРУГ свидетельствуют о возможности их использования для прогнозирования условной дисперсии на практике.

Научная новизна. Показана возможность применения системного подхода к построению моделей гетероскедастических временных рядов и приведена последовательность выполнения операций при построении моделей указанного типа. Построена новая модель исследуемого

финансового процесса, обеспечивает получение высококачественного краткосрочного прогноза волатильности.

Практическая значимость. Предложенная методика обеспечивает построение моделей приемлемой адекватности при условии полноты и информативности статистических данных, представленных временными рядами.

Ключевые слова: временной ряд, гетероскедастический процесс, волатильность, построение модели, критерии адекватности, автокорреляционная функция, частичная автокорреляционная функция.

METHOD OF DEVELOPMENT OF HETEROSKEDASTIC PROCESSES MODELS BIDIUK P. I.¹, DEMKIVSKYI Y. O.², DEMKIVSKA T. I.³

¹Institute for applied system analysis National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

²Taras Shevchenko National University of Kyiv

³Kyiv National University of Technologies and Design

Purpose. The aim of the study is to improve the method of construction of heteroscedastic models of time series, which is based on the use of correlation analysis of data and multitude of statistical characteristics of the model.

Methodology is based on the principles of systematic data analysis in application to the estimation of structure and parameters of models using statistical data. For modelling of heteroscedastic time series models need to solve the following tasks: to apply system analysis principles to formulate the modeling methodology, to ensure proper modeling data preparation, to evaluate the structure and parameters of the models, and to form a criterion base for the correct selection of the best candidate models from the set of candidates evaluated.

Findings. The technique of constructing models of heteroskedastic processes is improved, which ensures obtaining adequate models of the dynamics of dispersion with the presence of informative data. An example of constructing an adequate model of the dispersion dynamics of the heteroscedastic process is given. Computational experiments aimed at modeling the conditional dispersion dynamics are performed. The efficiency of the proposed technique for modeling non-stationary variance processes is illustrated. The obtained characteristics of the constructed GARCH - models indicate that they can be used to predict conditional variance in practice.

Originality. The possibility of applying a systematic approach to the construction of heteroskedastic time series models is shown, and the sequence of operations is performed when constructing models of this type. A new model of the studied financial process has been constructed to provide high quality short-term volatility forecast.

Practical value. The proposed methodology ensures the construction of models of acceptable adequacy, provided the completeness and informativeness of the statistics presented in time series.

Keywords: time series, heteroscedastic process, volatility, model construction, adequacy criteria, autocorrelation function, partial autocorrelation function.

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

¹Відкритий міжнародний університет розвитку людини «Україна»

²Київський національний університет технологій та дизайну

**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ РЕЖИМІВ
РУХУ РОБОЧОГО МАСИВУ ТА ОБ'ЄМУ ЗАПОВНЕННЯ
ЄМКОСТІ НА ІНТЕНСИВНІСТЬ ВІДДІЛЕННЯ МЕТАЛЕВИХ
ДЕТАЛЕЙ ВІД ЛИВНИКІВ**

Мета. Визначення основних раціональних технологічних параметрів обробки металевих деталей замка «блискавка» в галтувальній машині зі складним просторовим рухом робочої ємкості, зокрема, експериментальне дослідження впливу режимів руху робочого масиву та об'єму заповнення ємкості на інтенсивність відділення металевих деталей замка «блискавка» від ливників, отримання відповідних розрахункових залежностей.

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

Результати. Визначено раціональний режим руху робочого масиву та раціональний рівень заповнення ємкості робочим масивом, які забезпечують найбільшу продуктивність при виконанні технологічної операції відділення металевих деталей від ливників.

Наукова новизна. Встановлені закономірності впливу зміни режимів руху робочого масиву на інтенсивність виконання технологічної операції відділення металевих деталей замка «блискавка» від ливників. Визначено залежність між рівнем заповнення ємкості робочим масивом, швидкістю та продуктивністю виконання даної технологічної операції. Отримання відповідні розрахункові залежності.

Практична значимість. Отримані настанови щодо реалізації раціональних технологічних параметрів операції відділення металевих деталей замка «блискавка» від ливників в машині зі складним просторовим рухом робочої ємкості, які забезпечують максимальну продуктивність виконання технологічної операції.

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

Вступ. Різні металеві деталі, зокрема, деталі замка «блискавка» на основі цинкових сплавів виготовляються шляхом лиття [1], в результаті чого утворюються відливки різної складної геометричної форми. Наступний етап обробки полягає у відділенні деталей від ливників [2] з подальшою їх сепарацією. На переважній більшості підприємств, для реалізації відділення деталей від ливників, використовують методи об'ємної обробки [3] в середині рухомих ємкостей. На єдиному підприємстві України (ПрАТ «Молнія»), що спеціалізується по виготовленню замків «блискавка», до сих пір використовуються галтувальні розділово-полірувальні машини К-36 німецької фірми «Optilon» 1981 року виготовлення (об'єм барабану 0,12м³) з восьмигранними обертальними барабанами. 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 вибору раціональних режимів обробки, а також інформація по визначенню часу, який необхідний для якісної обробки металевих деталей. На ПрАТ «Молнія» рішення про завершення технологічної операції відділення деталей від ливників приймається на основі інтуїтивного досвіду чи 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, основними з яких є: режим руху робочого масиву та рівень заповнення ємкості робочим масивом.

Таким чином, визначення основних раціональних технологічних параметрів обробки деталей замка «блискавка» в «базовій» конструкції галтувальної машини зі складним просторовим рухом робочої ємкості є актуальною задачею на сьогоднішній день.

Результати дослідження. В першій частині експерименту визначали вплив режимів руху робочого масиву в середині ємкості на інтенсивність відділення деталей замка «блискавка» від ливників. Для проведення дослідження використовували раніше розроблену експериментальну установку [8] «базової» конструкції машини зі складним просторовим рухом робочої ємкості.

В даній частині експерименту використовувалися відливки замка «блискавка» з двома закріпленими деталями-корпусами. На рис. 1 представлено відливки даного типу до початку обробки, а також відокремлені деталі по завершенню обробки в машині, робоча ємкість якої виконує складний просторовий рух.



Рис. 1. Відливки замка «блискавка» до початку обробки, а також відокремлені деталі по завершенню обробки в машині, робоча ємкість якої виконує складний просторовий рух

Таким чином, проводилася обробка трьох партій ливникових систем при реалізації трьох режимів руху робочого масиву (водоспадного, змішаного та каскадного) з наданням відповідної кутової швидкості ведучому валу машини. В роботі [9] встановлено взаємозв'язок між зміною режимів руху робочого масиву в середині ємкості та кутовою швидкістю ведучого валу машини. У ході виконання технологічної операції відділення деталей від ливників, для кожного режиму руху робочого масиву, ємкість завантажувалася

на 50% від свого загального об'єму. Кількість завантажених ливникових систем зберігалася постійною для реалізації кожного режиму руху та становила 320 штук.

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

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 (частота обертання) ведучого валу машини для: каскадного режиму руху	$\omega_{\text{ведуч}}=2,1 \text{ с}^{-1}$ ($n_{\text{ведуч}}=20 \text{ хв}^{-1}$)
	змішаного режиму руху	$\omega_{\text{ведуч}}=4,2 \text{ с}^{-1}$ ($n_{\text{ведуч}}=40 \text{ хв}^{-1}$)
	водоспадного режиму руху	$\omega_{\text{ведуч}}=6,8 \text{ с}^{-1}$ ($n_{\text{ведуч}}=65 \text{ хв}^{-1}$)
Характеристика ливникових систем		
1	Назва матеріалу з якого отримано ливникові системи	«ЦАМ 4-1», ГОСТ 25140-93 ГОСТ 19424-74
3	Об'єм заповнення робочої ємкості у % на початку процесу обробки	$V_{\text{Поч.роб.}}=50\%$
		$V_{\text{Поч.роб.}}=25\%$
		$V_{\text{Поч.роб.}}=75\%$
4	Кількість відливок, завантажених до робочої ємкості при її заповненні на 50%, 25% та 75%	$Z_{2,\text{загал.}50\%}=320 \text{ шт.}$ $Z_{2,\text{загал.}25\%}=160 \text{ шт.}$ $Z_{2,\text{загал.}75\%}=480 \text{ шт.}$
7	Маса відливки	$m_2=0,013 \text{ кг}$

Експеримент проводився наступним чином: партію відливок завантажували до ємкості та проводили технологічну операцію до відділення усіх деталей від ливників, повного видалення облою та задирок з відділених деталей. При цьому, контролювали кількість оброблених деталей наступним чином: при реалізації каскадного режиму руху машину зупиняли кожні 4 хв, при реалізації водоспадного режиму – кожні 0,25 хв, а при реалізації змішаного режиму – кожні 0,5 хв, завантажений робочий масив повністю вивантажувався з ємкості та проводився підрахунок кількості відділених деталей від ливників, після чого, оброблені деталі та робочий масив знову засипали до ємкості та продовжували технологічну операцію до наступної зупинки. Якщо виявлялося, що повний цикл обробки був досить тривалим, то інтервал між контрольними зупинками машини збільшували. Для зручності подальшого представлення отриманих результатів щодо кількості відділених деталей від ливників у порівнянні із загальною кількістю деталей, що оброблялися застосовували коефіцієнт μ , який характеризував відношення:

$$\mu = \frac{n_{\text{оброб}}}{n_{\text{необроб}}}, \quad (1)$$

де $n_{\text{оброб}}$ – кількість оброблених деталей (тих, що відділилися від ливників), $n_{\text{необроб}}$ – загальна кількість деталей, які були завантажені до робочої ємкості

Кількість зупинок машини з подальшим підрахунком відділених деталей відбувалася до моменту відділення усіх деталей від ливників. В результаті чого фіксувався час завершення технологічної операції. Якість обробки деталей замка «блискавка» в експериментальній установці перевірялася на ПрАТ «Молнія».

Результати першої частини експерименту представлені в таблиці 2. На основі апроксимації отриманих результатів, яка була виконана за допомогою програми *MathCAD 14*, побудовані графіки залежності (рис. 2) коефіцієнта μ у відсотках від часу обробки для різних режимів руху робочого масиву.

Результати експериментальних досліджень (таблиця 2) підтверджують висновок попередніх аналітичних досліджень [10] про перевагу та доцільність реалізації саме водоспадного режиму руху робочого масиву під час виконання технологічних операцій відділення деталей від ливників. На відділення деталей від ливників при реалізації водоспадного режиму руху робочого масиву витрачається майже в 19 разів менше часу ніж на відділення деталей від ливників при реалізації каскадного режиму руху та в 3,3 рази менше часу в порівнянні з обробкою деталей при змішаному режимі руху. Таким чином, змішаний, тим більш каскадний режим руху робочого масиву не придатні для реалізації процесів відділення металевих деталей «блискавка» від ливників з високою інтенсивністю.

Процес обробки деталей в об'ємі робочого масиву відбувається нерівномірно. На початку обробки спостерігається незначний приріст кількості оброблених деталей. Значна інтенсифікація процесу реалізується, коли кількість оброблених деталей в робочому масиві становить 20% – 80%. Потім, після збільшення кількості оброблених деталей в робочому масиві більш ніж 80%, знову спостерігається зниження інтенсивності обробки деталей.

Низька інтенсивність відділення деталей від ливників на початку технологічної операції пов'язана з тим, що вільний об'єм ємкості в цей час є найменшим, відливки вдарятимуться по стінках ємкості з меншою інтенсивністю. Низька інтенсивність відділення деталей від ливників в кінці технологічної операції відбувається за рахунок зміни співвідношення між обробленими деталями (відділеними від ливників) та необробленими деталями, зокрема, необроблених деталей, по відношенню до всього робочого масиву, стає дедалі менше. Відповідно, зі зменшенням кількості необроблених деталей, зменшується ймовірність їх зіткнення зі стінками ємкості при кожному оберті ведучого валу машини. Переважну частину часу такі окремі необроблені деталі переміщуються в середині робочого масиву, не стикаються зі стінками ємкості, а їх кінетичної енергії при зіткненні з іншими деталями чи ливниками просто недостатньо для відокремлення від ливників.

Дослідження підтверджують, що зміна режиму руху робочого масиву в значній мірі впливає на інтенсивність виконання технологічних процесів відділення металевих деталей замка «блискавка» від ливників. Обробка металевих деталей замка «блискавка» в машині зі складним просторовим рухом робочої ємкості, при реалізації водоспадного режиму руху робочого масиву, виконується в 20 разів швидше ніж на галтувальному обладнанні «Optilon», яке використовується на підприємстві ПрАТ «Молнія». На відділених від ливників деталях відсутній облой та задирки, гострі краї та нерівномірні виступи, які сформувалися в процесі лиття заокруглені та згладжені, а також відсутні будь-які пластичні деформації елементів деталей, які б могли свідчити про брак деталей. Якість оброблених деталей замка

«блискавка» в експериментальній установці підтверджена проведеною перевіркою, виконаною в межах виробничої апробації на ПрАТ «Молнія». Оцінка якості оброблених деталей проведена на ПрАТ «Молнія» показала, що вони повністю відповідають технологічним вимогам підприємства.

В 2-й частині експерименту проводили дослідження впливу об'єму заповнення робочої ємкості на інтенсивність відділення металевих деталей замка «блискавка» від ливників. З різних наукових літературних джерел відомо [1, 7, 11], що, в цілому, для виконання галтувальних об'ємних процесів обробки ємкість робочим масивом слід заповнювати приблизно на 50% від її загального об'єму [12]. Однак, конкретні настанови щодо рівня заповнення ємкостей, які виконують складний просторовий рух при виконанні технологічних процесів відділення металевих деталей від ливників відсутні.

Таким чином, було проведено другу частину експериментального дослідження, в якому при реалізації водоспадного режиму руху робочого масиву проводилося відділення металевих деталей замка «блискавка» від ливників при заповненні ємкості на 25% та 75% від її загального об'єму. У якості оброблюваних деталей використовувалися ті ж само відливки (рис. 1).

Методика проведення експерименту аналогічна до попередньої частини. Результати експерименту представлені в таблиці 2. На основі апроксимації отриманих результатів, яка була виконана за допомогою програми *MathCAD 14*, побудовані графіки залежності коефіцієнта μ у відсотках від часу обробки для різних ступенів заповнення ємкості. Для кращого порівняння результатів експериментальних досліджень отримані криві співставлені на одному графіку з кривими, які отримані в першій частині експериментального дослідження та представлені на рис. 2.

Відділення деталей від ливників при заповненні ємкості на 25% відбулося майже миттєво, через 0,25 хв від ливників було відділено вже 65% деталей, а через 0,5 хв усі деталі були вже обробленими. При заповненні ємкості на 75% технологічний процес тривав в 6 разів довше – 3 хв.

Однак, щоб встановити раціональний рівень заповнення ємкості необхідно визначити продуктивність виконання технологічної операції для відповідних рівнів заповнення ємкості. При розрахунку продуктивності приймали до уваги не тільки фактичний час, що витрачається на відділення завантажених деталей від ливників, а й кількість відливок, які обробляються за один цикл та час, який витрачається на додаткові підготовчі операції.

Продуктивність технологічної операції $P_{X\%}$, при відповідному відсотковому заповненні ємкості $X\%$, визначається, як загальна кількість деталей $n_{оброб}$ відділених від ливників, які були оброблені за одиницю часу t ($t=1 год$):

$$P_{X\%} = \frac{n_{оброб}}{t}. \quad (2)$$

В свою чергу, загальна кількість деталей $n_{оброб}$ відділених від ливників, які були оброблені за одиницю часу t ($t=1 год$) можна визначити наступним чином:

$$n_{оброб} = z_{2,загал.X\%} \cdot k, \quad (3)$$

де $Z_{2,загал.X\%}$ – кількість відливок (відливки з двома закріпленими деталями) завантажених до ємкості для одного циклу обробки, насипний об'єм яких становить $X\%$ від загального об'єму ємкості; k – кількість циклів обробки, які виконуються в машині за одну годину:

$$k = \frac{60}{t_{X\%} + t_{дод.}}, \quad (4)$$

де $t_{X\%}$ – час обробки однієї партії деталей завантажених до робочої ємкості, при відповідному відсотковому рівні її заповнення $X\%$ (визначено в ході проведення експерименту); $t_{дод.}$ – час, який витрачається на виконання додаткових підготовчих операцій (завантаження робочого масиву до ємкості перед початком обробки, а також відвантаження відокремлених деталей та ливників з ємкості по завершенню обробки партії деталей тощо).

Таблиця 2.

Результати експерименту

Час t , хв	1-ша частина експерименту			2-га частина експерименту	
	μ при відповідних режимах руху робочого масиву (заповнення ємкості на 50%)			μ при відповідних ступенях заповнення ємкості (водоспадний режим руху)	
	Каскадний	Змішаний	Водоспадний	25%	75%
0	0	0	0	0	0
0,25	-----	-----	0,05	0,65	0,01
0,5	-----	0,02	0,37	1	0,05
0,75	-----	-----	0,58	-----	0,1
1	-----	0,04	0,87	-----	0,18
1,25	-----	-----	0,96	-----	0,29
1,5	-----	0,1	1	-----	0,6
1,75	-----	-----	-----	-----	0,76
2	-----	0,15	-----	-----	0,92
2,5	-----	0,31	-----	-----	0,98
3	-----	0,62	-----	-----	1
3,5	-----	0,89	-----	-----	-----
4	0,04	0,95	-----	-----	-----
4,5	-----	0,97	-----	-----	-----
5	-----	1	-----	-----	-----
5,5	-----	-----	-----	-----	-----
8	0,09	-----	-----	-----	-----
12	0,37	-----	-----	-----	-----
16	0,70	-----	-----	-----	-----
20	0,95	-----	-----	-----	-----
24	0,98	-----	-----	-----	-----
28	1	-----	-----	-----	-----

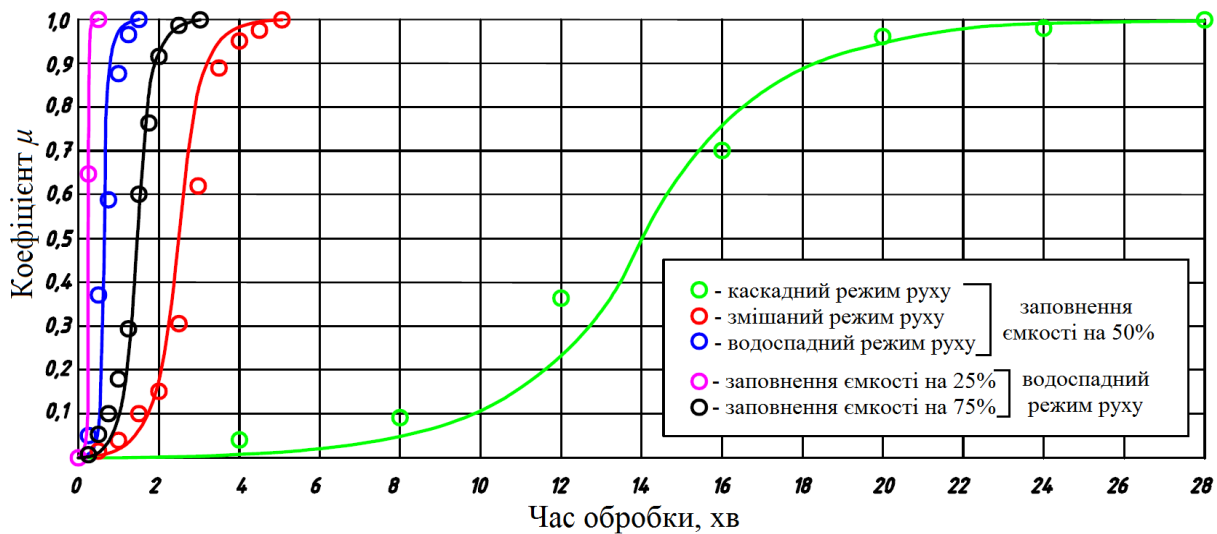


Рис. 2. Залежність коефіцієнта μ від часу обробки при реалізації різних режимів руху робочого масиву та різних ступенів заповнення ємкості

Згідно «Технологічного процесу відділення металевих деталей замка «блискавка» від ливників», який використовується та затверджений на ПрАТ «Молнія», на такі додаткові підготовчі операції витрачається час в діапазоні 4 – 8 хв. Умовно прийmemo, що $t_{\text{доп}}=5$ хв, тоді вираз (4) матиме вигляд:

$$k = \frac{60}{t_{x\%} + 5}. \quad (5)$$

Таким чином, вираз (2) з урахуванням рівнянь (3) та (5), матиме вигляд:

$$P_{x\%} = \frac{n_{\text{оброб}}}{t}. \quad (6)$$

Далі, за виразом (6) було розраховано продуктивність виконання технологічних операцій відділення металевих деталей замка «блискавка» від ливників при різних ступенях заповнення ємкості робочим масивом. Результати розрахунків представлені в таблиці 3.

Таблиця 3.

Результати розрахунків продуктивності виконання технологічної операції

Рівень заповнення ємкості робочим масивом, %	Кількість деталей завантажених до ємкості, шт	Час обробки, хв	Продуктивність обробки, шт/год
25%	160 шт	0,5 хв	1745 шт/год
50%	320 шт	1,5 хв	2954 шт/год
75%	480 шт	3 хв	3600 шт/год

Також, за допомогою програми *MathCAD 14* для представлених кривих на рис. 2 було отримано загальне рівняння, що є неелементарною функцією Лапласа та описує залежність зміни коефіцієнта μ від часу виконання технологічної операції:

$$\mu = \frac{5,12}{t_{\text{max}}} \int_0^t e^{-\frac{10,24}{t_{\text{max}}}|t-0,5t_{\text{max}}|} dt, \quad (7)$$

де t_{max} – загальний час, який витрачається на всю технологічну операцію, хв; e – експонента; μ – коефіцієнт, який характеризує відношення кількості оброблених деталей до загальної кількості деталей, які були завантажені до робочої ємкості, t – час, в процесі виконання технологічної операції, хв;

Проведені експериментальні дослідження підтверджують, що рівень заповнення робочої ємкості також впливає на інтенсивність виконання технологічних процесів відділення металевих деталей замка «блискавка» від ливників. Зі зменшенням насипного об'єму робочого масиву, завантаженого до ємкості, збільшується кінетична енергія відливок в момент їх ударної взаємодії зі стінками ємкості, в результаті технологічний процес реалізується значно швидше. Однак, якщо є значна за обсягом партія деталей, для обробки якої необхідно декілька десятків циклів роботи машини, то заповнювати ємкість на 25% не актуальне у зв'язку з тим, що продуктивність обробки усієї партії буде низькою. Значне зниження продуктивності при завантаженні ємкості менш ніж на половину від її повного об'єму пов'язане зі збільшенням часу, який витрачається на додаткові підготовчі технологічні операції відвантаження та завантаження відливок, які відбуватимуться по завершенню кожного циклу обробки партії деталей.

Таким чином, для реалізації технологічних процесів відділення металевих деталей замка «блискавка» від ливників з високою продуктивністю слід заповнювати ємкість в діапазоні 50% – 75% від її загального вільного об'єму.

В залежності від рівня заповнення ємкості робочим масивом, тривалість обробки відливок з 2-ма закріпленими деталями-корпусами варіюватиметься в діапазоні 1,5 – 3 хв. На підприємстві ПрАТ «Молнія» мінімальний час обробки відливок відповідного типу становить 30 хв. Отже, виконання технологічної операції відділення металевих деталей від ливників з використанням обладнання, в якому робоча ємкість виконує складний просторовий рух є значно ефективнішим ніж при використанні галтувальних машин з обертальною ємкістю. Відповідно, продуктивність обробки вищезгаданих деталей, при використанні машин зі складним рухом робочої ємкості, буде в 10 разів більшою за продуктивність обробки при використанні галтувальних машин з обертовими ємкостями. Оцінка якості усіх експериментально оброблених деталей проведена на ПрАТ «Молнія» показала, що вони повністю відповідають технологічним вимогам підприємства.

Висновки:

1. Досліджено вплив режимів руху робочого масиву на інтенсивність відділення металевих деталей замка «блискавка» від ливників. Експериментально встановлено, що найінтенсивніше відділення деталей від ливників відбувається при реалізації водоспадного режиму руху робочого масиву.

2. Досліджено вплив об'єму заповнення ємкості на інтенсивність та продуктивність при виконанні даної технологічної операції. Експериментально встановлено раціональний рівень заповнення робочої ємкості робочим масивом, який має бути в діапазоні 50% – 75% від її загального вільного об'єму.

3. Встановлено, що для виконання технологічних операцій відділення металевих деталей замка «блискавка» від ливників, обладнання, в якому робоча ємкість виконує складний просторовий рух, є значно ефективнішим за обладнання з обертовим гранованим

барабаном. Продуктивність при обробці металевих деталей з використанням машин зі складним рухом робочої ємкості, може бути в 10 разів більшою за продуктивність при обробці деталей з використанням галтувальних машин з обертовими ємкостями.

4. Отримано загальне рівняння функції, що описує залежність зміни коефіцієнта μ , який характеризував відношення кількості оброблених деталей до загальної кількості деталей, які були завантажені до робочої ємкості від часу виконання технологічної операції.

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. Першин В.Ф. Переработка сыпучих материалов в машинах барабанного типа / Першин В.Ф., Однолько В.Г., Першина С.В. // Монография – М.: Машиностроение, 2009. – 220 с;
4. Патент №126647, МПК В01F 11/00 (2018.01). 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. Патент №135994, МПК В01F 11/00. Машина для обробки деталей / Залюбовський М.Г., Панасюк І.В., заявник та патентовласник Київський національний університет технологій та дизайну - №u201902138; заяв. 04.03.2019, опуб. 25.07.2019, бюл. № 14;
6. Копин В.А., Макаров В.Л., Ростовцев А.М. Обработка изделий из пластмасс. - М.: Химия, 1988. - 176 с;
7. Залюбовський М. Г. Машины зі складним рухом робочих ємкостей для обробки полімерних деталей: монографія / М. Г. Залюбовський, І. В. Панасюк, В. В. Малишев – К.: Університет «Україна», 2018. – 228 с;
8. Zalyubovskiy M.G. Experimental investigation of the handling process of polymeric units in a machine with a compacted space movement of working container / Zalyubovskiy M.G., Panasyuk I.V., Smirnov Y.I., Klaptsov Y.V., Malyshev V.V. // Bulletin of the Kyiv National University of Technologies and Design – 2019. – №2. Vol 132,– С.

References

1. Burmistenkov, O. (2007). *Vyrobnytstvo 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 Ukrainian];
2. Zalyubovskiy MG, Panasyuk IV, Sukhenko AH, inventors (2019). Sposib ob'iemnoi obrobky metalevykh detalei [The method of three-dimensional processing of metal parts]. Ukrainian patent, no. 137568;
3. Pershin, V., Odnolko, V., & Pershina, S. (2009). *Pererabotka sypuchikh materialov v mashinakh barabannogo tipa* [Processing bulk materials in drum type machines]. Moscow [in Russian];
4. Zalyubovskiy MG, Panasyuk IV, inventors (2018). Mashyna dlia obrobky detalei [Machine for processing parts]. Ukrainian patent, no. 126647.
5. Zalyubovskiy MG, Panasyuk IV, inventors (2019). Mashyna dlia obrobky detalei [Machine for processing parts]. Ukrainian patent, no. 135994.
6. Kopin, V., Makarov, V., & Rostovtcev, A. (1988). *Obrabotka izdelii iz plastmass*. M.: Khimiia, 1988, 176;
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 Ukrainian];
8. Zalyubovskiy, M., Panasyuk, I., Smirnov Y., Klaptsov, Y., & Malyshev, V. (2019). Experimental investigation of the handling process of polymeric units in a machine with a compacted space movement of working container. Bulletin of the Kyiv National University of Technologies and Design, 2, Vol 132, 24-32. [in English];
9. Panasyuk, I., Zalyubovskiy, M. (2015). *Vyznachennia zalezhnosti rezhymu rukhu robochoho seredovyscha u yemkosti zi skladnym rukhom vid kutovoi shvydkosti veduchoho valu* [Determination of the dependence of the mode of

24-32;

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 – 2015. – №1. – С. 43-52;

10. 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. Серія: «Технічні науки»– 2019. – №6 (140). – С. 9-18;

11. 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;

12. 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.

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 Ukrainian];

10. Zalyubovskiy, M., Panasyuk, I., & Malyshev V. (2019). Analitичne vyznachennia chasu vykonannia tekhnolohichnoi operatsii viddilennia metalevykh detalei zamka «blyskavka» vid lyvnykiv [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];

11. 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];

12. 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

MALYSHEV VICTOR

viktor.malyshev.igic@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2756-3236>

Open University of Human Development «Ukraine»

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМОВ ДВИЖЕНИЯ РАБОЧЕГО МАССИВА И ОБЪЕМА ЗАПОЛНЕНИЯ ЕМКОСТИ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ОТДЕЛЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ ОТ ЛИТНИКОВ ЗАЛЮБОВСКИЙ М. Г.¹, ПАНАСЮК И. В.², МАЛЫШЕВ В. В.¹

¹ Открытый международный университет развития человека «Украина»,

² Киевский национальный университет технологий и дизайна

Цель. Определение основных рациональных технологических параметров обработки металлических деталей замка «молния» в галтовочной машине со сложным пространственным движением рабочей емкости, в частности, экспериментальное исследование влияния режимов движения рабочего массива и объема заполнения емкости на интенсивность отделения металлических деталей замка «молния» от литников, получения соответствующих расчетных зависимостей.

Методика. Проведено экспериментальное исследование путем наблюдения за изменением количества обработанных деталей во время технологического процесса отделения деталей замка «молния» от литников в галтовочной машине со сложным движением рабочей емкости.

Осуществлено дальнейшую математическую обработку полученных результатов с определением рациональных технологических параметров.

Результаты. Определены рациональный режим движения рабочего массива и рациональный уровень заполнения емкости рабочим массивом, которые обеспечивают наибольшую производительность при выполнении технологической операции отделения металлических деталей от литников.

Научная новизна. Установлены закономерности влияния изменения режимов движения рабочего массива на интенсивность выполнения технологической операции отделения деталей замка «молния» от литников. Определена зависимость между уровнем заполнения емкости рабочим массивом, скоростью и производительностью выполнения данной технологической операции. Получение соответствующие расчетные зависимости.

Практическая значимость. Полученные рекомендации по реализации рациональных технологических параметров операции отделения металлических деталей замка «молния» от литников в машине со сложным пространственным движением рабочей емкости, которые обеспечивают максимальную производительность выполнения технологической операции.

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

EXPERIMENTAL STUDY OF THE INFLUENCE OF WORKING ARRAY MOVEMENT MODES AND VOLUME OF FILLING ON THE SEPARATION INTENSITY OF METAL DETAILS FROM SPRUES

ZALYUBOVSKY M. G.¹, PANASYUK I. V.², MALYSHEV V. V.¹

¹ Open University of Human Development «Ukraine»

² Kyiv National University of Technologies and Design

Goal. Determination of the main rational technological parameters of processing of metal parts of the lock "lightning" in the tensile machine with complex spatial movement of the working capacity, in particular, experimental study of the influence of modes of motion of the working array and the volume of filling the capacity on the intensity of separation of the metal parts of the lock "lightning" relevant calculation dependencies.

Method. An experimental study was carried out by observing the change in the number of machined parts during the technological process of separating the metal parts of the lightning lock from the gullies in a galvanizing machine with a complex spatial movement of the working capacity. Further mathematical processing of the obtained results is carried out with determination of rational technological parameters.

Results. The rational mode of movement of the working array and the rational level of filling the capacity of the working array are determined, which provide the highest productivity when performing the technological operation of separating metal parts from the casters.

Scientific novelty. The regularities of the influence of the modes of motion of the working array on the intensity of the technological operation of separating the metal parts of the lock "lightning" from the gullies are established. The dependence between the level of filling the capacity of the working mass, the speed and the performance of the performance of this technological operation is determined. Getting the appropriate settlement dependencies.

Practical importance. The directions for realization of rational technological parameters of operation of separation of metal parts of the lock "lightning" from gullies in the car with complex spatial movement of the working capacity, which provide the maximum productivity of performance of the technological operation, were obtained.

Keywords: casting, separations from gullies, lightning lock, mode of working array motion.

УДК 677.075

АРАБУЛІ С. І.¹, СУПРУН Н. П.¹, ОЧЕРЕТНА Л.²,
АРАБУЛІ А. Т.¹

¹Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

²Технічний університет м. Ліберець, Чеська Республіка

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОКАЗНИКІВ СЕНСОРНОГО КОМФОРТУ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ЛІКАРНЯНОЇ ПОСТІЛЬНОЇ БІЛИЗНИ

Мета. Дослідження впливу особливостей структури текстильних матеріалів різного сировинного складу для лікарняної постільної білизни на здатність забезпечення сенсорного комфорту та зносостійкість.

Методика. Теоретичні та експериментальні дослідження базуються на основних положеннях текстильного матеріалознавства. Сенсорний комфорт та зносостійкість текстильних полотен оцінювалися за теплофізичними та механічними властивостями. Вимірювання теплофізичних характеристик здійснено на приладі «ALAMBETA», стійкість до стирання визначено на приладі Пілтестер типу 14. Міцність текстильних матеріалів, тангенціальний опір, жорсткість при згинанні та стійкість пофарбування до сухого тертя визначено за стандартизованими методиками.

Результати. Проведено порівняльний аналіз показників сенсорного комфорту, який визначається механозалежними відчуттями рецепторів шкіри на текстуру поверхні матеріалу, його шорсткість, жорсткість, на відчуття холоду або тепла при дотику традиційних текстильних матеріалів для лікарняної постільної білизни з полотнами із бамбукових волокон. Визначено їх теплофізичні властивості. Оцінку відчуття холоду або тепла при торканні здійснено за показником «коефіцієнт теплового поглинання». Методом похилої площини здійснено аналіз відмінностей фактури досліджуваних полотен у сухому і зволоженому станах. Результати визначення зносостійкості засвідчили, що всі зразки полотен мають високу стійкість до стирання; на частині досліджуваних зразків після 1200 циклів з'явився ворс, на змішаній тканині – пілі. Проведено визначення міцності та жорсткості при згинанні, встановлено вплив на значення цих показників 5 циклів прання. Стійкість пофарбування до дії сухого тертя всіх досліджених матеріалів складає 5 балів.

Наукова новизна. Проведений порівняльний аналіз значень коефіцієнтів теплового поглинання дозволив провести оцінку відчуття холоду або тепла при торканні, які співпадають з результатами проведених органолептичних визначень. Експериментально доведено, що асортимент бавовняних та змішаних текстильних матеріалів, які на сьогодні використовуються для виготовлення постільної білизни, може бути доповнений полотнами з бамбукових волокон, які забезпечують високий рівень сенсорного комфорту та зносостійкості постільної білизни.

Практична значимість. Запропонований новий асортимент текстильних матеріалів для постільної лікарняної білизни з урахуванням вимог сенсорного комфорту та зносостійкості.

Ключові слова: білизняні тканини, сенсорний комфорт, теплофізичні властивості, бавовняне волокно, бамбукове волокно.

Вступ. Комфорт, як приємний стан психологічної, фізіологічної та фізичної гармонії між людиною та навколишнім середовищем [1], є необхідною складовою при експлуатації постільної білизни, в тому числі, лікарняної. Крім створення термофізіологічного комфорту, важливим для цього асортименту виробів [2] є забезпечення відповідних тактильних відчуттів при контакті тіла людини з матеріалами білизни. Ця складова комфортності (нейрофізіологічний комфорт) визначається механозалежними сенсорними відчуттями відповідних рецепторів шкіри, які по-різному реагують на текстуру поверхні матеріалу, його шорсткість, жорсткість, на відчуття холоду або тепла при дотику та інші фактори [3].


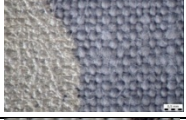

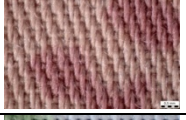


Постановка завдання. Теплофізичні властивості, які визначають здатність текстильних матеріалів зберігати або відводити тепло від тіла людини, і характеризуються теплопровідністю, тепловим опором, температуропровідністю, є важливою складовою забезпечення термофізіологічного комфорту при експлуатації постільної білизни. Але, як свідчать проведені дослідження [4], додатковим вагогим аргументом при виборі людиною того чи іншого виду матеріалу, є відчуття холоду або тепла при короткочасному торканні поверхні текстильного полотна. Оцінка цього відчуття може бути здійснена за показником «коефіцієнт теплового поглинання» b [Вт·с^{1/2}/м²·К] [4], який можна визначити за допомогою відповідних приладів. Доведено, що зі збільшенням числового значення цього коефіцієнта підвищуються холодові відчуття людини при торканні до поверхні текстильного матеріалу.

Метою роботи є порівняльний аналіз показників сенсорного комфорту та зносостійкості традиційних текстильних матеріалів для лікарняної постільної білизни з полотнами з бамбукових волокон.

Результати досліджень. Об'єктом дослідження є тканини для постільної лікарняної білизни, які розрізняються за сировинним складом, структурними характеристиками (Табл.1) і вологотранспортними властивостями, визначеними нами раніше [2].

Таблиця 1

Структурні характеристики тканин для постільної лікарняної білизни

Номер зразка	USB-зображення тканин	Вміст складників сировинного складу, [%] переплетення	Лінійна густина ниток, [текс] основа/уток	Поверхнева густина, [г/м ²]	Товщина, [мм]	Число ниток на 100 мм P_p/P_u	Поверхнева пористість, [%]
1		Бавовна – 100, полотняне	20,0/26,3	110	0,20	300/200	26
2		Бавовна – 100, полотняне	15,3/18,1	135	0,22	550/400	6
3		Бавовна – 100, полотняне	16,6/18,1	149	0,27	260/240	19
4		Бамбук – 100, сатинове	13,3/18,1	147	0,21	500/350	2
5		Бавовна – 50 ПЕ – 50, полотняне	15,3/20,0	80	0,19	300/200	35
6		Бавовна – 100, сатинове	14,2/16,6	130	0,22	550/300	13

Сенсорний комфорт та зносостійкість текстильних полотен оцінювали за теплофізичними та механічними властивостями. Вимірювання теплофізичних характеристик текстильних матеріалів здійснено на приладі «ALAMBETA» виробництва Чеської республіки [5], при перепаді температур 10^0C и тиску на пробу $P = 200$ Па. В основу роботи приладу покладений принцип стаціонарного теплового потоку від пластини з постійним у часі температурним полем через текстильний матеріал до пластини з температурою, яка дорівнює температурі навколишнього середовища (24^0C). У результаті в пробі матеріалу створюється різниця температур, що доводиться до сталості і по закінченню виміру на дисплеї приладу видаються товщина, h [мм] та наступні теплофізичні характеристики: коефіцієнт теплопровідності $\lambda \cdot 10^{-3}$ [Вт/(м·К)]; коефіцієнт температуропровідності, $a \cdot 10^{-6}$ [м²/с]; коефіцієнт теплового поглинання, b [Вт·с^{1/2}/м²·К]; тепловий опір, $R \cdot 10^{-3}$ [К·м²/Вт]; щільність теплового потоку, $q \cdot 10^{-3}$ [Вт/м²].

Жорсткість при згинанні визначено на приладі ПТ-2. Розривальне навантаження текстильних полотен у поздовжньому та поперечному напрямках визначено на розривальній машині РТ-250М-2. Стійкість текстильних матеріалів до стирання визначено на приладі Пілтестер типу 14. Стійкість пофарбування текстильних матеріалів до сухого тертя досліджено на приладі ПТ-4. Прання зразків (5 циклів прання) проведено в автоматичній пральній машині за режимом, детально описаним в роботі [2].

Результати дослідження. Відомо, що передача теплоти у волокнисто-пористих тілах з неоднорідною пористою структурою, до яких відносяться текстильні матеріали, здійснюється шляхом кондукції і конвекції за рахунок теплопровідності волокон і повітря, що знаходиться в замкнутих порах. Узагальненою характеристикою, яка відображає теплофізичні властивості матеріалів побутового призначення, вважається термічний опір, величина якого визначається товщиною і об'ємною масою матеріалу, пористістю, вологовмістом, гігроскопічністю та вологопровідністю. Оскільки значення коефіцієнтів теплопровідності текстильних волокон близькі одне до одного [6, 7], тепловий опір текстильного матеріалу фактично визначається тепловим опором повітря, яке знаходиться в його структурі, і чим вище пористість, тим кращими будуть теплозахисні властивості. Наявність вологи, зумовлена її сорбцією як з атмосфери, так і тієї, що виділяється тілом людини при потінні, зважаючи на високий коефіцієнт теплопровідності води, дуже впливає на показники теплового опору текстильних матеріалів [8].

Як свідчать отримані експериментальні дані (табл.2), тканини, обрані для порівняльного аналізу, мають близькі показники теплового опору, причому значення R очікувано корелюють з товщиною полотен.

Таблиця 2

Теплофізичні характеристики тканин для постільної лікарняної білизни

Номер	Вміст складників сировинного складу, [%]	Товщина, h , [мм]	Тепловий пір, $R \cdot 10^{-3}$, [Вт ⁻¹ ·К·м]	Коефіцієнти		
				тепло-провідності $\lambda \cdot 10^{-3}$, [Вт·м ⁻¹ ·К ⁻¹]	температуро-провідності $a \cdot 10^{-6}$, [м ² ·с ⁻¹]	теплого поглинання b , [Вт·с ^{1/2} /м ² ·К]
1	Бавовна – 100	0,20	6,1±0,2	34,2±1,6	0,057±0,002	154±8
2	Бавовна – 100	0,22	6,3±0,2	37,9±1,7	0,043±0,007	173±7
3	Бавовна – 100	0,27	6,5±0,2	43,4±1,7	0,062±0,007	179±7
4	Бамбук – 100	0,21	6,0±0,2	35,7±1,7	0,032±0,001	203±7
5	Бавовна – 50 ПЕ – 50	0,19	6,0±0,1	27,8±1,8	0,052±0,003	122±4
6	Бавовна – 100	0,22	6,7±0,1	32,4±4,7	0,035±0,005	173±3

Найнижчу величину коефіцієнта теплопровідності має змішана тканина (зразок №5), найвищу – бавовняна тканина найбільшої товщини і поверхневої густини (зразок №3).

Згідно з визначеннями, запропонованими авторами [4], враховуючи результати дослідження (табл.2), «теплішим» на дотик з усіх обраних для аналізу зразків, є тканина, виготовлена із суміші бавовняних та поліефірних волокон (полотно №5), яка має найнижче значення коефіцієнту поглинання: $b = 122 \text{ Вт} \cdot \text{с}^{1/2} / \text{м}^2 \cdot \text{К}$. Бамбукова тканина з гладкою поверхнею за рахунок сатинового переплетення за цим показником є холоднішою на дотик: $b = 203 \text{ Вт} \cdot \text{с}^{1/2} / \text{м}^2 \cdot \text{К}$. Отримані інструментальним шляхом оцінки підтверджено результатами проведених нами органолептичних визначень – теплові відчуття при контакті з досліджуваними матеріалами розташовуються саме в такій послідовності.

Важливу роль у забезпеченні тактильного комфорту відіграє характер структури поверхні постільної білизни, тобто фактура матеріалу. Матеріали з грубою, шорсткою поверхнею, які мають схильність до утворення заломів та складок, подразнюють шкіру, сприяють виникненню натертостей. З іншого боку, занадто гладка поверхня постільної білизни може викликати великі незручності за рахунок ковзання, зумовлює прилипання матеріалу до тіла, особливо в разі зволоження за рахунок потовиділення. При контакті з натільним одягом хворого й переміщенні текстильних полотен у площині їх стикання, крім сили тертя, виникає сила чіпкості, яка обумовлена зчепленням макронерівностей поверхонь матеріалів, виступаючих кінчиків волокон і ниток. Основною характеристикою цих сил є коефіцієнт тангенційного опору. Більшість тканин, які традиційно використовуються для лікарняної постільної білизни, мають нерівну, шершаву поверхню, мікрорельєф якої при зволоженні за рахунок потовбирання стає ще більш яскраво вираженим. Для оцінки шорсткості досліджуваних тканин нами проведено порівняльний аналіз значень коефіцієнта тангенційного опору, який є непрямим показником ступеню контакту двох поверхонь, а також визначено вплив зволоження матеріалів на зміну цього показника. При використанні методу похилої площини чим більшим є такий контакт, тим більшим має бути значення кута нахилу α , при якому колодка починає рухатися по площині. Дослідження проведено з сухими і

зволоженими зразками при трьох варіантах взаємного розташування текстильних полотен на площині та колодці приладу: основа/основа (о/о); основа/уток (о/у) і уток/уток (у/у). Отримані експериментальні дані наведені в таблиці 3.

Таблиця 3

Визначення тангенційного опору тканин для постільної лікарняної білизни

№ зразка	Вміст складників сировинного складу, [%], переплетення	Кут нахилу площини, α , град						Коефіцієнт тангенційного опору,					
		Стан зразка						Стан зразка					
		Сухий			Мокрий			Сухий			Мокрий		
		о/о	о/у	у/у	о/о	о/у	у/у	о/о	о/у	у/у	о/о	о/у	у/у
1	Бавовна – 100, полотняне	37	36	36	39	40	37	0,75	0,72	0,72	0,81	0,83	0,75
2	Бавовна – 100, полотняне	34	36	38	35	35	35	0,67	0,72	0,78	0,70	0,70	0,70
3	Бавовна – 100, полотняне	35	38	35	34	34	34	0,70	0,78	0,70	0,67	0,64	0,67
4	Бамбук – 100, сатинове	26	27	26	37	35	34	0,48	0,72	0,48	0,75	0,67	0,67
5	Бавовна – 50 ПЕ – 50, полотняне	34	36	38	35	35	35	0,67	0,72	0,67	0,78	0,70	0,70
6	Бавовна – 100, сатинове	27	29	33	35	34	34	0,50	0,55	0,64	0,70	0,67	0,67

Гладкі поверхні бавовняної та бамбукової тканин сатинового переплетення (зразки №4 і №6) мають найменші значення коефіцієнта тангенціального опору при всіх варіантах взаємного розташування досліджуваних зразків, причому зволоження ці показники збільшують не дуже значно. Найбільшу зчеплюваність поверхонь при їх контакт і переміщенні в горизонтальній площині одна відносно іншої має зразок бавовняної тканини №1 полотняного переплетення достатньо невисокої щільності ткацтва. У результаті зволоження структура поверхні грубішає, що відображається у відчутному збільшенні показника кута нахилу похилої площини, при якому на ній починається рух колодки.

Розривальне навантаження відноситься до напівциклових розривних характеристик і використовується для оцінки граничних механічних можливостей текстильних матеріалів, що має велике значення при прогнозуванні довговічності, зносостійкості матеріалу, а також його комфортності у використанні [6, 9]. Аналіз результатів визначення розривального навантаження засвідчив, що найбільшу міцність мають зразки тканин №2, №4 та №6, причому значення P_r корелюють зі щільністю ткацтва (Рис.1).

Таблиця 4

Механічні властивості тканин для постільної лікарняної білизни

Умовне позначення	Вміст складників сировинного складу, [%],	Розривальне навантаження P_r , [Н]		Жорсткість при згинанні, EI , [мкН*см ²]		Стійкість до стирання	
		основа	уток	основа	уток	цикли	характеристика поверхні
1	Бавовна – 100	353	245	9174	1596	<3600	ворс з'явився після 1200 циклів, пілі відсутні
2	Бавовна – 100	510	294	3181	1582	<3600	ворс з'явився після 1200 циклів, пілі відсутні
3	Бавовна – 100	460	450	7461	9434	<3600	поверхня гладка
4	Бамбук – 100	588	440	1382	495	<3600	поверхня гладка
5	Бавовна – 50 ПЕ – 50	450	352	1218	982	<3600	пілі з'явилися після 1200 циклів
6	Бавовна – 100	637	245	4270	829	<3600	ворс з'явився після 1200 циклів, пілі відсутні

Наступним етапом оцінки сенсорного комфорту тканин є порівняльний аналіз значень їх жорсткості при згинанні. На цей показник, що визначає здатність матеріалу чинити опір зміні форми під час дії зовнішнього згинального зусилля, впливає природна жорсткість волокон, структура пряжі та ниток, товщина полотен, вид переплетення та характер завершального опорядкування. Досліджувані тканини значно розрізняються за показниками жорсткості при згинанні (Табл.4), встановленими при визначенні їх методом консолі, коли проба прогинається під дією власної ваги. Найменше значення величини EI має бамбукова тканина (зразок №4). Найбільшою жорсткістю характеризуються зразки бавовняних тканин полотняного переплетення №1 та №3.

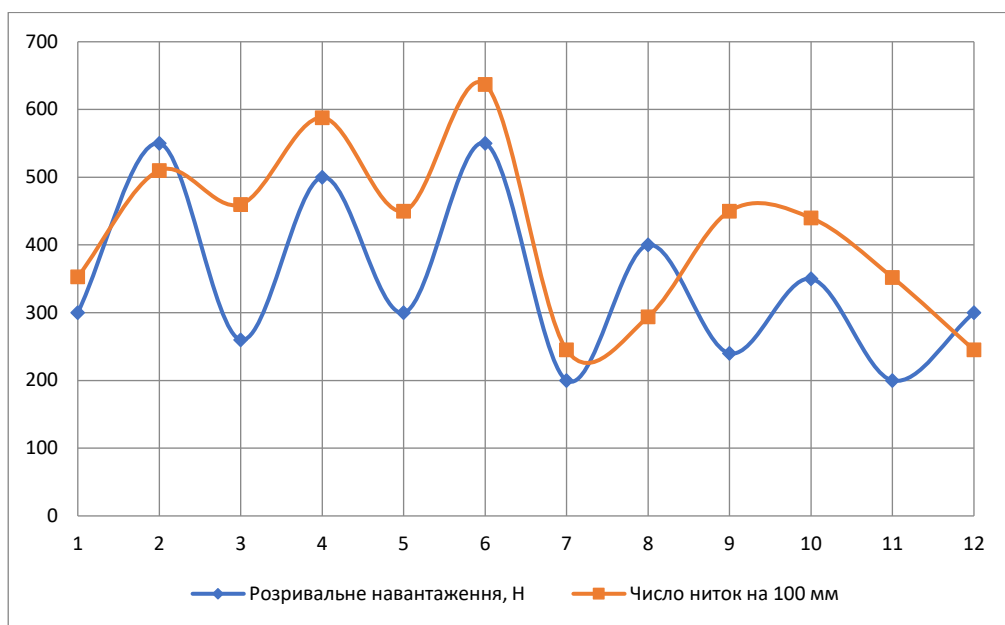


Рис. 1. Залежність розривного навантаження від кількості ниток на 100 мм

Зважаючи на інтенсивність експлуатації лікарняної постільної білизни, важливою характеристикою матеріалів, з яких вона виготовлена, є зносостійкість. Процес зношування, як відомо [6], є результатом одночасної та періодичної дії багатьох факторів, ступінь впливу яких, в свою чергу, залежить від умов експлуатації виробу, виду сировини та фактури матеріалу. Під дією комплексу факторів зношування в мікро- і макроструктурі матеріалу поступово виникають зміни, які призводять до погіршення його зовнішнього вигляду та властивостей, що закінчується руйнуванням, тобто проходить процес поступового зношування виробу. Предмети постільної білизни безпосередньо контактують з тілом людини, знаходячись у стиснутому стані між тілом і предметами ліжка. Зношування матеріалів в предметах постільної білизни проходить нерівномірно – одні ділянки зношуються швидше, інші – повільніше. У результаті виріб втрачає товарний вигляд і стає непридатним до подальшої експлуатації, хоча більша частина його поверхні ще зберігає початкову якість. Топографія зношування залежить від виду виробу, умов його експлуатації та індивідуальних особливостей поведінки людини. У першу чергу руйнуються ті ділянки, які піддаються інтенсивному впливу комплексу руйнуючих факторів, саме ці ділянки і визначають термін експлуатації виробу, придатність або непридатність його до подальшого використання. Тертя текстильних матеріалів супроводжується зменшенням маси виробу і охоплює процеси зачеплення нерівностей поверхні, їх зрізання, розхитування структури і як наслідок – повного руйнування матеріалу.

Стійкість до стирання, як здатність протистояти зношуванню, є важливим показником якості матеріалів даного асортименту виробів. Відповідно до вимог ДСТУ ГОСТ 29298-2008, показник стійкості до стирання білизняних тканин з поверхневою густиною від 110 до 150 г/м² повинен становити не менше ніж 600 циклів. Результати визначення зносостійкості досліджуваних тканин для постільної білизни, наведені в табл.4, свідчать про те, що всі зразки полотен мають високу стійкість до стирання. Руйнування не проявляється при кількості циклів стирання до 3600, але в процесі дії абразивного стираючого диску поверхня тканин зразків №1, 2 і 5 стає ворсистію. Наявність у волокнистому складі зразка №5 поліефірних ниток призводить до появи піль в процесі тертя. Бавовняна тканина з найбільшим значенням поверхневої густини (зразок №3) та тканина з бамбукових волокон сатинового переплетення (зразок №4) відрізняються збереженням гладкості поверхні упродовж всього циклу стирання.

Постільна білизна зношується також від багаторазового прання і кип'ятіння у розчинах миючих засобів. Як засвідчили проведені дослідження (табл.5), усі досліджувані тканини досить відчутно змінюють лінійні розміри в результаті волого-теплових обробок, причому найбільша усадка – від 10 % до 16 % відбувається під час першого циклу прання.

Таблиця 5

Зміна лінійних розмірів досліджуваних тканин після мокрих оброблень

№	Показник	Умове позначення текстильних матеріалів					
		1	2	3	4	5	6
1	Вміст складників сировинного складу, [%]	Бавовна – 100	Бавовна – 100	Бавовна – 100	Бамбук – 100	Бавовна – 50 ПЕ – 50	Бавовна – 100
2	Зміна лінійних розмірів після мокрих оброблень, [%] (основа/уток)	13/11	16/10	12/12	12/10	12/10	12/13

Під час прання зношування матеріалів відбувається під дією комплексу фізико-хімічних і механічних факторів. До фізико-хімічних факторів відноситься дія миючого препарату, температури і вологи, до механічних - мокре стирання поверхонь матеріалу між собою і деталями пральної машини, багаторазові деформації розтягування, згинання, стискання і кручення. Знос при багаторазово повторюваних праннях є наслідком руйнувань, що відбуваються у волокнах, нитках і структурі тканини. Деструкція молекулярної і надмолекулярної структур волокон відбувається під дією комплексу фізико-хімічних чинників, посиленої багаторазовими деформаціями при наявності вологи. Під дією теплоти і вологи волокна знаходяться в високоеластичному стані, при якому пришвидшуються окислювальні реакції, гідроліз частини молекул, перебудова надмолекулярної структури, розвиток мікродефектів і т. п. Зміни, що відбуваються в структурі матеріалу і ниток, пов'язані, в основному, з дією механічних факторів в умовах підвищеної температури і вологи. У процесі перших 10 - 20 циклів прання в тканинах відбувається перерозподіл напружень в нитках, суттєва перебудова та деяка стабілізація структури, змінюється фаза будови. Пізніше під впливом багаторазових деформацій і стирання послаблюються фрикційні зв'язки між волокнами і нитками, відбувається розхитування і поступове руйнування структури матеріалу. Такі зміни не можуть не вплинути на механічні характеристики, що треба враховувати при конфекціюванні текстильних полотен на вироби даного асортименту. Дослідження зміни показників розривального навантаження після 5 циклів прання, наведені на рис.2 та рис.3 свідчать про те, що зменшення величини P_r не є значимими і знаходяться в межах 5%, що вказує на незначні зміни в структурі тканин. Зміни жорсткості тканин у поздовжньому та поперечному напрямках є більш вагомими (рис.3). вочевидь, це може бути пов'язане із видаленням апретів зі структури тканин. Зсідання тканин внаслідок прання не призвело до збільшення жорсткості полотен.

Стійкість забарвлення матеріалів, яка, по суті, характеризує стійкість до міграції барвників і безпеку споживання, впливає як на естетичність зовнішнього вигляду постільної білизни, так і на здоров'я споживача. Згідно діючих вимог [10], стійкість пофарбування до дії сухого та мокрого тертя нормується і має бути >4 балів. З метою визначення відповідності значень цього показника нормативам для досліджуваних тканин за стандартизованою методикою проведено оцінку зміни первісного забарвлення і ступеню зафарбовування суміжної тканини, що піддавалась спільній обробці за шкалою сірих еталонів. Як засвідчили проведені дослідження, для усіх досліджених полотен стійкість пофарбування до дії сухого тертя складає 5 балів.

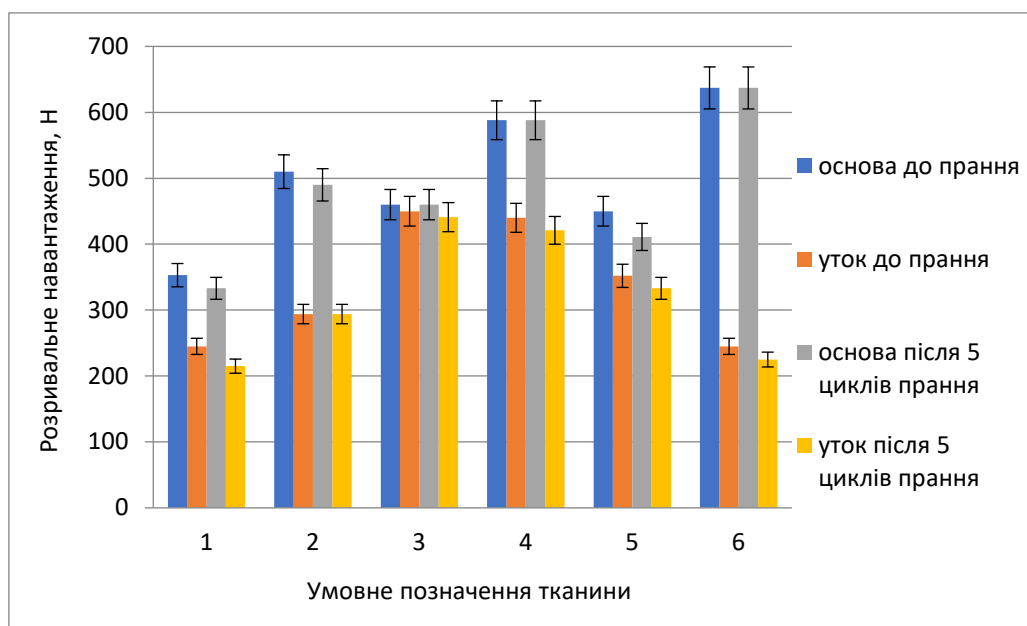


Рис.2. Зміна розривального навантаження досліджуваних тканин після мокрих оброблень

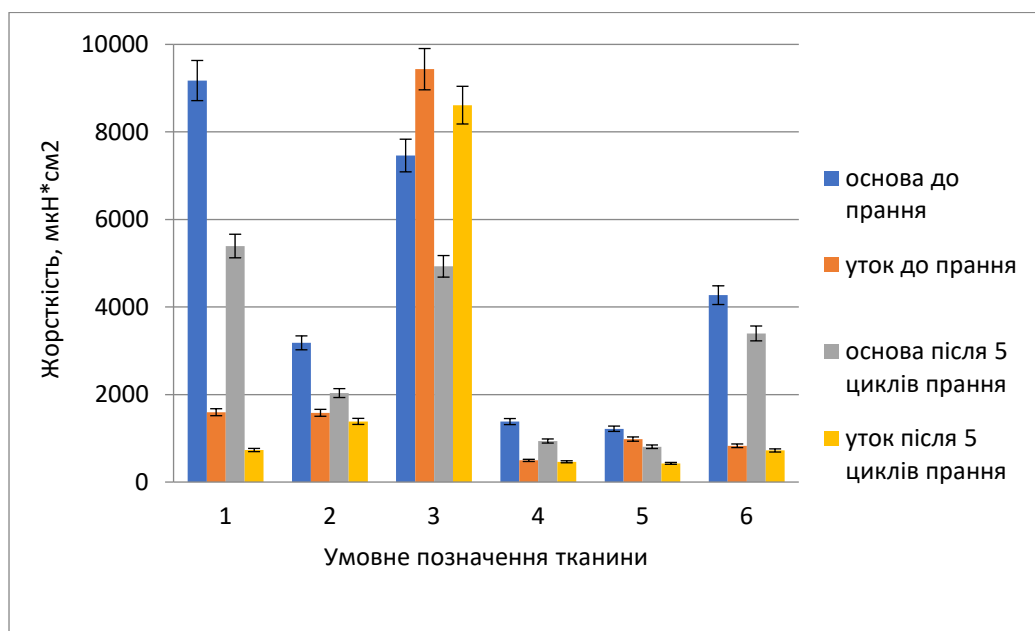


Рис.3. Зміна жорсткості при згинанні досліджуваних тканин після мокрих оброблень

Висновки. Проведений порівняльний аналіз показників сенсорного комфорту засвідчили, що за механозалежними реакціями організму та відчуттям холоду або тепла при дотику, оціненого за показником «коефіцієнт теплового поглинання», досліджувані тканини для лікарняної постільної білизни значно розрізняються. Усі зразки полотен мають високу стійкість до стирання. Визначення впливу прання на показники міцності та жорсткості при згинанні показало, що після 5 циклів прання міцність майже не змінюється, а показник жорсткості при згинанні змінюється по-різному для тканин різного сировинного складу та будови. Одержані результати дають підставу вважати, що асортимент бавовняних та змішаних тканин, які на сьогодні використовуються для виготовлення постільної білизни, може бути

доповнений текстильними полотнами з бамбукових волокон, які забезпечують високий рівень комфортності та зносостійкості постільної білизни.

Література

1. Y. Li, The science of clothing comfort. *Textile progress*. 2001. Vol. 1, No. 2, P. 31-35.
2. Арабулі С.І., Супрун Н.П., Очеретна Л., Арабулі А.Т., Кучеренко В.І. Порівняльний аналіз фізичних властивостей матеріалів для лікарняної постільної білизни. *Вісник КНУТД*. 2019. №1 (130). С. 26 – 45.
3. Improving comfort in clothing. Woodhead Publishing Limited, 2011. 479 P.
4. Hes L. An indirect method for fast evaluation of surface moisture absorptivity of shirt and underwear fabrics. *Vlakna a textile*. 2000. Vol. 7 (2). P. 91 – 96.
5. Popis a navod na obsluhu pristroj Alambeta. Ustav pro zpracovani chemickych vlaken. Ceska Trebova. 1989. 10 c.
6. Материаловедение в производстве изделий легкой промышленности (швейное производство) / Б. А. Бузов, Н. Д. Алыменкова и др. Москва, 2008. 448 с.
7. Tiwari M. Impact of Environmental Changes on Thermal Behaviour of Textile Materials. *Textile Review*. Jan 2011. 238 P.
8. Kanat E., Özdil N., Marmarali A. Prediction of thermal resistance of the knitted fabrics in wet state by using multiple regression analysis. *Tekstil ve konfeksiyon*. 2014. №24(3). P. 291-297.
9. Sundaresan S., Ramesh M., Sabitha V., Ramesh M., Ramesh V. A detailed analysis on physical and comfort properties of bed linen woven fabrics. *International Journal of Advance Research and Innovative Ideas in Educatio*. 2016. Vol.2. Issue 2. P.1649–1658.
10. ДСТУ ГОСТ 29298:2008 Тканини бавовняні та змішані побутові. Загальні технічні умови. С.14.

References

1. Y. Li, The science of clothing comfort. *Textile progress*. 2001. Vol. 1, No. 2, P. 31-35. [in English].
2. Arabuli S.I., Suprun N.P., Ocheretna L., Arabuli A.T., Kucherenko V.I. Porivnialnyi analiz fizychnyh vlastyvostei materialiv dla likarnianoï postilnoi bilyzny. [Comparative analysis of physical properties of materials for hospital bed linen] *Visnyk KNUVD*. 2019. № 1 (130). P. 26 – 45. [in Ukrainian].
3. Improving comfort in clothing. Woodhead Publishing Limited, 2011. 479 P. [in English].
4. Hes L. An indirect method for fast evaluation of surface moisture absorptivity of shirt and underwear fabrics. *Vlakna a textile*. 2000. Vol. 7 (2). P. 91 – 96. [in English].
5. Popis a navod na obsluhu pristroj Alambeta. Ustav pro zpracovani chemickych vlaken. Ceska Trebova. 1989. 10 P. [in Czech].
6. Materialovedenie v proizvodstve izdeliy legkoy promyshlennosti (shveynoe proizvodstvo) [Material science in the production of light industry products (clothing manufacture)] / B. A. Buzov, N. D. Alymenkova i dr. Moskva, 2008. 448 p. [in Russian].
7. Tiwari M. Impact of Environmental Changes on Thermal Behaviour of Textile Materials. *Textile Review*. Jan 2011. 238 P. [in English].
8. Evrim Kanat, Nilgün Özdil, Arzu Marmarali. Prediction of thermal resistance of the knitted fabrics in wet state by using multiple regression analysis. *Tekstil ve konfeksiyon*. 2014. №24(3). P. 291-297. [in English].
9. Sundaresan S., Ramesh M., Sabitha V., Ramesh M., Ramesh V. A detailed analysis on physical and comfort properties of bed linen woven fabrics. *International Journal of Advance Research and Innovative Ideas in Educatio*. 2016. Vol.2. Issue 2. P.1649–1658. [in English].
10. DSTU GOST 29298:2008 Tkanyny bavovnyani tkanyny ta zmishani pobutovi. Zagalni tehnicni umovy. [Cotton and mixed household fabrics. General specifications] P.14. [in Ukrainian].

SVITLANA ARABULI

Docent at Department of Technology and Design of
Textile Materials,

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

Scopus ID: 54405479200

Kyiv National University of Technologies and Design

SUPRUN NATALIYA

suprun.knutd@ukr.net

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

Researcher ID: 6701785670

Kyiv National University of Technologies & Design

OCHERETNA LARYSA

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

Department of Textile Evaluation
Technical University of Liberec

ARABULI ARSENI

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

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СЕНСОРНОГО КОМФОРТА ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ БОЛЬНИЧНОГО ПОСТЕЛЬНОГО БЕЛЬЯ

АРАБУЛИ С. И.¹, СУПРУН Н. П.¹, ОЧЕРЕТНАЯ Л.², АРАБУЛИ А. Т.¹

¹Киевский национальный университет технологий и дизайна, Украина

²Технический университет г. Либерец, Чешская Республика

Цель. Исследование влияния особенностей структуры текстильных материалов различного сырьевого состава для больничного постельного белья на их способность обеспечения сенсорного комфорта и износостойкость.

Методика. Теоретические и экспериментальные исследования базируются на основных положениях текстильного материаловедения. Сенсорный комфорт и износостойкость текстильных полотен оценивались по теплофизическим и механическим свойствам. Измерение теплофизических характеристик осуществлялось на приборе «ALAMBETA», устойчивость к истиранию определялась на приборе Пилтестер типа 14. Прочность текстильных материалов, тангенциальное сопротивление, жесткость при изгибе и устойчивость окраски к сухому трению определялись по стандартизированным методикам.

Результаты. Проведен сравнительный анализ показателей сенсорного комфорта, определяемый механозависимыми ощущениями рецепторов кожи от текстуры поверхности материала, его шероховатости, жесткости, ощущение холода или тепла при соприкосновении традиционных текстильных материалов для больничного постельного белья с полотнами из бамбуковых волокон. Определены их теплофизические свойства, оценка ощущения холода или тепла при касании осуществлена по показателю «коэффициент теплового поглощения». Методом наклонной плоскости проведен анализ различий фактуры исследуемых полотен в сухом и увлажненном состояниях. Результаты определения износостойкости показали, что все образцы полотен имеют высокую устойчивость к истиранию; на части исследуемых образцов после 1200 циклов появился ворс, на смешанной ткани - пилли. Проведено определение прочности и жесткости при изгибе, установлено влияние на значения этих показателей 5 циклов стирки. Устойчивость окраски к действию сухого трения всех исследованных материалов составляет 5 баллов.

Научная новизна. Проведенный сравнительный анализ значений коэффициентов теплового поглощения позволил провести оценку ощущения холода или тепла при касании, которые совпадают с результатами органолептических определений. Экспериментально показано, что ассортимент хлопчатобумажных и смешанных текстильных материалов, которые сегодня используются для изготовления постельного белья, может быть дополнен полотнами из бамбуковых волокон, которые обеспечивают высокий уровень сенсорного комфорта и износостойкости.

Практическая значимость. Предложен новый ассортимент текстильных материалов для постельного больничного белья с учетом требований сенсорного комфорта и износостойкости.

Ключевые слова: бельевые ткани, сенсорный комфорт, теплофизические свойства, хлопковое волокно, бамбуковое волокно.

INVESTIGATION OF SENSORY COMFORT OF TEXTILE MATERIALS FOR HOSPITAL LINEN

ARABULI S. I.¹, SUPRUN N. P.¹, OCHERETNA L.², ARABULI A. T.¹

¹Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine

²Technical University of Liberec, Czech Republic

Purpose. Investigation of the influence of textile materials structure of different raw materials for hospital bedding on the ability to provide sensory comfort and durability.

Methodology. Theoretical and experimental investigations are based on the main positions of textile materials science. Sensory comfort and durability of textile fabrics were evaluated by thermal and mechanical properties. The measurement of thermophysical characteristics was carried out on the ALAMBETA instrument, the abrasion resistance was determined on a Pilltester type 14. The strength of textile materials, the tangential resistance, the flexural rigidity and the resistance of dyeing to dry friction were determined by standardized methods.

Results. A comparative analysis of the sensory comfort of traditional textile materials for hospital bedding and fabric with bamboo fibers was carried out, which is determined by the mechanospecific sensations of skin receptors on the surface texture of the material, its roughness, stiffness, the feeling of cold or warmth when touching. Their thermophysical properties are determined, the evaluation of the feeling of cold or heat when touched is made according to the indicator "thermal absorption coefficient". By the method of an inclined plane the differences of the texture of dry and moistened studied fabrics was analyzed. The results of the wear resistance indicated that all fabric samples have high abrasion resistance; on part of the test specimens after 1200 cycles appeared nap, on mixed fabric – piles. The values of strength and bending stiffness were determined and the effect of 5 washing cycles on these indices was determined. The resistance of the dye to the action of dry friction of all investigated materials is 5 points.

Scientific novelty. The comparative analysis of the values of the coefficients of thermal absorption made it possible to evaluate the feeling of cold or heat when touched, which coincide with the results of the provided organoleptic determinations. It has been experimentally proven that the assortment of cotton and mixed textile fabrics used now for bedding can be supplemented with bamboo fiber materials that provide a high level of sensory comfort and durability.

Practical value. A new range of textile materials for bed linen has been proposed, taking into account the requirements of sensory comfort and durability.

Keywords: bed linen fabrics, sensory comfort, thermophysical properties, cotton fiber, bamboo fiber.

УДК 677.017.5 | ЗДОРЕНКО В. Г., БАРИЛКО С. В., ЛІСОВЕЦЬ С. М., ШИПКО Д. О.
Київський національний університет технологій та дизайну

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОХОДЖЕННЯ УЛЬТРАЗВУКОВИХ ХВИЛЬ КРІЗЬ ДВОШАРОВИЙ МАТЕРІАЛ ІЗ СКЛАДНОЮ СТРУКТУРОЮ ПРИ КОНТРОЛІ ЙОГО ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ

Мета. Дослідити проходження ультразвукових хвиль крізь двошаровий матеріал із складною структурою при безконтактному контролі його технологічних параметрів.

Методика. У роботі використаний безконтактний ультразвуковий метод контролю технологічних параметрів матеріалів із складною структурою, який враховує згасання ультразвукових хвиль.

Результати. Обґрунтовано, що згасанням ультразвукового сигналу для матеріалу із значними порами при поперечному його зондуванні можна знехтувати у порівнянні із згасанням у матеріалі без наскрізних пор. Наведено результати досліджень впливу товщини матеріалу з порами на амплітудні співвідношення ультразвукових хвиль.

Наукова новизна. Отримано залежності амплітуд ультразвукових хвиль, одна з яких проходить крізь двошаровий суцільний матеріал, а інша проходить двошаровий матеріал з порами, з врахуванням залежності їх згасання від товщини матеріалу. У роботі одержані залежності фазового зсуву ультразвукових хвиль, які відбилися від двошарового матеріалу без пор, та хвиль, що відбилися від двошарового матеріалу з порами, від загальної товщини контрольованого матеріалу, якщо порівнювати фазу цих хвиль з падаючими коливаннями. Також отримані залежності зміни амплітуд хвиль у часі для імпульсного ультразвукового сигналу, який проходить крізь контрольований матеріал.

Практична значимість. Запропоновано використовувати імпульсний ультразвуковий сигнал для оперативного безконтактного контролю технологічних параметрів двошарових матеріалів із складною структурою. Проведений аналіз показав, що отримані вирази для імпульсних ультразвукових сигналів, які можуть взаємодіяти з пористими матеріалами, можна використати для створення нових методів та засобів неруйнівного безконтактного контролю технологічних параметрів матеріалів із складною структурою. Зазначене дозволить створювати складні у комплексі та універсальні прилади безконтактного контролю різних технологічних параметрів для композитних матеріалів з порами, які сьогодні піддають тільки контактному руйнівному контролю, що не дозволяє вести оперативний моніторинг безпосередньо на виробництві.

Ключові слова: двошаровий матеріал, пори, ультразвукові хвилі, згасання, амплітудні співвідношення хвиль, технологічні параметри, безконтактний контроль.

Вступ. Контроль технологічних параметрів композитів (матеріалів з двома або більше складовими) та матеріалів із складною структурою (часто це текстильні матеріали), таких як товщина, поверхнева густина складових композиційних матеріалів; лінійна щільність текстильних стрічок для різного призначення та інших параметрів, що впливають безпосередньо на якість готової продукції [1], можна проводити як за допомогою безперервного випромінювання ультразвукових хвиль, так і використовуючи його в імпульсному режимі [2-7]. Зазначене доцільне та можливе при використанні безконтактних датчиків, що є однією з основних умов для застосування оперативного моніторингу на виробництві при первинному зборі вимірювальної інформації.

При використанні безперервного випромінювання можуть відбуватися явища накладання перевідбитих хвиль від поверхонь датчиків та контрольованого матеріалу, розігріву п'єзокераміки, яка може втрачати свої робочі характеристики та можливості, а

також й інші небажані негативні процеси при зондуванні листів, полотен або стрічок, що ускладнює обробку вимірювального сигналу. Тому доцільно застосовувати саме імпульсне випромінювання для безконтактного контролю матеріалів із складною структурою.

Постановка завдання. Різні матеріали, технологічні параметри яких необхідно контролювати, можуть складатися з одного, двох або більше шарів, в яких можуть бути пори. Зазначене докорінно змінює характер сигналу, який проходить крізь такий матеріал. В основному враховуючи цю проблему, при вирішенні якої необхідно проводити додаткову обробку вимірювального сигналу та застосовувати нові методи отримання інформативних параметрів зондуючих хвиль (це дасть можливість тільки у комплексі спростити цю задачу), сьогодні у світі не існує розвинутого напрямку безконтактного визначення технологічних параметрів матеріалів із складною структурою. Дослідження взаємодії імпульсного випромінювання з різними багат шаровими матеріалами, в яких можуть бути наявні пори (матеріали із складною структурою) [8], дадуть можливість розробити нові методи контролю технологічних параметрів [9, 10] для різних матеріалів, вони є актуальними для легкої промисловості у цілому.

Оскільки сучасні матеріали можуть мати різну композицію шарів в своєму складі із різною внутрішньою структурою, то розглянемо випадки проходження ультразвукового сигналу крізь можливі складові шари композиційних матеріалів без пор та з їхнім врахуванням. Слід зазначити, що для сучасних матеріалів може використовуватися комбінація складових шарів з порами та без них, тоді при розрахунку амплітуди ультразвукових хвиль, які проходять крізь матеріал або відбиваються від нього, необхідно враховувати розсіювання сигналу та його можливе згасання в матеріалі.

Найпростішим випадком композиційного матеріалу є двошаровий. Така композиція з різних складових матеріалів за щільністю та швидкістю розповсюдження хвиль в їхньому середовищі представляє собою різні межі для проходження ультразвукових коливань.

Результати дослідження. Ультразвуковий імпульсний сигнал у вигляді функції зміни тиску в хвилі $P_1(t')$, що пройшов контрольований двошаровий суцільний матеріал з врахуванням часу t' розповсюдження хвилі та колової частоти ω , може бути показаний як:

$$P_1(t') = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} W(\omega) S(\omega) \cdot e^{j\omega t'} d\omega, \quad 1)$$

де $S(\omega)$ – спектральна щільність падаючого ультразвукового сигналу; $W(\omega)$ – комплексний коефіцієнт проходження ультразвукових хвиль в матеріалі з врахуванням згасання.

Розглянемо середовище повітря з акустичним опором Z_1 ($Z_1 = \rho_1 c_1$, де $\rho_1 c_1$ – об'ємна щільність середовища та швидкість розповсюдження в ньому ультразвукової хвилі). Сам матеріал суцільний без пор з товщиною першого шару h_1 , що має акустичний опір Z_2 ($Z_2 = \rho_2 c_2$, де $\rho_2 c_2$ – об'ємна щільність складового першого шару матеріалу та швидкість розповсюдження в його середовищі ультразвукової хвилі відповідно), другий шар матеріалу з товщиною шару h_2 , що має акустичний опір Z_3 ($Z_3 = \rho_3 c_3$, де $\rho_3 c_3$ – об'ємна щільність складового другого шару матеріалу та швидкість розповсюдження в його середовищі

ультразвукової хвилі відповідно), останній шар спирається на середовище з акустичним опором Z_4 .

Комплексний коефіцієнт проходження ультразвукових хвиль крізь двошаровий матеріал при $Z_2 > Z_1$, $Z_3 > Z_1$, $Z_2 > Z_4$, $Z_3 > Z_4$ можна подати так:

$$W(\omega) = \frac{W_{12}W_{23}W_{34} \cdot e^{j\left(\left(\frac{\omega b}{c_2} + j\alpha_{23}\right) \cdot h_1 + \left(\frac{\omega b}{c_3} + j\alpha_{33}\right) \cdot h_2\right)}}{1 - (1 - (1 - V_{21}V_{34})(1 + V_{23})(1 + V_{32})) \cdot e^{2j\left(\left(\frac{\omega b}{c_2} + j\alpha_{23}\right) \cdot h_1 + \left(\frac{\omega b}{c_3} + j\alpha_{33}\right) \cdot h_2\right)}}, \quad (2)$$

де W і V – відповідні коефіцієнти проходження і відбиття хвиль на межах відповідних середовищ (перший індекс позначає середовище, з якого падає хвиля, а другий – середовище, в яке проходить, або, від якого відбивається хвиля); $b = \omega / \omega_0$ – коефіцієнт відношення несучої колової частоти та колової частоти заповнення імпульсного сигналу; α_{23}, α_{33} – коефіцієнт згасання ультразвукових хвиль у першому та другому шарах матеріалу відповідно.

Якщо взяти матеріал, в якому $h_1 = h_2$ або $h_1 \approx h_2$ (випадки, які часто можуть зустрічатися на практиці), тоді вираз (2) можна показати так:

$$W(\omega) = \frac{W_{12}W_{23}W_{34} \cdot e^{j\left(\frac{\omega b}{c_{23}} + j\alpha_3\right) \cdot (h_1 + h_2)}}{1 - (1 - (1 - V_{21}V_{34})(1 + V_{23})(1 + V_{32})) \cdot e^{2j\left(\frac{\omega b}{c_{23}} + j\alpha_3\right) \cdot (h_1 + h_2)}}, \quad (3)$$

де α_3 – загальний коефіцієнт згасання ультразвукових хвиль у матеріалі; $c_{23} = (c_2 + c_3) / 2$ – середня швидкість розповсюдження ультразвукової хвилі в двошаровому текстильному матеріалі.

Вираз (3) можна записати ще як суму геометричної прогресії у наступному вигляді:

$$W(\omega) = W_{12}W_{23}W_{34} \sum_{N=0}^{\infty} (1 - (1 - V_{21}V_{34})(1 + V_{23})(1 + V_{32}))^N \times e^{-j(2N+1)\left(-j\frac{\omega b}{c_{23}} + \alpha_3\right) \cdot (h_1 + h_2)}, \quad (4)$$

де N – кількість перевідбивань хвиль, що дорівнює 0, 1, 2, 3, ..., ∞.

Відповідні значення для W і V можна записати як:

$$W_{12} = \frac{2Z_1}{Z_1 + Z_2}, \quad V_{12} = \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2}, \quad W_{21} = \frac{2Z_2}{Z_1 + Z_2}, \quad V_{21} = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_1 + Z_2}, \quad W_{34} = \frac{2Z_3}{Z_3 + Z_4},$$

$$W_{23} = \frac{2Z_2}{Z_2 + Z_3}, \quad V_{23} = \frac{Z_2 - Z_3}{Z_2 + Z_3}, \quad W_{32} = \frac{2Z_3}{Z_2 + Z_3}, \quad V_{32} = \frac{Z_3 - Z_2}{Z_3 + Z_2}, \quad 5)$$

$$V_{34} = \frac{Z_3 - Z_4}{Z_3 + Z_4},$$

тоді, зробивши підстановку залежностей (5) в (4), комплексний коефіцієнт проходження можна показати так:

$$W(\omega) = \frac{2Z_1}{Z_1 + Z_2} \cdot \frac{2Z_2}{Z_2 + Z_3} \cdot \frac{2Z_3}{Z_3 + Z_4} \times$$

$$\times \sum_{N=0}^{\infty} \left(1 - \left(1 - \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} \cdot \frac{Z_3 - Z_4}{Z_3 + Z_4} \right) \left(1 + \frac{Z_2 - Z_3}{Z_2 + Z_3} \right) \left(1 + \frac{Z_3 - Z_2}{Z_3 + Z_2} \right) \right)^N \times \quad 6)$$

$$\times e^{-(2N+1) \left(-j \frac{\omega b}{c_{23}} + \alpha_3 \right) \cdot (h_1 + h_2)},$$

а спектральну щільність можна представити як:

$$S(\omega) = \frac{P_0 \tau_0 \sqrt{\pi}}{2 \ln \sqrt{2}} \cdot e^{-\left(\frac{(\omega - \omega_0) \tau_0}{4 \ln \sqrt{2}} \right)^2}, \quad 7)$$

де P_0 – тиск у падаючій ультразвуковій хвилі на поверхню матеріалу; τ_0 – тривалість імпульсу; ω_0 – колова частота заповнення імпульсного сигналу.

Якщо враховувати значну нерівність акустичних опорів $Z_1 \ll Z_2$ та $Z_1 \ll Z_3$ у виразі (6) та підставити його разом із (7) в (1), тоді імпульсний ультразвуковий сигнал запишемо у наступному виді:

$$P_1(t') = \frac{4}{1 + \frac{Z_2}{2Z_3} + \frac{Z_3}{2Z_2} + \frac{Z_2}{2Z_1} + \frac{Z_3}{2Z_1}} \times$$

$$\times \sum_{N=0}^{\infty} \left(1 - \left(1 - \frac{Z_2(Z_3 - Z_1) + Z_1(Z_1 - Z_3)}{Z_2(Z_3 + Z_1) + Z_1(Z_1 + Z_3)} \right) \left(1 + \frac{Z_2 - Z_3}{Z_2 + Z_3} \right) \left(1 + \frac{Z_3 - Z_2}{Z_3 + Z_2} \right) \right)^N \times \quad 8)$$

$$\times \frac{P_0 \tau_0}{4 \sqrt{\pi} \ln \sqrt{2}} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-\left(\frac{(\omega - \omega_0) \tau_0}{4 \ln \sqrt{2}} \right)^2 - (2N+1) \left(-j \frac{\omega b}{c_{23}} + \alpha_3 \right) \cdot (h_1 + h_2) - j\omega t} d\omega,$$

де t – поточний час. Проведемо перетворення виразу (8) в показнику експоненти, яке можна подати як:

$$\begin{aligned}
 & -\left(\frac{(\omega - \omega_0)\tau_0}{4 \ln \sqrt{2}}\right)^2 - (2N+1)\left(-j\frac{\omega b}{c_{23}} + \alpha_3\right) \cdot (h_1 + h_2) - j\omega t = -\left(\frac{\tau_0}{4 \ln \sqrt{2}}\right)^2 \omega^2 + \\
 & + \left(j\left(\frac{b(2N+1)(h_1 + h_2)}{c_{23}} - t\right) + \frac{2\omega_0\tau_0^2}{(4 \ln \sqrt{2})^2} \right) \omega - \left(\frac{\omega_0\tau_0}{4 \ln \sqrt{2}}\right)^2 - \alpha_3 \cdot (2N+1)(h_1 + h_2).
 \end{aligned} \tag{9}$$

Провівши перетворення та підставивши вираз (9) в (8), ультразвуковий імпульсний сигнал після проходження двошарового матеріалу (див. рис. 1,а) можна показати як:

$$\begin{aligned}
 P_1(t') &= \frac{4}{1 + \frac{Z_2}{2Z_3} + \frac{Z_3}{2Z_2} + \frac{Z_2}{2Z_1} + \frac{Z_3}{2Z_1}} \times \\
 & \times \sum_{N=0}^{\infty} \left(1 - \left(1 - \frac{Z_2(Z_3 - Z_1) + Z_1(Z_1 - Z_3)}{Z_2(Z_3 + Z_1) + Z_1(Z_1 + Z_3)} \right) \left(1 + \frac{Z_2 - Z_3}{Z_2 + Z_3} \right) \left(1 + \frac{Z_3 - Z_2}{Z_3 + Z_2} \right) \right)^N \times \\
 & \times \frac{P_0\tau_0}{4\sqrt{\pi} \ln \sqrt{2}} \cdot e^{-\left(\frac{\omega_0\tau_0}{4 \ln \sqrt{2}}\right)^2 - \alpha_3 \cdot (2N+1)(h_1 + h_2)} \times \\
 & \times \int_{-\infty}^{\infty} e^{-\left(\frac{\tau_0}{4 \ln \sqrt{2}}\right)^2 \omega^2 + \left(j\left(\frac{b(2N+1)(h_1 + h_2)}{c_{23}} - t\right) + \frac{2\omega_0\tau_0^2}{(4 \ln \sqrt{2})^2} \right) \omega} d\omega.
 \end{aligned} \tag{10}$$

Визначивши інтеграл в (10), запишемо цей вираз у вигляді дійсної $Re P_1(t')$ та уявної $Im P_1(t')$ частини імпульсного ультразвукового сигналу, що пройшов крізь контрольований двошаровий матеріал у такому вигляді:

$$\begin{aligned}
 P_1(t') &= Re P_1(t') + j Im P_1(t') = P_0 \cdot \frac{4}{1 + \frac{1}{2}\left(\frac{Z_2}{Z_3} + \frac{Z_3}{Z_2} + \frac{Z_2 + Z_3}{Z_1}\right)} \times \\
 & \times \sum_{N=0}^{\infty} \left(1 - \left(1 - \frac{Z_2(Z_3 - Z_1) + Z_1(Z_1 - Z_3)}{Z_2(Z_3 + Z_1) + Z_1(Z_1 + Z_3)} \right) \left(1 + \frac{Z_2 - Z_3}{Z_2 + Z_3} \right) \left(1 + \frac{Z_3 - Z_2}{Z_3 + Z_2} \right) \right)^N \times \\
 & \times \left(\cos \left(\omega_0 \left(\frac{(h_1 + h_2)}{c_{23}} b(2N+1) - t \right) \right) + j \sin \left(\omega_0 \left(\frac{(h_1 + h_2)}{c_{23}} b(2N+1) - t \right) \right) \right) \times \\
 & \times \exp \left[-\frac{\left(\frac{(h_1 + h_2)}{c_{23}} b(2N+1) - t \right)^2}{\left(\frac{\tau_0}{\ln 2} \right)^2} - \alpha_3 \cdot (2N+1)(h_1 + h_2) \right].
 \end{aligned} \tag{11}$$

Одиничну амплітуду падаючої ультразвукової хвилі на поверхню двошарового матеріалу можна подати як:

$$A_0(t) = e^{-\left(\frac{t \ln 2}{\tau_0}\right)^2} \cdot \cos(\omega_0 t). \quad (12)$$

При поперечному безконтактному прозвучуванні контрольованих шарів більша частина ультразвукових хвиль, в основному, проходить повітряні проміжки середовищ до та після матеріалу, а також проміжки пор (при їх наявності), оминаючи даний матеріал. Тому потрібно враховувати, що при розповсюдженні гармонічної хвилі в повітрі її форма з часом наближається до дзвіноподібної. З цих причин ми розглядаємо ультразвуковий імпульсний сигнал такої форми. Він застосовується при зондуванні різних матеріалів, зміна фазового зсуву якого може впливати на детектування пікового значення амплітуд хвиль, яке пов'язане із зміною часових затримок, необхідних для налаштування селекторів інформаційних сигналів вимірювальних каналів. Слід зазначити, що затримка в середовищі матеріалу (при проходженні та відбитті сигналу від контрольованого зразка) враховується вже у виразах самих комплексних коефіцієнтів проходження та відбиття хвиль.

Спочатку розглянемо амплітуду хвилі імпульсного сигналу, який пройшов два шари матеріалу без пор у відносних одиницях відповідно до залежності (12) з врахуванням часової затримками хвиль в середовищах складових матеріалу та представимо її так:

$$\begin{aligned} A_W(t') = & 2 \left(\frac{Z_1}{Z_1 + Z_2} \cdot \frac{Z_2}{Z_2 + Z_3} \cdot \frac{Z_3}{Z_3 + Z_4} \right) \times \\ & \times \sum_{N=0}^{\infty} \left(1 - \left(1 - \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} \cdot \frac{Z_3 - Z_4}{Z_3 + Z_4} \right) \left(1 + \frac{Z_2 - Z_3}{Z_2 + Z_3} \right) \left(1 + \frac{Z_3 - Z_2}{Z_3 + Z_2} \right) \right)^N \times \\ & \times \cos \left(\omega_0 \left(\frac{(h_1 + h_2)}{c_{23}} b(2N + 1) - t \right) \right) \times \\ & \times \exp \left(- \frac{\left(\frac{(h_1 + h_2)}{c_{23}} b(2N + 1) - t \right)^2}{\left(\frac{\tau_0}{\ln 2} \right)^2} - \alpha_3 \cdot (2N + 1)(h_1 + h_2) \right). \end{aligned} \quad (13)$$

Фазовий зсув ультразвукового імпульсного сигналу, що пройшов контрольований двошаровий матеріал без пор, можна подати у вигляді:

$$\varphi_W = \operatorname{arctg} \frac{\sum_{N=0}^{\infty} V_L^N \cdot \exp(Y) \sin \left(\omega_0 \left(\frac{h_1 + h_2}{c_{23}} b(2N+1) - t \right) \right)}{\sum_{N=0}^{\infty} V_L^N \cdot \exp(Y) \cos \left(\omega_0 \left(\frac{h_1 + h_2}{c_{23}} b(2N+1) - t \right) \right)}, \quad (14)$$

де

$$V_L = 1 - \left(1 - \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} \cdot \frac{Z_3 - Z_4}{Z_3 + Z_4} \right) \left(1 + \frac{Z_2 - Z_3}{Z_2 + Z_3} \right) \left(1 + \frac{Z_3 - Z_2}{Z_3 + Z_2} \right),$$

$$Y = - \frac{\left(\frac{h_1 + h_2}{c_{23}} b(2N+1) - t \right)^2}{\left(\frac{\tau_0}{\ln 2} \right)^2} - \alpha_3 \cdot (2N+1)(h_1 + h_2).$$

Якщо в двошаровому матеріалі (див. рис. 1,б) наявні пори (за їх загальний об'єм та форму відповідає величина $\cos \nu$, де ν – кут між напрямом розповсюдження ультразвукових хвиль, які проходять крізь пори, і поверхнею двошарового матеріалу), то вираз (13) можна подати наступним чином:

$$A_{Wp}(t') = 2 \left(\frac{Z_1}{Z_1 + Z_2} \cdot \frac{Z_2}{Z_2 + Z_3} \cdot \frac{Z_3}{Z_3 + Z_4} \right) \times$$

$$\times \sum_{N=0}^{\infty} V_L^N \cdot \cos \left(\omega_0 \left(\frac{h_1 + h_2}{c_{23}} \cos \nu b(2N+1) - t \right) \right) \times \quad (15)$$

$$\times \exp \left(- \frac{\left(\frac{h_1 + h_2}{c_{23}} \cos \nu b(2N+1) - t \right)^2}{\left(\frac{\tau_0}{\ln 2} \right)^2} - \alpha_3 \cdot (2N+1)(h_1 + h_2) \cos \nu \right).$$

Фазовий зсув такого ультразвукового імпульсного сигналу, що пройшов контрольований двошаровий матеріал з порами, можна показати у вигляді:

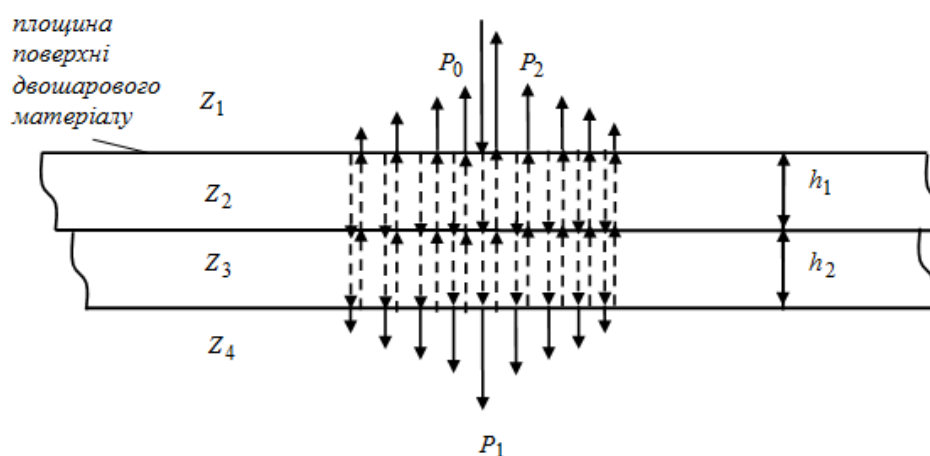
$$\varphi_{Wp} = \operatorname{arctg} \frac{\sum_{N=0}^{\infty} V_L^N \cdot \exp(Y_V) \sin \left(\omega_0 \left(\frac{h_1 + h_2}{c_{23}} \cos \nu b(2N+1) - t \right) \right)}{\sum_{N=0}^{\infty} V_L^N \cdot \exp(Y_V) \cos \left(\omega_0 \left(\frac{h_1 + h_2}{c_{23}} \cos \nu b(2N+1) - t \right) \right)}, \quad (16)$$

де

$$Y_V = - \frac{\left(\frac{(h_1 + h_2) \cos \nu}{c_{23}} b(2N + 1) - t \right)^2}{\left(\frac{\tau_0}{\ln 2} \right)^2} - \alpha_3 \cdot (2N + 1)(h_1 + h_2) \cos \nu.$$

За допомогою ультразвукових хвиль, які проходять крізь двошаровий композитний матеріал з порами та без них, можна контролювати його товщину, а ще, знаючи його об'ємну щільність, за цими параметрами можна визначати його поверхневу щільність, якщо структура самого матеріалу однорідна та суцільна. Товщина матеріалу повинна бути такою, щоб ультразвукові хвилі могли проходити крізь нього з амплітудою, яка дозволить зафіксувати вимірювальний сигнал детектором. Тому доцільно за допомогою такого методу контролювати двошарові матеріали з малою товщиною. Якщо в матеріалі з'являються наскрізні пори та збільшується його товщина, більша частина ультразвукових хвиль проходить крізь повітря в наскрізних порах. Тому на результуючий сигнал амплітуди хвиль на детекторі впливають саме пори. При збільшенні кількості шарів матеріалу з порами, крізь який проходять ультразвукові хвилі, може відбуватися явище внутрішнього розсіювання енергії коливань (залежить від товщини пакету матеріалу та від розміру пор кожного шару). Враховуючи наведене вище, необхідно вибирати двошарові матеріали з малою товщиною для контролю їхніх технологічних параметрів за допомогою безконтактних ультразвукових датчиків. Також необхідно додатково визначати розміри самих пор матеріалу та враховувати їх при розрахунках технологічних параметрів різних матеріалів із складною структурою.

Параметри зміни амплітуди AW_0 падаючих ультразвукових хвиль та зміни амплітуди AW_p коливань у часі, що пройшли матеріал, а також значень амплітудних співвідношень $|W_p|$ від товщини h матеріалу з порами при $\cos \nu = 0,002$ продемонстровано на рис. 2.



а

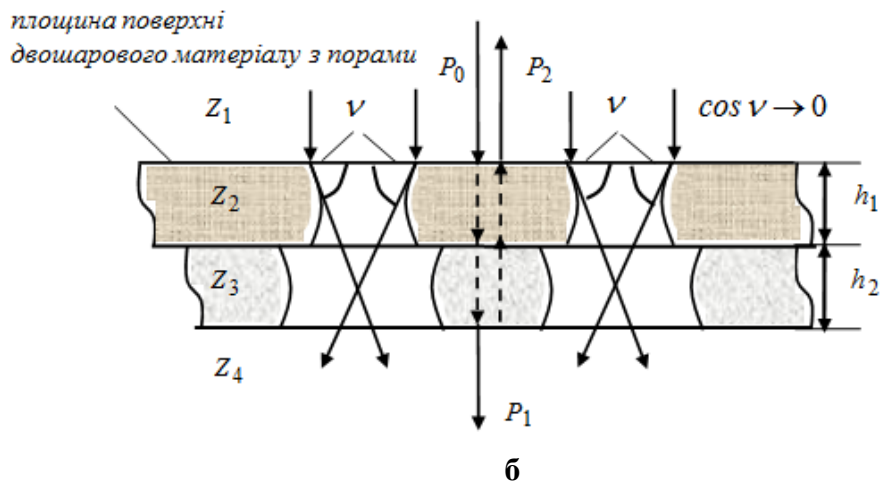
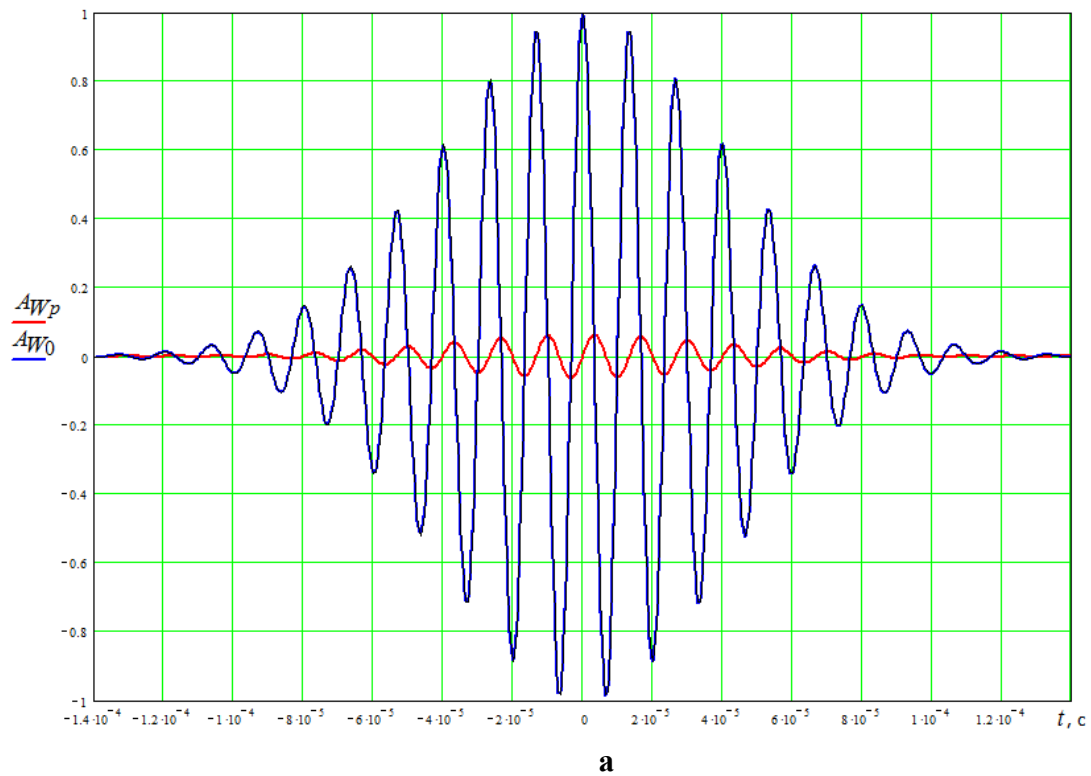
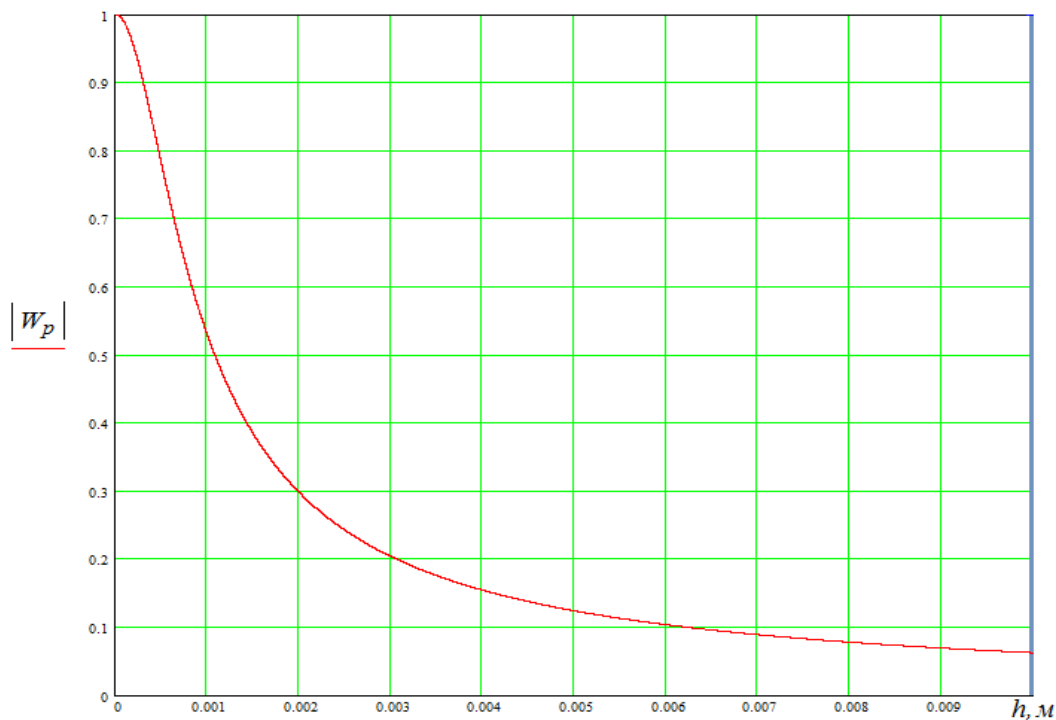


Рис. 1. Проходження ультразвукових хвиль крізь різні матеріали:
 а – двошаровий матеріал без пор;
 б – двошаровий матеріал з наскрізними порами





б

Рис. 2. Зміна амплітуд хвиль A_{W0} , A_{Wp} у часі, що проходять матеріал з порами, та залежність зміни

модулю $|W_p|$ від товщини h матеріалу:

а – зміна амплітуд A_{W0} , A_{Wp} хвиль у часі для матеріалу з $h = 1$ см, $\cos \nu = 0,002$;

б – залежність зміни модуля $|W_p|$ хвиль від товщини h матеріалу з порами при $\cos \nu = 0,002$

Згасання ультразвукових хвиль може впливати на їхні амплітудні співвідношення при проходженні контрольованих матеріалів без пор. Це також вплине на точність приладів, побудова яких базуватиметься на залежностях взаємодії ультразвукових хвиль із складною структурою різних композитних матеріалів з мінімальними порами, тому це потрібно враховувати.

Висновки. Проведений аналіз показав, що отримані вирази для імпульсних ультразвукових сигналів, які можуть взаємодіяти з пористими матеріалами, можна використати для створення нових методів та засобів неруйнівного безконтактного контролю технологічних параметрів матеріалів із складною структурою. Було розглянуто матеріал із товщиною $h = 1$ см та із порами, при яких параметр для зондуючих хвиль $\cos \nu = 0,002$. Показано, що при наявності наскрізних пор в матеріалі із двома різними шарами амплітуда хвиль згасає набагато менше, ніж для повністю суцільних матеріалів за своєю структурою. Це дозволить використовувати малопотужні датчики для контролю таких матеріалів із збільшенням їх чутливості за зміною амплітуди хвиль, які ними приймаються. Також графічно наведено пакети ультразвукових хвиль падаючого імпульсного сигналу та сигналу, що пройшов матеріал з врахуванням фазового зсуву, які, у свою чергу, побудовані за отриманими в роботі виразами. Такі моделі допоможуть змодельовати взаємодію ультразвукових хвиль з різними двошаровими матеріалами з порами та без них. Зазначене

дозволить створювати складні у комплексі та універсальні прилади безконтактного контролю різних технологічних параметрів для пористих матеріалів широкого вжитку у вітчизняній промисловості.

Література

1. Ермолов И. Н. Методы и средства неразрушающего контроля качества / И.Н. Ермолов, Ю.Я. Останин. — М.: Высшая школа, 1988. — 368 с.
2. Бреховских Л.М. Волны в слоистых средах / Л.М. Бреховских. — М.: Наука, — 1973. — 343 с.
3. Костюков А.Ф. Модель регистрации признаков многослойной структуры с помощью колебаний / А.Ф. Костюков // Вестник АГАУ. — 2010. — № 3. — С. 94—98.
4. Костюков А.Ф. Метод контроля технологических параметров сельскохозяйственных волокон с помощью ультразвука / А.Ф. Костюков // Вестник АГАУ. — 2013. — № 1. — С. 96—99.
5. 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.
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.

References

1. Ermolov, I. N., & Ostanin, Yu. A. (1988). *Metody i sredstva nerazrushayushogo kontrolya kachestva* [Methods and tools for not eroding quality control]. Moscow: Vysshaya shkola [In Russian].
2. Brekhovskikh, L.M. (1973). *Volny v sloistyh sredah* [The waves in layered medium]. Moscow: Nauka [In Russian].
3. Kostukov, A.F. (2010). Model registracii priznakov mnogoslnoy struktury s pomoshyu kolebanij [The Registration Model of features of the multilayer structure using acoustic oscillations]. *Vestnik AGAU. — Bulletin of Altai State Agricultural University*, 3, 94 — 98 [In Russian].
4. Kostukov, A.F. (2013). Metod kontrolya tehnologicheskikh parametrov selskohozyajstvennykh 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].
5. Kandrin, Yu.V., Tsymbalist O.V., & Vorobiev N.P. (2011). Skorost rasprostraneniya ultrazvukovykh kolebanij v volokonnoy srede [The propagation velocity of ultrasonic vibrations in a fiber medium]. *Vestnik AGAU. — Bulletin of Altai State Agricultural University*, 1, 95 — 98 [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 [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 [In Ukrainian].
9. Zdorenko, V.G., Barylko, O.V., Barylko, S.V., Lisovets S.N., & Lebedyuk T.V. (2018). Doslidzhennya zastosuvannya ultrazvukovogo bezkontaktного методу viznachennya tehnologichnih parametriv 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 [In Ukrainian].
10. Zdorenko, V.G., & Barylko, S.V. (2013). Kontrol

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.

tehnologichnih parametriv tkanini za dopomogoyu ultrazvukovogo adaptivnogo pristroyu [Control of the technological parameters of the fabric with the ultrasonic adaptive device]. Visnik Vinnickogo politehnicnogo institutu. — Visnyk of Vinnytsia Politechnical Institute, 3, 7 — 11 [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@knuud.com.ua

Kyiv National University of Technologies and Design

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОХОЖДЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ВОЛН СКВОЗЬ ДВУХСЛОЙНЫЙ МАТЕРИАЛ СО СЛОЖНОЙ СТРУКТУРОЙ ПРИ КОНТРОЛЕ ЕГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

ЗДОРЕНКО В. Г., БАРЫЛКО С. В. ЛИСОВЕЦ С. Н., ШИПКО Д. А.

Киевский национальный университет технологий и дизайна

Цель. Исследовать прохождения ультразвуковых волн через двухслойный материал со сложной структурой при бесконтактном контроле его технологических параметров.

Методика. В работе использован бесконтактный ультразвуковой метод контроля технологических параметров материалов со сложной структурой, который учитывает затухание ультразвуковых волн.

Результаты. Обосновано, что затуханием ультразвукового сигнала для материала со значительными порами при поперечном его зондировании можно пренебречь по сравнению с затуханием в материале без сквозных пор. Приведены результаты исследований влияния толщины материала с порами на амплитудные соотношения ультразвуковых волн.

Научная новизна. Получены зависимости амплитуд ультразвуковых волн, одна из которых проходит через двухслойный сплошной материал, а другая проходит двухслойный материал с порами, с учетом зависимости их затухания от толщины материала. В работе получены зависимости фазового сдвига ультразвуковых волн, которые отразились от двухслойного материала без пор, и волн, отразившихся от двухслойного материала с порами, от общей толщины контролируемого материала, если сравнивать фазу этих волн с падающими колебаниями. Также получены зависимости изменения амплитуд волн во времени для импульсного ультразвукового сигнала, проходящего через контролируемый материал.

Практическая значимость. Предложено использовать импульсный ультразвуковой сигнал для оперативного бесконтактного контроля технологических параметров двухслойных материалов со сложной структурой. Проведенный анализ показал, что полученные выражения для импульсных ультразвуковых сигналов, которые могут взаимодействовать с пористыми материалами, можно использовать для создания новых методов и средств неразрушающего бесконтактного контроля технологических параметров материалов со сложной структурой. Указанное позволит создавать сложные в комплексе и универсальные приборы бесконтактного контроля различных технологических параметров для композитных материалов с порами, которые сегодня подвергаются только контактному разрушительному контролю, что не позволяет вести оперативный мониторинг непосредственно на производстве.

Ключевые слова: двухслойный материал, поры, ультразвуковые волны, затухание, амплитудные соотношения волн, технологические параметры, бесконтактный контроль.

RESEARCH OF THE PASSAGE OF ULTRASONIC WAVES THROUGH A TWO-LAYERED MATERIAL WITH COMPLEX STRUCTURE AT THE CONTROL OF ITS TECHNOLOGICAL PARAMETERS

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

Kyiv National University of Technologies & Design

Purpose. Investigate the passage of ultrasonic waves through a two-layer material with a complex structure with non-contact control of its technological parameters.

Methodology. A non-contact ultrasonic method was used in the work to control technological parameters of materials with a complex structure, which takes into account the attenuation of ultrasonic waves.

Findings. It is substantiated that the attenuation of an ultrasonic signal for a material with significant pores during its transverse sounding can be neglected compared to attenuation in a material without through pores. The results of studies of the influence of the thickness of a material with pores on the amplitude ratios of ultrasonic waves are presented.

Originality. The dependences of the amplitudes of ultrasonic waves are obtained, one of which passes through a two-layer continuous material, and the other passes through a two-layer material with pores, taking into account the dependence of their attenuation on the thickness of the material. In this work, we obtained the dependences of the phase shift of ultrasonic waves, which were reflected from a two-layer material without pores, and waves reflected from a two-layer material with pores, on the total thickness of the controlled material, if we compare the phase of these waves with incident vibrations. Also obtained are the dependences of the change in wave amplitudes over time for a pulsed ultrasonic signal passing through a controlled material.

Practical value. It is proposed to use a pulsed ultrasonic signal for operational non-contact control of technological parameters of bilayer materials with a complex structure. The analysis showed that the obtained expressions for pulsed ultrasonic signals that can interact with porous materials can be used to create new methods and means of non-destructive non-contact control of technological parameters of materials with a complex structure. The aforementioned will make it possible to create complex integrated and universal contactless control devices for various technological parameters for composite materials with pores, which today are subjected only to destructive contact control, which does not allow operational monitoring directly at the plant.

Keywords: two-layer material, pores, ultrasonic waves, attenuation, amplitude ratios of waves, technological parameters, contactless control.

<https://doi.org/DOI:10.30857/1813-6796.2020.1.6>

УДК 677.017.636

ПОЖИЛОВ-НЕСМІЯН Г. М., СУПРУН Н. П., ГІРНА Т. В.

Київський національний університет технологій та дизайну

РОЗРОБКА АПЛІКАЦІЙНИХ ВКЛАДОК У ШВЕЙНІ ВИРОБИ ДЛЯ ЛЮДЕЙ З ІНВАЛІДНІСТЮ

Мета. Визначення впливу сировинного складу та структури аплікаційних текстильних композиційних матеріалів з волокнистим вуглецевим сорбентом на їх вологосорбційні властивості.

Методика. Двошарові та тришарові композиційні аплікаційні серветки, отримані шляхом термодублювання нетканих голкопробивних полотен з вуглецевою тканиною. При проведенні експериментальних досліджень використані стандартизовані методики визначення показників вологоємності та вологовіддачі.

Результати. Встановлено, що щоденне довготривале перебування людей з травмами хребта в інвалідному візку в нерухомому сидячому положенні сприяє появі пролежнів в місцях тіла, де кістки проходять близько до поверхні шкіри. Запропоновано для людей з обмеженою руховою можливістю використання на цих ділянках в натільних швейних виробих аплікаційних накладок лікувально-профілактичного призначення на основі активних волокнистих вуглецевих сорбентів. Для забезпечення необхідних сорбційно-кінетичних властивостей, пролонгованих у часі, отримано ряд композиційних текстильних матеріалів, в яких вуглецева тканина медичного призначення методом термодублювання з'єднувалася з нетканими голкопробивними полотнами на базі натуральних рослинних волокон. Проведені дослідження впливу сировинного складу і структури нетканої основи на особливості вологопоглинання та кінетики висихання таких систем засвідчили можливість спрямованого регулювання цих процесів.

Наукова новизна. Визначено вплив виду нетканих основ на особливості регулювання процесів вологопоглинання та вологовіддачі аплікаційних композитів на базі натуральних рослинних волокон з вуглецевою тканиною.

Практична значимість. Розроблено новий асортимент аплікаційних текстильних композиційних матеріалів з регульованими вологотранспортними властивостями для використання в якості вкладок у лікувально-профілактичні швейні вироби в місцях контакту з пролежневими виразками.

Ключові слова: аплікаційні текстильні композити, волокнисті вуглецеві сорбенти, вологоємність, кінетика висушування.

Вступ. Пошкодження спинного мозку є однією з найбільш важких травм людського організму. Знерухомленість людини, яка значний час змушена проводити в інвалідному візку, породжує дуже багато супровідних ускладнень, які істотно погіршують результати реабілітації. Особливою небезпекою є можливість появи пролежнів [1], які формуються у тих місцях тіла, де кістки проходять близько до поверхні шкіри (Рис.1).



Рис.1. Ділянки тіла з ризиком виникнення пролежнів

Лікування і догляд за пролежнями являють собою одну з важливих проблем сучасної медицини. Пролежневі виразки вкрай погано піддаються лікуванню через складнощі, пов'язані з їх залежністю від кровопостачання, можливостей трофіки і контролю зволоженості поверхні рани. Важливою складовою догляду за пролежнями є їх ретельне просушування і захист від попадання бактеріальної флори, для чого використовують антисептичні пористі пов'язки, які забезпечують евакуацію вологи з поверхні виразки і доступ кисню. Зважаючи на щоденне довготривале перебування людей з травмами хребта в інвалідному візку в нерухомому сидячому положенні, проблема забезпечення відповідних умов в місцях виникнення пролежнів є вельми актуальною. Як допоміжний захід з цією метою може бути використано розташування на натільних швейних виробах в ділянках контакту з місцями наявності пролежнів аплікаційних накладок лікувально-профілактичного призначення.

В лікуванні та догляду за пролежнями, яке відрізняється високою вартістю та довготривалістю, успішно застосовується вуглеродсорбція (аплікаційна сорбція) - лікування ран за допомогою місцевої аплікації сорбентів. При аплікаційній сорбції відбувається прямий контакт сорбенту з поверхнею рани, де видаляються токсини та продукти тканинної деградації мікробних клітин. Сорбція ранового вмісту сприяє нормалізації біологічних показників всього організму у відповідь на пошкодження. Вельми ефективним вважається застосування перев'язувальних засобів на основі активних волокнистих вуглецевих сорбентів [2]. Вуглецеві сорбенти є зручною матрицею для іммобілізації різних лікарських речовин. Завдяки їх розвинутій сорбційній поверхні такі матеріали забезпечують швидке поглинання ранового ексудату, утримують в своїй структурі вологу і лікарські препарати, очищують та дезінфікують рани шляхом нейтралізації токсичних речовин, запобігають розвитку мікрофлори. У порівнянні з традиційно використовуваними перев'язними засобами, вони знижують кількість мікроорганізмів у вогнищі запалення в середньому в 100-1000 разів.

Постановка завдання. Вуглецеві матеріали медичного призначення зазвичай отримують шляхом карбонізації віскозних тканин в присутності каталізатора з подальшою графітизацією і обробкою електрохімічним методом, в результаті чого кількість вуглецю доводиться до 99%. На вітчизняному ринку представлені вуглецеві серветки "Sorousal", "Legius", "ИнКар", «АУТ – М», "Bauer Bandage", пов'язки «Карпема», вуглецевий волокнистий матеріал АУВМ «Дніпро МН», СКН, серветки ДВУС, СУМС-1 (Україна), Ваулен (Білорусь) та ін. [3-6]. Завдяки розвиненій мікро-, мезо- і макропористості, яка виникає в результаті термічної обробки гідратцелюлозного матеріалу, вони мають велику сорбуючу здатність, м'яку, пористу, проникну структуру, ефективно поглинають мікроорганізми, токсини та неприємні запахи. Широко використовується в медицині вуглецева сорбуюча пов'язка вітчизняного виробництва [7] із розвинутою ($1500 \text{ см}^2/\text{г}$) сорбційною поверхнею та унікальними сорбційно-кінетичними характеристиками, які забезпечують швидке поглинання з рани у великій кількості (до 1,5 г на 1 г власної ваги) різноманітних біологічно активних компонентів, включаючи продукти білкового метаболізму та протеолізу, бактеріальні ендотоксини, біогенні аміни та медіатори запалення, що викликає зменшення інтенсивності запальної реакції.

Зважаючи на ефективність та перспективність використання вуглецевих текстильних сорбентів в медицині, проводяться активні спроби модифікування їх властивостей (напр.[8-12]). Так, автори [10] пропонують спосіб одержання срібловмісних аплікаційних композитів на основі волокнистих вуглецевих сорбентів, що включає активований волокнистий вуглецевий сорбент, просочений срібловмісним бактерицидним агентом. Ранове вуглецеве покриття, описане в патенті [11], містить зовнішній шар з адсорбуючого текстильного матеріалу, що може бути різного складу і структури, та не скріпленний з ним внутрішній шар з вуглецевої тканини. Авторами патенту [12] пропонується просочення вуглецевого шару бактерицидною ефірною олією. Такі удосконалення підвищують експлуатаційні властивості вуглецевих пов'язок, але не вирішують проблему на яку звертають увагу практикуючі лікарі-комбустіологи – занадто високу швидкість сорбції ексудату, що не забезпечує вимоги довготривалого підтримування вологості в рані. Цей недолік було запропоновано нами [13] знівелювати шляхом термоклейового з'єднання вуглецевої тканини з гідрофільними нетканими текстильними полотнами. Перший шар такого композиційного матеріалу – вуглецева тканина, яка контактує з рановою поверхнею, забезпечує сорбцію та евакуацію зайвої вологи з поверхні рани, сприяє її знезаражуванню та підтримуванню стерильності поверхні. Другий, накопичувальний шар з нетканого полотна, слугує своєрідною ємністю, в якій буде акумулюватися евакуйована волога. Змінюючи сировинний склад і структуру цього шару, можна регулювати швидкість випаровування рідини з поверхні пов'язки.

Нами пропонується використовувати багатошарові композити на основі волокнистих вуглецевих сорбентів у вигляді аплікаційних серветок, які можуть закріплюватися на білизняних виробках, що безпосередньо контактують з тілом людини в місцях здавлювання тканин при тривалому контакті з твердою поверхнею (інвалідним кріслом, ліжком, шиною і т.п.). Фіксація таких аплікаторів на внутрішній частині виробу може здійснюватися різними способами – розташуванням їх у спеціальних відкритих «карманах», з використанням тонких текстильних застібок велькро, за допомогою нанесення липкого шару та ін.

Текстильна основа – один з важливих компонентів аплікаційної серветки і від її правильного вибору залежатимуть властивості багатошарового матеріалу. У якості таких основ використовують тканини, трикотаж, неткані полотна, останні з яких вважаються зараз найбільш перспективними. Неткані полотна легкі і зручні в експлуатації, приємні і м'які на дотик, характеризуються невисокою вартістю - на відміну від тканин і трикотажу, їх виготовлення не потребує складного оснащення [14]. Неткані полотна мають високе вологопоглинання, що дозволяє полегшити процес їх обробки лікарськими препаратами, забезпечує легкість сорбції і утримування ексудатів та інших ранових виділень.

Метою даної роботи є проведення порівняльного аналізу вологотранспортних властивостей композиційних аплікаційних серветок, отриманих з використанням вуглецевої тканини медичного призначення та голкопробивних нетканих полотен різного сировинного складу.

Результати досліджень. У якості першого шару композиційних аплікаційних матеріалів, який безпосередньо контактує з виразкою або ранною, нами використано активований вуглецевий матеріал медичного призначення вітчизняного виробництва [7]. Неткані голкопробивні основи (накопичувальний шар) отримані на технологічному

обладнанні кафедри. Основним їх компонентом є натуральні волокна льону та бавовни, які відрізняються високими сорбційними властивостями і дозволені до використання в медичній практиці. Отриманим нетканим полотнам за розробленою екобезпечною методикою [15] шляхом нанообробки водними розчинами нітрату срібла з використанням в якості відновника глюкози надано бактерицидних властивостей. Для покращення технологічних та експлуатаційних властивостей полотен до їх складу додано поліефірні та поліуретанові волокна. Ватки-прочоси з різним вмістом волокнистих компонентів отримані на чесальній машині марки «Орловчанка», після чого методом голкопробивання виготовлені неткані полотна різного сировинного складу і товщини (табл. 1).

Таблиця 1

Характеристики структури та вологовбирання досліджуваних полотен

№ п/п	Умовне позначення	Сировинний склад, %	Товщина, мм	Поверхнева густина, $M_s, \text{г/м}^2$			Вологоємність, W, %	
				Вихідне полотно	Пакет №1	Пакет №2	Пакет №1	Пакет №2
1	ЛПЕ 50/50	Льон-50 ВПЕ – 50	1,2	138	296	369	180	220
2	ЛПЕ 70/30	Льон – 70 ВПЕ – 30	1,1	194	193	385	280	310
3	ЛП-50/ ВПА30/ ВПУ-20	Льон – 50 ВПА – 30 ВПУ – 20	0,7	183	231	353	283	325
4	БПЕ 50/ ВПЕ 50	Бавовна-50 ВПЕ – 50	0,7	169	335	410	200	275
5	БПЕ 70/ ВПЕ 30	Бавовна-70 ВПЕ – 30	0,5	185	205	307	216	277
6	БП50/ ВПА 30/ ВПУ20	Бавовна-50 ВПА – 30 ВПУ – 20	0,5	191	303	379	200	250
7	Вуглец. тканина	Вуглецеве волокно 100%	0,5	161			150	

Двошарові та тришарові композиційні аплікаційні матеріали отримані шляхом термодублювання одного (пакет №1) або двох (пакет №2) шарів нетканих полотен відповідного сировинного складу з вуглецевою тканиною за допомогою клейової сітки з термопластичного полімеру, що має двосторонню клейову здатність. Подальше збільшення кількості шарів нетканого полотна представлялося недоречним у зв'язку зі значним зростанням жорсткості отриманого композиту, що негативно впливає на тактильний комфорт при експлуатації.

Вологоємність сорбційно-аплікаційних матеріалів медичного призначення є одним з найбільш вагомих показників якості. Збільшення значення цього показника означає збільшення сорбційної ємності, що, в свою чергу, продовжує термін комфортного використання і зменшує необхідну кількість замінів. Для встановлення впливу сировинного

складу і структури дво- і трьохшарових композиційних матеріалів на їх здатність сорбувати і віддавати крапельно-рідку вологу, нами проведено визначення вологостійкості (згідно ГОСТ 3816–81 ISO 811-81), кінетики вологопоглинання, а також вологовіддачі в процесі висушування при кімнатній температурі. Як свідчать отримані дані (Табл. 1), всі розроблені композиційні матеріали мають високі водовбиральні властивості. Дублювання вуглецевої тканини з нетканими полотнами призводить до збільшення вологостійкості як для дво-, так і для трьохшарових матеріалів. У найбільшому ступені це проявляється у композиційних полотнах на базі нетканих матеріалів з використанням лляних волокон – значення W в двошарових пакетах збільшуються приблизно в 1,8 разів у порівнянні з вихідною вуглецевою тканиною. Приєднання ще одного шару нетканого полотна пропорційно збільшує вологостійкість композиційних матеріалів і найвідчутніше це також проявляється для зразків № 4,5 пакету №2 – значення W збільшуються більше, ніж вдвічі. Здатність отриманих композиційних матеріалів поглинати і випаровувати вологу у часі характеризувалася кривими кінетики намокання та висихання. Для пакетів з використанням лляної сировини ці залежності наведені на Рис. 2, а, б.

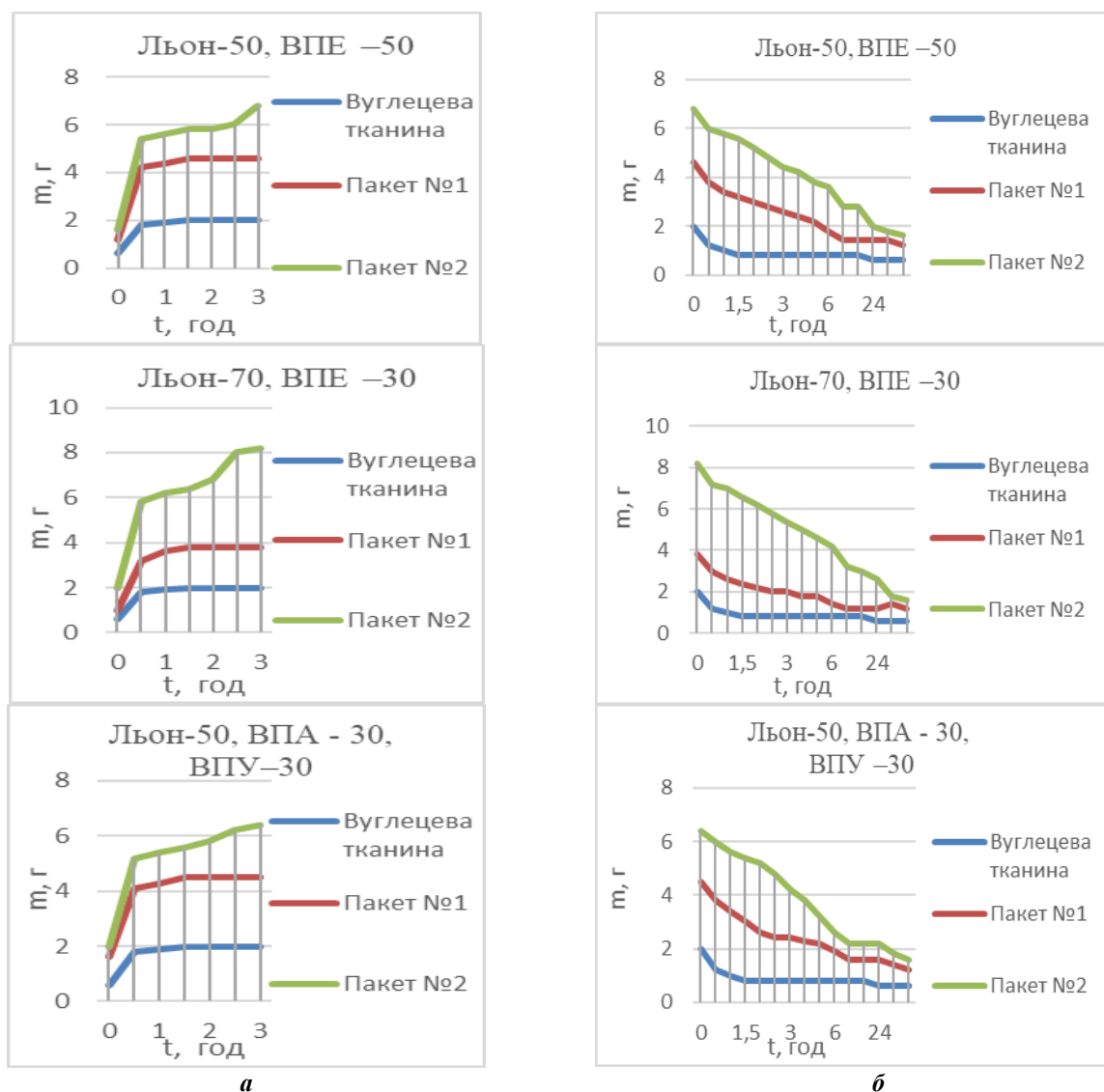


Рис.2. Зміна маси зразків при водовбиранні (а) та висушуванні (б)

Згідно сучасних поглядів на умови догляду за ранами і виразками, аплікаційні матеріали повинні мати пролонговану здатність як до сорбції ексудату до повного вологонасичення, так і до десорбції – висихання в нормальних умовах оточуючого середовища. Дублювання вуглецевої тканини нетканими полотнами сприяє успішному забезпеченню обох цих процесів, а збільшення товщини нетканого шару уповільнює їх у часі. Зважаючи ще і на бактерицидну здатність усіх використаних складових, за комплексом наданих властивостей розроблені композиційні текстильні матеріали відповідають функціональним вимогам до сучасних сорбційно-аплікаційних виробів, що дозволяє очікувати позитивного ефекту від їх використання в якості функціональних вкладок у натільних виробах в місцях контакту з пролежневими виразками.

Висновки. Проведені дослідження впливу модифікації сировинного складу і структури нетканої основи в текстильних композиційних матеріалах з вуглецевою тканиною на особливості вологопоглинання та висихання засвідчили можливість регулювання цих процесів. Визначено, що з'єднання з нетканими голкопробивними полотнами на базі лляних волокон забезпечує найвище значення вологоємності і уповільнені показники швидкості сорбції та десорбції вологи, що сприяє комфортному використанню аплікаційних вкладок в лікувально-профілактичних швейних виробах в місцях контакту з пролежневими виразками.

Література

1. M. Stephens, C.A. Bartley. Understanding the association between pressure ulcers and sitting in adults what does it mean for me and my carers? Seating guidelines for people, carers and health & social care professionals. *Journal of Tissue Viability* 27 (2018) p. 59-73.
2. Столяров Е.А., Барская М.А., Бирюкова Г.Т. Использование углеродсодержащих материалов в хирургии. *Хирургия*. 1999. № 4. С. 56–57.
3. Углеродные салфетки [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://survival.com.ua/uglerodnyie-salfetki-sorusal-legius-lecheniya-ran-ozhogov-obmorozheniy-prolezhney-nest-an/>
4. Бауер Бандаж [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.bauer-bandage.com.ua>
5. Углеродная салфетка АУТ-М [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.sohim.by/rus/production/carbon/napkin/>
6. Атрауматическая повязка «Карпема» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.niigrafit.ru/produktsiya/uglerodnye-materialy-dlya-meditsiny.php>
7. Пов'язка вуглецева сорбуюча. ТУ У 24.4-05416946-001:2010. Свідоцтво про державну реєстрацію № 9698. 2010.

References

1. M. Stephens, C.A. Bartley. Understanding the association between pressure ulcers and sitting in adults what does it mean for me and my carers? Seating guidelines for people, carers and health & social care professionals. *Journal of Tissue Viability* 27 (2018) p. 59-73. [in English].
2. Stolyarov Ye.A., Barskaya M.A., Biryukova G.T. (1999). *Ispol'zovaniye uglerodsoderzhashchikh materialov v khirurgii. Khirurgiya* [The use of carbon-containing materials in surgery. Surgery]. No. 4th. p. 56–57. [in Russian]
3. Uglerodnyye salfetki [Electronic resource]. Access Mode: <https://survival.com.ua/uglerodnyie-salfetki-sorusallegius-lecheniya-ran-ozhogov-obmorozheniy-prolezhney-nest-an/> [in Russian]
4. Bauer Bandazh [Electronic resource]. Access Mode: <http://www.bauer-bandage.com.ua>. [in Russian]
5. Uglerodnaya salfetka AUT-M. [Electronic resource]. Access Mode: <http://www.sohim.by/rus/production/carbon/napkin/> [in Russian]
6. Atravmaticheskaya povyazka «Karpema» [Atraumatic dressing "Carpema"] [Electronic resource]. Access Mode: <http://www.niigrafit.ru/produktsiya/uglerodnye-materialy-dlya-meditsiny.php>.
7. Pov'yazka Vugletsova sorbuyuchaya. TU U 24.4-05416946-001: 2010. Svidotstvo about state power № 9698. 2010. [The carbon sorption bandage. TU 24.4-05416946-001: 2010. Certificate of State Registration No. 9698. 2010.] [in Ukrainian].
8. Aberyakhimov KH. M., Zolkin P. I., Leonova T. V.

8. Патент №2494763. Аберяхимов Х. М., Золкин П. И., Леонова Т. В. Повязка из углеродной ткани на основе вискозы. Оpubл. 10.10.2013.
9. Патент UA 78585 У. Ніколаєв В.Г., Кудряченко В.В., Колосов О.Є. Спосіб використання пов'язки вуглецевої сорбуючої медичного призначення. Оpubл. 25.03.2013.
10. Патент 105609. Ніколаєв В.Г., Єрохін В.Є., Рябушко В.І., Сахно Л.О. Спосіб одержання апікаційних срібловмісних композитів на основі волокнистих вуглецевих сорбентів. Оpubл. 26.05.2014.
11. Патент US20150032069. Tse-Hao Ko, Ching-Han Liu, Jui-Hsiang Lin, Yen-Ju Su. Wound dressing. Оpubл. 29.01.2015.
12. Патент UA 98723 У. Сарнацька В.В., В.Г. Ніколаєв, Юшко Л.О. Спосіб отримання апікаційних вуглецевих ліпидовмісних композитів. Оpubл. 12.05.2015.
13. Патент UA № 124242. Супрун Н.П., Литвинова О.І., Лобода Г.А. Ранове покриття. Оpubл. 26.03.2018. Бюл. №6.
14. Трещалин М.Ю., Трещалина А.В., Трещалин Ю.М., Киселев М.В., Мухамеджанов Г.К. Проектирование, производство и методы оценки качества нетканых материалов издание 3-е, перераб. и доп.: М. 2017. 292 с.
15. N.P. Suprun, S. Ya. Brichka, O. I. Litvinova. Development and investigation of nonwoven wound dressings with antimicrobial properties on the basis of natural fibers – *Vlákna a textile*. 2017. V.24. No. 2. p. 3-10.
- Povyazka iz ughlerodnoy tkani na osnove viskozy [Viscose-based carbon fabric dressing]. Patent 2494763, publ. 10/10/2013 [in Russian]
9. Nikolayev V.H., Kudryachenko V.V., Kolosov O.YE. Sposib vykorystannya pov'yazky vuhletsevoyi sorbuyuchoyi medychnoho pryznachennya [Method of using carbon sorbent medical bandage]. Patent UA 78585 U, publ. 2013/03/25 [in Ukrainian]
10. Nikolayev V.H., Yerokhin V.YE., Ryabushko V.I., Sakhno L.O. Sposib oderzhannya aplikatsiynykh sriblovmisnykh kompozytiv na osnovi voloknistykh vuhletsevyykh sorbentiv..[A method of obtaining application silver-containing composites on the basis of fibrous carbon sorbents]. Patent 105609, publ. 05/26/2014 [in Ukrainian]
11. Tse-Hao Ko, Ching-Han Liu, Jui-Hsiang Lin, Yen-Ju Su. Wound dressing. Patent US20150032069, publ. 01/29/2015 [in English].
12. Sarnats'ka V.V., V.H. Nikolayev, Yushko L.O. Sposib otrymannya aplikatsiynykh vuhletsevyykh lipidovmisnykh kompozytiv [Method for producing carbon lipid-containing composite applications]. Patent UA 98723 U, publ. 12.05.2015 [in Ukrainian]
13. Suprun N.P., Lytvynova O.I., Loboda H.A. Ranove pokryttya [Wound cover]. Patent UA, no 124242, publ. 03/26/2018, Bul. no 6. [in Ukrainian]
14. Treshchalin M.YU., Treshchalina A.V., Treshchalin YU.M., Kiselev M.V., Mukhamedzhanov G.K. (2017). *Proyektirovaniye, proizvodstvo i metody otsenki kachestva netkanykh materialov* [Design, Production, and Nonwoven Fabric Quality Assessment Methods]. 3rd Edition, rev. and add, p. 292 [in Russian]
15. N.P. Suprun, S. Ya. Brichka, O. I. Litvinova.(2017) Development and investigation of nonwoven wound dressings with antimicrobial properties on the basis of natural fibers – *Vlákna a textile*. V.24. No. 2. p. 3-10. [in English]

**HIRNA TETIANA
POZHILOV-NESMIYAN G.**
Kyiv National University of Technologies and Design

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

РАЗРАБОТКА АППЛИКАЦИОННЫХ ВКЛАДОК В ШВЕЙНЫЕ ИЗДЕЛИЯ ДЛЯ ЛЮДЕЙ С ИНВАЛИДНОСТЬЮ

ПОЖИЛОВ-НЕСМЕЯН Г. М., СУПРУН Н. П., ГИРНА Т. В.

Киевский национальный университет технологий и дизайна

Цель. Определение влияния сырьевого состава и структуры аппликационных текстильных композиционных материалов с волокнистым углеродным сорбентом на их влагосорбционные свойства.

Методика. Двухслойные и трехслойные композиционные аппликационные салфетки получали путем термодублирования нетканых иглопробивных полотен с углеродной тканью. При проведении

экспериментальных исследований использованы стандартизированные методики определения показателей влагоемкости и влагоотдачи.

Результаты. Установлено, что ежедневное длительное пребывание людей с травмами позвоночника в инвалидной коляске в неподвижном сидячем положении способствует появлению пролежней в местах тела, где кости проходят близко к поверхности кожи. Предложено для людей с ограниченной двигательной возможностью использовать на этих участках в нательных швейных изделиях аппликационные накладки лечебно-профилактического назначения на основе активных волокнистых углеродных сорбентов. Для обеспечения необходимых сорбционно-кинетических свойств, пролонгированных во времени, получен ряд композиционных текстильных материалов, в которых углеродная ткань медицинского назначения методом термодублирования соединялась с неткаными иглопробивными полотнами на основе натуральных растительных волокон. Проведенные исследования влияния сырьевого состава и структуры нетканой основы на особенности влагопоглощения и высыхания таких систем показали возможность направленного регулирования этих процессов.

Научная новизна. Определено влияние вида нетканых основ на особенности регулирования процессов влагопоглощения и влагоотдачи аппликационных композитов на базе натуральных растительных волокон с углеродной тканью.

Практическая значимость. Разработан новый ассортимент аппликационных текстильных композиционных материалов с регулируемыми влаготранспортными свойствами для использования в качестве вкладок в лечебно-профилактические швейные изделия в местах контакта с пролежневых язвами.

Ключевые слова: аппликационные текстильные композиты, волокнистые углеродные сорбенты, влагоемкость, кинетика сушки.

DEVELOPMENT OF APPLICATION INSETS IN SEWING PRODUCTS FOR PEOPLE WITH DISABILITIES

POZHILOV-NESMIYAN G. M., SUPRUN N. P., GIRNA T. V.

Kyiv National University of Technologies and Design

Purpose. Determination of the influence of raw material composition and structure of textile composite materials with fibrous carbon sorbent on their moisture absorption properties.

Methodology. Two-layer and three-layer composite application napkins were obtained by thermal connection of non-woven needle punch fabrics with carbon fabric. In experimental studies standardized methods for determining of moisture sorption and moisture drying rates were used.

Findings. It is estimated that daily long-term stay of people with spinal injuries in a wheelchair in a fixed sitting position contributes to the occurrence of ulcers in the places where the bones extend close to the skin surface. It is proposed for people with limited motor ability to use on these places in the apparel garments appliqué linings of therapeutic and prophylactic purpose on the basis of active fibrous carbon sorbents. To provide the necessary prolonged in time sorption-kinetic properties, a number of composite textile materials were produced by the method of thermal connection, in which the medical carbon fabric was combined with needle-punched nonwoven web structures, obtained on the basis of natural plant fibers. The investigation of the influence of raw material composition and structure of nonwoven base on the peculiarities of moisture absorption and drying of such systems have proved the possibility of directed regulation of these processes.

Originality. The influence of the type of non-woven bases on the peculiarities of regulating the processes of moisture absorption and moisture removal of application composites based on natural plant fibers with carbon fabric is determined.

Practical value. A new range of textile application composite materials with adjustable moisture-transport properties has been developed for use as tabs in medical and preventive garments at places of contact with pressure ulcers.

Keywords: application textile composites, fibrous carbon sorbents, moisture content, drying kinetics.

УДК 675.043.3/.8

ПЕРВАЯ Н. В., АНДРЕЄВА О. А.

Київський національний університет технологій та дизайну

ДОСЛІДЖЕННЯ НОВИХ ХІМІЧНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ РІДИННОГО ОЗДОБЛЕННЯ ШКІРИ

Мета. Дослідити фізико-хімічні властивості, структуру та особливості взаємодії з колагеном комерційних матеріалів нового покоління для встановлення можливості їх використання у якості додублюючих або інших реагентів у рідинному оздобленні шкіри.

Методика. Для визначення властивостей та структури досліджуваних матеріалів використано поширені, а також сучасні аналітичні та інструментальні методи дослідження (титриметричний, віскозиметричний, інфрачервоної спектроскопії, візуального спостереження).

Результат. Наведено результати оцінювання структури та фізико-хімічних властивостей нових промислових матеріалів у вигляді двох додублюючих засобів Retanal RCN 40, синтезованого на основі аніонного акрилового полімеру (фірма-виробник Cromogenia Units, Іспанія) та Retanal LMV 100, одержаного на основі меламіну, а також синтану-нейтралізатора (фірма-виробник Cromogenia Units, Іспанія) Politan VN на основі ароматичних сполук (фірма-виробник Codyeco S.p.a., Італія). Проведено ІЧ-спектроскопічні дослідження цих матеріалів та обробленого ними хромованого волокнистого препарату колагену. Визначено характер та зміну оптичної густини смуг поглинання на спектрограмах білка в залежності від виду задіяних у роботі матеріалів. Встановлено, що досліджувані матеріали взаємодіють переважно з азотовмісними, гідроксильними та пероксидними групами колагену.

Наукова новизна. Досліджено особливості взаємодій, які відбуваються у системі «колаген – хімічний реагент» за наявності нових хімічних матеріалів синтетичного походження, призначених для рідинного оздоблення шкіри.

Практична значимість. Результати роботи сприятимуть розширенню асортименту та обґрунтованому використанню ефективних хімічних реагентів в інноваційних технологіях виробництва натуральної шкіри.

Ключові слова: шкіряне виробництво, хімічні матеріали, властивості, структура, ІЧ-спектроскопія.

Вступ. Унікальні естетичні, фізико-механічні та гігієнічні властивості натуральної шкіри роблять її ідеально придатним матеріалом для виготовлення найрізноманітніших виробів [1]. Надання необхідних функціонально-споживчих властивостей готовій продукції відбувається на всіх етапах шкіряного виробництва, одним з найбільш відповідальних з яких є рідинне оздоблення [2-3]. Для ефективного проведення останнього необхідно мати чітке уявлення про особливості хімічної природи та властивості застосованих реагентів, їх сумісність з колагеном та іншими застосованими реагентами. З цієї метою проводяться всебічні дослідження матеріалів з використанням різних методів. Одним з поширених сучасних методів є інфрачервона спектроскопія, доцільність застосування якої для аналізу жирувальних матеріалів показана у попередній роботі [4]. Проте, за сучасними технологіями рідинного оздоблення, крім процесів жирування та фарбування, передбачено процеси нейтралізації, наповнювання та додублювання дерми хімічними реагентами різної природи та походження: мінеральними та органічними дубителями, солями, розчинами та дисперсіями полімерів, синтетичними смолами [2]. Аналіз науково-технічної і патентної літератури за останні роки свідчить про те, що до перспективних реагентів для додублювання-наповнювання можна віднести [2]: полімерні сполуки, одержані на базі акрилової та малеїнової кислот [5-12], синтани на базі меламіну та реагенти з низьким вмістом

формальдегіду [13-21], модифіковані ароматичні сполуки [22-25], а також продукти модифікації промислових відходів [26-27].

Основним призначенням шкіри є захист тіла від впливу зовнішнього середовища та забезпечення комфорту. Проте, для підвищення адаптації та продуктивності споживача шкіра може бути використана для виконання додаткових функцій, специфічних в умовах несприятливого або екстремального клімату, певної діяльності або професії. У такому випадку шкіру вважають «розумним матеріалом». З урахуванням цього у роботі [23] зроблена спроба додати шкірі функцію термочутливості з використанням таких «розумних» матеріалів, як РСМ – матеріалів для фазової зміни (phase changing materials), що здатні поглинати або виділяти велику кількість тепла під час фазових переходів між двома твердими та /або рідким і твердим/ станами. Для створення нового додублюючого реагента було синтезовано та досліджено РСМ на основі двох різних полімерів – мелаїноформальдегіду та нафталінової сульфонові кислоти. Синтезовані додублюючі реагенти були охарактеризовані з використанням традиційні й таких сучасних методів аналізу як ІЧ- Фур'є, скануюча електронна мікроскопія та деякі інші.

Слід зазначити, що ІЧ-спектроскопічним дослідженням матеріалів для додублювання-наповнювання шкіри присвячено чимало робіт, за результатами яких вдалося визначити хімічну структуру матеріалів, обирати найбільш оптимальні умови їх одержання та використання. До прикладу, з практики шкіряного виробництва відомо, що одним з поширених додублюючих засобів є аміносмоли. Однак, присутність формальдегіду значно обмежує їх широке застосування. Проведені у роботі [13] ІЧ-дослідження хімічної структури полімерів показали, що фурфурол, як конденсуючий агент, може цілком замінити формальдегід у виробництві безформальдегідної мелаїнової смоли.

Не менш успішно застосовано ІЧ-спектроскопію під час таких досліджень як:

- визначення впливу ланцюгових трансферних агентів на властивості додублювачів – співполімерів акрилової кислоти, бутилакрилату та акриламідну [7];
- одержання та вивчення властивостей гіперрозгалужених поліізоціанурат-складно-ефірних додублюючих агентів з кінцевими гідроксильними групами [28];
- вивчення структури та застосування якості ефективного додублюючого агента безформальдегідної аміносмоли, синтезованої з використанням мелаїну та глутаральдегіду. Використання одного глутаральдегіду створює проблему нерівномірного зафарбування шкіри, але після конденсації з мелаїном диспергувальна та вирівнювальна здатність глутаральдегіду поліпшується [16];
- синтез амфифільного акрилового співполімеру лаурилакрилату та акрилової кислоти [9], додублювання яким покращує механічні властивості та термічну стабільність хромової шкіри.

Способи розв'язання спектральних задач, проблеми інтерпретації спектрів розглянуто у широкому колі інших теоретичних та експериментальних робіт [29-32].

На підставі одержаної інформації щодо ефективності прикладного застосування ІЧ-спектроскопії для дослідження матеріалів, у тому числі для додублювання шкіри, та виходячи з дефіциту вітчизняних реагентів, за завданням промисловості було вирішено продовжити дослідження сертифікованих продуктів промислового виробництва, призначених для рідинного оздоблення шкіри під час додублювання або інших обробок.

Постановка завдання. Метою роботи було дослідити фізико-хімічні властивості, структуру та особливості взаємодії з колагеном комерційних матеріалів нового покоління для встановлення можливості їх використання у якості додублюючих або інших реагентів у рідинному оздобленні шкіри. Для реалізації мети сформулювали наступні завдання:

- визначити основні показники цих матеріалів з використанням традиційних фізико-хімічних методів аналізу;
- визначити структуру цих матеріалів на підставі ІЧ-спектроскопічних досліджень;
- встановити особливості взаємодії у системі «колаген-хімічний реагент» в присутності зазначених матеріалів.

Результати дослідження. У роботі аналізували три сертифіковані матеріали промислового виробництва: *Retanal RCN 40* – засіб для додублювання-наповнювання шкіри на основі аніонного акрилового полімеру (фірма-виробник Cromogenia Units, Іспанія); *Retanal LMV 100* – засіб для додублювання-наповнювання шкіри на основі меламіну (аміду ціанурової кислоти) (фірма-виробник Cromogenia Units, Іспанія); *Politan BN* – органічний синтан-нейтралізатор на основі нафталінсульфонової кислоти (фірма-виробник Codyeco S.p.a., Італія). Візуально *Retanal RCN 40* мав вигляд в'язкої рідини світло-жовтого кольору, а *Retanal LMV 100* і *Politan BN* – порошку відповідно світло-жовтого та сіруватого кольору.

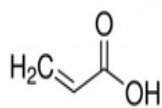
З теорії та практики шкіряного виробництва відомо про те, що синтани є неоднорідними системами, у яких поряд з активними речовинами міститься значна кількість домішок, у тому числі неорганічних солей, головним чином, сульфатів, наявність яких негативно позначається на ефективності оброблення та якості шкіри [33]. Хімічно-фізичний аналіз виявив такі особливості зазначених матеріалів як розчинність у воді; більш низький (41,8 %) вміст сухого залишку у *Retanal RCN 40* та більш високий, майже у двічі більший (на рівні 90-92 %), у двох інших реагентах – *Retanal LMV 100* та *Politan BN*, а також наявність в них SO₂ (на рівні 2,8-5,6 %). Значення рН 5 %-вих розчинів *Retanal RCN 40* та *Politan BN* було дещо нижчим (6,4-6,5), а *Retanal LMV 100* – вищим (7,5) від нейтрального (табл. 1).

Таблиця 1

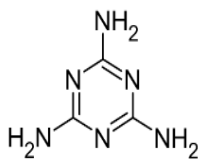
Характеристика досліджуваних матеріалів

Показник	Retanal RCN 40	Retanal LMV 100	Politan BN
Вміст вологи, %	58,2	7,5	10,0
Вміст сухого залишку, %	41,8	92,5	90,0
Вміст водорозчинних, %	34,4	90,2	84,8
Вміст SO ₂ , %	2,8	4,3	5,6
В'язкість, 10 ⁻³ спз	12,0	–	–
рН 5 %-ого розчину	6,5	7,5	6,4

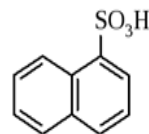
Для дослідження структури застосованих у роботі матеріалів використали метод інфрачервоної (ІЧ-) спектроскопії, який дозволяє ідентифікувати функціональні угруповання, наприклад, такі, що дають уявлення про задекларовані фірмами-виробниками:



акрилова кислота



меламін



нафталінсульфонова кислота

Дослідження проводили на спектрофотометрі TENSOR-37 (фірма-виробник BRUCER, Німеччина) з використанням призми (пігулки) броміду калію. Отримані спектрограми (рис. 1) обробляли за методами «базової лінії» та «внутрішнього стандарту» [4, 34]. На підставі аналізу спектральних кривих виконали інтерпретацію смуг поглинання [35-39] та розрахували їх відносну оптичну густину D_i/D_o (табл. 2).

При дослідженні спектру *Retanal RCN 40*, синтезованого на основі аніонного акрилового полімеру, виявлено смуги поглинання, які вказують на наявність у структурі алканів та алкільних фрагментів (3390, 2930, 1453, 1324, 852, 787 cm^{-1}); алкінів (2244 cm^{-1}); $-\text{COOH}$, $-\text{COO}^-$, $-\text{OH}$ та $-\text{C}-\text{O}-$ (1571, 1408 cm^{-1}) груп карбонових кислот; гідроксильних груп спиртів (3390 cm^{-1}); $\text{S}=\text{O}$ груп сульфоксидів та сульфонів (1119 cm^{-1}); внутрішньо- та міжмолекулярних водневих (3390 cm^{-1}), а також ненасичених (1669, 852, 787 cm^{-1}) зв'язків.

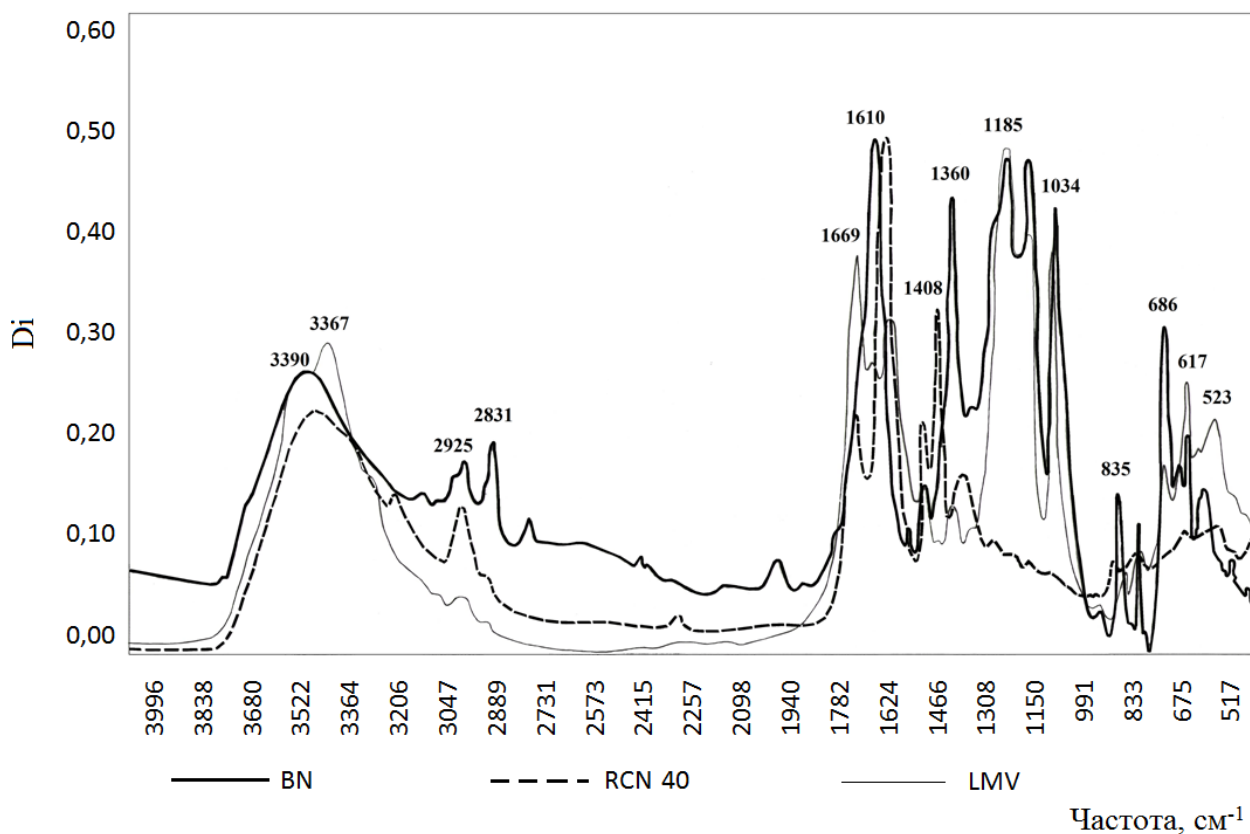


Рис. 1. Вихідні ІЧ-спектри досліджуваних матеріалів

В ІЧ-спектрі меламінвмісного засобу *Retanal LMV 100* спостерігаються смуги, які відповідають коливанням вуглеводневих фрагментів (2953, 1362 cm^{-1}), груп $\text{C}=\text{N}$ у циклі ненасичених азотовмісних сполук (1669 cm^{-1}), азотовмісних груп NH , CN первинних, вторинних і

третинних амінів (1620, 1189, 681 cm^{-1}), триазинового (1561, 1461, 814 cm^{-1}) та бензольного (770, 681 cm^{-1}) кілець, фрагментів -C-O- та гідроксильних груп спиртів (3367, 1044 cm^{-1}), сірковмісних утворень (1124 cm^{-1}); а також внутрішньо-й міжмолекулярних водневих (3367 cm^{-1}) і ненасичених (1669 cm^{-1}) зв'язків.

Особливістю спектрограми синтану-нейтралізатора *Politan BN* є присутність у його структурі не лише внутрішньо- та міжмолекулярних зв'язків та вуглецевих фрагментів (3429, 2925, 2831, 1453, 1360, cm^{-1}), а й карбонільних сполук (1610 cm^{-1}), ароматичних (3055, 2361, 1924, 1610, 1505, 1185, 1034, 835, 774, 686 cm^{-1}) та сірковмісних (2716, 1120, 656-474 cm^{-1}) угруповань.

Таблиця 2

Основні смуги поглинання в ІЧ-спектрах досліджуваних матеріалів

Інтерпретація смуг поглинання [35-39]		Експериментальні дані**		
1	2	3	4	5
Діапазон частот, cm^{-1} *	Віднесення	Retanal RCN 40	Retanal LMV100	Politan BN
3550-3200 3600-3200 с, срд ~3400	внутрішньо- та міжмолекулярні Н-зв'язків в димерах і полімерах; ν_{OH} спиртів; ν_{OH} (водневі зв'язки)	<u>3390</u> 2,97	-	<u>3429</u> 2,86
3400-3350 срд	ν_{NH} імінів C=NH	-	<u>3367</u> 18,39	-
3080-3030 сл	ν_{CN} ароматичних сполук;	-	-	<u>3055</u> 0,26
2935-2920 2970-2950 2940-2915	ν_{asCH_2} алкільних фрагментів; ν_{asCH_3} алкільних фрагментів; ν_{asCH_2} в O-CH ₃	<u>2930</u> 1,00	<u>2953</u> 1,00	<u>2925</u> 0,98
2830-2815 срд	ν_{sCH_3} валк-O-CH ₃	-	-	<u>2831</u> 1,48
~2500 2600-2540	$\nu_{\text{R-SO-OH}}$; $\nu_{\text{S-H}}$	-	-	<u>2716</u> 0,35
2360-1650 сл	комбінаційні ароматичних вуглеводнів	-	-	<u>2361</u> 0,13
		-	-	<u>1924</u> 0,45
2250-2100 сл	$\nu_{\text{C}\equiv\text{C}}$ алкінів	<u>2244</u> 0,24	-	-
1680-1620 срд	$\nu_{\text{C}=\text{C}}$ несупряжені	<u>1669</u> 1,92	-	-
1660-1480 пер 1690-1640	C=N у циклі ненасичених азотовмісних сполук	-	<u>1669</u> 4,47	-
1650-1550 сл	δ_{NH} (асоційовані) амінів вторинних R-NH ₂	-	<u>1620</u> 2,54	-
1650-1580 срд 1660-1480 пер	δ_{NH} (площинні) амінів первинних -NH ₂ ; ν (площинні) триазинового кільця; C=N у циклі ненасичених азотовмісних сполук	-	<u>1561</u> 3,15	-

Продовження таблиці 2

1	2	3	4	5
1600-1575 пер 1650-1550 інт	ν ароматичного кільця; ν C=О карбонільних сполук	–	–	$\frac{1610}{7,08}$
1650-1550 с	ν_{as} C-O карбоксилат-аніонів карбонових кислот	$\frac{1571}{7,28}$	–	–
1525-1475 пер	ν ароматичного кільця	–	–	$\frac{1505}{0,24}$
1470-1390 1500-1400	ν (площинні) триазинового кільця	–	$\frac{1461}{0,81}$	–
1470-1435 срд, сл 1455 срд, сл	δ CH ₂ алканів; δ_{as} CH ₂ в O-CH ₃	$\frac{1453}{1,52}$	–	$\frac{1453}{0,46}$
~ 1410 1400-1200 срд	ν_{as} C-O, ν_{as} RCOO ⁻ ; δ OH карбонових кислот	$\frac{1408}{3,23}$	–	–
1380-1340 срд, сл	δ_s CH ₃ алканів	$\frac{1324}{1,00}$	$\frac{1362}{1,04}$	$\frac{1360}{1,07}$
1250-1180 срд	ν CN амініввтор., трет.	–	$\frac{1189}{7,05}$	–
1225-1175 сл	δ CH (площинні) ароматичних сполук	–	–	$\frac{1185}{5,63}$
1225-980 с 1119	ν S=O сульфоксидів та сульфонів; ν SO ₂	$\frac{1119}{0,23}$	$\frac{1124}{4,63}$	$\frac{1120}{5,93}$
1085-1050 срд	фрагмент -C-O- первинних спиртів	–	$\frac{1044}{4,60}$	–
1070-1000 сл	δ CH (площинні) ароматичних сполук	–	–	$\frac{1034}{4,93}$
850-790 сл	δ CH (позаплощинні) в RR'C=CR''H	$\frac{852}{0,27}$	–	–
865-810 срд	δ CH (позаплощинні) ароматичних сполук	–	–	$\frac{835}{1,39}$
875-775 срд	δ (позаплощинні) триазинового кільця	–	$\frac{814}{0,32}$	–
850-790 сл	δ CH (позаплощинні) в RR'C=CR''H	$\frac{787}{0,27}$	–	–
770-760	δ (позаплощинні) чотирьох сусідніх атомів водню ароматичного кільця	–	$\frac{770}{0,42}$	$\frac{774}{1,07}$
900-650 сер	δ NH (позаплощинні) амінів первинних -NH ₂	–	$\frac{681}{0,64}$	–
710-690 730-675	δ CH (позаплощинні) ароматичних сполук	–	–	$\frac{686}{3,22}$
710-570 сл 800-600	ν C-S тіолів та сульфідів; ν -C-S-C-	–	–	$\frac{656}{1,10}$
		–	–	$\frac{639}{1,02}$
		–	–	$\frac{617}{1,20}$
		–	–	$\frac{563}{0,63}$
<700 срд, сл	δ OH (позаплощинні) спиртів та фенолів	$\frac{624}{0,40}$	–	–
		$\frac{515}{0,34}$	–	–

Продовження таблиці 2

730-675	δ СН (позаплощинні) ароматичних сполук	–	$\frac{617}{1,20}$	–
~500 сл	ν S-S	–	$\frac{523}{0,73}$	–
510-470 сл	ν S-S в алк-S-S-алк	–	–	$\frac{474}{0,23}$

Примітка: * *as* - асиметричні, *s* - симетричні, *ν* - валентні, *δ* - деформаційні коливання; *s* - сильна смуга, *срд* - смуга середньої інтенсивності, *сл* - слабка смуга, *д. сл* - дуже слабка смуга, *ш* - широка смуга, *пер* - смуга змінної інтенсивності; ** чисельник - частота λ , см^{-1} ; знаменник - відносна оптична густина D_i/D_0

Встановлено взаємозв'язок між відносною оптичною густиною D_{1120}/D_0 при частоті 1120 см^{-1} , яка відповідає коливанням сірковмісних угруповань, та вмістом SO_2 у матеріалах ($R^2 = 1,0000$), що свідчить про коректність інтерпретації спектрів. На підставі даних ІЧ-спектроскопії зроблено припущення, що завдяки своїй поліфункціональності досліджувані хімічні матеріали здатні до взаємодії з основною складовою дерми – волокнистим колагеном. Для підтвердження цього дослідили систему «колаген-хімічний реагент», при цьому у якості моделі колагену застосували його волокнистий препарат, який спочатку модифікували хромовим дубителем при витраті 5,0 % від маси зразків (у перерахунку на оксид хрому) і температурі $20 \text{ }^\circ\text{C}$ протягом 1,0 год, а потім ще додатково обробляли протягом 1,0 год певним реагентом при температурі $35\text{-}40 \text{ }^\circ\text{C}$ і витраті 5,0 % від маси зразків (у перерахунку на сухий залишок). Після сушіння та подрібнення зразки пресували з бромідом калію у пігулки з такою товщиною, щоб максимум робочих смуг коливання знаходився в області 20-80 % пропускання. Отримані ІЧ-спектри (рис. 2) обробили за методами «базової лінії» та «внутрішнього стандарту».

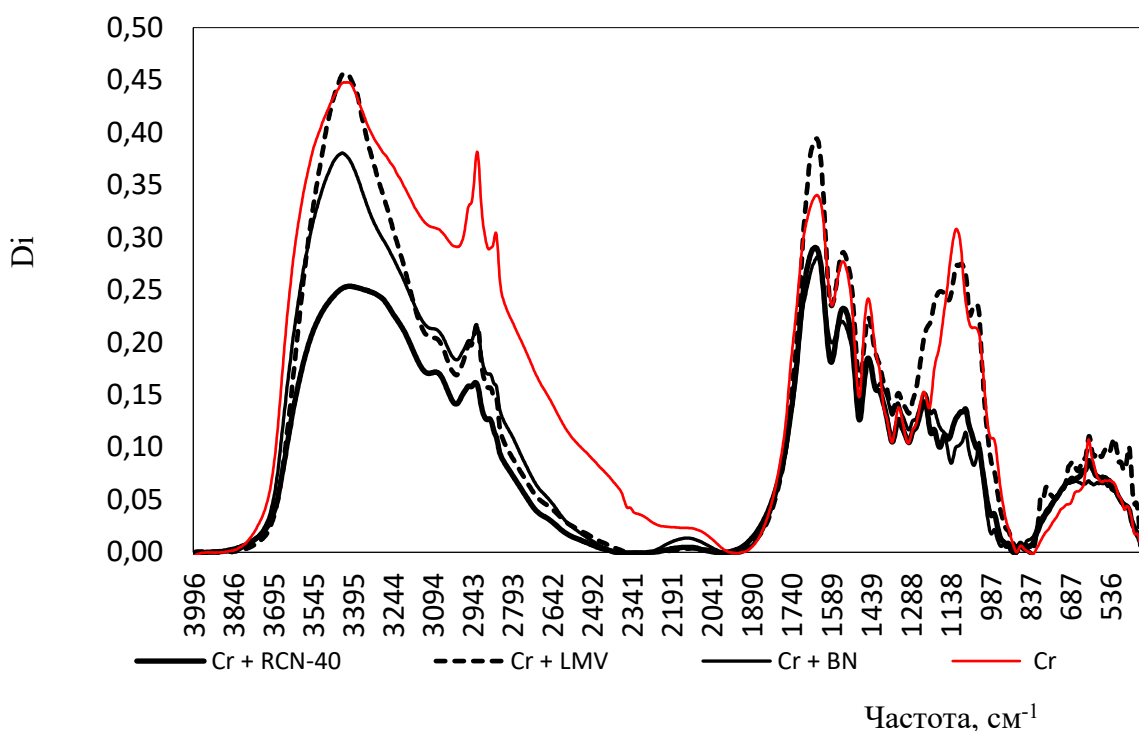


Рис. 2. Вихідні ІЧ-спектри хромованого препарату колагену до та після оброблення

На підставі аналізу спектральних кривих провели інтерпретацію смуг поглинання та визначили відносну оптичну густину D_i/D_o . З рис. 2 і табл. 3 видно, що інтенсивність окремих смуг поглинання в ІЧ-спектрі хромованого колагену змінюється під впливом застосованих реагентів. Ці зміни кількісно оцінили за допомогою коефіцієнту Z , що являє собою відношення відносної оптичної густини вихідного хромованого препарату колагену до відносної оптичної густини цього ж препарату після оброблення певним реагентом $Z = (D_{i \text{ вих}}/D_o) : (D_{i \text{ обр}}/D_o)$.

Таблиця 3

Основні смуги поглинання в ІЧ-спектрі хромованого препарату колагену до та після оброблення

Інтерпретація смуг поглинання [35-39]	Експериментальні дані*				Зміна оптичної густини Z		
	Collagen + Cr	Collagen + Cr + Retanal RCN 40	Collagen + Cr + Retanal LMV 100	Collagen + Cr + Politan BN	Collagen + Cr + Retanal RCN 40	Collagen + Cr + Retanal LMV 100	Collagen + Cr + Politan BN
1	2	3	4	5	6	7	8
3431 срд Амід А (100 % ν NH); 3550-3450 ш ν OH спиртів; 3500-3300 пер ν NH ₂ амінів	<u>3431</u> 5,91	-	<u>3429</u> 8,50	<u>3435</u> 8,05	-	0,69	0,73
3600-3200 с, ш ν OH спиртів	-	<u>3408</u> 5,58	-	-	+	-	-
2962 с ν_{as} CH ₃ алканів	<u>2955</u> 2,14	-	-	-	-	-	-
2926 сл ν CH ₂ алканів	<u>2925</u> 1,00	<u>2932</u> 1,01	<u>2926</u> 1,18	<u>2927</u> 1,26	0,99	0,85	0,79
2860-2850 срд ν_s CH ₂ алканів	<u>2855</u> 3,14	-	-	-	-	-	-
2360-1650 комбінаційні коливання ароматичних вуглеводнів	-	-	-	<u>2127</u> 0,20	-	-	+
1665-1640 с Амід І (80 % ν CO, 10 % ν CN, 10 % δ NH); ν C=O карбонільних сполук, кислот та їхніх похідних; 1680-1600 срд, сл ν C=C алкенів	<u>1643</u> 8,75	<u>1650</u> 33,20	<u>1644</u> 27,84	<u>1640</u> 17,39	0,26	0,31	0,50
1560-1530 срд Амід ІІ (40 % δ CN, 60 % δ NH); COO карбонових кислот	<u>1544</u> 6,54	<u>1543</u> 18,85	<u>1543</u> 13,96	<u>1547</u> 9,02	0,35	0,47	0,72

Продовження таблиці 3

1460-1370 δ CH ₃ алканів; 1450-1290 сл δ C-H (заміщені) алкенів	<u>1449</u> 1,21	<u>1450</u> 10,33	<u>1449</u> 7,55	<u>1451</u> 2,67	0,12	0,16	0,45
	–	–	–	<u>1402</u> 1,66	–	–	+
1345-1330 сл δ CH ₃ алканів	<u>1334</u> 1,00	<u>1335</u> 1,32	<u>1335</u> 1,19	<u>1337</u> 1,41	0,76	0,84	0,71
1260-1230 срд Амід III (10 % в CO, 30 % в CN, 30 % δ NH, 10 % δ O=CN); 1250-1020 сл в CN амінів втор., трет.; 1450-1200 срд в OH спиртів	<u>1240</u> 9,99	<u>1238</u> 5,87	–	<u>1235</u> 4,22	1,70	–	2,37
1300-1200 с, срд в СОС етерів; 1230-1200 срд в С=О спиртів втор., трет.; в СОС дикарбон. кислот	–	<u>1201</u> 4,12	<u>1097</u> 15,74	<u>1201</u> 3,90	+	+	+
1200-1160 сл в СО спиртів втор., трет.; 1200-1160 сл спирти втор.	–	<u>1160</u> 4,82	<u>1173</u> 11,63	–	+	+	–
1150-1050 с в СОС естерів	<u>1117</u> 0,21	<u>1082</u> 8,88	–	<u>1082</u> 5,11	0,02	–	0,04
1070-1000 сл δ СН (площинні) ароматичних сполук	–	–	<u>1039</u> 13,11	<u>1031</u> 5,16	–	+	+
1070-1000 сл δ СН (площинні) ароматичних сполук	–	–	–	<u>974</u> 0,87	–	–	+
890-830 д.сл в О-О пероксидів	<u>873</u> 1,82	–	<u>876</u> 0,47	–	–	3,86	–
<700 срд, сл δ OH (позаплощинні) спиртів та фенолів	<u>617</u> 1,06	<u>615</u> 2,15	<u>615</u> 1,53	–	0,49	0,69	–
	<u>522</u> 0,52	<u>540</u> 0,99	<u>520</u> 1,47	<u>518</u> 0,93	0,53	0,36	0,56
	<u>467</u> 0,39	–	<u>465</u> 3,98	<u>477</u> 1,11	–	0,10	0,35
	<u>432</u> 0,26	–	–	<u>436</u> 0,71	–	–	0,72

Примітка: * чисельник - частота λ, см⁻¹; знаменник - відносна оптична густина D/D₀;

+

- виявлено додаткові коливання
(нову смугу);

–

- не виявлено нові коливання
(нову смугу)

Аналіз одержаних даних виявив, що після оброблення досліджуваними реагентами найбільшим чином оптична густина в ІЧ-спектрі колагену (отже, й величина показника Z) змінюється при дії засобу *Retanal LMV 100* при частоті 876-873 см⁻¹, якій у структурі білка

відповідають валентні коливання груп О-О пероксидів. При дії інших реагентів (*Retanal RCN 40* і *Politan BN*) суттєві зміни спостерігаються в діапазоні хвильових чисел 1240-1235 cm^{-1} , якому відповідають валентні та деформаційні коливання, насамперед, азотовмісних груп Амідів II та амінів, гідроксильних груп спиртів (табл. 4).

Таблиця 4

Найбільш суттєві зміни оптичної густини в ІЧ-спектрах хромованого колагену під впливом застосованих реагентів

Діапазон частот, cm^{-1}	Найбільш прийнятні угруповання	Зміна оптичної густини $Z (Z > 1)$		
		Collagen + Cr + Retanal RCN 40	Collagen + Cr + Retanal LMV 100	Collagen + Cr + Politan BN
1240-1235	Амід III: - ν CO10 %, - ν CN30 %, - δ NH30 %, - δ O=CN ... 10 %; Аміни вторинні, третинні: ν CN; Спирти: ν OH	1,70	–	2,37
876-873	Пероксиди: ν O-O	–	3,86	–

Одержаний ефект можна пояснити взаємодією складових системи «колаген-хімічний реагент» з утворенням зв'язків різного типу: наприклад, ковалентних зв'язків – вони можуть виникати як за обмінним, так і за донорно-акцепторним механізмом; іонних зв'язків – їх поява зумовлена взаємним електростатичним тяжінням протилежно заряджених іонів; а також між-та внутрішньомолекулярних водневих. Серед усіх досліджуваних матеріалів меншу здатність до взаємодії з колагеном виявляє додублюючий засіб *Retanal RCN 40*, значення показника Z якого нижче порівняно з іншими препаратами в 1,1-1,4 рази.

Зменшення інтенсивності поглинання окремих смуг на спектрограмах обробленого колагену (на увазі маютья ті випадки, коли $Z < 1$) можна пояснити проявом валентних та деформаційних коливань алканів, алкенів, ефірів та інших складових структури застосованих хімічних матеріалів.

Висновки. За завданням промисловості проведено комплексне дослідження сучасних хімічних матеріалів синтетичного походження, задекларованих фірмами-виробниками як засоби для рідинного оздоблення шкіри: до дублюючі засоби *Retanal RCN 40* на основі аніонного акрилового полімеру та *Retanal LMV 100* на основі меламіну; синтан-нейтралізатор *Politan BN* на основі нафталінсульфонові кислоти. Дослідження проводили у такій послідовності: спочатку визначали основні показники реагентів (вміст вологи, сухого залишку, водорозчинних речовин, діоксиду сірки, рН розчину, в'язкість) з використанням традиційних фізико-хімічних методів аналізу; потім аналізували структуру матеріалів із залученням ІЧ-спектроскопії; а наостанок встановлювали особливості взаємодії

застосовуваних у роботі матеріалів з основною білковою речовиною дерми – колагеном, тобто з'ясовували можливі взаємодії, що можуть відбуватися у системі «колаген-хімічний реагент».

На підставі проведених досліджень встановлено поліфункціональність аналізованих реагентів, їх спорідненість з колагеном, що виявляється в утворенні різноманітних зв'язків, головним чином, з азотовмісними, гідроксильними та пероксидними групами білка.

Одержані результати будуть використані при розробленні ресурсощадної технології рідинного оздоблення шкіри.

Література

1. Jin L., Wang Y., Zhu D., Xu Q. Effect of an amphoteric acrylic retanning agent on the physical properties of the resultant leather. *Advanced Materials Research*. 2011. 284–286. p.1925–1928.
2. Первая Н.В., Андреева О.А., Лошкарёва И.И. Сучасні тренди вдосконалення процесів рідинного оздоблення шкіри. *Вісник Хмельницького національного університету*. 2019. №5(277). С. 126-133.
3. Андреева О.А. Визначення необхідності розробки ресурсозберігаючих технологій рідинного оздоблювання шкір. *Легка промисловість*. 2005. № 1. С. 49–50.
4. Первая Н.В., Андреева О.А. Фізико-хімічні та ІЧ-спектроскопічні дослідження нових жирувальних препаратів. *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну*. 2019. № 6. С. 81–94.
5. Canudas M., Menna N., Torrelles A., De Pablo J., Morera J.M. Polyacrylate ester-based polycarboxilate (PCE) as a new leather retanning agent. *Journal of the American Leather Chemists Association*. 2019. 114(3). p. 80–88.
6. Song Y., Zeng Y., Xiao K., Wu H., Shi B. Effect of molecular weight of acrylic resin retanning agent on properties of leather. *Journal of the American Leather Chemists Association*. 2017. 112(4). p. 128–134.
7. Lyu B., Jia L., Ma J., Gao D., Ma D. Effects of chain transfer agents on properties of AA/BA/AM copolymer retanning agents. *Journal of the Society of Leather Technologists and Chemists*. 2017. 101(1). p. 10–15.
8. Du J., Huang C., Peng B. Influence of hydrophobic side chain structure on the performance of amphiphilic acrylate copolymers in leather-making. *Journal of the Society of Leather Technologists and Chemists*. 2016. 100(2). p. 67–72.
9. Jin L., Wei Y., Wang Y., Li Y. Preparation and application of an amphiphilic acrylic copolymer as a retanning agent. *Journal of the Society of Leather Technologists and Chemists*. 2014. 98(5). p. 222–228.

References

1. Jin L., Wang Y., Zhu D., Xu Q. Effect of an amphoteric acrylic retanning agent on the physical properties of the resultant leather. *Advanced Materials Research*. 2011. 284–286. p.1925–1928.
2. Pervaia N.V., Andreieva O.A., Loshkarova I.I. Suchasni trendy vdoskonalennia protsesiv ridynnoho ozdoblennia shkiry. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu*. 2019. №5(277). p. 126–133. [in Ukrainian]
3. Andreieva O.A. Vyznachennia neobkhdnosti rozrobky resursozberihaiuchykh tekhnolohii ridynnoho ozdoblivannia shkir. *Lehka promyslovist*. 2005. № 1. p. 49–50. [in Ukrainian]
4. Pervaia N.V., Andreieva O.A. Fyzyko-khimichni ta ICh-spektroskopichni doslidzhennia novykh zhyruvalnykh preparativ. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnolohii ta dyzainu*. 2019. № 6. p. 81–94. [in Ukrainian]
5. Canudas M., Menna N., Torrelles A., De Pablo J., Morera J.M. Polyacrylate ester-based polycarboxilate (PCE) as a new leather retanning agent. *Journal of the American Leather Chemists Association*. 2019. 114(3). p. 80–88.
6. Song Y., Zeng Y., Xiao K., Wu H., Shi B. Effect of molecular weight of acrylic resin retanning agent on properties of leather. *Journal of the American Leather Chemists Association*. 2017. 112(4). p. 128–134.
7. Lyu B., Jia L., Ma J., Gao D., Ma D. Effects of chain transfer agents on properties of AA/BA/AM copolymer retanning agents. *Journal of the Society of Leather Technologists and Chemists*. 2017. 101(1). p. 10–15.
8. Du J., Huang C., Peng B. Influence of hydrophobic side chain structure on the performance of amphiphilic acrylate copolymers in leather-making. *Journal of the Society of Leather Technologists and Chemists*. 2016. 100(2). p. 67–72.
9. Jin L., Wei Y., Wang Y., Li Y. Preparation and application of an amphiphilic acrylic copolymer as a retanning agent. *Journal of the Society of Leather Technologists and Chemists*. 2014. 98(5). p. 222–228.
10. Zou X., Lan Y., Zhang Q., Zhan X. Synthesis

10. Zou X., Lan Y., Zhang Q., Zhan X. Synthesis and mechanical properties of polyacrylic acid resin retanning agent. *Journal of the Society of Leather Technologists and Chemists*. 2014. 98(3). p. 127–130.
11. Wang X., Fu Y., Qiang T., Ren L. Study on biodegradability of acrylic retanning agent DT-R521. *Lecture Notes in Electrical Engineering*. 2012. LNEE 137. p. 319–325.
12. Майстренко Л. А., Андреева О. А. Спосіб обробки шкір: пат.77275 Україна : МПК С14С 9/00. № у 201208223 ; заявл. 05.07.2013 ; опубл. 11.02.2013, Бюл. №3.
13. Zhou J.-B., Li P.-L., Zhou J.-F., Liao X.-P., Shi B. Preparation of formaldehyde-free melamine resin using furfural as condensation agent and its retanning performances investigation. *Journal of the American Leather Chemists Association*. 2018. 113(6). p. 198–206.
14. Sun X., Jin Y., Lai S., (...), Du W., Shi L. Desirable retanning system for aldehyde-tanned leather to reduce the formaldehyde content and improve the physical-mechanical properties. *Journal of Cleaner Production*. 2018. 175. p. 199–206.
15. Saleem R., Adnan A., Qureshi F.A. Synthesis and application of formaldehyde free melamine glutaraldehyde amino resin as an effective retanning agent. *Indian Journal of Chemical Technology*. 2015. 22(1-2). p. 48–55.
16. Saleem R., Adnan A., Qureshi F.A. Synthesis and application of eco-friendly amino resins for retanning of leather under different conditions. *Journal of the Society of Leather Technologists and Chemists*. 2015. 99(1). p. 8–15.
17. Thanikaivelan P., Mohan C.R., Saravanabhavan S. Development of formaldehyde-free leathers in perspective of retanning: Part 1. Benchmarking for the evolution of a single syntan system. *Journal of the American Leather Chemists Association*. 2007. Vol. 102(10). p. 306–314.
18. Kanth S.V., Ramkumar S.C., Chandrasekaran B., Raghava R.J., Nair B.U. Zero formaldehyde syntan. *32nd Congress of the International Union of Leather Technologists and Chemist Societies, IULTCS*, 2013.
19. Sathish M., Subramanian B., Rao J.R., Fathima N.N. Deciphering the role of individual retanning agents on physical properties of leathers. *Journal of the American Leather Chemists Association*. 2019. 114(3). p. 94–102.
20. Wang Y.-Z., Li J.-B., Shan, Z.-H. A novel synthesized melamine compound for leather making. *Journal of the Society of Leather Technologists and Chemists*. 2017. 101(1). p. 38–42.
21. Xie H., Sun Q., Liao X., Shi B. Melamine glyoxal resin as aretanning agent – Preparation and application. *Journal of the Society of Leather Technologists and Chemists*. 2014. 98(3). p. 127–130.
11. Wang X., Fu Y., Qiang T., Ren L. Study on biodegradability of acrylic retanning agent DT-R521. *Lecture Notes in Electrical Engineering*. 2012. LNEE 137. p. 319–325.
12. Maistrenko L. A., Andreieva O. A. Sposib obrobky shkir: pat.77275 Ukraina : MPK S14S 9/00. № у 201208223 ; zaiavl. 05.07.2013 ; opubl. 11.02.2013, Biul. №3.
13. Zhou J.-B., Li P.-L., Zhou J.-F., Liao X.-P., Shi B. Preparation of formaldehyde-free melamine resin using furfural as condensation agent and its retanning performances investigation. *Journal of the American Leather Chemists Association*. 2018. 113(6). p. 198–206.
14. Sun X., Jin Y., Lai S., (...), Du W., Shi L. Desirable retanning system for aldehyde-tanned leather to reduce the formaldehyde content and improve the physical-mechanical properties. *Journal of Cleaner Production*. 2018. 175. p. 199–206.
15. Saleem R., Adnan A., Qureshi F.A. Synthesis and application of formaldehyde free melamine glutaraldehyde amino resin as an effective retanning agent. *Indian Journal of Chemical Technology*. 2015. 22(1-2). p. 48–55.
16. Saleem R., Adnan A., Qureshi F.A. Synthesis and application of eco-friendly amino resins for retanning of leather under different conditions. *Journal of the Society of Leather Technologists and Chemists*. 2015. 99(1). p. 8–15.
17. Thanikaivelan P., Mohan C.R., Saravanabhavan S. Development of formaldehyde-free leathers in perspective of retanning: Part 1. Benchmarking for the evolution of a single syntan system. *Journal of the American Leather Chemists Association*. 2007. Vol. 102(10). p. 306–314.
18. Kanth S.V., Ramkumar S.C., Chandrasekaran B., Raghava R.J., Nair B.U. Zero formaldehyde syntan. *32nd Congress of the International Union of Leather Technologists and Chemist Societies, IULTCS*, 2013.
19. Sathish M., Subramanian B., Rao J.R., Fathima N.N. Deciphering the role of individual retanning agents on physical properties of leathers. *Journal of the American Leather Chemists Association*. 2019. 114(3). p. 94–102.
20. Wang Y.-Z., Li J.-B., Shan, Z.-H. A novel synthesized melamine compound for leather making. *Journal of the Society of Leather Technologists and Chemists*. 2017. 101(1). p. 38–42.
21. Xie H., Sun Q., Liao X., Shi B. Melamine glyoxal resin as aretanning agent – Preparation and application. *Journal of the Society of Leather*

21. Xie H., Sun Q., Liao X., Shi B. Melamine glyoxal resin as retanning agent – Preparation and application. *Journal of the Society of Leather Technologists and Chemists*. 2014. 98(1).p. 17–25.
22. Ballús O., Palop R., Noguera L., Micó, R. Influence of an amphoteric retanning agent on the properties of leather. *33rd Congress of the International Union of Leather Technologists and Chemist Societie* : Part II, XXXIII IULTCS Congress, 2015.
23. Sangeetha S., Fathima N., Sreeram K.J., Raghava Rao J., Nair B.U. Stimuli responsive leathers using smart retanning agents. *Journal of the American Leather Chemists Association*. 2012. 107(6). p. 196–204.
24. Lv S., Hou M. Synthesis and Properties of Phenolic Syntan with HRP catalysis. *Applied Mechanics and Materials*. 2011. 80–81. p. 391–395.
25. Lv S.-H., Liu G., Ma Y.-F., Hu J., Zhang G.-Y. Study on preparation and properties of copolymer of p-hydroxybenzoic acid and sulfanilic acid with HRP catalysis. *Journal of Functional Materials*. 2010. 41(8). p. 1427–1431.
26. Zhang J., Dong L., ChenM., Cheng H. Utilisation of phenolsulphonic acid to hydrolyse chrome shavings in preparation of composite condensates for leather retanning. *Neurologie und Rehabilitation*. 2018. 24(3). p. 194–199.
27. Андреева О.А., Майстренко Л.А., Ніконова А.В. Дослідження структури та властивостей біотехнологічного колагенвмісного препарату. *Наукові праці НУХТ*. 2018. Том 24(5). С. 39–43.
28. Long-Fang R., Yong-Xia Z., Hua Z. Synthesis and properties of hydroxyl-terminated hyperbranched polyisocyanurate-ester retanning agents. *Journal of the American Leather Chemists Association*. 2017. 112(7). p. 240–249.
29. Островская А.В., Латфуллин И.И. Аминоальдегидные смолы в кожевенном производстве. *Вестник технологического университета*. 2015. Т.18, №8. С. 179–181.
30. Анисимова В.А., Толпыгин И.Е., Бородкин Г.С. Исследования в области производных имидазо[1,2-а]бензимидазола. Синтез 3-(9-имидазо[1,2-а]бензимидазол-3-ил)-акриловых кислот. *Химия гетероциклических соединений*. 2013. № 9. С. 1379–1383.
31. Прутенская Е.А., Васильев А.С., Лебедева Е.Ю., Ущеповский И.В., Сильченко В.А. Сравнительная характеристика структуры меланинов разного происхождения. *Символ науки*. 2016. №11–3. С. 11–13.
32. Слесарчук М., Кархут А., Болібрех Х., Кудриньцька А., Сингаєвський В., Половкович С. Синтез та хімічні перетворення *Technologists and Chemists*. 2014. 98(1).p. 17–25.
22. Ballús O., Palop R., Noguera L., Micó, R. Influence of an amphoteric retanning agent on the properties of leather. *33rd Congress of the International Union of Leather Technologists and Chemist Societie* :Part II, XXXIII IULTCS Congress, 2015.
23. Sangeetha S., Fathima N., Sreeram K.J., Raghava Rao J., Nair B.U. Stimuli responsive leathers using smart retanning agents. *Journal of the American Leather Chemists Association*. 2012. 107(6). p. 196–204.
24. Lv S., Hou M. Synthesis and Properties of Phenolic Syntan with HRP catalysis. *Applied Mechanics and Materials*. 2011. 80–81. p. 391–395.
25. Lv S.-H., Liu G., Ma Y.-F., Hu J., Zhang G.-Y. Study on preparation and properties of copolymer of p-hydroxybenzoic acid and sulfanilic acid with HRP catalysis. *Journal of Functional Materials*. 2010. 41(8). p. 1427–1431.
26. Zhang J., Dong L., ChenM., Cheng H. Utilisation of phenolsulphonic acid to hydrolyse chrome shavings in preparation of composite condensates for leather retanning. *Neurologie und Rehabilitation*. 2018. 24(3). p. 194–199.
27. Andreieva O.A., Maistrenko L.A., Nikonova A.V. Doslidzhennia struktury ta vlastyvostei biotekhnolohichnoho kolahenvmisnoho preparatu. *Naukovi pratsi NUKhT*. 2018. Tom 24(5). p. 39–43.
28. Long-Fang R., Yong-Xia Z., Hua Z. Synthesis and properties of hydroxyl-terminated hyperbranched polyisocyanurate-ester retanning agents. *Journal of the American Leather Chemists Association*. 2017. 112(7). p. 240–249.
29. Ostrovskaiia A.V., Latfullyn Y.Y. Aminoaldehydnye smoly v kozhevennom proyzvodstve. *Vestnyk tekhnolohycheskoho unyversyteta*. 2015. T.18, №8. p. 179–181. [in Russian]
30. Anysymova V.A., Tolpyhyn Y.E., Borodkyn H.S. Yssledovanyia v oblasti proyzvodnykh ymydazo[1,2-a]benzomydazola. Syntez 3-(9n-ymyazo[1,2-a]benzomydazol-3-yl)-akrylovykh kyslot. *Khymyia heterotsyklycheskykh soedynenyi*. 2013. № 9. p. 1379–1383. [in Russian]
31. Prutenskaia E.A., Vasylev A.S., Lebedeva E.Yu., Ushchapovskiy Y.V., Sylchenko V.A. Sravnytelnaia kharakterystyka struktury melanynov raznoho proyskhozhdenyia. *Symvol nauky*. 2016. №11–3. p. 11–13. [in Russian]
32. Slesarchuk M., Karkhut A., Bolibrukh Kh., Kudrynetska A., Synhaievskiy V., Polovkovych S. Syntez ta khimichni peretvorennia sulfanilhidrazyniv na osnovi 1,3,5-tryazynu. *Visnyk Natsionalnoho universytetu «Lvivska politekhnik»*.

сульфанілгідазинів на основі 1,3,5-триазину. Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Серія : Хімія, технологія речовин та їх застосування : збірник наукових праць. 2016. № 841. С. 233–240.

33. Журавський В.А., Касьян Е.Є., Данилкович А.Г. Технологія шкіри та хутра : підручник. Київ : ДАЛПУ, 1996. 743с.

34. Лирова Б.И. Применение колебательной спектроскопии для изучения полимерных систем. Екатеринбург : Издательство Уральского университета, 2016. 14 с.

35. Тарасевич Б.Н. ИК спектры основных классов органических соединений. Москва : МГУ, 2012. 55 с.

36. Ластухін Ю.О., Воронов С.А. Органічна хімія. Львів : Центр Європи, 2009. 868 с.

37. Анисимова Н.А. Идентификация органических соединений. Горно-Алтайск : РИО Горно-Алтайского государственного ун-та, 2009. 95 с.

38. Купцов А.Х., Жижин Г.Г. Фурье-КР и Фурье-ИК спектры полимеров. Москва : Техносфера, 2013. 696 с.

39. Миронов В.А., Янковский С.А. Спектроскопия в органической химии. Москва : Химия, 1984. 232 с.

Seriia : Khimiiia, tekhnolohiia rechovyn ta yikh zastosuvannia : zbirnyk naukovykh prats. 2016. № 841. p. 233–240.

33. Zhuravskiy V.A., Kasian E.Ye., Danylkovych A.H. Tekhnolohiia shkiry ta khutra : pidruchnyk. Kyiv : DALPU, 1996. 743s.

34. Lyrova B.Y. Prymenenye kolebatelnoi spektroskopyy dlia yzucheniya polymernykh system. Ekaterynburh : Yzdatelstvo Uralskoho unyversyteta, 2016. 14 p. [in Russian]

35. Tarasevych B.N. YK spektry osnovnykh klassov orhanycheskykh soedyneni. Moskva : MHU, 2012. 55 p. [in Russian]

36. Lastukhin Yu.O., Voronov S.A. Orhanichna khimiiia. Lviv : Tsent Yevropy, 2009. 868 s.

37. Anysymova N.A. Ydentyfykatsiya orhanycheskykh soedyneni. Horno-Altaysk : RYO Horno-Altayskoho hosudarstvennoho un-ta, 2009. 95 p. [in Russian]

38. Kuptsov A.Kh, Zhyzhyn H.H. Fure-KR y Fure-YK spektry polymerov. Moskva : Tekhnosfera, 2013. 696 p. [in Russian]

39. Myronov V.A., Yankovskiy S.A. Spektroskopiya v orhanycheskoi khymyy. Moskva : Khymyia, 1984. 232 p. [in Russian]

PERVAIA N. V.

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5086-3926>

Scopus Author ID: 55976214600

Department of Design and Technologies of Leather Products,

Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine

ANDREYEVA O. A.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8374-2306>

Scopus Author ID: 57189216288

Department of Biotechnology, Leather and Fur,

Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine

ИССЛЕДОВАНИЕ НОВЫХ ХИМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ЖИДКОСТНОЙ ОТДЕЛКИ КОЖИ ПЕРВАЯ Н. В., АНДРЕЕВА О. А.

Киевский национальный университет технологий и дизайна

Цель. Исследовать физико-химические свойства, структуру и особенности взаимодействия с коллагеном коммерческих материалов нового поколения для установления возможности их использования в качестве додубливающих или других реагентов в жидкостной отделке кожи.

Методика. Для определения свойств и структуры исследуемых материалов использовали распространённые, а также современные аналитические и инструментальные методы исследования (титриметрический, вискозиметрический, инфракрасной спектроскопии, визуального наблюдения).

Результат. Приведены результаты оценки структуры и физико-химических свойств новых промышленных материалов в виде двух додубливающих средств Retanal RCN 40, синтезированного на основе анионного акрилового полимера (фирма-производитель Cromogenia Units, Испания), и Retanal LMV 100, полученного на основе меламина (фирма-производитель Cromogenia Units, Испания), а также синтана-нейтрализатора Politan VN на основе ароматических соединений (фирма-

производитель Codyeco S.p.a., Италия). Проведены ИК-спектроскопические исследования этих материалов и обработанного ими хромированного волокнистого препарата коллагена. Определены характер и изменение оптической плотности полос поглощения на спектрограммах белка в зависимости от вида задействованных в работе материалов. Установлено, что исследуемые материалы взаимодействуют преимущественно с азотсодержащими, гидроксильными и пероксидными группами коллагена.

Научная новизна. Исследованы особенности взаимодействий, происходящих в системе «коллаген - химический реагент» в присутствии новых химических материалов синтетического происхождения, предназначенных для жидкостной отделки кожи.

Практическая значимость. Результаты работы будут способствовать расширению ассортимента и обоснованному использованию эффективных химических реагентов в инновационных технологиях производства натуральной кожи.

Ключевые слова: кожевенное производство, химические материалы, свойства, структура, ИК-спектроскопия.

RESEARCH OF NEW CHEMICAL MATERIALS FOR LIQUID FINISHING OF LEATHER

PERVAIA N. V., ANDREYEVA O. A.

Kyiv National University of Technologies and Design

Purpose. The study of the physicochemical properties, structure and interaction of new generation commercial materials with collagen to establish the possibility of their use as retanning agents or other reagents in the liquid finishing of leather.

Methodology. To determine the properties and structure of the materials under study, we used common, as well as modern analytical and instrumental methods of research (titrimetric, viscometric, infrared spectroscopy, visual observation)

Result. The results of assessing the structure and physicochemical properties of new industrial materials in the form of two retanning agents Retanal RCN 40 synthesized based on anionic acrylic polymer (manufacturer Cromogenia Units, Spain) and Retanal LMV 100 obtained on the basis of melamine (manufacturer Cromogenia Units, Spain), as well as Politan BN syntan-neutralizer based on aromatic compounds (manufacturer Codyeco Spa, Italy) are presented. IR spectroscopic studies of these materials and the chrome fiber of collagen preparation processed by them were made. The nature and change in the optical density of the absorption bands on the protein spectrograms depending on the type of materials used in the work are determined. It was found that the studied materials interact mainly with nitrogen-containing, hydroxyl and peroxide groups of collagen.

Scientific novelty. Peculiarities of interaction in the “collagen - chemical reagent” system in the presence of new chemical materials of synthetic origin intended for liquid finishing the leather are investigated.

Practical significance. The results of the work will contribute to the expansion of the assortment and the justified use of effective chemical reagents in innovative technologies for the production of leather.

Key words: leather production, chemical materials, properties, structure, IR spectroscopy.

УДК 678.743.2

САВЧЕНКО Б. М., СОВА Н. В., ДЕБЕЛИЙ. Б. С.,
ІСКАНДАРОВ Р. Ш., СЛЕПЦОВ О. О., ПОЛЩУК Т. А.
Київський національний університет технологій та дизайну

АДИТИВНЕ ФОРМУВАННЯ ЕЛАСТИЧНИХ ВИРОБІВ З ПВХ ПЛАСТИЗОЛЮ

Мета. Розробка та відпрацювання технології адитивного формування еластичних та м'яких виробів.

Методика. Міцність при розриві та відносне видовження при розриві для всіх досліджуваних зразків визначали за ISO 527, густина зразків - за PN-EN ISO 1183-1, показник текучості розплаву – за ISO 1133:2005, твердість за Шором А – за ISO 868.

Результати. Створена технологія адитивного формування м'яких та еластичних виробів з рідкого витратного матеріалу. Вихідною сировиною для формування об'єктів виступає рідка композиція ПВХ, що здатна перетворюватись з рідкого стану пластизолу у еластичний пластикат. Створена технологія дозволяє створювати вироби складної геометричної форми з твердістю за шкалою Шор А від 5 до 90 од. Розроблена технологія дозволяє створювати вироби з композитних матеріалів та пін на основі ПВХ та може бути реалізована на устаткуванні для технології FFF. Склад композиції дозволяє регулювати твердість та еластичність отримуваних виробів у широких межах, додавання пігментів та барвників дозволяє отримувати вироби, різної кольорової гами. Розроблена технологія володіє більшою високою швидкістю формування, ніж технологія FFF. Можливою сферою застосування створеної технології є виготовлення ущільнень, звукоізолюючих матеріалів, поглиначів ударів та вібрацій, елементів дизайну та одягу, взуття. Експериментально підтверджено можливість адитивного формування ПВХ пластизолу на тканинну підкладку.

Наукова новизна. Досліджено особливості формування та властивості виробів, отриманих методом адитивного формування рідкого ПВХ пластизолу. Формування виробу відбувається через процес одночасного перетворення пластизолу у розплавлений пластикат в екструдері.

Практична значимість. Розроблено метод адитивного формування виробів з рідкого пластизолу, що дозволяє отримувати вироби з низькою твердістю та високою еластичністю. Розроблена технологія дозволяє формувати вироби з композиційних матеріалів та пін з модернізацією доступного устаткування.

Ключові слова: ПВХ, пластизоль, пластикат, адитивне формування, м'які та еластичні вироби.

Вступ. Адитивне виробництво – клас перспективних технологій виробництва одиничних та дрібносерійних деталей складної форми з тривимірної комп'ютерної моделі шляхом послідовного пошарового нанесення матеріалу. На противагу так існуючим процесам виробництва з видаленням зайвого матеріалу (обробка), адитивні технології дозволяють виготовляти деталь або виріб без втрат матеріалу безпосередньо з комп'ютерної 3D-моделі, віртуально нарізаній на тонкі шари [1].

Розрізняють наступні види адитивних технологій: CJP (Color Jet Printing) — технологія повнокольорового 3D-друку шляхом склеювання спеціального порошку на основі гіпсу; MJP (Multi Jet Printing) — багат шарове моделювання за допомогою фотополімеру або воску; SLA/DLP (Stereolithography Apparatus/Digital Light Processing) — стереолітографія, заснована на пошаровому затвердженні рідкого матеріалу під дією випромінювання лазера; SLS (Selective Laser Sintering) — селективне лазерне спікання під променем лазера частинок порошкоподібного матеріалу до утворення фізичного об'єкта за заданою CAD-моделлю; SLM/DMP (Selective Laser Melting/Direct Metal Printing) — селективне лазерне плавлення металевого порошку [2].

В загальному випадку процес адитивного виробництва складається з трьох основних етапів: а) побудова моделі; б) розбиття моделі на шари та створення машинного коду (слайсінг); с) здійснення адитивного формування з матеріалу та машинного коду.

Найбільш поширеним методом адитивного формування є формування методом наплавлення нитки (FFF- Fused filament fabrication) - об'єкт формується шляхом пошарового укладання розплавленого струменя з матеріалу. Робочий матеріал подається в екструдер, який видавлює на платформу тонку нитку розплавленого матеріалу, формуючи таким чином поточний шар виробу. Далі платформа опускається на товщину одного шару, щоб можна було нанести наступний шар [3-5].

Матеріал для ФФФ адитивного формування представляє собою мононитку (філамент) діаметром 1.75, 2.85 або 3.0 мм. Подача мононитки в екструдер здійснюється за допомогою роликкового механізму подачі, котрий керується кроковим двигуном. Поєднання екструдера маленького розміру та системи подачі з кроковим двигуном дозволяє реалізувати високоточне регулювання подачі матеріалу через сопло екструдера [6].

FFF - найпоширеніший та найдоступніший метод адитивного виробництва на сьогоднішній день. Однак цей метод має певні обмеження, зокрема, є обмеження щодо отримання еластичних та м'яких виробів з твердістю менше 90-80 одиниць за Шором А, оскільки мононитка з такою твердістю може та проковзувати на механізмі подачі та в екструдері що приводить до зупинок процесу адитивного формування [7]. Таким чином, розробка технології адитивного формування, що дозволить створювати еластичні та м'які вироби з твердістю за Шор А менше 80-90од. є актуальною та доцільною задачею [8].

М'які та еластичні вироби одержані адитивним формування можуть бути потенційно застосовані у різних сферах, зокрема: виготовлення ущільнень, декоративних елементів, поглиначів шуму та вібрацій, взуття та одягу.

Постановка завдання. Метою роботи була розробка та відпрацювання технології адитивного формування еластичних та м'яких виробів.

Результати дослідження. В ННЛ «Перспективних полімерних матеріалів» кафедри ПЕТПХВ вперше розроблено новий метод адитивного формування м'яких та еластичних виробів з рідкого пластизолу полівінілхлориду. Суть створеної технології полягає в тому, що формування виробу відбувається шляхом перетворення рідкого пластизолу в розплав пластикату при швидкому (шоковому) нагріванні [9-10] в екструдері проточного типу, що за конструкцією подібній до використаного в технології FFF. Подача рідкого пластизолу здійснюється високоточним дозуючим насосом, котрий керується кроковим двигуном або сервоприводом.

Для реалізації процесу вдається повністю використовувати систему подачі та позиціонування FFF процесу, а також програмне забезпечення для слайсінгу.

На рис. 1 подано принципову технологічну схему процесу адитивного формування та зображення пілотної установки, виконаної на основі стандартного FFF принтера.

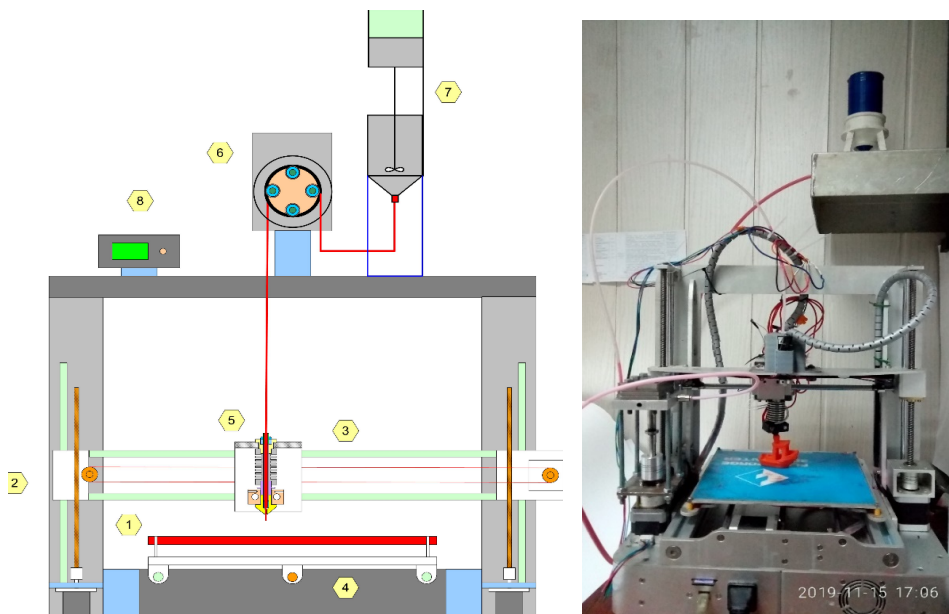


Рис.1. Схема технологічного процесу адитивного формування м'яких та еластичних виробів з ПВХ пластизолью : 1 – платформа для побудови об'єкту; 2, 3, 4- система переміщення за координатами Z,X,Y; 5- екструдер; 6- насос система подачі; 7- ємність з мішалкою для пластизолью; 8- система керування

Пластизоль для формування змішується попередньо за допомогою верхньопривідного змішувача. З ємності 7 через трубку пластизоль потрапляє в шестеренчастий насос з кроковим електродвигуном, який під'єднаний до системи керування 3D принтера, для створення гідравлічного тиску та дозування подачі до екструдера 3D принтера. В екструдері проточного типу при температурах від 165 до 250°C пластизоль желюється та пластикується, перетворюючись у розплав пластикату без фізичної зміни фаз. Даний процес проходить оминаючи твердий стан та зберігаючи гідравлічний тиск створений пристроєм подачі. З сопла екструдера на стіл 3D принтера видавлюється пластифікований та пластикований розплав ПВХ. Охолодження розплаву пластикату здійснюється стандартною системою обдування. Стіл 3D принтера вкривається адгезивною полікарбонатною плівкою з акриловим покриттям. Використовується нагрівання столу в температурному діапазоні 40 – 100°C. У якості покриття для столу 3D принтера протестовано застосування синтетичних та натуральних тканин, паперу та інших гнучких та жорстких матеріалів.

Також при змішуванні в пластизоль можна додавати попередньо змішанні пігменти (що дає дуже велику палітру доступних кольорів), спінювачі та композитні наповнювачі. Типова рецептура композиції наведена в табл. 1.

Таблиця 1

Типовий рецептурний склад композиції для адитивного формування

№ п/п	Назва компоненту	Вміст, мас.ч.
1	ПВХ емульсійний ПВХ-Е85	100
2	Пластифікатор полімерний	50-100
3	Пластифікатор складно-ефірний	50-125
4	Стабілізатор барій-цинковий	3-5
5	Стабілізатор олово-органічний	2-5
6	Пігмент червоний 5/3	0.2

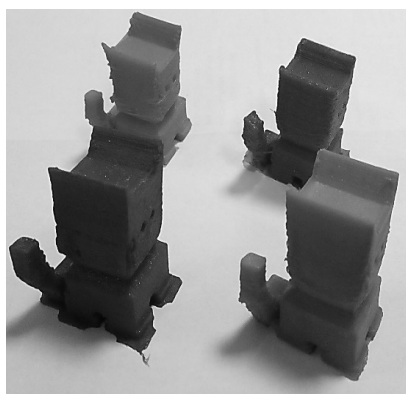
Загальний вигляд готових виробів, отриманих адитивним формуванням з ПВХ композицій наведено на (рис.2). З наведених фотографій помітно, що розробленим методом вдається формувати об'єкти зі складною просторовою формою.

Адитивне формування виробів здійснювалось за параметрами наведеними у (табл. 2.) Розбиття на шари (слайсінг) виконувалось у програмі Simplify 3D.

Таблиця 2

Типові параметри для адитивного формування готових виробів

№ п/п	Параметри	Значення
1	Висота шару, мм	0,3
2	Ширина екструзії, мм	0,5-0,6
3	Шаблон заливки	-45/+45
4	Діаметр сопла, мм	0,4
5	Степінь заповнення, %	10-100
6	Кількість шарів верхньої оболонки	2
7	Кількість шарів нижньої оболонки	2
8	Кількість шарів в боковій оболонці	2
9	Температура екструдера, °С	190-220
10	Температура столу, °С	70
11	Швидкість подачі, см ³ /хв	0,1-0,4
12	Зворотна подача	ні
13	Швидкість формування, мм/хв	800-1600
14	Покриття поверхні столу	плівка полікарбонат



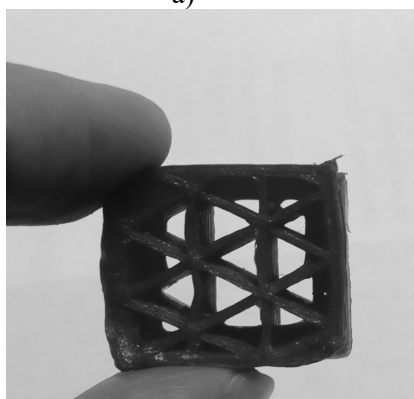
а)



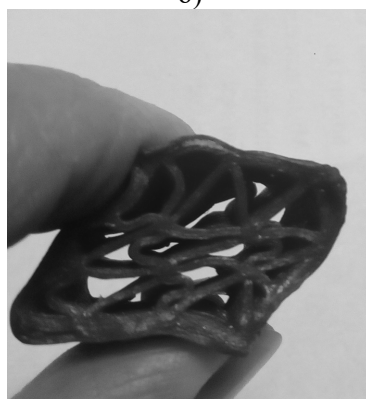
б)



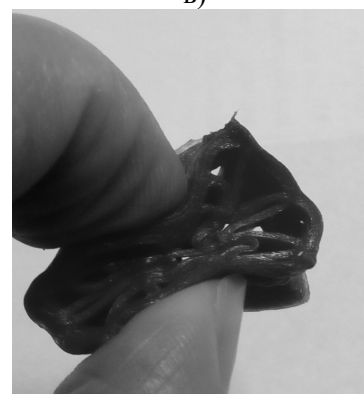
в)



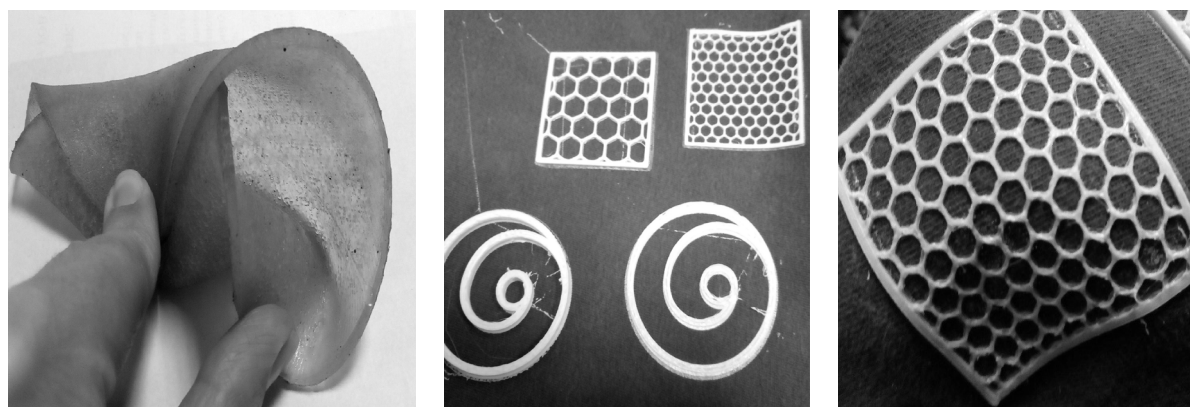
г)



д)



е)



є) ж) з)

Рис. 2. Фотографії виробів, отриманих адитивним формуванням з ПВХ пластизолу: а, б –прототипи еластичних іграшок; в, – стандартні зразки для випробування; г, д, е – м'які піни з програмованою структурою; є – еластичні килимки; ж, з – адитивне формування на тканині

Показники твердості та еластичності можна змінювати співвідношенням ПВХ і пластифікатору. Також на загальну пружність виробу впливає степінь та структура заповнення (більшість доступних заповнень мають анізотропну будову тому загальні фізико-механічні показники готового виробу теж анізотропні) (табл.3).

Масова частка пластифікатора в композиції прямо впливає на фізико-механічні властивості кінцевого виробу, збільшення масової частки пластифікатора в композиції дозволяє отримувати більш м'які вироби, але при цьому зменшується міцність на розрив, оскільки, частина полімеру в складі композиції замінюється рідким пластифікатором.

Таблиця 3

Властивості сформованих в залежності від складу композиції ПВХ

№ п/п	Властивості	Значення при вмісті пластифікатору, мас. ч.			
		150	175	200	225
1	Міцність при розриві, МПа (паралельно напрямку формування)	4,5	4,0	3,4	2,6
3	Відносне видовження при розриві, %	300	340	390	480
4	Твердість Шор А, од.	50	48	24	19
5	Густина, кг/м ³	1,18	1,16	1,17	1,16
6	ПТР, г/10 хв	50	110	246	420

В залежності від вмісту пластифікатору можна регулювати твердість сформованих виробів у монолітному стані, а шляхом застосування параметру заповнення під час розбиття на шари, можна отримувати вироби з ще більш низьким значенням твердості.

Досліджено залежність міцності при розриві для композиції з вмістом пластифікатору 150 мас. ч. від температури формування. Дані наведені в табл.4.

Таблиця 4

Властивості композиції ПВХ при різних температурах

№ п/п	Температура формування, °С	Значення міцності при розриві, МПа
1	190	4,5
2	200	5,2
3	210	5,6
4	220	5,5

При зростанні температури формування міцність при розриві зростає, але також прискорюються деструктивні процеси, тому раціонально проводити формування при нижчих температурах, оскільки ПВХ є термочутливим пластиком.

В ході проведення досліджень здійснено успішне адитивне формування композицій з наповнювачем - дрібнодисперсним карбонатом кальцію в кількості від 10 до 50 мас. ч., що свідчить про можливість формування даним методом виробів з композиційних матеріалів. Експериментально підтверджено можливість адитивного формування ПВХ пластизолу на тканину.

Можливою сферою застосування створеної технології є виготовлення ущільнень, звукоізолюючих матеріалів, поглиначів ударів та вібрацій та елементів дизайну, одягу та взуття. Дана технологія потребує подальшого дослідження у напрямку створення композитів, полімерних пін, а також модифікації складу пластизолу для досягнення вищих значень фізико-механічних властивостей.

Висновки. Створена технологія дозволяє стабільно формувати м'які та еластичні вироби з твердістю за шкалою Шор А від 5 до 90 од., котрі володіють складною просторовою конфігурацією, з рідких витратних матеріалів (пластизолів). Вироби, які можна одержати за цією технологією, за твердістю та еластичністю значно перевищують ті, які можливо одержати за технологією FFF. Устаткування для здійснення процесу формування може бути одержане шляхом адаптації обладнання для технології FFF. Програмне забезпечення для підготовчих операцій та адитивного формування ідентичне як і для технології FFF. Швидкість адитивного формування ПВХ пластизолу перевищує типові значення для технології FFF на 20-50%.

Література

1. Popescu D., Zapciu A., Amza C. G. FDM process parameters influence over the mechanical properties of polymer specimens: A review. *Polymer Testing*. 2018. 69.
2. Gibson, I; Rosen, D W; Stucker, B. *Additive Manufacturing Technologies: Rapid Prototyping to Direct Digital Manufacturing*. 2010. Boston, MA: Springer.
3. FDM (Fused Deposition Modeling)". *rpworld.net*. Archived from the original on August 12, 2013.
4. *Comprehensive Materials Processing*. 1st Edition. Editor-in-Chiefs: Saleem Hashmi:

References

1. Popescu D., Zapciu A., Amza C. G. FDM process parameters influence over the mechanical properties of polymer specimens: A review. *Polymer Testing*. 2018. 69. [in English]
2. Gibson, I; Rosen, D W; Stucker, B. *Additive Manufacturing Technologies: Rapid Prototyping to Direct Digital Manufacturing*. 2010. Boston, MA: Springer. [in English]
3. FDM (Fused Deposition Modeling)". *rpworld.net*. Archived from the original on August 12, 2013. [in English]
4. *Comprehensive Materials Processing*. 1st Edition. Editor-in-Chiefs: Saleem Hashmi: Elsevier.

- Elsevier. 2014. 5634p.
5. Sun Q., Rizvi G.M., Bellehumeur C.T., Gu P. Effect of processing conditions on the bonding quality of FDM polymer filaments. Rapid Prototyping Journal. 2008
6. Truby R.L., Lewis J.A. Printing soft matter in three dimensions. Nature. 2016. Vol/540. P.371–78.
7. Volpato, N., Kretschek, D., Foggianto, J. A., Gomez da Silva Cruz, C. M. Experimental analysis of an extrusion system for additive manufacturing based on polymer pellets. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2015. Vol. 81 (9). P.1519–1531.
8. Bellini, A. & Güçeri, S., Mechanical characterization of parts fabricated using fused deposition modeling. Rapid Prototyping Journal, 2003. Vol.9(4). P.252–264.
9. Fenollar O., García L. D., Sánchez L., López J., Balart R. Optimization of the curing conditions of PVC plastisols based on the use of an epoxidized fatty acid ester plasticizer. European Polymer Journal. 2009. Vol.45., P. 2674-2684.
10. Jaoua-Bahloul H., Varieras D., Beyou E. Solar Spectral Properties of PVC Plastisol-Based Films Filled With Various Fillers. Journal of Vinyl and Additive Technology. 2019. Vol. 25. P.188-194.
2014. 5634p. [in English]
5. Sun Q., Rizvi G.M., Bellehumeur C.T., Gu P. Effect of processing conditions on the bonding quality of FDM polymer filaments. Rapid Prototyping Journal. 2008/ [in English]
6. Truby R.L., Lewis J.A. Printing soft matter in three dimensions. Nature. 2016. Vol/540. P.371–78. [in English]
7. Volpato, N., Kretschek, D., Foggianto, J. A., Gomez da Silva Cruz, C. M. Experimental analysis of an extrusion system for additive manufacturing based on polymer pellets. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2015. Vol. 81 (9). P.1519–1531. [in English]
8. Bellini, A. & Güçeri, S., Mechanical characterization of parts fabricated using fused deposition modeling. Rapid Prototyping Journal, 2003. Vol.9(4). P.252–264. [in English]
9. Fenollar O., García L. D., Sánchez L., López J., Balart R. Optimization of the curing conditions of PVC plastisols based on the use of an epoxidized fatty acid ester plasticizer. European Polymer Journal. 2009. Vol.45., P. 2674-2684. [in English]
10. Jaoua-Bahloul H., Varieras D., Beyou E. Solar Spectral Properties of PVC Plastisol-Based Films Filled With Various Fillers. Journal of Vinyl and Additive Technology. 2019. Vol. 25. P.188-194. [in English]

SOVA NADIYA

ResearcherID: 56685569600
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3550-6135>
Department of Applied Ecology,
technology of polymers and chemical fibers
Kyiv National University of Technologies and Design

ISKANDAROV RUSLAN

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2164-0061>
Department of Applied Ecology, technology of
polymers and chemical fibers
Kyiv National University of Technologies and
Design
SAVCHENKO BOHDAN

ResearcherID: 56685269800

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8636-5734>
Department of Applied Ecology, technology of polymers and chemical fibers
Kyiv National University of Technologies and Design

**АДИТИВНОЕ ФОРМОВАНИЕ ЭЛАСТИЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ С ПВХ ПЛАСТИЗОЛЯ
САВЧЕНКО Б. М., СОВА Н. В., ДЕБЕЛЫЙ Б. С., ИСКАНДАРОВ Р. Ш.,
СЛЕПЦОВ О. О., ПОЛИЩУК Т. А.**

Киевский национальный университет технологий и дизайна

Цель. Разработка и отработка технологии аддитивного формования эластичных и мягких изделий.

Методика. Прочность при разрыве и относительное удлинение при разрыве для всех исследуемых образцов определяли по ISO 527, плотность образцов - по PN-EN ISO 1183-1, показатель текучести расплава - по ISO1133: 2005, твердость по Шору А - по ISO 868.

Результаты. Создана технология аддитивного формования мягких и эластичных изделий из жидкого расходного материала. Исходным сырьем для формирования объектов выступает жидкая композиция ПВХ, способна превращаться из жидкого состояния пластизоля в эластичный пластикат. Созданная технология позволяет создавать изделия сложной геометрической формы с твердостью по шкале Шор от 5 до 90 ед. Разработанная технология позволяет создавать изделия из композитных материалов и пен на основе ПВХ и может быть реализована на оборудовании для технологии FFF. Состав композиции позволяет регулировать жесткость и эластичность получаемых изделий в широких пределах, добавление пигментов и красителей позволяет получать изделия, различной цветовой гаммы. Разработанная технология обладает более высокой скоростью формирования, чем технология FFF. Возможной областью применения созданной технологии является изготовление уплотнений, звукоизолирующих материалов, поглотителей ударов и вибраций, элементов дизайна и одежды, обуви. Экспериментально подтверждена возможность аддитивного формования ПВХ пластизоля на тканевую подкладку.

Научная новизна. Исследованы особенности формования и свойства изделий, полученных методом аддитивного формования жидкого ПВХ пластизоля. Формование изделия происходит через процесс одновременного преобразования пластизоля в расплавленный пластикат в экструдере.

Практическая значимость. Разработан метод аддитивного формирования изделий из жидкого пластизоля, что позволяет получать изделия с низкой твердостью и высокой эластичностью. Разработанная технология позволяет формировать изделия из композиционных материалов и пен с модернизацией доступного оборудования.

Ключевые слова: ПВХ, пластизоль, пластикат, аддитивное формование, мягкие и эластичные изделия.

THE ADDITIVE MANUFACTURING OF ELASTIC PRODUCTS FROM PVC PLASTISOL

SAVCHENKO B. M., SOVA N. V., DEBELIY B. S., ISKANDAROV R. Sh.,
SLIPTSOV A. A., POLISCHUK T. A.

Kyiv National University of Technologies and Design

Purpose. Development and testing of the technology of additive formation of elastic and soft products.

Methodology. The tensile strength and elongation at break for all the studied samples were determined according to ISO 527, the density of the samples according to PN-EN ISO 1183-1, the melt flow rate according to ISO 1133: 2005, the Shore A hardness according to ISO 868.

Findings. The technology of additive manufacturing of soft and elastic products from liquid consumables has been created. The initial raw material for the formation of objects is the liquid composition of PVC, which can be transformed from the liquid state of plastisol to elastic plastic part or article. The created technology allows to create products of complex geometric shape with a hardness on the Shore scale of 5 to 90 units. The developed technology allows to create products from composite materials and foam based on PVC and can be implemented on equipment for FFF technology. The composition of the plastisol allows to adjust the hardness and elasticity of the products obtained over a wide range, the addition of pigments and dyes allows reach different colors. The developed technology has a higher forming speed rate than the FFF technology. A possible field of application is the manufacture of seals, soundproof materials, shock and vibration absorbers, design elements of clothing and shoes. The possibility of additive manufacturing of PVC plastisol on a fabric has been experimentally confirmed.

Originality. The new features of the addition manufacturing of liquid PVC plastisol and properties of products obtained by the method are investigated. Product formation takes place through the process of simultaneously converting plastisol to molten plastic compound in an extruder.

Practical value. The method of additive manufacturing of products from liquid plastisol is developed, which allows to obtain products with low hardness and high elasticity. The developed technology allows the formation of products from composite materials and foams with the modernization of widely available equipment.

Key words: PVC, plastisol, liquid plastic compound, additive manufacturing, soft and elastic articles.

УДК 678.61;
678.027.7

КАБАТ О. С., КАРПЕНКО В. А., БАБЕНКО В. Г.
ДВНЗ Український державний хіміко-технологічний університет

ВПЛИВ МЕТОДІВ ОТРИМАННЯ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИЦІЙ НА ОСНОВІ ТЕРМОСТІЙКИХ ПОЛІМЕРІВ НА ЯКІСТЬ СУМІЩЕННЯ ЇХ ВИХІДНИХ КОМПОНЕНТІВ

Мета. Дослідити вплив методів отримання полімерних композицій на основі термостійких полімерів (ароматичний поліамід, фторполімер та фенольна смола) та дисперсного діоксиду кремнію на якість їх суміщення.

Методика. В роботі були проведені дослідження по визначенню якості суміщення вихідних компонентів полімерних композицій в залежності від методу їх отримання. Оцінювання цього параметру проводили за рівномірністю розподілення наповнювача у полімерній композиції за допомогою термічного методу та мікроскопії. Отримані данні були оброблені методами математичної статистики та представлені у вигляді графічних та математичних залежностей.

Результати. Для досліджених полімерних композицій, отриманих методом механічного суміщення підібраний оптимальний час перемішування вихідних компонентів в залежності від вмісту полімеру та наповнювача. По результатах досліджень отримані математичні залежності, які описують вплив вмісту вихідних компонентів полімерних композицій на час їх перемішування. Для досліджених композицій, отриманих за фізико-хімічним (*in situ*) методом визначена якість суміщення їх вихідних компонентів в залежності від вмісту у суміші.

Наукова новизна. Встановлені закономірності впливу методу отримання полімерних композицій на основі термостійких полімерів на якість суміщення їх вихідних компонентів.

Практична значимість. Визначено оптимальні технологічні параметри суміщення та встановлений оптимальний метод суміщення вихідних компонентів полімерних композицій на основі термостійких полімерів (ароматичний поліамід, фторопласт, фенольна смола) для виготовлення деталей машин і механізмів, які працюють при високому рівні навантажень, швидкостей ковзання і температур.

Ключові слова: термостійкий полімер, силікагель, метод суміщення, якість розподілення, коефіцієнт неоднорідності.

Вступ. Сучасний розвиток наукоємної техніки неможливий без використання деталей з полімерів з високим рівнем термостійкості і полімерних композиційних матеріалів (ПКМ) на їх основі, які відрізняються високим рівнем міцнісних характеристик, можуть працювати при відносно високих температурах (до 350°C) зберігаючи при цьому необхідний рівень надійності та довговічності [1-3].

До найбільш розповсюджених термостійких полімерів відносяться: ароматичні поліаміди, фторполімери і фенопласти [4,5]. Данні матеріали мають високий рівень фізико-механічних властивостей (напруження при межі текучості і модуль пружності їх при стисканні досягають відповідно 260 і 4000 МПа, твердість - 280 МПа, ударна в'язкість - 60 кДж/м²) і теплофізичних властивостей (термостійкість та теплостійкість досягають 400 та 300°C відповідно). Для направленою регулювання їх властивостей дані полімерні матриці наповнюють дисперсними матеріалами [6,7]. Одним із найбільш перспективних наповнювачів для полімерних матеріалів спеціального призначення є діоксид кремнію [8]. Цей матеріал завдяки розвиненій поверхні та активним силанольним групам на ній здатен до фізичної та хімічної взаємодії з полімерною матрицею при їх сумісній переробці у виробі. Діоксид кремнію є недефіцитним, широко розповсюдженим в природі матеріалом, який має невисоку

собівартість і завдяки цьому не тільки сприяє підсиленню термостійких полімерних матриці, а і значно здешевлює їх [9,10].

У вихідному вигляді досліджені (ароматичний поліамід, фторполімер, фенольна смола) являють собою дисперсні матеріали з основним розміром частинок $10\div 60$ мкм. Для створення полімерних композиції їх суміщають з дисперсним наповнювачем (діоксидом кремнію) механічним (за допомогою механічних перемішуючих пристроїв) і фізико-хімічним (за допомогою *in situ* суміщення) методом. Ця операція є однією з основних при отриманні виробів із ПКМ, тому що від якості суміщення вихідних компонентів композиції залежить рівень їх властивостей [11]. Відомо, що однією з основних характеристик, які визначають якість суміщення вихідних компонентів полімерних композицій є їх рівномірність розподілу. Тому актуальною задачею є визначення впливу основних технологічних параметрів суміщення та методів суміщення вихідних компонентів ПКМ на їх рівномірність розподілу.

Постановка завдання. Мета роботи – дослідження впливу основних технологічних параметрів суміщення та методів суміщення вихідних компонентів полімерних композиційних матеріалів на основі термостійких полімерів, які наповнені дисперсним діоксидом кремнію на якість суміщення їх вихідних компонентів.

Об’єкти досліджень. В якості об’єктів досліджень були вибрані термостійкі полімери на основі ароматичного поліаміду, фторполімеру та фенольної смоли, які наповнені дрібнодисперсним наповнювачем на основі діоксида кремнію силікагелю.

Ароматичний поліамід марки фенілон С1 (ТУ 6-05-221-101-71) являє собою дрібнодисперсний прес-порошок рожево-білого кольору з насипною щільністю $0,2-0,4$ г/см³ та основним розміром частинок 40-60 мкм. Фторполімер марки фторопласт-4 (ГОСТ 10007-80) являє собою прес-порошок біло-голубого кольору з насипною щільністю $0,35-0,45$ г/см³. Фенольна смола на основі дифенілолсульфонформальдегідного олігомерного продукту (даний продукт синтезовано на кафедрі технології природних і синтетичних полімерів, жирів та харчової продукції ДВНЗ Українського державного хіміко-технологічного університету) являє собою прес-порошок рожевого кольору з основним розміром частинок 20-50 мкм.

В якості дрібнодисперсного наповнювача було вибрано аморфний діоксид кремнію – силікагель, який отримували осадженням з воднево-лужного розчину метасилікату натрію. Даний наповнювач має добре розвинену поверхню з середнім розміром частинок 5-10 мкм.

Методи досліджень. Рівномірність розподілення наповнювача в полімерній композиції оцінювали за рахунок знаходження коефіцієнта неоднорідності (V_C) [11].

$$V_C = \frac{100}{H} \times \sqrt{\frac{[\sum_{i=1}^n (c_i - H)^2]}{n - 1}} \quad (1)$$

де c_i – вміст наповнювача у полімерній композиції, %;

H – вміст наповнювача при ідеальному розподіленні, %;

n – загальна кількість проб полімерної композиції.

При ідеальному розподілу вихідних компонентів полімерної композиції коефіцієнт V_C дорівнює нулю. Тобто чим менші значення коефіцієнту неоднорідності тим краще розподіл наповнювача у полімерній композиції [11,12].

Вміст неорганічного наповнювача у полімерній композиції визначали за допомогою термічного методу (термічного прожарювання), який дозволяє це зробити за рахунок видалення з полімерної композиції органічного компоненту (полімеру) при дії визначеної температури. В результаті проведення термогравіметричного аналізу було встановлено, що вибрані нами полімерні матриці повністю (на 100%) розкладаються при температурах 800-950°C. Тому термічне прожарювання полімерних композицій проводили при температурі 1000°C. Неорганічний наповнювач силікагель при даній температурі не розкладається зберігаючи постійну масу до та після дослідження.

Методи отримання полімерних композицій. Полімерні композиції на основі ароматичного поліаміду, фторполімеру та фенольної смоли, наповнені дисперсним силікагелем отримували за допомогою механічного та фізико-хімічного (in situ) методів суміщення. Механічний метод суміщення вихідних компонентів полімерних композицій полягає у їх перемішуванні у змішувачі з механічною швидкохідною мішалкою. Фізико-хімічний (in situ) метод суміщення вихідних компонентів полімерних композицій полягає у їх отриманні на стадії синтезу наповнювача за рахунок введення дисперсного полімеру у реакційне середовище при синтезі силікагелю із водного розчину метасилікату натрію.

Результати досліджень. При механічному суміщенні вихідних компонентів полімерної композиції основний вплив на рівномірність їх розподілу надає ефективність перемішуючого пристрою (яка характеризує якість проведення процесу перемішування) та інтенсивність перемішування (визначається часом необхідним для якісного перемішування) [13].

До найбільш ефективних змішувачів для суміщенні досліджених дисперсних матеріалів відносяться апарати із швидкохідними механічними мішалками із складною формою лопатей [12]. Мішалки даного типу відрізняються високою ефективністю при перемішуванні дисперсних матеріалів розмірами 10-100 мкм за короткий термін часу.

Інтенсивність перемішування на механічних мішалках визначається часом перемішування, який є основним технологічним параметром при проведенні процесу суміщення вихідних компонентів полімерних композицій.

Оптимальний час перемішування досліджених полімерних композицій на даних мішалках визначався відповідно до значень їх коефіцієнтів неоднорідності. На рисунку 1 показані результати цих досліджень.

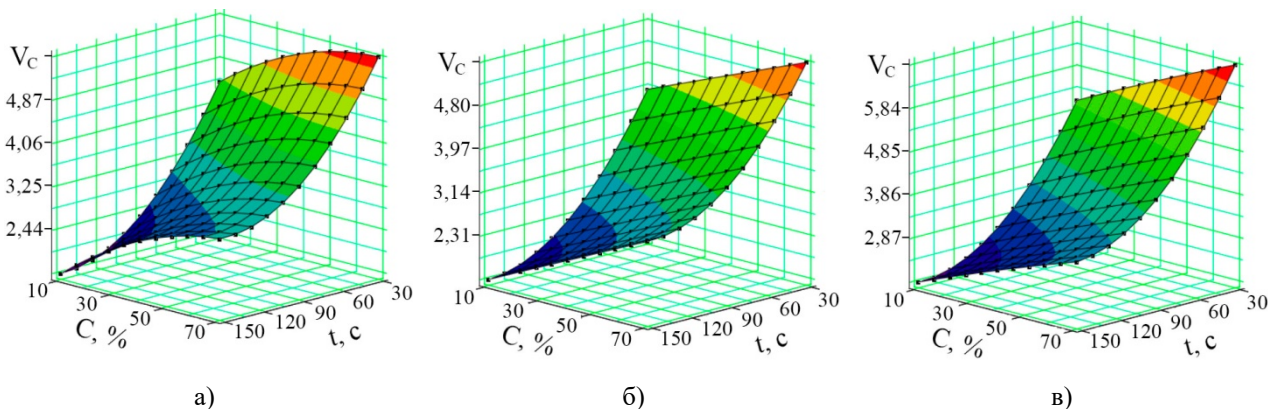


Рис. 1. Залежності коефіцієнта неоднорідності (V_c) полімерних композицій, отриманих механічним суміщенням вихідних компонентів від часу перемішування (t) та вмісту (C) силікагелю у композиції на основі (а) ароматичного поліаміду, (б) фторопласту і (с) фенольної смоли

Виходячи із проведених досліджень можна побачити, що для всіх досліджених матеріалів із збільшенням часу перемішування з 0 до 150 секунд відбувається зменшення коефіцієнта неоднорідності, що свідчить про суттєве підвищення якості перемішування полімерних композицій. Слід відмітити, що для всіх досліджених композицій у початковий період часу з 0 до 90 секунд відбувається різке зменшення коефіцієнту неоднорідності, що свідчить про високу інтенсивність процесу перемішування в цей період. В заключний період часу з 90 по 150 секунд, спостерігається його стабілізація, що свідчить про досягнення максимально можливої якості перемішування досліджених полімерних композицій на використаній лабораторній мішалці. Подальше збільшення часу перемішування (більше 150 секунд) не буде надавати суттєвий вплив на значення коефіцієнту неоднорідності, тобто продовження процесу перемішування довше ніж визначений час не дозволяє значно покращити якість розподілення наповнювачів у полімерах і не є недоцільним.

Слід відмітити, що для всіх досліджених полімерних композицій спостерігається досить висока якість перемішування. Так при концентраціях наповнювача до 40% для полімерних композицій на основі ароматичного поліаміду, фторопласту та фенольної смоли коефіцієнт неоднорідності складає від 2 до 4,5, що відповідає добрій якості змішування. При підвищенні вмісту наповнювача до 80% коефіцієнт неоднорідності для всіх полімерних композицій збільшується до 5-6.

Відповідно до проведених досліджень можна зробити висновок, що оптимальний час змішування для отримання полімерних композицій на основі ароматичного поліаміду, фторопласту та фенольної смоли з силікагелем в залежності від вмісту наповнювача у полімері складає від 90 до 150 секунд. При менших значеннях часу перемішування якість розподілення наповнювача у полімері не є високою, а при більших значеннях часу перемішування вона практично не зростає, що свідчить про досягнення максимально можливої якості перемішування компонентів досліджених полімерних композицій на використаній лабораторній мішалці.

По результатах досліджень були отримані математичні залежності [14], які описують вплив часу перемішування та концентрації наповнювача у полімерній композиції на основі ароматичного поліаміду (1), фторопласту (2) та фенольної смоли (3) на коефіцієнт неоднорідності полімерних композицій.

$$V_C = 1,988 \times 10^{-4} \cdot t^2 - 3,172 \times 10^{-4} \cdot C^2 + 2,564 \times 10^{-5} \cdot t \cdot C - 0,06 \cdot t + 0,045 \cdot C + 5,631 \quad (1)$$

$$V_C = 1,896 \times 10^{-4} \cdot t^2 - 2,589 \times 10^{-6} \cdot C^2 + 2,95 \times 10^{-5} \cdot t \cdot C - 0,058 \cdot t + 0,021 \cdot C + 5,683 \quad (2)$$

$$V_C = 2,303 \times 10^{-4} \cdot t^2 - 4,112 \times 10^{-5} \cdot C^2 - 4,86 \times 10^{-5} \cdot t \cdot C - 0,068 \cdot t + 0,034 \cdot C + 6,586 \quad (3)$$

Отримані формули значно спрощують процес вибору оптимального часу перемішування досліджених полімерних композицій відповідно до значень їх коефіцієнтів неоднорідності.

При фізико-хімічному (*in situ*) суміщенні вихідних компонентів полімерних композицій виключається операція їх механічного перемішування [15]. І тому якість їх розподілення не залежить від часу перемішування і визначається фізико-хімічними процесами, які проходять при суміщенні вихідних компонентів композицій. Розраховується вона також відповідно до

значень коефіцієнта неоднорідності полімерної композиції. Результати експериментальних досліджень по знаходженню коефіцієнтів неоднорідності полімерних композицій в залежності від вмісту наповнювача представлені на рисунку 2.

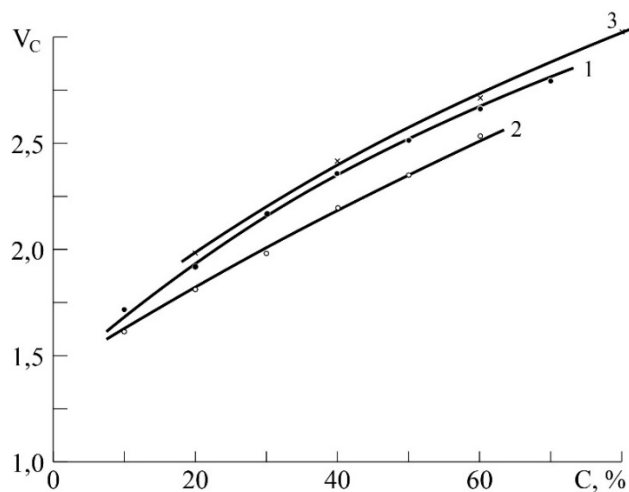


Рис. 2. Залежності коефіцієнта неоднорідності (V_c) полімерних композицій, отриманих фізико-хімічним (*in situ*) суміщенням вихідних компонентів від вмісту (C) силікагелю у композиції на основі (1) ароматичного поліаміду, (2) фторопласту і (3) фенольної смоли

Відповідно до отриманих залежностей встановлено, що із збільшенням вмісту наповнювача коефіцієнт неоднорідності полімерних композицій збільшується. Причому його значення не перевищують 3,0. Це значення відповідає добрій якості змішування вихідних компонентів полімерних композицій.

При порівнянні коефіцієнтів неоднорідності полімерних композицій, які отримані за допомогою механічного та фізико-хімічного суміщення встановлено, що останні мають у 1,5-2 рази менші значення цього параметру. Це є свідченням більш якісного розподілення вихідних компонентів полімерних композицій.

Відповідно до отриманих результатів можна зробити висновок, що використання як механічного так і фізико-хімічного методу суміщення вихідних компонентів досліджених полімерних композицій дозволяють отримувати досить високу якість розподілення наповнювача у полімерних композиціях. Це додатково підтверджується їх мікрометричними знімками (рисунком 3).

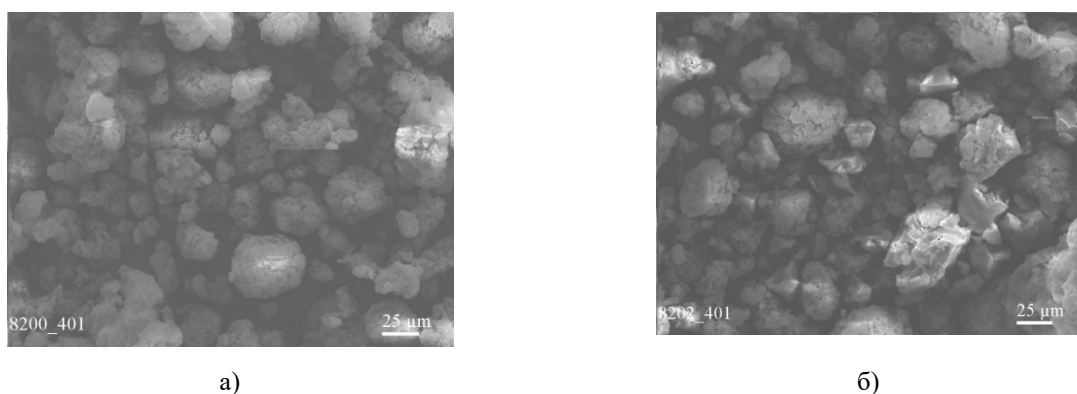


Рис. 3. Мікрометричні знімки (а) вихідного ароматичного поліаміду та (б) полімерної композиції на основі ароматичного поліаміду і силікагелю, отриманою за фізико-хімічним методом (*in situ*) суміщення

Виходячи з мікрометричних знімків можна зробити висновок про високу рівномірність розподілення наповнювача у полімерних композиціях, що дозволяє використовувати методи механічного та фізико-хімічного (in situ) суміщення їх вихідних компонентів для створення полімерних композицій на основі термостійких полімерів.

Висновок. В результаті проведення досліджень виявлено вплив методів суміщення ароматичного поліаміду, фторопласту, фенольної смоли із силікагелем на якість їх розподілення у полімерній композиції. Для механічного методу суміщення встановлено оптимальний час (від 90 до 150 секунд в залежності від складу композицій), необхідний для отримання якісної суміші полімеру і наповнювача та виведені математичні залежності, які описують вплив часу перемішування та концентрації наповнювача на коефіцієнт неоднорідності полімерної композиції. Встановлено, що якість розподілення вихідних компонентів у досліджених полімерних композиціях отриманих фізико-хімічним (in situ) методом суміщення у 1,5-2 рази краща ніж механічним.

Література

1. Potapov A. M. Development and prospects of the application of syntactic foam plastics as heat-shielding materials in space-rocket technologies / A. M. Potapov, A. N. Simbirskina, O. V. Chervakov, V.M. Kisel // *Materials Science*. – 2016. – № 52 (1). – С. 1-8. DOI: 10.1007/s11003-016-9919-z
2. Кабат О. С. Полімерні композиційні матеріали для вузлів тертя космічної та авіаційної техніки / О. С. Кабат, В. І. Ситар, Д. В. Єрмаченко, С. О. Давидов, К. В. Геті // Системне проектування та аналіз характеристик аерокосмічної техніки: збірник наукових праць Дніпровського національного університету ім. О. Гончара. – 2017. – № 23. – С. 40-48.
3. Chiechi R.C. Modern plastic solar cells: materials, mechanisms and modeling / R.C. Chiechi, R.W.A. Havenith, J. C. Hummelen and oth. // *Materials Today*. – 2013. – № 16. – С. 281-289. <https://doi.org/10.1016/j.mattod.2013.07.003>
4. Михайлин Ю. А. Термоустойчивые полимеры и полимерные материалы. – СПб.: Профессия, 2006. – 624 с.
5. Бюллер К.-У. Тепло- и термостойкие полимеры. – М.: Химия, 1984. - 1056 с.
6. Kabat, O. Antifrictional polymer composites based on aromatic polyamide and carbon black / O. Kabat, V. Sytar, K. Sukhyu // *Chemistry & chemical technology*. – 2018. – № 12 (3). – С. 326-330. <https://doi.org/10.23939/chcht12.03.326>
7. Kabat O.S. Polymer composite materials with a high level of thermal stability based on phenolic resins and disperse silica fillers / O.S. Kabat, Y.M. Kobelchuk, D.O. Chervakov, O.V. Chervakov //

References

1. Potapov, A. M., Simbirskina, A. N., Chervakov, O. V., Kisel, V.M. (2016). Development and prospects of the application of syntactic foam plastics as heat-shielding materials in space-rocket technologies. *Materials Science*, 52, 1, 1-8 [in English]. DOI: 10.1007/s11003-016-9919-z
2. Kabat, O. S. Sytar, V. I. Yermachenok, D. V. Davydov, S. O. Heti K. V. (2017). Polimerni kompozytsiini materialy dlia vuzliv tertia kosmichnoi ta aviatsiinoi tekhniki [Polymer composites for friction units of space and aviation technology]. Systemne proektuvannia ta analiz kharakterystyk aerokosmichnoi tekhniki: zbirnyk naukovykh prats Dniprovskoho natsionalnogo universytetu im. O. Honchara. – System design and analysis of aerospace engineering characteristics: a collection of scientific works of Oles Honchar Dnipro National University, 23, 40-48 [in Ukrainian].
3. Chiechi, R.C. Havenith, R.W.A. Hummelen J. C. and oth. (2013). Modern plastic solar cells: materials, mechanisms and modeling. *Materials Today*, 16, 281-289 [in English]. <https://doi.org/10.1016/j.mattod.2013.07.003>
4. Mykhailyn, Yu. A. (2006). Termoustoychivyye polimery i polimernyye materialy [Heat Resistant Polymers and Polymer Materials]. SpB [in Russian].
5. Byuller K.-U. (1984). Teplo- i termostoykie polimery [Heat and heat resistant polymers]. M [in Russian].
6. Kabat, O., Sytar, V., Sukhyu, K. (2018). Antifrictional polymer composites based on aromatic polyamide and carbon black. *Chemistry & chemical technology*, 12, 3, 326-330 [in English]. <https://doi.org/10.23939/chcht12.03.326>
7. Kabat, O.S., Kobelchuk, Y.M., Chervakov, D.O., Chervakov, O.V. (2018). Polymer composite materials with a high level of thermal stability based on phenolic

- Наука, Технології, Інновації. – 2018. – № 2 (6). – С. 48-53.
8. Айлер Р. Химия кремнезема. – М.: Мир, 1982. – 1127 с.
9. Kabat O.S. Fillers on the silica base for polymer composites of constructional purpose / O. S. Kabat, K. V. Heti., I. L. Kovalenko, A. M. Dudka // Journal of chemistry and technologies. – 2019. – № 27 (2). – С. 247-254. <https://doi.org/10.15421/08192702>
10. Jeelani, P. Gh. Multifaceted application of silica nanoparticles. A review / P. Gh. Jeelani, P. Mulay, R. Venkat, C. Ramalingam // Silicon. – 2019. – № 12. – Р. 1–18. DOI: 10.1007/s12633-019-00229-y
11. Богданов В.В. Методы исследования технологических свойств пластмасс. – Л.: Из-во Ленинградского ун-та, 1978. – 176 с.
12. Рябинин Д.Д. Смесительные машины для пластмасс и резиновых смесей / Д.Д. Рябинин, Ю.Е. Лукач. – М.: Машиностроение, 1972. – 272 с.
13. Стренк Ф. Перемешивание и аппараты с мешалками. – Л.: Химия, 1975. – 384 с.
14. Ситар В.І. Побудова елементів САПР при моделюванні та проектуванні обладнання хімічної промисловості за допомогою пакета Mathcad / В.І. Ситар, М.В. Бурмістр, І.М. Кузяев. – Дніпропетровськ: УДХТУ, 2004. – 317 с.
15. Кабат О.С. Полимерные композиционные материалы на основе фторопласта и метод их получения / О.С. Кабат, Б.Г. Харченко, А.Д. Деркач, В.В. Артемчук, В.Г. Бабенко // Вопросы химии и химической технологии. – 2019. – № 3. – С. 116-122. <http://dx.doi.org/10.32434/0321-4095-2019-124-3-116-122>
- resins and disperse silica fillers. *Наука, Технології, Інновації*, 2, 6, 48-53 [in English].
8. Ayler R (1982). *Himiya kremnezema [Silica Chemistry]*. M [in Russian].
9. Kabat, O. S., Heti., K. V., Kovalenko, I. L., Dudka, A. M. (2019). Fillers on the silica base for polymer composites of constructional purpose. *Journal of chemistry and technologies*, 27, 2, 247-254 [in English]. <https://doi.org/10.15421/08192702>
10. Jeelani, P. Gh., Mulay, P., Venkat, R., Ramalingam, C. (2019). Multifaceted application of silica nanoparticles. A review. *Silicon*, 12, 1-18 [in English]. DOI: 10.1007/s12633-019-00229-y
11. Bogdanov V.V. (1978). *Metodyi issledovaniya tehnologicheskikh svoystv plastmass [Research methods for the technological properties of plastics]*. L [in Russian].
12. Ryabinin D.D., Lukach Yu.E. (1972). *Smesitelnyie mashinyi dlya plastmass i rezinovyih smesey [Mixing machines for plastics and rubber compounds]*. M [in Russian].
13. Strenk F. (1975). *Peremeshivanie i apparaty s meshalkami [Mixing and stirrers]*. L [in Russian].
14. Sitar V.I., Burmlstr M.V., Kuzyaev I.M. (2004). *Pobudova elementiv SAPR pry modeliuvanni ta proektuvanni obladnannia khimichnoi promyslovosti za dopomohoiu paketa Mathcad [Construction of CAD elements in modeling and designing of chemical industry equipment using Mathcad package]*. D [in Ukrainian].
15. Kabat, O.S., Harchenko, B.G., Derkach, A.D., Artemchuk, V.V., Babenko, V.G. (2019). *Polimernye kompozitsionnyie materialyi na osnove fluoroplasta i metod ih polucheniya [Polymeric composite materials based on fluoroplast and method for their preparation]*. *Voprosyi himii i himicheskoy tehnologii – Issues of chemistry and chemical technology*, 3, 116-122 <http://dx.doi.org/10.32434/0321-4095-2019-124-3-116-122> [in Russian].

KABAT OLEG

e-mail: Amber_UDHTU@i.ua

Scopus Author ID: 6505641073

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7995-5333>

Department of Innovation Engineering of the
Ukrainian State University of Chemical Technology

BABENKO VASIL

Google Scholar: <https://scholar.google.com.ua/citations?user=UJem2cwAAAAJ&hl=uk>

<https://scholar.google.com.ua/citations?user=UJem2cwAAAAJ&hl=uk>

Department of materials science of the
Ukrainian State University of Chemical Technology

KARPENKO VERONIKA

e-mail: dk2000792@gmail.com

Google Scholar: <https://scholar.google.com.ua/citations?hl=uk&user=9nwaIg8AAAAJ>

Department of materials science of the
Ukrainian State University of Chemical Technology

ВЛИЯНИЕ МЕТОДОВ ПОЛУЧЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ ТЕРМОСТОЙКИХ ПОЛИМЕРОВ НА КАЧЕСТВО СОВМЕЩЕНИЯ ИХ ИСХОДНЫХ КОМПОНЕНТОВ

КАБАТ О. С., КАРПЕНКО В. А., БАБЕНКО В. Г.

ГВУЗ Украинский государственный химико-технологический университет

Цель. Исследовать влияние методов получения полимерных композиций на основе термостойких полимеров (ароматический полиамид, фторполимер и фенольная смола) и дисперсного диоксида кремния на качество их совмещения.

Методика. В работе были проведены исследования по нахождению качества совмещения исходных компонентов полимерных композиций в зависимости от метода их получения. Оценивание этого параметра проводили по равномерности распределения наполнителя в полимерной композиции при помощи термического метода и микроскопии. Полученные данные были обработаны методами математической статистики и представлены в виде графических и математических зависимостей.

Результаты. Для исследованных полимерных композиций, полученных методом механического совмещения подобрано оптимальное время перемешивания исходных компонентов в зависимости от содержания полимера и наполнителя. По результатам исследований получены математические зависимости, которые описывают влияние содержания исходных компонентов полимерной композиции на время их перемешивания. Для исследованных композиций, полученных физико-химическим (*in situ*) методом определено качество совмещения их исходных компонентов в зависимости от содержания в смеси.

Научная новизна. Установлены закономерности влияния метода получения полимерных композиций на основе термостойких полимеров на качество совмещения их исходных компонентов.

Практическая значимость. Найдены оптимальные технологические параметры совмещения и установлен оптимальный метод совмещения исходных компонентов полимерных композиций на основе термостойких полимеров (ароматический полиамид, фторопласт, фенольная смола) для изготовления деталей машин и механизмов, работающих при высоком уровне нагрузок, скоростей скольжения и температур.

Ключевые слова: термостойкий полимер, силикагель, метод совмещения, качество распределения, коэффициент неоднородности.

INFLUENCE OF METHODS OBTAINING POLYMER COMPOSITIONS BASED ON THERMOSTABLE POLYMERS ON QUALITY COMPOUNDING THEIR INITIAL COMPONENTS

KABAT O., KARPENKO V., BABENKO V.

Ukrainian State University of Chemical Technology

Purpose. Investigation influence of methods obtaining polymer compositions based on thermostable polymers (aromatic polyamide, fluoropolymer and phenoplast) and dispersed silica on quality of their compound.

Methodology. It had been investigated quality of compound of initial components of polymer compositions based on thermostable polymers according to methods of obtaining it. This parameter had been estimate by uniform distributions of fillers in polymer compositions with help thermal method and microscopy. Investigation data's had been process with help of methods of mathematical statistics. They are represented in the form of graphical and mathematical dependencies.

Findings. It had been founded optimal time of mixing initial components of polymer compositions made by mechanical methods of compounding. It had been established that mixing time depend on concentration of dispersed filler in polymers. Based of result of investigations had been obtained mathematical dependences, that describe influence of concentration of initial components in polymer compositions on their mixing time. It had been founded quality of distribution of initial component of compositions made by physicochemical (*in situ*) method. It had been established influence of concentration of initial components in polymer compositions on quality of their distribution.

Originality. It had been established regularity of dependence of methods of obtaining polymer composition based on thermostable polymers on quality of compound their initial components.

Practical value. It had been founded optimal technological parameters of compound the initial components of thermostable polymer compositions. And it had been founded optimal methods of their obtaining.

Keywords: thermostable polymers, silica gel, compounding methods, distribution quality, heterogeneity coefficient.

<https://doi.org/DOI:10.30857/1813-6796.2020.1.10>

УДК 677.047.41-42

ПЛАВАН В. П., ТКАЧЕНКО І. М., ЛЯШОК І. О., СТУПА В. І.
Київський національний університет технологій та дизайну

ЕКОЛОГІЧНО-БЕЗПЕЧНА ТЕХНОЛОГІЯ ОЗДОБЛЕННЯ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ЕКСТРАКТУ ЧАШОЛИСТОК ПОЛУНИЦІ

Мета. Метою наукової роботи є розробка екологічно-безпечної технології оздоблення текстильних матеріалів з використанням екстракту чашолісток полуниці та визначення впливу протрави солями різних металів на якість забарвлення.

Методика. Технологічні параметри процесу фарбування екстрактом чашолісток полуниці визначали для лляного, бавовняного, віскозного та вовняного текстильних матеріалів з використанням попередньої обробки солями металів Cu^{2+} , Zn^{2+} , Ni^{2+} , Fe^{3+} , Al^{3+} та без неї. Для оцінки якості забарвлення визначали колірні характеристики досліджуваних зразків з використанням програмного забезпечення Adobe Photoshop CS6. Стійкість забарвлення текстильних матеріалів до фізико-хімічних впливів визначали стандартними методами текстильного матеріалознавства.

Результати. Розроблено екологічно-безпечну технологію оздоблення целюлозних та вовняних текстильних матеріалів з використанням екстракту чашолісток полуниці. Фарбування текстильних матеріалів з целюлозних волокон дозволило отримати забарвлення від світло- до темно-коричневого кольору. Найяскравішими при фарбуванні виявилися зразки на основі вовняних волокон. В залежності від виду протрави, отримані наступні кольори: катіон Cu^{2+} дав можливість отримати зелено-коричневий, катіони Al^{3+} , Zn^{2+} , Ni^{2+} надали кольору жовто-коричневих відтінків; катіон Fe^{3+} дав кольори у чорно-коричневій гаммі. Загалом, міцність забарвлення до сухого тертя для текстильних матеріалів після фарбування екстрактом чашолісток полуниці максимальна для всіх зразків, крім бавовняного та лляного матеріалів попередньо оброблених катіонами заліза. Стійкість до мокрого тертя зразків з вовняних волокон склала 4-5 балів, а для зразків з целюлозних волокон децю гірша – в межах 3 балів. Міцність забарвлення до дії поту в бавовняному, лляному, віскозному та вовняному зразках складає від 4 до 5 балів. Стійкість до дії мильно-содового розчину для зразків з целюлозних волокон становить переважно 4-5 балів, а для вовняних – 4 бали.

Наукова новизна роботи полягає у визначенні основних закономірностей процесу фарбування з використанням як барвника екстракту чашолісток полуниці, що є відходом харчової промисловості, після попередньої обробки солями металів Cu^{2+} , Zn^{2+} , Ni^{2+} , Fe^{3+} , Al^{3+} .

Практичне значення. Розроблено технологічні параметри процесу фарбування екстрактом чашолісток полуниці лляного, бавовняного, віскозного та вовняного текстильних матеріалів з використанням попередньої обробки солями металів Cu^{2+} , Zn^{2+} , Ni^{2+} , Fe^{3+} , Al^{3+} .

Ключові слова: екстракт чашолісток полуниці, текстильні матеріали, фарбування, протравлення, солі металів, стійкість забарвлення.

Вступ. Природні барвники – це органічні сполуки, які дарує нам сама природа. На відміну від синтетичних, вони екологічно безпечні, дозволяють отримати природні кольори, здатні повністю біологічно розкладатися, а відходи виробництва можна використовувати в якості добрив у сільському господарстві. Розширення асортименту барвників за рахунок сировини рослинного походження є актуальним питанням сьогодення.

Фарбування текстильних матеріалів є невід'ємною частиною опоряджувального виробництва [1]. В процесі фарбування матеріал набуває естетичного вигляду, а різні колористичні ефекти розширюють асортимент виробів. Сучасна технологія надання кольору текстильним матеріалам повинна забезпечувати якість продукції (колірні характеристики і стійкість забарвлення); економічність; розширення та удосконалення асортименту барвників; екологічність виробів.

Багатий рослинний світ України дає можливість отримувати велику кількість натуральних барвників для різних галузей економіки [2]. Натуральні барвники екологічно безпечні, не шкідливі для організму людини, оскільки часто є складовою продуктів харчування. Вони дають багато кольорів і відтінків, які можна змінювати із застосуванням додаткової обробки солями металів – протрави. Катіони металів утворюють з молекулами барвника стійкі комплекси, що сприяє поглибленню або зміні кольору.

Протрави не тільки надають барвнику спорідненість до волокна, але в багатьох випадках вони дають різні кольори і покращують стійкість забарвлення. Є багато рослин, які можуть надавати яскравий колір, який легко вицвітає, що можна виправити за допомогою протрави. Застосовуються кілька різних методів нанесення протрави: перед фарбуванням; після фарбування; застосування протрави разом із фарбуванням; застосування протрави як до так і після фарбування [3]. Різні природні барвники, наприклад, екстракти кампешевого дерева, марени, забарвлюють шерсть за допомогою протрави, зокрема солей алюмінію, хрому, заліза та олова в яскраві кольори, причому краща фіксація барвника забезпечується лише з попередньою протравою [4].

Відомі результати досліджень процесу фарбування екстрактами кори яблуні дички, коренів марени фарбувальної з використанням солей алюмінію і міді для протрави. Фарбування целюлозних волокон екстрактом кори яблуні лісової надає бежево-золотисті забарвлення різної інтенсивності. Отримати червоно-рожево-фіолетові забарвлення можливо у разі фарбування цих матеріалів екстрактом кореня марени фарбувальної, а застосування протрави солями міді і алюмінію після процесу фарбування розширює і збагачує колірну гаму цих забарвлень [5].

Значно підвищити фарбувальну здатність рослин дозволяє інтенсивне рослинництво (селекція, схрещування, генна інженерія) [6]. Багато барвників отримують із відходів різних галузей промисловості (харчової, деревообробної, фармацевтичної, лісового господарства).

Постановка завдання. Метою наукової роботи є розробка технології фарбування текстильних матеріалів чашолистками полуниці та визначення впливу попередньої обробки солями металів на якість забарвлення.

Методологія досліджень. Для досягнення зазначеної мети поставлено і вирішено такі завдання: аналіз сучасного стану промисловості в галузі фарбування текстильних матеріалів; розробка технології фарбування чашолистками полуниці лляного, бавовняного, віскозного та вовняного текстильних матеріалів з використанням попередньої обробки солями металів Cu^{2+} , Zn^{2+} , Ni^{2+} , Fe^{3+} , Al^{3+} та без неї; порівняння отриманих забарвлень за колористичними показниками; визначення стійкості забарвлення до сухого та мокрого тертя, дії поту та мильно-содового розчину.

Як матеріали для фарбування екстрактом чашолистків полуниці було використано зразки ООО «Текстиль-контакт», які мають наступні характеристики: фланель відбілена (артикул 146763): 100 % бавовна; ширина 90 см, щільність $170 \pm 10 \text{ г/м}^2$; льон пом'якшений білий (артикул 147634): 100 % льон; ширина 150 см, щільність 140 г/м^2 ; трик віскоза тюрлю білий (артикул 122401): віскоза 95%, еластан 5%; щільність $160 \pm 10 \text{ г/м}^2$; вовна костюмна дабл стрейч молочний (артикул 116294): 100 % вовна, ширина 150 см, щільність $420 \pm 10 \text{ г/м}^2$.

Оздоблення текстильних матеріалів складається з підготовчих операцій, які характерні для даного виду волокон, протравлення солями металів, фарбування та заключного опорядження [6].

Властивості та хімічний склад чашолісток полуниці. Чашолістки полуниці широко використовують у фітотерапії при загостренні подагри і остеохондрозу. Вони є джерелом вітамінів і мікроелементів, дубильних речовин, органічних кислот і вуглеводів, терпенів і алкалоїдів, при тривалому застосуванні зменшують вміст токсинів в організмі людини і покращують склад крові [7].

Відварювання льону та бавовни. Відварювання – обробка тканини лужним розчином з метою повного її очищення від домішок, які були нанесені на текстильний матеріал на стадії ткацтва та наступних операцій. Тканину відварюють при модулі ванни 30:1, в розчині, що вміщує, г/л: Na_2CO_3 – 10,8; Na_2SiO_3 – 10,5; H_2O_2 – 1,3-1,4, за температури 90°C протягом 30 хвилин. Після відварювання тканину промивають спочатку гарячою, а потім холодною водою. Тканина стає м'якою, пластичною та гігроскопічною.

Розмаслювання віскозної тканини. Матеріали з віскозних ниток і штапельного волокна, а також крепові відварюють в мильних розчинах невисокої концентрації для видалення масел та різних забруднень. Розчин для відварювання містить, г/л: олеїнового мила 40 % – 8; соди кальцінованої – 0,8. Обробку здійснюють за температури $80-85^\circ\text{C}$ і модулі ванни 50:1 протягом 30-45 хвилин. Після закінчення розмаслювання зразок промивають спочатку теплою, а потім холодною водою. Тканини звільняються при цьому від різних домішок та забруднень, шліхти, рівномірно усаджуються та крепіруються, збільшується їх гігроскопічність.

Розшліхтування вовни. Здійснюється шляхом замочування тканини у воді за температури $30-40^\circ\text{C}$ з додаванням кислот, лугів, окислювачів або ферментів. В роботі проводили обробку тканини розчином, що містить 0,3 г/л ферменту (панкреатин), хлориду натрію 2 г/л. Модуль ванни 30:1, рН = 5.8-6.0 при $35-40^\circ\text{C}$ протягом 10-20 хв. з наступним промиванням.

Обробка солями металів. Для отримання більшої гамми кольорів та підвищення стійкості забарвлення [8] процес фарбування проводили після попередньої обробки текстильних матеріалів солями металів. Зразки обробляли 5% розчинами солей CuSO_4 , FeCl_3 , ZnSO_4 , NiSO_4 , $\text{AlK}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ протягом 30 хв, за температури 60°C . Для протравлювання використовували ванну з модулем 1:30. рН протравного розчину 5,0-5,2. Після протравлювання зразки текстильних матеріалів віджимали. Процес фарбування проводили у новому розчині.

Фарбування текстильних матеріалів екстрактом чашолістків полуниці. Для приготування фарбувального розчину використовують чашолістки полуниці у співвідношенні сухої суміші до води 1 : 10. Суміш заливають гарячою водою і витримують на водяній бані 45 хв, після чого охолоджують до кімнатної температури та проціджують. Фарбування отриманим екстрактом чашолістків полуниці проводилося за однованною технологією. Модуль ванни 1:30. Загальна тривалість фарбування 45-60 хв. Через 30 хвилин від початку фарбування проводили підвищення рН розчину до 8,8-9,0 і проводили процес фарбування ще 20-30 хв з подальшим промиванням холодною водою.

Дослідження колірних характеристик. Для визначення характеристик кольору всі зразки були проскановані, отримані зображення були оброблені за допомогою комп'ютерних програм. Для оцінки кольору у зразках пофарбованих чашолистками полуниці з додаванням солей Cu^{2+} , Zn^{2+} , Ni^{2+} , Fe^{3+} , Al^{3+} та без них було використано систему RGB, CMYK та CIE L^*a^*b .

Результати дослідження. Фарбування текстильних матеріалів з целюлозних волокон екстрактом чашолистків полуниці дозволяє отримати забарвлення від світло- до темно-коричневого кольору. Текстильні матеріали з вовняних волокон, в залежності від виду протрави, забарвилися у наступні кольори: катіон міді дав можливість отримати зелено-коричневий, катіони алюмінію, цинку та нікелю надали кольору жовто-коричневих відтінків; катіон заліза, за рахунок реакції з танідами, дав кольори у чорно-коричневій гаммі.

В табл. 1 наведено результати фарбування текстильних матеріалів чашолистками полуниці. Одержані зразки характеризуються забарвленням переважно в «рослинній» гаммі: жовто-коричневі, зелено-коричневі, чорно-коричневі кольори.

Таблиця 1

Результати фарбування текстильних матеріалів природними барвниками

№ П\П	Вид волокон	Обробка солями металів				
		Cu^{2+}	Zn^{2+}	Ni^{2+}	Fe^{3+}	Al^{3+}
1	Бавовна					
2	Льон					
3	Віскоза					

Продовження таблиці 1



Для визначення кількісних колірних характеристик забарвлення зразків текстильних матеріалів використовували системи RGB, CMYK та CIE L*a*b* за ДСТУ 30821:2002.

Світлота L характеризує величину обернено пропорційну кількості барвника на поверхні волокна. Результати вимірювань показників кольору, пофарбованих текстильних матеріалів, наведені в табл. 2.

Аналіз колірних характеристик зразків целюлозних та вовняних текстильних матеріалів, пофарбованих екстрактом чашолісток полуниці показав, що кольори всіх зразків не мають у своєму складі блакитного компоненту. Протравлення солями заліза забезпечує отримання майже чорних кольорів, що обумовлює зниження різниці між складовими RGB. Для зразків вовни характерне зменшення показника L, що вказує про збільшення кількості барвника на текстильному матеріалі. Відповідно зразки вовни мають яскравіше забарвлення, порівняно із зразками целюлозних матеріалів.

Таблиця 2

Колірні характеристики зразків, пофарбованих екстрактом чашолістків полуниці

Вид волокон	Протрава солями металів	Модель кольору									
		R	G	B	C	M	Y	K	L*	a*	b*
Бавовна	Cu ²⁺	181	154	137	0	16	26	33	65,5	7,3	12,6
	Zn ²⁺	202	170	151	0	16	26	21	71,9	8,8	14,1
	Ni ²⁺	187	157	136	0	17	27	26	66,9	7,9	15,1
	Fe ³⁺	123	96	84	0	22	33	53	43,0	9,0	11,0
	Al ³⁺	216	186	166	0	14	23	16	77,6	7,6	14,0
Льон	Cu ²⁺	185	155	133	0	16	26	22	66,0	7,8	15,7
	Zn ²⁺	190	155	137	0	19	30	28	66,7	10,3	14,3
	Ni ²⁺	189	162	139	0	16	29	29	68,4	6,3	15,6
	Fe ³⁺	119	91	77	0	22	34	53	41,1	9,3	12,5
	Al ³⁺	207	178	157	0	15	27	22	74,5	7,2	14,6
Віскоза	Cu ²⁺	193	161	142	0	17	27	24	68,6	8,9	14,3
	Zn ²⁺	193	162	143	0	16	25	24	68,9	8,5	14,1
	Ni ²⁺	177	144	125	0	19	31	32	62,3	9,6	14,8
	Fe ³⁺	105	81	72	0	27	38	63	36,7	8,6	9,1
	Al ³⁺	197	166	142	0	16	28	26	70,2	7,7	16,6

Продовження таблиці 2

Вовна	Cu^{2+}	124	110	92	0	11	25	46	47,2	2,4	12,0
	Zn^{2+}	161	127	107	0	21	34	34	55,9	10,2	15,9
	Ni^{2+}	127	95	79	0	26	37	48	43,2	10,7	14,2
	Fe^{3+}	58	48	46	0	22	28	78	20,9	4,1	2,9
	Al^{3+}	171	133	108	0	23	38	31	58,5	11,0	19,0

Дослідження стійкості забарвлення. Пофарбовані зразки, протравлені різними солями металів, були досліджені на стійкість забарвлення до фізико-хімічних впливів (стійкість до прання, поту, сухого та мокрого тертя), згідно чинної нормативно-технічної документації [9-12].

Стійкість до мокрого тертя бавовняних матеріалів оброблених солями Cu^{2+} , Zn^{2+} , Ni^{2+} , Fe^{3+} , Al^{3+} має найнижчий показник – в межах 3 балів. Зразки попередньо оброблені Zn^{2+} , Ni^{2+} , Al^{3+} мають найвищу стійкість до дії мильно-содового розчину (5 балів). Стійкість до дії поту в межах 4 балів мають зразки протравлені катіонами цинку, нікелю, заліза та алюмінію; і 4-5 балів – зразки протравлені катіонами міді.

Стійкість забарвлення лляних текстильних матеріалів до сухого тертя є максимальною для зразків, оброблених солями Zn^{2+} , Ni^{2+} , Al^{3+} , для зразків оброблених солями Cu^{2+} та Fe^{3+} – 4 та 3-4 бали відповідно. Всі зразки показали низьку (3 бали) стійкість до мокрого тертя. Максимальну стійкість до дії поту проявило забарвлення, отримане при попередній обробці солями міді та нікелю. До дії мильно-содового розчину зразки, оброблені солями Cu^{2+} , Zn^{2+} , Ni^{2+} , Fe^{3+} , Al^{3+} проявили 5-ти бальну стійкість.

Аналіз стійкості забарвлень текстильних матеріалів з віскозних волокон показав, що всі зразки проявили високу стійкість до сухого тертя (5 балів) і низьку стійкість до мокрого тертя (3 бали). Міцність забарвлення до дії поту для віскозних текстильних матеріалів без обробки, та з обробкою катіонами Cu^{2+} складає 4-5 балів, а для зразків, протравлених катіонами Zn^{2+} , Ni^{2+} , Fe^{3+} , Al^{3+} 4 бали. Стійкість до дії мильно-содового розчину є задовільною: 5 балів для зразків, протравлених солями міді та цинку, і 4-5 балів для матеріалів, оброблених солями нікелю, заліза та алюмінію.

Найяскравішими при фарбуванні екстрактом чашолісток полуниці виявилися текстильні матеріали на основі вовняних волокон. На рисунку наведено стійкість забарвлення вовняних матеріалів, пофарбованих екстрактом чашолісток полуниці в залежності від виду протрави.

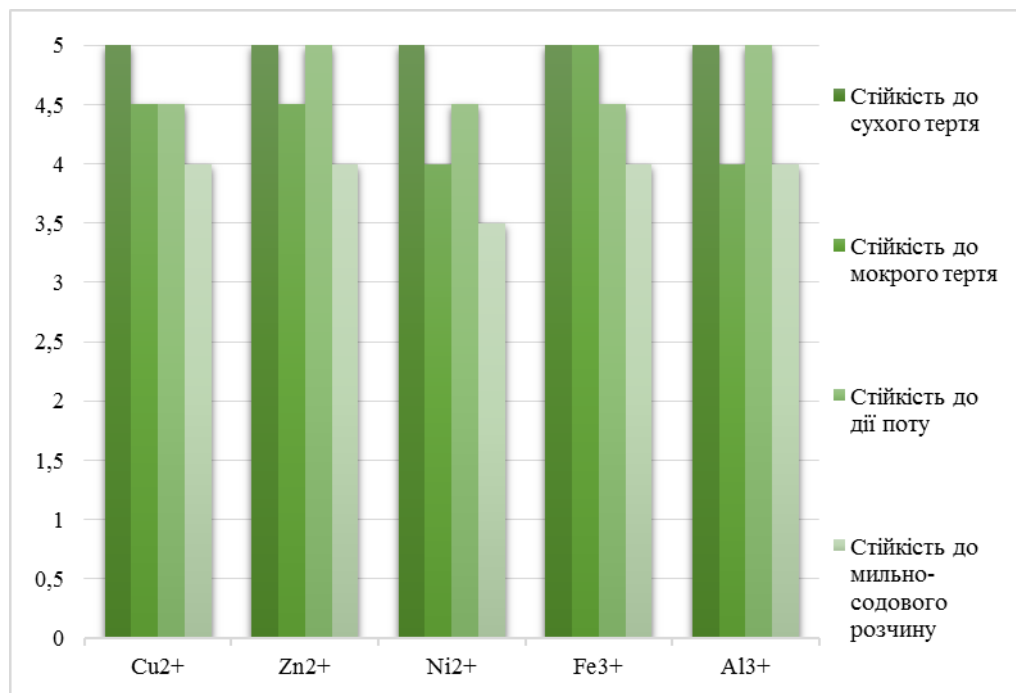


Рис. Вплив протрави на стійкість забарвлення вовняних матеріалів, пофарбованих екстрактом чашолісток полуниці

За міцністю кольору до сухого тертя всі зразки показали найвищий бал, а до мокрого тертя – 4-5 балів. Стійкість до дії поту 5 балів, показали зразки, забарвлені при попередній обробці солями цинку та алюмінію, і 4-5 балів – зразки, протравлені солями міді, нікелю та заліза. До дії мильно-содового розчину зразки з обробкою катіонами Cu^{2+} , Zn^{2+} , Fe^{3+} , Al^{3+} проявили стійкість 4 бали, а зразок з обробкою катіоном Ni^{2+} має стійкість 3-4 бали.

Міцність забарвлення текстильних матеріалів екстрактом чашолісток полуниці до сухого тертя, максимальна для всіх зразків, крім бавовняного та лляного матеріалів попередньо-оброблених катіонами заліза. Стійкість до мокрого тертя в межах 3 балів виявлена для всіх целюлозних зразків, а для вовняного текстильного матеріалу - складала 4-5 балів. Міцність забарвлення до дії поту на бавовняному, лляному, віскозному та вовняному зразках складає від 4 до 5 балів. Стійкість до дії мильно-содового розчину для целюлозних зразків переважно 4-5 балів, а для вовняних матеріалів вона складає 4 бали.

Висновки. Застосування екстракту чашолісток полуниці як барвника є перспективним напрямком у розширенні асортименту природних фарбувальних матеріалів. Фарбування текстильних матеріалів екстрактом чашолістків полуниці після попередньої обробки солями металів дозволяє отримати яскраве забарвлення «рослинної» гами кольорів. В залежності від виду протрави, отримані наступні кольори: катіон Cu^{2+} дав можливість отримати зелено-коричневий відтінок, катіони Al^{3+} , Zn^{2+} , Ni^{2+} надали кольору жовто-коричневих відтінків; катіон Fe^{3+} дав кольори у чорно-коричневій гаммі. Загалом, міцність забарвлення до сухого тертя текстильних матеріалів, оброблених екстрактом чашолісток полуниці, максимальна для зразків з віскозних і вовняних волокон, попередньо оброблених катіонами заліза. Стійкість до мокрого тертя зразків з вовняних волокон складала 4-5 балів, а для зразків з целюлозних волокон дещо гірша – в межах 3 балів. Міцність забарвлення до дії поту в бавовняному, лляному, віскозному та вовняному зразках складає від 4 до 5 балів. Стійкість

до дії мильно-содового розчину для зразків з целюлозних волокон становить переважно 4-5 балів, а для вовняних – 4 бали.

Література

1. Кричевский Г.Е. Химическая технология текстильных материалов: в 3 т. М.: Изд. РосЗИТЛП, 2001. Т. 2. 540 с.
2. Семак Б.Б. Ефективне використання рослинної текстильної сировини як передумова формування вітчизняного ринку екотекстилю. *Ефективна економіка*. 2011. № 2. С. 107-109.
3. Nar Bhajan Singh, Kumar Avinash Bharati. Mordants and their applications. Handbook of Natural Dyes and Pigments, Woodhead Publishing India PVT LTD, 2014. 312 p.
4. J.N. Chakraborty. Dyeing with metal-complex dye in Fundamentals and Practices in Colouration of Textiles, Woodhead Publishing India PVT LTD, 2010. - 433 p.
5. Мартосенко М.Г., Пахолук О.В., Семак З.М. Роль рослинного барвника і протравлювача у формуванні колірної гама забарвлень целюлозомістких текстильних матеріалів. *Вісник Хмельницького національного технічного університету*. 2010. №4. С. 217-220.
6. Семак З. М. Фарбування текстильних матеріалів рослинними барвниками: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. Львів: Світ, 2005. 336 с.
7. Бубенчикова В.Н., Дроздова И.Л. Фенольные соединения и полисахариды листьев *Fragaria vesca* L. *Растит, ресурсы*. 2003. Т. 39. Вып. 4. С. 94-99.
8. Галик І.С., Концевич О.Б., Семак Б.Д. Екологічна безпека та біостійкість текстильних матеріалів. Львів: Вид-во Львівської комерційної академії, 2006. 232 с.
9. ГОСТ 9733.0-83. Материалы текстильные. Методы испытаний устойчивости окрасок к физико-химическим воздействиям. Общие требования к методам испытаний устойчивости окрасок к физико-химическим воздействиям. М.: Издательство стандартов, 1985. С. 1-11.
10. ГОСТ 9733.4-83. Материалы текстильные. Методы испытаний устойчивости окрасок к физико-

References

1. Krichevskiy, G. E., Korchagin, M. V., & Senakhov, A. V. (1985). *Khimicheskaya tekhnologiya tekstil'nykh materialov* [Chemical technology of textile materials]. [in Russian].
2. Semak, B. B. (2011). Efektyvne vykorystannia roslynnoi tekstylnoi syrovyny yak peredumova formuvannia vitchyznianoho rynku ekotekstyliu [Effective use of vegetable textile raw materials as a prerequisite for the formation of the domestic eco-textile market]. *Efektyvna ekonomika*, (2), 107-109 [in Ukrainian].
3. Singh, H.B, Bharati, K.A. (2014) Mordants and their applications. In Singh, H.B, Bharati, K.A. (Ed.), *Handbook of Natural Dyes and Pigments* (pp.18-28), WPI Publishing.
4. Chakraborty, J. N. (2014). Dyeing with direct dye. *Fundamentals and practices in colouration of textiles* (pp. 175-183). WPI Publishing.
5. Martosenko, M. H., Semak, Z. M., & Pokhaliuk, O. V. (2010). Rol roslynnoho barvnyka i protravliuvacha u formuvanni kolirnoi hamy zabarvlen tseliulozomistkykh tekstyl'nykh materialiv [The role of vegetable dye and etchant in the formation of color gamut of cellulose-containing textile materials]. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu*, (4), 217-220 [in Ukrainian].
6. Semak, Z. M., & Semak, B. B. (2005). *Farbuvannia tekstyl'nykh materialiv roslynnyimi barvnykami: Navchalnyi posibnyk*. [Textile dyeing with vegetable dyes] Lviv: Svit, 97-106 [in Ukrainian].
7. Bubenichikova, V. N., & Drozdova, I. L. (2003). Fenol'nye soedineniya i polisakharidy list'yev *Fragaria vesca* L. [Phenolic compounds and polysaccharides of leaves of *Fragaria vesca* L.] *Rastitel'nye resursy*, 39(4), 94-98 [in Russian].
8. Halyk, I. S., Kontsevych, O. B., & Semak, B. D. (2006). *Ekolohichna bezpeka ta biostiikist tekstyl'nykh materialiv: monohrafiia*. [Ecological safety and biostability of textile materials] Halyk I.S., Kontsevych O.B., Semak B.D. – Lviv.: Vydavnytstvo LKA [in Ukrainian].
9. GOST 9733.0-83. Materialy tekstil'nye. Metody ispytaniy ustoychivosti okrasok k fiziko-khimicheskim vozdeystviyam. Obshchie trebovaniya k metodam ispytaniy ustoychivosti okrasok k fiziko-khimicheskim vozdeystviyam [Textiles. General requirements for test methods of colour fastness to physical and chemical actions]. М.: Izdatel'stvo standartov, 1985, 1-11 [in Russian].

химическим воздействиям. Методы испытания устойчивости окраски к стиркам - М.: Издательство стандартов, 1985. С. 22-24.

11. ГОСТ 9733.6-83. Материалы текстильные. Методы испытаний устойчивости окрасок к физико-химическим воздействиям. Методы испытания устойчивости окрасок к поту. М.: Издательство стандартов, 1985. С. 27-29.

12. ГОСТ 9733.27-83. Материалы текстильные. Методы испытаний устойчивости окрасок к физико-химическим воздействиям. Метод испытания устойчивости окраски к трению. М.: Издательство стандартов, 1985. С. 72-73.

10. GOST 9733.4-83. Materialy tekstil'nye. Metody ispytaniy ustoychivosti okrasok k fiziko-khimicheskim vozdeystviyam. Metody ispytaniya ustoychivosti okraski k stirkam [Textiles. Test method of colour fastness to washing] - М.: Izdatel'stvo standartov, 1985, 22-24 [in Russian].

11. GOST 9733.6-83. Materialy tekstil'nye. Metody ispytaniy ustoychivosti okrasok k fiziko-khimicheskim vozdeystviyam. Metody ispytaniya ustoychivosti okrasok k potu [Textiles. Test methods of colour fastness to perspiration]. М.: Izdatel'stvo standartov, 1985, 27-29 [in Russian].

12. GOST 9733.27-83. Materialy tekstil'nye. Metody ispytaniy ustoychivosti okrasok k fiziko-khimicheskim vozdeystviyam. Metod ispytaniya ustoychivosti okraski k treniyu [Textiles. Test method of colour fastness to crocking]. М.: Izdatel'stvo standartov, 1985, 72-73 [in Russian].

PLAVAN VIKTORIYA

Scopus Author ID: 6603130130;
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9559-8962>;
Researcher ID: I-5852-2015; plavan.vp@knuud.edu.ua;
Department of Applied Ecology, Technology of Polymers
and Chemical Fiber,
Kyiv National University of Technologies and Design

TKACHENKO INNA

Department of Applied Ecology, Technology of Polymers
and Chemical Fiber,
Kyiv National University of Technologies and Design

STUPA VOLODYMYR

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7312-7905>
Department of Applied Ecology, Technology of
Polymers and Chemical Fibers of the Kyiv National
University of Technologies and Design

**ЭКОЛОГИЧЕСКИ-БЕЗОПАСНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ОТДЕЛКИ ТЕКСТИЛЬНЫХ
МАТЕРИАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭКСТРАКТА ЧАШЕЛИСТИКОВ
КЛУБНИКИ**

ПЛАВАН В. П., ТКАЧЕНКО И. Н., ЛЯШОК И. А., СТУПА В. И.

Киевский национальный университет технологий и дизайна

Цель. Целью научной работы является разработка экологически безопасной технологии отделки текстильных материалов с использованием экстракта чашелистиков клубники и определение влияния протравы солями различных металлов на качество окраски.

Методика. Технологические параметры процесса окрашивания экстрактом чашелистиков клубники определяли для льняного, хлопкового, вискозного и шерстяного текстильных материалов с использованием предварительной обработки солями металлов Cu^{2+} , Zn^{2+} , Ni^{2+} , Fe^{3+} , Al^{3+} и без нее. Для оценки качества окраски определяли цветовые характеристики исследуемых образцов с использованием программного обеспечения Adobe Photoshop CS6. Устойчивость окраски текстильных материалов к физико-химическим воздействиям определяли стандартными методами текстильного материаловедения.

Результаты. Разработана экологически безопасная технология отделки целлюлозных и шерстяных текстильных материалов с использованием экстракта чашелистиков клубники. Крашение текстильных материалов из целлюлозных волокон позволило получить окраску от светло до темно-коричневого цветов. Самыми яркими при окраске оказались образцы на основе шерстяных волокон. В зависимости от вида протравы, получены следующие цвета: катион Cu^{2+} дал возможность получить зелено-коричневый, катионы Al^{3+} , Zn^{2+} , Ni^{2+} обеспечили цвета желто-

коричневых оттенков; катион Fe^{3+} дал цвета в черно-коричневой гамме. В целом, прочность окраски к сухому трению для текстильных материалов после окрашивания экстрактом чашелистиков клубники максимальная для всех образцов, кроме хлопкового и льняного материалов, предварительно обработанных катионами железа. Устойчивость к мокрому трению образцов из шерстяных волокон составила 4-5 баллов, а для образцов из целлюлозных волокон несколько меньше – в пределах 3 баллов. Прочность окраски к действию пота для хлопкового, льняного, вискозного и шерстяного образцов составляет от 4 до 5 баллов. Устойчивость к действию мыльно-содового раствора для образцов из целлюлозных волокон составляет преимущественно 4-5 баллов, а из шерстяных – 4 балла.

Научная новизна работы заключается в определении основных закономерностей процесса окрашивания с использованием как красителя экстракта чашелистиков клубники, являющихся отходами пищевой промышленности, после предварительной обработки солями металлов Cu^{2+} , Zn^{2+} , Ni^{2+} , Fe^{3+} , Al^{3+} .

Практическое значение. Разработаны технологические параметры процесса окрашивания экстрактом чашелистиков клубники льняного, хлопкового, вискозного и шерстяного текстильных материалов с использованием предварительной обработки солями металлов Cu^{2+} , Zn^{2+} , Ni^{2+} , Fe^{3+} , Al^{3+} .

Ключевые слова: экстракт чашелистиков клубники, текстильные материалы, крашение, протравливание, соли металлов, устойчивость окраски.

THE ECO-SAFETY TECHNOLOGY FOR FINISHING THE TEXTILE MATERIALS USING SEPALS STRAWBERRY EXTRACT

PLAVAN V. P., TKACHENKO I. M., LYASHOK I. O., STUPA V. I.

Kyiv National University of Technologies & Design

Purpose. Development of ecologically safe technology of finishing the textile materials using strawberry sepals extract and determination of influence for a mordant with salts from various metals on coloring quality.

Methodology. The technological parameters of the dyeing process by strawberry sepals extract were determined for linen, cotton, viscose and wool textile materials using pre-treatment with or without metal salts of Cu^{2+} , Zn^{2+} , Ni^{2+} , Fe^{3+} , Al^{3+} .

The color characteristics of the samples were determined using Adobe Photoshop CS6 software to evaluate the color quality. The resistance of the dyeing the textile materials to physical and chemical influences were determined by standard methods for textile materials.

Findings. Ecologically safe technology of finishing the cellulosic and wool textile materials using strawberry sepals extract has been developed. The dyeing of textile materials made from cellulose fibers made it possible to obtain coloration from light to dark brown. After dyeing, the brightest samples were found based on wool fibers. Depending on the type of mordant, the following colors were obtained: Cu^{2+} cation made it possible to obtain green-brown shades, Al^{3+} , Zn^{2+} , Ni^{2+} cations gave colors in the yellow-brown shades; Fe^{3+} cation gave colors in black and brown shades. In general, the color fastness to wet and dry crocking for textile materials after dyeing with strawberry sepals extract are maximum for all specimens pre-treated with ferric cations except cotton and linen materials. The stability of color to perspiration in cotton, linen, viscose and wool samples ranges from 4 to 5 points. Color fastness to washing for samples from cellulose fibers are preferably 4-5 points, and for woollen is 4 points.

Originality. The scientific novelty of the work is to determine the basic regularities of the dyeing process after pre-treatment with salts of metals Cu^{2+} , Zn^{2+} , Ni^{2+} , Fe^{3+} , Al^{3+} using as a dye of the strawberries sepals extract, which is a waste of the food industry.

Practical value. The technological parameters of the dyeing process by strawberry sepals extract, for cotton, viscose and woollen textile materials using pretreatment with metal salts of Cu^{2+} , Zn^{2+} , Ni^{2+} , Fe^{3+} , Al^{3+} were developed.

Keywords: sepals strawberry extract, textiles, dyeing, mordant, metal salts, color fastness.

UDK 542.61

CHELTONOV M. M.¹, KYRYCHENKO O. L.²

¹Corresponding author,

²State Enterprise Research-Industrial Complex «Pavlograd Chemical Plant»

**EXPERIMENTAL STUDIES ON PROCESSING OF
POLYBUTADIENE-BASED SOLID PROPELLANT TO
EXTRACT AMMONIUM PERCHLORATE**

Purpose. The purpose of this work is to establish regularities of the leaching process and to determine parameters for leaching ammonium perchlorate from polymer crumb as solid propellant disposal products.

Methodology. The process of leaching ammonium perchlorate from the polymer matrix was carried out in a flask equipped with an agitator in a polymer matrix: water ratio of 1: 2, with such changing parameters as: temperature (20-80 °C), time of extraction process (1-4 h). Then, the obtained refined polymer matrix was filtered off, dried at room temperature, and weighed. The content of the chemical composition of the polymer matrix was determined in refined polymer matrix. The obtained polymer matrix was dried at temperatures of 70 °C, 90 °C, 100 °C to constant weight, with intermittent weighing of dried samples.

Findings. It was determined that the degree of leaching of ammonium perchlorate from polymer matrix when the leaching time is 2-4 hours is maximum, both during the process at a temperature of 20 °C and at a temperature of 60 °C and 80 °C, respectively. It was found that the maximum degree of ammonium perchlorate leaching from polymer matrix was 82.3% in the experiment with the following modes - the process temperature was 80 °C, the speed of the mechanical stirrer was 400 rpm, and the leaching process took 4 hours. It was found that the most preferable temperature range for the drying of refined polymer matrix is 90 to 100 °C. It was determined that the refined polymer matrix is a substance which is not particularly dangerous for transportation and can be recommended for use as a filler in compositions of emulsion explosives, or for extraction of nitramine.

Originality. Establishing the regularities of ammonium perchlorate extraction from polybutadiene-based solid propellant, obtained from expired loaded motor cases.

Practical value. The data obtained after a detailed technical and economic analysis can be considered as the basis for the creation of a pilot industrial facility for the extraction of a water-insoluble component of solid propellant, i.e. ammonium perchlorate.

Key words: extraction, drying, ammonium perchlorate, polymer matrix, solid propellant.

Introduction. In the process of utilization of solid propellant with an expired storage period using the hydro mechanical method [1-3], polymer crumb (polymer matrix) is formed. Solid propellant (SP) is a polyethylene-based polymer binder, filled with ammonium perchlorate, nitramine (1,3,5,7-tetranitro-1,3,5,7-tetraazocyclooctane), aluminum and process additives.

The working medium in the process of hydro mechanical utilization of solid propellant is water, which leaches up to 50% of ammonium perchlorate (AP) during extraction and shredding of solid propellant. Subsequent leaching of ammonium perchlorate, which is a valuable inorganic oxidizing agent and the production of which is unavailable in Ukraine, will increase its degree of extraction to 80% by weight.

Formulation of the problem. The purpose of this work is to establish regularities of leaching of ammonium perchlorate (AP) from polymer matrix obtained in the course of SP disposal. In order to assess the safe handling of the obtained refined PM after the leaching of AP, the parameters of its sensitivity to mechanical effects (impact, friction) were also determined.

Experimental. For studies there were used samples of shredding PM of solid propellant with a particle size shown in Table 1.

Table 1

The particle size of the initial solid propellant PM before leaching of ammonium perchlorate

Particle size	Fraction content, %
To 7x4x2 mm	31,7
From 8x4x2 to 10x4x2 mm	37,8
From 11x4x2 mm to 15x4x2 mm	28,9
More 15x4x2 mm	1,1

Tabl. 2 presents the chemical composition of PM before leaching ammonium perchlorate.

Table 2

The chemical composition of PM before leaching ammonium perchlorate

Component	Content of component before washing with water, %
Polymer binder	9,6
Ammonium perchlorate	28,1
Nitramine	29,5
Aluminum	25,9
Moisture	6,9

The process of leaching ammonium perchlorate from the polymer matrix was carried out in flask equipped with an agitator in a PM : water ratio of 1 : 2, with such changing parameters as: temperature (20-80 °C), time of extraction process (1-4 h). Then, the obtained refined PM polymer matrix was filtered off, dried at room temperature, and weighed. The content of the chemical composition of the polymer matrix was determined in refined polymer matrix. The obtained PM was dried in a Binder Fed 115 drying oven at temperatures of 70 °C, 90 °C, 100 °C to constant weight, with intermittent weighing of dried samples.

In order to evaluate safety parameters in handling the derived product (refined PM), its sensitivity to mechanical effects (impact, friction) was determined. Impact and friction sensitivities were measured using a BAM Hammer 782-0000 and a BAM Friction Apparatus 781-0000 according to the methods [4].

Results and discussion. Fig. 1 and 2 show the polynomial dependencies of the degree of AP leaching from the polymer matrix on temperature and time, respectively. In accordance with the results obtained, the degree of leaching of ammonium perchlorate from PM in the temperature range of 80-100 °C reaches 61.5-76.3%, respectively. It was determined that the degree of leaching of ammonium perchlorate from PM when the leaching time is 2-4 hours is maximum, both during the process at a temperature of 20 °C and at a temperature of 60 °C and 80 °C, respectively.

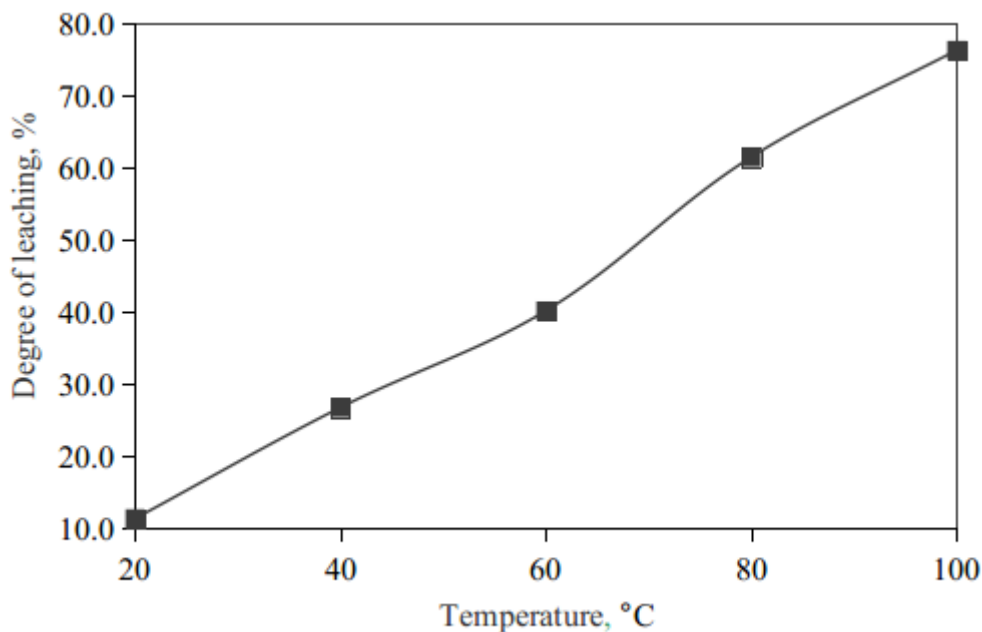


Fig. 1. The dependence of the degree of AP leaching on temperature of leaching from polymer matrix (rotation speed of the mechanical stirrer of 400 rpm, time of extraction process of 1 h)

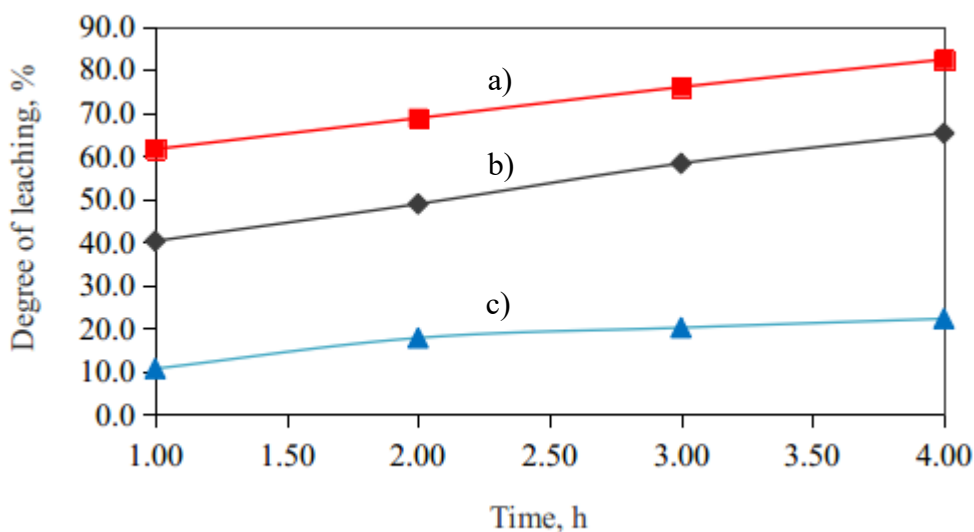


Fig. 2. The dependence of the degree of leaching of AP on the time of leaching from PM: a) 80 °C, b) 60 °C, c) 20 °C (rotation speed of the mechanical stirrer of 400 rpm)

It was found that the highest degree of leaching of 82.3% in terms of the target product during leaching from PM was achieved in the experiment which lasted for 4 hours, at a temperature of 80 °C, and a rotation speed of the mechanical stirrer of 400 rpm.

Under the specified conditions the optimum parameters for AP leaching from PM were determined as follows: the temperature is 60-80 °C, the extraction time is 2-4 hours.

Fig. 3 and 4 show the dependencies of PM drying after the leaching of ammonium perchlorate, and specifically the moisture content W of the polymer matrix versus time with a

change in the PM drying temperature, and drying rate versus moisture content of the polymer matrix at various temperatures, respectively.

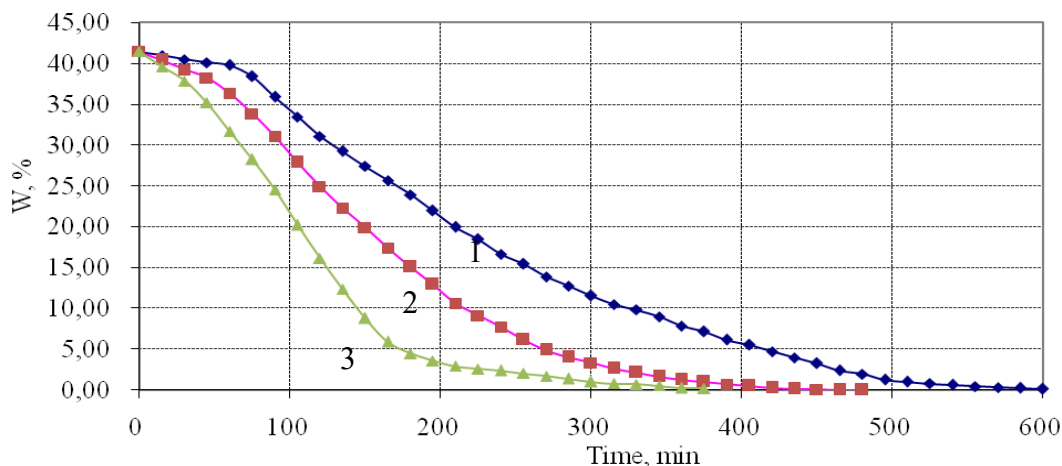


Fig. 3. The dependence of the polymer matrix moisture content W on time with a change in PM drying temperature: (1) 70 °C, (2) 90 °C, (3) 100 °C

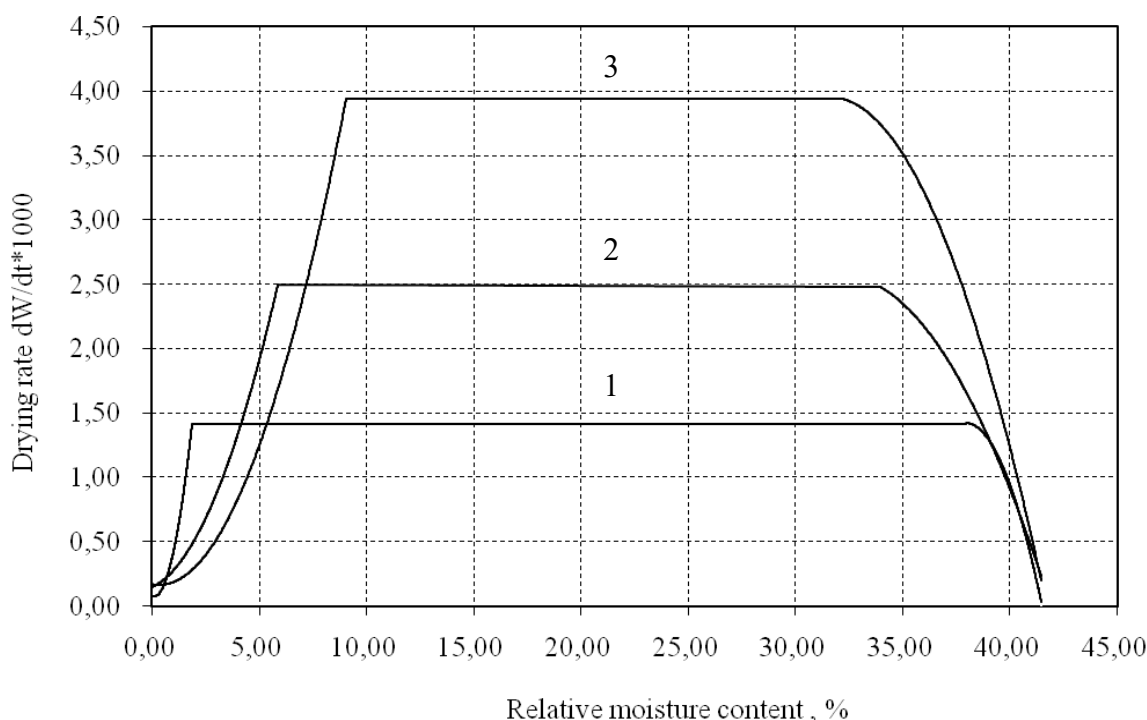


Fig. 4. The dependence of drying rate on polymer matrix moisture content at various temperatures: (1) 70 °C, (2) 90 °C, (3) 100 °C

Thus, as can be seen from Fig. 3, the PM drying goes through two phases i.e. constant and decreasing drying rates, which are described in Fig. 3 with a straight line and an exponential function, respectively. The fastest PM drying to the constant weight takes place at a temperature of 100 °C taking ~450 min. It is not advisable to dry the polymer matrix at temperatures of over 100 °C, since at temperatures of above 115 °C the nitramine, which is part of polymer matrix, can generate crystalline forms that are sensitive to mechanical impacts [9-12].

According to Fig. 4, with increase of the drying temperature from 70 °C to 90 °C, the drying rate rises 1.75 times, and with increase of the drying temperature from 90 °C to 100 °C, the drying rate rises further 1.6 times. Therefore, the most preferable temperature range for drying refined PM is 90 to 100 °C.

To assess the safety parameters in the handling of refined PM after leaching of the AP, its sensitivity to mechanical effects - impact, friction depending on moisture content was determined. Tabl. 3 presents the sensitivity results of refined PM depending on moisture content.

Table 3

Sensitivity results of refined PM depending on moisture content

Parameter name	Content of moisture in refined PM			
	41,45%	23,5%	16,9%	3%
Sensitivity to impact, J	>50	44,0	31,5	22.5
Sensitivity to friction, N	>360	>360	>360	>360

It was found that a refined polymer matrix with a moisture content of 3-41.45% is insensitive to friction (> 360 N), a decrease in humidity from 41.45 to 3% increases the sensitivity to impact to 22.5 J.

Refined PM's characteristics are below the minimum acceptable UN sensitivity requirements as for sensitivity to mechanical effects (≥ 2 J and ≥ 80 N), which proves that refined PM is a substance which is not particularly dangerous for transportation [4] and can be recommended for use as a filler in compositions of emulsion explosives [2], or for extraction of nitramine [5-8].

Conclusions. As a result of the studies, the dependencies of the influence of temperature and time on the degree of leaching of ammonium perchlorate from the polymer matrix of solid propellant are obtained. It was found that the maximum degree of AP leaching from PM was 48.3% in the experiment with the following modes - the process temperature was 80 °C, the speed of the mechanical stirrer was 400 rpm, and the leaching process took 4 hours.

It was found that the most preferable temperature range for the drying of refined PM is 90 to 100 °C.

Refined PM's (with a moisture content of up to 3%) characteristics are below the minimum acceptable UN sensitivity requirements as for sensitivity to mechanical effects (impact, friction), which proves that refined PM is a substance which is not particularly dangerous for transportation and can be recommended for use as a filler in compositions of emulsion explosives, or for extraction of nitramine.

Література

1. Забелин Л. В., Гафиятулин Р.В., Поник А.Н., Мелешко В.Ю. Основы промышленной технологии утилизации крупногабаритных твердотопливных зарядов. Москва, 2004. 226 с.
2. Шиман Л. Н., Устименко Е.Б., Голинько В.И., Соболев В.В. Безопасность процессов производства и применения эмульсионных взрывчатых веществ с компонентами утилизируемых вооружений. Монография. Днепропетровск, 2013. 526 с.
3. Poulin I. Literature Review on Demilitarization of Munitions. Prepared for the RIGHTTRACT Technology Demonstration Project. Quebec, 2010. 81 p.
4. Recommendations on the transport of dangerous goods, manual of tests and criteria. 5th revised ed. New York and Geneva, 2009. 456 p.
5. Челтонов М. М., Опарин С.А., Кириченко А.Л., Устименко Е.Б. Оптимизация процесса деструкции полимерного связующего твердых ракетных топлив с использованием азотной кислоты. *Вопросы химии и химической технологии*. 2019. №3. С. 176-180.
6. Kim K.J., Kim H.S., Sim J.S. Solubilities of Octahydro-1,3,5,7-tetranitro-1,3,5,7-tetrazocine in γ -Butyrolactone + Water, Dimethylsulfoxide + Water, and N-Methyl pyrrolidone + Water. *Journal of Chemical & Engineering Data*. 2013. Vol. 58(9). P. 2410-2413.
7. Rothrock M.D. DMSO recrystallization of HMX and RDX. Contractor report ARLCD-CR-80052, DTIC_ADA096096. Holston Defense Corporation, 1981. 175 p.
8. Poehlein S., Wilharm C., Sims K., Burch D., Schilling T., Keys F. Recovery and Reuse of HMX/RDX from Propellants and Explosives. 2002. 160 p.
9. Chukanov N.V., Zakharov V.V., Vozchikova S.A., Chervonnyi A.D., Korsounskii B.L. Kinetics of reversible polymorphic transitions in high-energy compounds. Phase transformations in octahydro-1,3,5,7-tetranitro-1,3,5,7-tetrazocine. *Russian Journal of Physical Chemistry*. 2014. Vol. 8(5). P. 641–650.
10. Xiang D., Ji G., Zhu W. Structural and Vibrational Properties of Crystalline β -Octahydro-1,3,5,7-tetranitro-1,3,5,7-tetrazocine at High Temperatures: Ab Initio Molecular Dynamics Studies. *Chemistry Select*. 2019. Vol. 4(14). P. 4244–4250.
11. Ахмедшина В. А., Базотов В. Я. Кристаллизация энергонасыщенных

References

1. Zabelin, L.V., Gafiyatuln, R.V., Ponik, A.N., Meleshko, V.YU. (2004). *Osnovy promyshlennoy tekhnologii utilizatsii krupnogabaritnykh tverdotoplivnykh zaryadov* [Fundamentals of industrial technology for the disposal of large solid propellant charges]. Moscow [in Russian].
2. Shiman, L.N., Ustimenko, E.B., Golinko, V.I., & Sobolev, V.V. (2013). *Bezopasnost' protsessov proizvodstva i primeneniya emul'sionnykh vzryvchatykh veshchestv s komponentami utiliziruemykh vooruzheniy. Monografiya* [Safety of processes for the production and use of emulsion explosives with components of utilized weapons]. Dnipropetrovsk [in Russian].
3. Poulin, I. (2010). Literature Review on Demilitarization of Munitions. Prepared for the RIGHTTRACT Technology Demonstration. Quebec. 81 p.
4. Recommendations on the transport of dangerous goods, manual of tests and criteria. 5th revised ed. New York and Geneva, 2009. 456 p.
5. Cheltonov, M.M., Oparin, S.O., Kirichenko, O.L., & Ustimenko E.B. (2019). Optimizatsiya protsessa destruktсии polimernogo svyazuyushchego tverdykh raketnykh topliv s ispol'zovaniem azotnoy kisloty [Process optimization of the destruction of polymer binding in solid propellants with the use of nitric acid]. *Voprosy Khimii i Khimicheskoi Tekhnologii*, 3. 176-180 [in Russian].
6. Kim K.J., Kim H.S., & Sim J.S. (2013). Solubilities of Octahydro-1,3,5,7-tetranitro-1,3,5,7-tetrazocine in Butyrolactone + Water, Dimethylsulfoxide + Water, and N-Methyl pyrrolidone + Water. *Journal of Chemical & Engineering Data*, 58. 2410-2413.
7. Rothrock M.D. (1981). DMSO recrystallization of HMX and RDX. Contractor report ARLCD-CR-80052, DTIC_ADA096096. Holston Defense Corporation. 175 p.
8. Poehlein, S., Wilharm, C., Sims, K., Burch, D., Schilling, T. & Keys, F. (2002). Recovery and Reuse of HMX/RDX from Propellants and Explosives. 160 p.
9. Chukanov, N.V., Zakharov, V.V., Vozchikova, S.A., Chervonnyi, A.D., & Korsounskii, B.L. (2014). Kinetics of reversible polymorphic transitions in high-energy compounds. Phase transformations in octahydro-1,3,5,7-tetranitro-1,3,5,7-tetrazocine. *Russian Journal of Physical Chemistry*, 8, 641–650.
10. Xiang, D., Ji, G., & Zhu, W. (2019). Structural and Vibrational Properties of Crystalline β -Octahydro-1,3,5,7-tetranitro-1,3,5,7-tetrazocine at High Temperatures: Ab Initio Molecular Dynamics Studies. *Chemistry Select*, 4, 4244–4250.
11. Ahmedshina, V.A., & Bazotov, V.Ja. (2012). Kristallizatsiya energonasyshchennykh soedineniy iz rastvorov: uchebnoe posobie [Crystallization of Energy-

соединений из растворов: учебное пособие. Казань, 2012. 124 с.

12. Орлова Е.Ю., Орлова Н.А., Жилин В.Ф., Збарский В.Л., Витковская Л.И. Октоген — термостойкое взрывчатое вещество. Москва, 1975. 128 с.

Saturated Compounds from Solutions: A Training Manual]. Kazan [in Russian].

12. Orlova, E.Yu., Orlova, N.A., Zhilin, V.F., Zbarsky, V.L., & Vitkovskaya, L.I. (1975). Oktogen — termostoykoe vzryvchatoe veshchestvo [Octogen - heat resistant explosive]. Moscow [in Russian].

CHELTONOV MAXYM

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8077-1985>
Head of Group for advanced technologies of energy materials and items,
State Enterprise Research-Industrial Complex
«Pavlograd Chemical Plant»
dizel2008@meta.ua

KYRYCHENKO OLEKSIY

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1331-9323>
Chief Technologist,
State Enterprise Research-Industrial Complex
«Pavlograd Chemical Plant»
nelonme@gmail.com

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ З ПЕРЕРОБКИ ТВЕРДОГО ПРОПЕЛАНТУ НА ОСНОВІ ПОЛІБУТАДІЕНУ З ВИЛУЧЕННЯМ ПЕРХЛОРАТУ АМОНІЮ ЧЕЛТОНОВ М. М., КИРИЧЕНКО О. Л.

Державне підприємство «Науково-виробниче об'єднання
«Павлоградський хімічний завод»

Мета. Метою даної роботи є встановлення закономірностей і визначення параметрів вилучення перхлорату амонію з продуктів утилізації твердого ракетного палива.

Методика. Для вилучення перхлорату амонію зразки полімерної матриці обробляли водою при температурі 20-80 °С і перемішували 1-4 годин. Отриману рафіновану полімерну матрицю фільтрували, висушували при кімнатній температурі та зважували. Висушування проводили при температурах 70-100 °С. У рафінованій полімерній матриці визначали вміст перхлорату амонію, нітраміну, алюмінію, вологи, чутливість до механічного впливу (удару, тертя).

Результати. Відповідно з отриманими результатами ступінь вилучення перхлорату амонію з полімерної матриці в діапазоні температур 80-100 °С досягає 61,5-76,3 % відповідно. Виявлено, що ступінь вилучення перхлорату амонію з полімерної матриці максимальна, коли час вилучування становить 2-4 год, як при проведенні процесу при температурі 20 °С, так і при температурі 60 і 80 °С відповідно. Встановлено, що максимальний ступінь вилучення перхлорату амонію з полімерної матриці твердого ракетного палива становить 82,3% в експерименті з наступними режимами - температура процесу 80 °С, швидкість обертання механічної мішалки 400 об/хв, час процесу екстракції 4 ч. Виявлено, що найбільш прийнятними показниками температури для сушіння рафінованої полімерної матриці є 90-100 °С. Визначено, що рафінована полімерна матриця не є небезпечною для транспортування і може бути рекомендована як домішка у складі емульсійних вибухових речовин.

Наукова новизна. Встановлено закономірності вилучення перхлорату амонію з твердого ракетного палива на основі полібутадієну, отриманого з двигунів з закінченим терміном експлуатації. Визначені параметри чутливості рафінованої полімерної матриці після вилучення перхлорату амонію до механічного впливу (удару, тертя).

Практична значимість. Отримані дані після детального техніко-економічного аналізу може бути розглянуті як основа для створення дослідно-промислового об'єкту вилучення водонерозчинного компонента твердого ракетного палива - перхлорату амонію.

Ключові слова: екстракція, сушка, перхлорат амонію, полімерна матриця, тверде ракетне паливо.

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ПЕРЕРАБОТКЕ ТВЁРДОГО
ПРОПЕЛАНТА НА ОСНОВЕ ПОЛИБУТАДИЕНА С ИЗВЛЕЧЕНИЕМ ПЕРХЛОРАТА
АММОНИЯ**

ЧЕЛТОНОВ М. М., КИРИЧЕНКО А. Л.

*Государственное предприятие «Научно-производственное объединение
«Павлоградский химический завод»*

Цель. Целью данной работы является установление закономерностей и определения параметров извлечения перхлората аммония из продуктов утилизации твердого ракетного топлива.

Методика. Для извлечения перхлората аммония из полимерной матрицы, образцы полимерной матрицы обрабатывали водой при температуре 20-80 °С и перемешивании 1-4 ч. Полученную рафинированную полимерную матрицу отфильтровывали, высушивали, взвешивали. В рафинированной полимерной матрице определяли содержание химического состава - перхлората аммония, нитрамина, алюминия, влаги и чувствительность к механическому воздействию (удару, трению).

Результаты. Установлено, что максимальная степень извлечения перхлората аммония из полимерной матрицы составляла 82,3% в опыте со следующими режимами – температура процесса 80 °С, частота вращения механической мешалки 400 об/мин, время процесса экстракции 4 ч. Выявлено, что приемлемой температурой для сушки рафинированной полимерной матрицы является 90-100 °С.

Научная новизна. Установлены закономерности извлечения перхлората аммония из твёрдого ракетного топлива на основе полибутадиена, полученного из двигателей с истёкшим сроком эксплуатации. Определены параметры чувствительности рафинированной полимерной матрицы после извлечения перхлората аммония к механическому воздействию (удару, трению).

Практическая значимость. Полученные данные после детального технико-экономического анализа могут быть рассмотрены как основа для создания опытно-промышленного объекта извлечения водонерастворимого компонента твердого ракетного топлива - перхлората аммония.

Ключевые слова: экстракция, сушка, перхлорат аммония, полимерная матрица, твёрдое ракетное топливо.