

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ВІСНИК

**КИЇВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ**

№ 5 (150), 2020

Частина 2 (серія «Технічні науки»)

DOI:10.30857/1813-6796.2020.5

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)

№5 (150), 2020

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

Свідectво 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:

Панасюк І.В., д.т.н., професор

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. 1-112

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 № 3 від 28.10.2020 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 5 (150), 2020 Part 2.
Technical Science Series**

DOI:10.30857/1813-6796.2020.5

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)

№5 (150), 2020

The state registration of print media is KB № 19330-9130 ИП, 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, Nemyrovykh-Danchenko, Str.

Editor-in- Chief:

Igor V. Panasiuk - Dr., professor

Deputy Editor:

Borys M. Zlotenko - Dr., professor

Executive secretary:

Viktoria M. Vasilenko - 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, Nemyrovykh-Danchenko, Str., office 1-112

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

e-mail: vistnuk@kntd.edu.ua

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

Recommendations from Science Council of Kyiv National University of Technologies and Design, Protocol № 3, originating date 28.10.2020.

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. **ВОЛЯНИК О. Ю.** Дослідження взаємодії робочих органів барабана відцентрової машини з оброблюваним матеріалом 14
2. **ЗАЛЮБОВСЬКИЙ М. Г., ПАНАСЮК І. В., МАЛИШЕВ В. В.** Синтез та аналітичні дослідження геометричних параметрів статично визначеного просторового шарнірного механізму галтувальної машини 24

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО ІНДУСТРІЇ МОДИ, ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ТЕКСТИЛЮ, ОДЯГУ ТА ВЗУТТЯ

3. **ЄЛІНА Т. В., ГАЛАВСЬКА Л. Є., МІКУЧІОНЕНЕ Д., МІЛАШІУС Р., БЕЗСМЕРТНА В. І.** Особливості 3D моделювання структури трикотажу у максимально розтягнутому стані 31
4. **БОРЩЕВСЬКА Н. М.** Дослідження впливу лазерного гравірування на фізико-механічні властивості натуральних шкір для верху взуття та шкіргалантерейних виробів 46
5. **ЛЕЩИШИН М. М.** Дослідження та підвищення комфортності взуття за індивідуальним замовленням 56
6. **ЗДОРЕНКО В. Г., БАРИЛКО С. В., ЛІСОВЕЦЬ С. М., ШИПКО Д. О.** Застосування ультразвукового пристрою для визначення поверхневої густини текстильної волоконної маси 67

ХІМІЧНІ ТА БІОФАРМАЦЕВТИЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ

7. **БЕССАРАБОВ В. І., ПЛАВАН В. П., КУЗЬМІНА Г. І., ЛІСОВИЙ В. М., ВАХІТОВА Л. М.** Використання полімерних композиційних матеріалів для підвищення біодоступності гесперидину 74
8. **ШТЕПА В. М., ПЛАВАН В. П., ЗАСЦЬ Н. А., КОЛЯДА М. К., КРИНИЦЬКА Н.** Комбінована технологія обробки стоків шкіряного виробництва 83
9. **СОВА Н. В., СЛЕПЦОВ О. О., ФЕДОРІВ Т. Р., МАРТИНЕНКО А. О., КУДЛАЙ М. Р., ІСКАНДАРОВ Р. Ш.** Вплив параметрів адитивного формування на електричні властивості графітонаповненого композиту на основі полілактиду 93
10. **НОВАК Д. С., БЕРЕЗНЕНКО Н. М., СЕРЕДЕНКО А. А., ПІЩУЛІН О. Г.** Дослідження впливу вмісту піску та модифікуючих добавок на властивості полімербетонних композицій 103

УДК 621.924.7

ВОЛЯНИК О.Ю.

Київський національний університет технологій та дизайну

ДОСЛІДЖЕННЯ ВЗАЄМОДІЇ РОБОЧИХ ОРГАНІВ БАРАБАНА ВІДЦЕНТРОВОЇ МАШИНИ З ОБРОБЛЮВАНИМ МАТЕРІАЛОМ

Мета. Проведення аналітичного дослідження взаємодії робочих органів барабана з матеріалами у відцентровій машині для оброблення виробів легкої промисловості. Визначення залежностей та значущих параметрів робочих органів, які впливають на характер переміщення оброблюваних матеріалів у барабані.

Методика. Використані методи математичного вивчення геометричних параметрів робочих органів відцентрової машини та їх вплив на характер переміщення оброблюваного матеріалу у гідроекстракторному барабані.

Результати. Проведено аналітичне дослідження взаємодії робочих органів барабана з матеріалом у відцентровій машині для оброблення виробів легкої промисловості з використанням методів математичного аналізу геометричної форми бічної поверхні. В основу такого методу покладено принцип виявлення закономірностей руху матеріальних точок площиною бічної поверхні робочого органу барабану відцентрової машини. Доведено справедливості висновків дослідження на прикладі характеристики поверхні робочого органу гелікоїдальної форми.

Наукова новизна. Проаналізовано та наведено параметри та показники, які необхідно враховувати при дослідженні взаємодії робочих органів барабанів відцентрових машин для оброблення виробів легкої промисловості.

Практична значимість. У результаті проведеного аналітичного дослідження було розглянуто форму та визначено найбільш значущі геометричні параметри робочого органу відцентрової машини, які визначають характер переміщення оброблюваного матеріалу у гідроекстракторному барабані. Отримані залежності та висновки можуть бути використані при проектуванні робочих органів відцентрових барабанних машин для оброблення різних матеріалів та галузей легкої промисловості. Наведена в статті інформація представляє інтерес для вчених, які досліджують проблеми оброблення та взаємодії матеріалів та сумішей у обертових відцентрових системах, має практичне значення для інженерів в області машинобудування, приладобудування, побутового обслуговування, технологів підприємств харчової, легкої, хімічної промисловості та ін.

Ключові слова: відцентрова машина, взаємодія площини з матеріальною точкою, відцентровий барабан, гребінь, переміщення матеріалу.

Вступ. Оброблення матеріалів у відцентрових пристроях зустрічається у багатьох галузях легкої промисловості. Воно застосовується при заготівлі та підготовці сировини, наданні специфікованих фізичних та хімічних властивостей, як етап фінішного оброблення або гідроекстракції [1].

Процес впливу гідроекстракторного відцентрового барабана з робочими органами (гребенями) на оброблюваний матеріал слід розглядати з двох точок зору [2], а саме:

- забезпечення найбільшої ефективності механічного впливу на оброблюваний матеріал, який отримується в результаті його руху після відділення від гребенів наприкінці падіння, в момент зіткнення з обичайкою барабану, з найбільшим запасом кінетичної енергії, що витрачається на деформацію матеріалу;

- забезпечення найбільшої інтенсивності та напруженості об'ємного перемішування оброблюваного матеріалу, для найбільшого його розподілу за траєкторією руху по внутрішньому об'єму барабану.

Постановка завдання. Для математичного моделювання процесу взаємодії гребенів обертового барабана і оброблюваного матеріалу, необхідно мати аналітичний опис форми такого гребеня, що взаємодіє з оброблюваним матеріалом. Причому, цей опис має бути настільки загальним, щоб будь-які відомі в даний час нестандартні конструкції вважалися окремими випадками розглянутої форми [3].

Результати дослідження. Розглянемо в загальному вигляді параметри форми гребеня. На рис. 1 представлена площина, що проходить через точки A, B', C', D , та співпадає з плоскою бічною поверхнею гребеня 1, 2', 3', 4, яка паралельна осі обертання барабана. Припустимо, що ця площина відсікає на осі OX відрізок довжини h і створює з цією віссю кут α_0 . Тоді рівняння даної площини (в формі рівняння площини у відрізках) запишеться:

$$Y(x) = (h - x) \cdot \tan \alpha_0. \quad Z \in [0, L]$$

Нормаль N до цієї площини утворює кут α_0 з віссю OY і перпендикулярна осі OZ . Це справедливо для всіх точок площини.

Повернемо цю площину навколо прямої, що проходить через точки A, D на кут β . Рівняння такої площини матиме вигляд:

$$\frac{x}{y} + \frac{y}{h \cdot \tan \alpha_0} - \frac{z}{\frac{h \cdot \sin \alpha_0}{\tan \beta}} = 1 \quad \text{або} \quad y(x, z) = [H(z) - x] \tan \alpha_0.$$

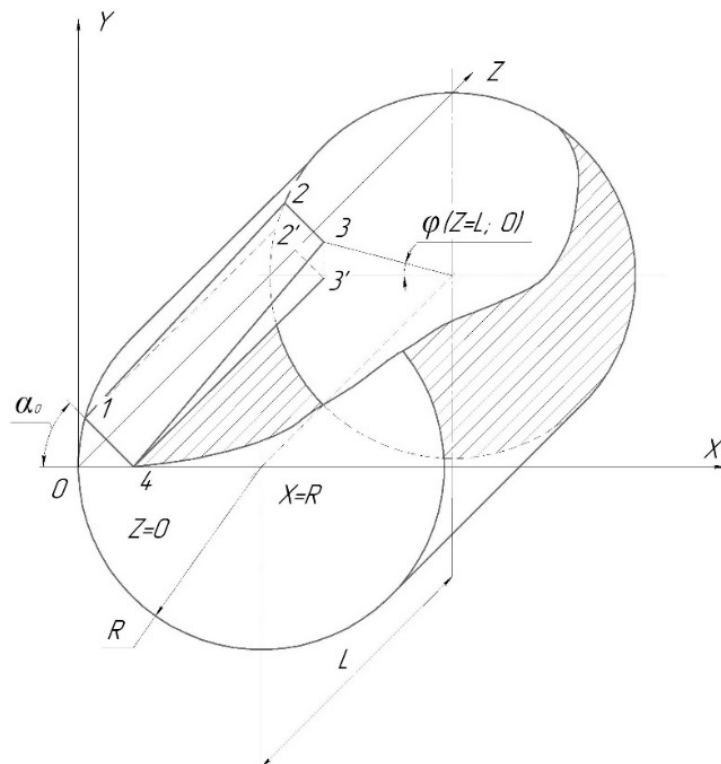


Рис. 1. Схема барабана з площиною, яка утворює пласку бічну поверхню

Величина $H(z)$ має такий же як і h геометричний сенс, але для будь-якого перетину даної площини такою площиною, яка перпендикулярна осі OZ , при будь-якому значенні координати z із замкнутого проміжку $0 \leq z \leq L$. Рівняння цієї площини для кожного z_i з $[0, L]$ задає лінію $Y(x)$, яке є її слідом в зазначеному перетині. В подальшому будемо розглядати цю

лінію як твірну поверхні, що описується. Нормаль до цієї площини становить з площиною XOY кут β , а проекція нормалі на площину XOY становить з віссю OY кут α_0 . Це справедливо для всіх точок даної площини.

Вирішуючи рівняння циліндра $y^2 + (x - R)^2 = R^2$, $z \in [0, L]$, яке описує поверхню обичайки барабана спільно з рівнянням площини $y = [H(z) - x] \cdot \tan \alpha_0$, що описує пласку бічну поверхню гребеня, отримуємо рівняння лінії сполучення даної поверхні гребеня і барабана:

$$\begin{aligned} x_q(z) &= T(z) - \sqrt{T^2(z) - H^2(z) \sin^2 \alpha_0}, \\ y_q(z) &= [H(z) - x_q(z)] \tan \alpha_0, \end{aligned} \quad (4)$$

тут використано позначення:

$$T(z) = [R + H(z) \tan^2 \alpha_0] \cdot \cos^2 \alpha_0. \quad (5)$$

Довжина схилу гребеня при $z = 0$:

$$d = \sqrt{[h - x_q(0)]^2 + y_q^2(0)}. \quad (6)$$

Прийнявши умову, що при $z = 0$ та $z = L$ довжина схилу d плаского похилого гребеня однакова, координати точки 3 запишуться:

$$\begin{aligned} x_3 &= x_q(L) + d \cdot \cos \alpha_0, \\ y_3 &= y_q(L) + d \cdot \sin \alpha_0. \end{aligned} \quad (7)$$

Координати точок вершини робочого органу в залежності від z можна отримати, описавши просторову пряму, що проходить через точки 4 і 3:

$$\frac{x - h}{x_3 - h} = \frac{y}{y_3} = \frac{z}{L}, \quad (8)$$

або

$$\begin{aligned} x_v(z) &= h + \frac{x_3 - h}{L} \cdot z, \\ y_v(z) &= \frac{y_3}{L} \cdot z. \end{aligned} \quad (9)$$

Розглянуту пласку поверхню гребеня можна уявити як результат плоскопаралельного руху прямолінійної твірної уздовж направляючої вершини, та поступального прямолінійного руху. Якщо дозволити твірній, при такому її переміщенні з постійною швидкістю, одночасно обертатися навколо направляючої з постійною кутовою швидкістю $c = \frac{\alpha_L - \alpha_0}{L}$, то отримаємо закручену поверхню гелікоїда. Кут, який утворює твірна з площиною XOZ , для кожного значення z_1 координати z з $0 \leq z \leq L$ запишеться:

$$\alpha(z_1) = \alpha_0 + \frac{\alpha_L - \alpha_0}{L} z_i = \alpha_0 + c \cdot z_i$$

де α_L кут, який утворює твірна поверхні з площиною XOZ при $z = L$.

Для гвинтової гелікоїдальної поверхні рівняння набуде вигляду:

$$y(x, z) = (x_v(z) - x) \cdot \tan(\alpha_0 + cz) + y_v(z)$$

Для опису положення кожної точки на даній поверхні гребеня, поряд з координатою z із замкнутого проміжку $0 \leq z \leq L$, будемо використовувати також відстань s цієї точки від

вершини гребеня вздовж прямої лінії, що отримується у відповідному перетині гребеня з площиною, яка перпендикулярна осі обертання барабана. Цю лінію, як раніше було відзначено, приймаємо твірною для даної поверхні. На рис. 2 зображено перетин поверхні гребеня, де $\beta \neq 0$, для довільного z .

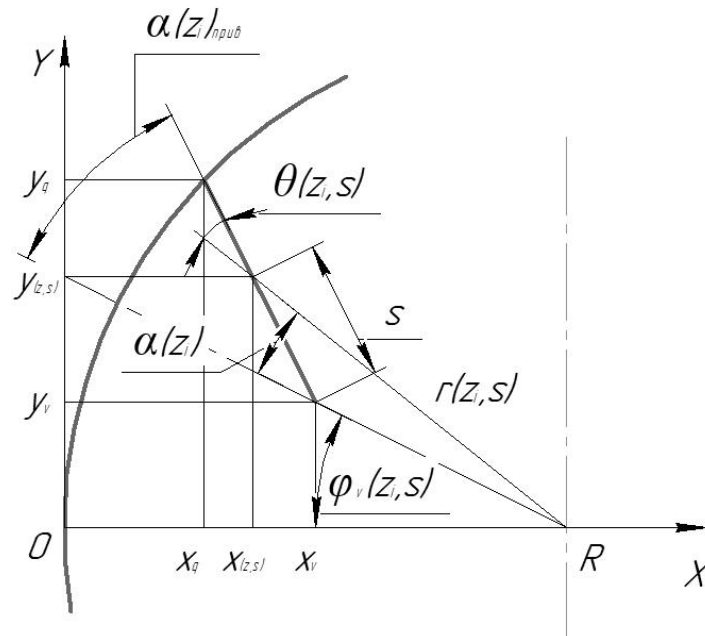


Рис. 2. Координатний опис поверхні гребеня

Гелікоїдальність поверхні гребеня впливає на орієнтацію нормалі до неї. Знайдемо обумовлену цим складову кута нахилу нормалі щодо площини XOY . Нехай AB - вершина гребеня, AD - деяка його твірна. Змістимо цю твірну на деяку нескінченно малу відстань dl . Твірна при цьому повинна повернутися на кут $c \cdot dl$ і прийняти положення BE . З трикутника DCE , що знаходиться на відстані s від вершини робочого органу, знаходимо, що кут CDE становить $c \cdot s$.

Відповідно, нормаль N утворює кут $\xi(s) = \beta + c \cdot s$ з площиною XOY , а проекція нормалі на площину XOY утворює кут $\alpha(z) = \alpha_0 + c \cdot s$ з віссю OY .

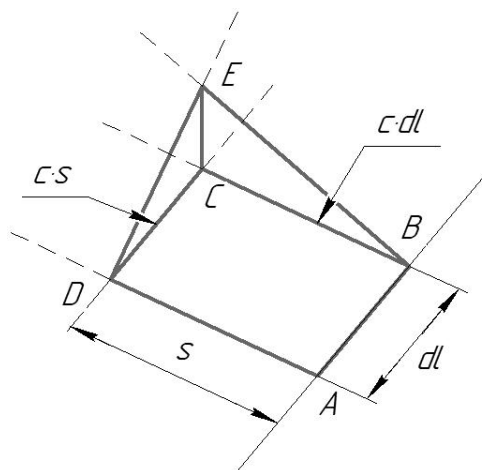


Рис. 3. Визначення кута нахилу нормалі до поверхні гелікоїдальної форми

Таким чином, поверхню гребеня будемо вважати частину поверхні, заданої функцією при $z \in [0, L]$, та обмеженою поверхню циліндра радіуса R і довжини L , а також відрізком прямої 4-3, рівняння якої описується функціями $x_v(z)$ і $y_v(z)$ при $z \in [0, L]$. Величинами, які однозначно задають такий гребінь, будуть: $R, L, h, \alpha_0, \alpha_L, \beta$.

Зростання β для всіх $z > 0$ призводить до зменшення кута $\alpha(z_1)_{\text{привед}}$ і, відповідно, кута між поверхню гребеня і поверхню обичайки барабана, що при $z \rightarrow L$ в деяких випадках може призводити до «затискання» об'єкта оброблення між гребенем і барабаном. Гелікоїдальна форма поверхні гребеня при досить великих s в цьому випадку (тобто при $\beta > 0$) виключає таку можливість.

У поверхні гвинтової гелікоїдальної форми, при зміщенні вздовж твірної, напрям нормалі до поверхні гребеня змінюється.

Це означає, що така поверхня не може бути розгорнута на площину.

Розглядаючи спільно рівняння циліндра (обичайки барабана) і рівняння поверхні гребеня, отримуємо остаточний вираз для координат точок «підніжжя» гребеня:

$$x_q(z) = Q(z) - \sqrt{Q^2(z) - P^2(z)},$$

$$y_q(z) = \sqrt{R^2 - [x_q(z) - R]^2}.$$

де скористалися такими позначеннями:

$$Q(z) = [R + x_v(z) \cdot \tan^2 \alpha_0 + y_v(z) \cdot \tan \alpha] \cos^2 \alpha,$$

$$P(z) = [x_v(z) + \tan \alpha + y_v(z)]^2 \cos^2 \alpha.$$

Для довжини твірної поверхні в кожному його перетині з $0 \leq z \leq L$ можна записати:

$$s_{\max} = \sqrt{[x_v(z) - x_q(z)]^2 + [y_v(z) - y_q(z)]^2}.$$

Як видно з рис. 2, декартові координати будь-якої точки даної поверхні гребеня пов'язані з її координатами (z, s) так:

$$x_i(z, s) = x_v(z) - s \cdot \cos(\alpha_0 + c \cdot z),$$

$$y_i(z, s) = y_v(z) + s \cdot \sin(\alpha_0 + c \cdot z).$$

Для аналізу взаємодії з поверхню гребеня при обертанні барабана об'єкта, який розглядається як матеріальна точка, важливо знати кут, що визначає радіус-вектор цієї точки $\vec{r}(z, s)$ з даною поверхню. Позначивши цей кут як $\Theta(z, s)$, отримуємо:

$$\Theta(z, s) = \alpha(z) - \operatorname{atan} \frac{y(z, s)}{R - x(z, s)} = \alpha_0 + c \cdot z - \operatorname{atan} \frac{y(z, s)}{R - x(z, s)}.$$

Кут $\Theta(z, s)$ не залежить від положення барабана, займаного ним при обертанні та $\Theta(z, s)|_{s=0} = \alpha_0$.

Радіус-вектор $\vec{r}(z, s)$, що характеризує стан розглянутої матеріальної точки на поверхні гребеня відносно осі обертання барабана, визначається виразом:

$$r(z, s) = \sqrt{[R - x(z, s)]^2 + y(z, s)^2}.$$

Крім того, для характеристики в загальному випадку (при $\beta \neq 0$) положення розглянутої поверхні гребеня відносно осі обертання барабана і проведеної через неї горизонтальної площини XOZ , використовується кут $\varphi_v(z, 0)$, що утворюється в кожному перетині по всій сукупності значень z , між лінією, що з'єднує вісь обертання і вершину

гребеня, тобто радіус-вектором вершини гребеня і її ж горизонтальною проекцією. Надалі такий стан гребеня приймаємо за початковий.

$$\varphi_v(z, 0) = \operatorname{atan} \frac{y(z)}{R - x_v(z)}$$

При $\beta = 0$ маємо для всіх значень z :

$$\varphi_v(z, 0) = 0$$

Як видно з рис. 2, для кожного значення z_i із $0 \leq z_i \leq L$, у відповідному йому перетині гребеня площиною, яка перпендикулярна осі обертання барабана, та різниця кута нахилу твірної щодо горизонту $\alpha(z_i)$ і кута $\Theta(z_i, 0)$ дорівнює для даного перетину куту $\Theta(z, s)$ при $s = 0$, позначивши який як $\Theta(z_i, 0)$ можна записати:

$$\Theta(z_i, 0) = \alpha(z_i) - \varphi_v(z_i, 0) = \alpha_0 + c \cdot z_i - \varphi_v(z_i, 0) = \alpha(z_i)_{\text{привед}}$$

де $0 \leq z_i \leq L$ - область зміни можливих значень z (замкнутий проміжок $[0, L]$);

$\alpha(z_i)_{\text{привед}} = \Theta(z_i, 0)$ – приведена величина кута нахилу твірної для перетину, відповідного z_i (або величина нахилу твірної в перерізі по координаті z_i , відносно радіальної площини, проведеної в цьому перерізі через вершину гребеня).

Кут $\alpha(z_i)_{\text{привед}}$ визначає для відповідного значення z_i перетину поверхні похилого гребеня (тобто для випадку, коли $\beta \neq 0$ і, відповідно, $y_v(z_i) \neq 0$), таку величину кута нахилу твірної цієї ж поверхні, але вже прямого гребеня (тобто, у якого $\beta = 0$) в цьому ж перетині z_i , відносно горизонтальної площини, проведеної через вісь обертання барабана, щоб при повороті такого прямого гребеня в результаті обертання барабана на кут $\varphi_v(z, 0)$, ця твірна даної поверхні збігалася з твірною поверхні розглянутого похилого гребеня.

Величини $\alpha(z_i)_{\text{привед}} = \Theta(z_i, 0)$ і $\varphi_v(z, 0)$, використовуються при аналізі результатів, одержуваних при розміщенні похилих гребенів на поверхні обичайки барабана з різними геометричними формами виконання їх поверхонь, які взаємодіють з оброблюваним матеріалом. Використання параметра $\alpha(z_i)_{\text{привед}}$ дозволяє аналізувати взаємодію бічної поверхні гребеня і оброблюваного матеріалу, а, в загальному випадку, розглядати перетин будь-якої форми цієї поверхні, що має прямолінійну твірну, як такий самий перетин бічної поверхні плоского прямого гребеня, у якій $\alpha_0 = \alpha(z_i)_{\text{привед}}$.

Для виявлення деяких закономірностей руху оброблюваного матеріалу при обертанні гідроекстракторного барабана, які виникають в результаті взаємодії з робочими органами, конструкція яких відповідає попередньому опису, розглянемо матеріальний точковий об'єкт маси m , що піднімається за лінією гребеня барабана, що обертається за годинниковою стрілкою навколо власної горизонтальної осі з постійною кутовою швидкістю $\omega = 2\pi n$ (де n - кількість обертів в одиницю часу).

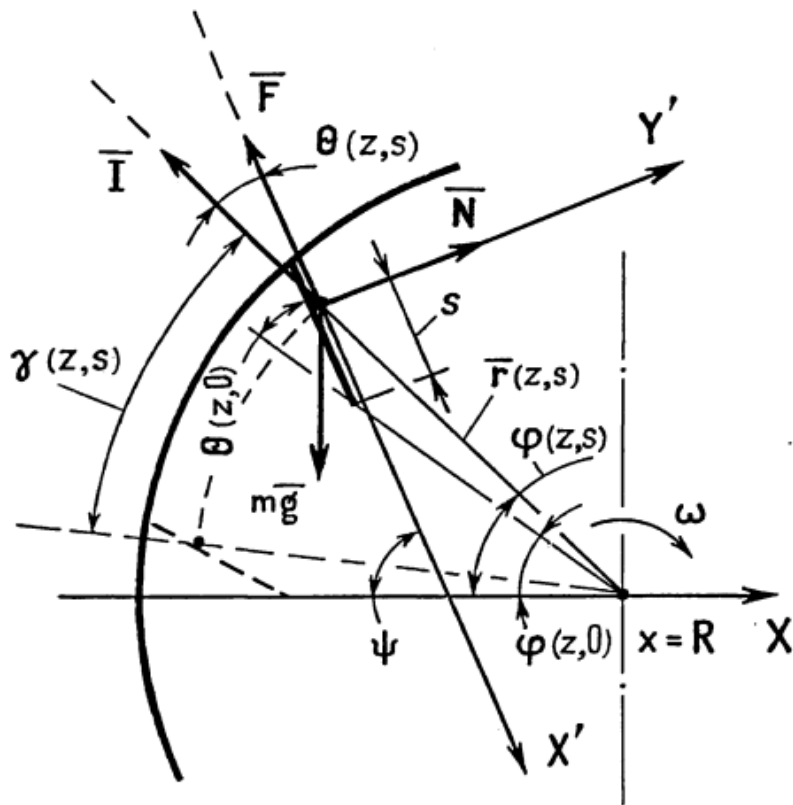


Рис. 4. Схема сил, які діють на точковий об'єкт на гребені барабану

Розглянемо момент обертання барабану в його перетині з площиною, що перпендикулярна осі обертання та відповідає будь-яким значенням z_i з $0 \leq z_i \leq L$ (Рисунок 4). Проведемо в цій площині від осі обертання радіус-вектор вершини гребеня. Початкове положення барабану і гребеня характеризується кутом $\varphi_v(z, 0)$, який в даному перетині складає з горизонтальною площиною радіус-вектор вершини гребеня. У випадку $\beta \neq 0$, через нахил цієї вершини відносно осі обертання барабану однаковим кутом $\varphi(z, 0)$, що належать до різних перетинів всієї сукупності значень z , об'єктивно будуть відповідати різні положення барабану.

Висновки. Проведено аналіз механічного впливу на матеріал, що обробляється у барабані з гребенями з урахуванням режимів роботи. Визначено, що крім кутів $\varphi(z, 0)$ будуть використовуватися і кути $\varphi(z, s)$, що утворюються при обертанні барабану в різних по z перетинах радіусом-вектором точок твірної поверхні гребеня, що віддалені від вершини на відстані s . Характеризувати різне (через нахил вершини гребеня) положення барабану, що відповідає однаковим кутам $\varphi(z, s)$ при однаковій величині s , але різних значеннях z , можна за різницею $\varphi(z, s) - \varphi_v(z, 0)$. Це дасть можливість порівнювати результати, які будуть одержані для різних форм виконання бічних поверхонь гребеня, які взаємодіють з оброблюваним матеріалом і при різному розміщенні гребеня на обичайці.

Література

1. Усольцев О.М. Совершенствование рабочих органов барабанных стирально-отжимных машин: дис. канд. техн. наук: 05.02.13 / Усольцев Александр Михайлович. – М., 2003. – 194 с.
2. Петко І. В. Аналіз механічного впливу на матеріал під час обробки в барабані з гребенями, що обертається / І. В. Петко, О. М. Усольцев // Вісник Технологічного університету Поділля: Науковий журнал. – 2003. – №5, Ч. І. – С.30-32.
3. Нагорный П.И. Влияние некоторых технологических и конструктивных параметров на функциональные и эксплуатационные характеристики барабанных автоматических стиральных машин / П.И. Нагорный, С.В. Орчинский // Новое в разработках и исследованиях электробытовых машин и приборов: Сб. научных трудов ВНИЭКИЭМП. – 1988. – С.41-49
4. Нагорный П.И., Усольцев А.М., Мальцев Б.Б., Мельник Л.В. Управление распределением отжимаемого белья в барабане стиральной машины путём изменения конструкции барабана // Исследование и разработка нового поколения машин и приборов для быта. - М.: ЦНИИТЭИлегпищемаш, 1983. - С. 43-50.
5. ДСТУ 2721-94. Машини пральні побутові. Загальні технічні умови. – Чинний від 01.07.95. К.: Держстандарт України, 1994. – 108 с.
6. Петко І. В. Електропобутова техніка / І. В. Петко, О. П. Бурмістенков, Т. Я. Біла, М. Є. Скиба. – Хмельницький: ХНУ, 2017. – 213 с.
7. Воляник О.Ю. Дослідження руху матеріальної точки під дією інтенсифікаторів раціональної форми перерізу у барабаних пральних машинах. / О. Ю. Воляник, І. В. Петко // Українсько-польські наукові діалоги. – 2017. – С.172-173.
8. Орчинский С. В. Влияние геометрии гребней барабана стирально-отжимной машины на ее функциональные и эксплуатационные показатели / С. В. Орчинский, А. М. Усольцев, И. И. Исаенко // Производственно-технический опыт. – М. : ЦНТИ «Поиск», 1989. № 8. – С. 99–

References

1. Usol'tsev O.M. (2003). Sovershenstvovanye rabochoykh orhanov barabannikh styral'no-otzhymnykh mashyn [Improvement of working organs of drum washing and pressing machines]. Candidates' thesis. Moscow [in Russian].
2. Petko I.V., Usol'tsev O.M. (2003). Analiz mekhanichnoho vplyvu na material pid chas obrobky v barabani z hrebenyamy, shcho obertayet'sya [Analysis of the mechanical influence on the material during processing in a rotating drum with rows]. Visnyk Tekhnolohichnoho univertsytetu Podillya: Naukovyy zhurnal. – Bulletin of Technical University of Podillya: science magazine, Vol. 5., Pt I, 30-32. [in Ukrainian].
3. Nagorniy P.T, Orchinskiy S.V. (1988). Vliyaniye nekotorykh tekhnologicheskikh i konstruktivnykh parametrov na funktsionalnie i eksluatacionnie kharakteristiki stiral'nykh mashin [The effect of some technological and design parameters on the functional and operational characteristics of automatic drum washing machines]. Sbornik nauchnikh trudov VNIKIEMP, 41-49. [in Russian].
4. Nagorny P.I., Usoltsev AM, Maltsev B. B., Melnyk L.V. (1983). Upravleniye raspredeleniyem otzhimayemogo bel'ya v barabane stiral'noy mashiny putem izmeneniya konstruktsii barabana [Management of the distribution of pressed linen in the drum of the washing machine by changing the design of the drum] // Issledovaniye I razrabotka novogo pokoleniya mashin I priborov dlya bita. – Moscow, TNIITEllegpilishemash, 43-50 [in Russian]
5. DSTU 2721-94. Mashyny pralni pobutovi. Zagalni tekhnichni umovy [State Standard 2721-94. Household washing machines. General technical conditions]. Kyiv, Derzhstandart Publ., 1995. 108 p.
6. Petko I. V., Burmistenkov O. P., Bila T. Y., Skyba M. Y. (2017). Elektropobutova tekhnika [Electrical household appliances]. Khmel'nyts'kyu: KhNU [in Ukrainian]
7. Volianyk O. Y., Petko I. V. (2017). Doslidzhennya rukhu material'noyi tochky pid diyeyu intensyfikatoriv ratsional'noyi formy pererizu u barabannyykh pral'nykh mashynakh [Study of motion of a material point under the influence of intensifiers of rational shape of the section in drum washing machines]. Ukrayinsko-polski naukovy dialogi – Ukrainian-Polish Science Dialogues, 172-173 [in Ukrainian]
8. Orchinsky S.V. Usoltsev A.M., Isaenko I.I. (1989). Vliyaniye geometrii grebney barabana stiral'noy mashini na yeye funktsionalniye pokazateli [Influence of the geometry of the paddle of the drum of the washing-press machine on its functional and operational parameters]. Production and technical experience. – CSTI "Search", Vol. 8., 99-101.
9. Popov V. L.(2012) Mekhanyka kontaktnoho vzaymodeistviya i fizyka treniya [Contact mechanics

101.
9. Попов В.Л. Механика контактного взаимодействия и физика трения, М:Физматлит, 2012. – 348с
10.Алехин С. Н. Исследование параметров текстильных изделий при отжиге / С. Н. Алехин, И. В. Фетисов // Казанская наука. – 2011. – №2. – С. 23-25.

- interaction and physics of friction] – Moscow: Fyzmatlyt. 348 p.[in Russian]
10. Al'okhin S.N., Fetisov I.V. (2011). Issledovanye parametrov tekstyl'nykh yzdelyy pry otzhyme [Study of the parameters of textile products during spinning]. Kazanskaya nauka – Kazan Science, Vol. 2, 23-25. [in Russian].

VOLIANYK OLEKSII

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

ResearcherID:I-7967-2018

Kyiv National University of Technologies and Design

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РАБОЧИХ ОРГАНОВ БАРАБАНА ЦЕНТРОБЕЖНОЙ МАШИНЫ С ОБРАБАТЫВАЕМЫМ МАТЕРИАЛОМ ВОЛЯНИК А.Ю.

Киевский национальный университет технологий и дизайна

Цель. Проведения аналитического исследования взаимодействия рабочих органов барабана с материалами в центробежной машине для обработки изделий легкой промышленности. Определение зависимостей и значимых параметров рабочих органов, влияющих на характер перемещения обрабатываемых материалов в барабане.

Методика. Использованные методы математического изучения геометрических параметров рабочих органов центробежной машины и их влияние на характер перемещения обрабатываемого материала в гидроекстракторном барабане.

Результаты. Проведено аналитическое исследование взаимодействия рабочих органов барабана с материалом в центробежной машине для обработки изделий легкой промышленности с использованием методов математического анализа геометрической формы боковой поверхности. В основу такого метода положен принцип выявления закономерностей движения материальных точек плоскости боковой поверхности рабочего органа барабана центробежной машины. Доказано справедливость выводов исследования на примере характеристики поверхности рабочего органа геликоидальной формы.

Научная новизна. Проанализированы и приведены параметры и показатели, которые необходимо учитывать при исследовании взаимодействия рабочих органов барабанов центробежных машин для обработки изделий легкой промышленности.

Практическая значимость. В результате проведенного аналитического исследования была рассмотрена форма и определены наиболее значимые геометрические параметры рабочего органа центробежной машины, которые определяют характер перемещения обрабатываемого материала в гидроекстракторном барабане. Полученные зависимости и выводы могут быть использованы при проектировании рабочих органов центробежных барабанных машин для обработки различных материалов в разных отраслях легкой промышленности. Приведенная в статье информация представляет интерес для ученых, исследующих проблемы обработки и взаимодействия материалов и смесей в вращательных центробежных системах, имеет практическое значение для инженеров в области машиностроения, приборостроения, бытового обслуживания, технологов предприятий пищевой, легкой, химической и др.

Ключевые слова: центробежная машина, взаимодействие плоскости с материальной точкой, центробежный барабан, гребень, перемещения материала.

INVESTIGATION OF INTERACTION OF DRUM OPERATION DEVICE OF THE CENTRIFUGAL MACHINE WITH THE PROCESSED MATERIAL

VOLIANYK O.

Kyiv National University of Technologies and Design

Purpose. Carrying out of analytical research of interaction of operation device of a drum with materials in the centrifugal car for processing of products of the light industry. Determining the dependences and significant parameters of the operation devices that affect the nature of the movement of processed materials in the drum.

Methodology. Methods of mathematical study of geometrical parameters of operation devices of the centrifugal machine and their influence on character of movement of the processed material in a hydroextractor drum are used.

Results. An analytical study of the interaction of the operation devices of the drum with the material in a centrifugal machine for processing light industry products using methods of mathematical analysis of the geometric shape of the side surface. This method is based on the principle of detecting patterns of motion of material points in the plane of the side surface of the operation device of the drum of the centrifugal machine. The validity of the conclusions of the study on the example of the characteristics of the surface of the operation device of the helical shape is proved.

Scientific novelty. The parameters and indicators that must be taken into account when studying the interaction of the operation devices of the drums of centrifugal machines for processing light industry products are analyzed and presented.

Practical significance. As a result of the analytical study, the shape was considered and the most significant geometrical parameters of the operation device of the centrifugal machine were determined, which determine the nature of the movement of the processed material in the hydroextractor drum. The obtained dependences and conclusions can be used in the design of the operation devices of centrifugal drum machines for processing various materials in light industry. The information presented in the article is of interest to scientists who study the problems of processing and interaction of materials and mixtures in rotary centrifugal systems, is of practical importance for engineers in mechanical engineering, instrumentation, consumer services, technologists of food, light, chemical and others.

Key words: centrifugal machine, interaction of the plane with the material point, centrifugal drum, comb, material movement.

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

СИНТЕЗ ТА АНАЛІТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ СТАТИЧНО ВИЗНАЧЕНОГО ПРОСТОРОВОГО ШАРНІРНОГО МЕХАНІЗМУ ГАЛТУВАЛЬНОЇ МАШИНИ

Мета. Синтез семиланкового статично визначеного просторового шарнірного механізму з додатковою рухомою ланкою кривошипом без надлишкового (пасивного) зв'язку галтувальної машини, у якій робоча ємкість виконує складний просторовий рух, з подальшим аналітичним дослідженням його конструктивних та геометричних параметрів.

Методика. Використано аналітичний метод дослідження на основі геометричного та структурного синтезу просторового семиланкового шарнірного механізму з додатковою рухомою ланкою кривошипом без надлишкового зв'язку галтувальної машини, у якій робоча ємкість виконує складний просторовий рух. Проведено моделювання машини у системі автоматизованого проектування SolidWorks-2016.

Результати. На основі структурного синтезу запропоновано конструкцію семиланкового статично визначеного просторового механізму з додатковою рухомою ланкою кривошипом галтувальної машини, у якій робоча ємкість виконує складний просторовий рух. Виконано 3D моделювання машини в системі автоматизованого проектування SolidWorks-2016. Проведено аналітичні дослідження основних геометричних параметрів розробленої галтувальної машини.

Наукова новизна. Встановлено взаємозв'язок між різними геометричними параметрами синтезованого семиланкового статично визначеного просторового шарнірного механізму, зокрема, між міжосьовою довжиною проміжного шатуна (робочої ємкості) та довжиною кривошипа, що дає можливість розрахувати необхідні співвідношення довжин ланок механізму для забезпечення функціонування машини без заклинювання її просторового механізму.

Практична значимість. Розроблено нову конструкцію машини для обробки деталей, в основі якої використовується семиланковий статично визначений просторовий шарнірний механізм з додатковою рухомою ланкою кривошипом. Отримані математичні залежності для розрахунку її основних конструктивних та геометричних параметрів. Дані залежності можуть бути використані у відповідних конструкторських бюро машинобудівних підприємств на стадії проектування галтувального обладнання зі складним просторовим рухом робочих ємкостей.

Ключові слова: надлишковий зв'язок, статично визначений просторовий механізм, обертальний рух, робоча ємкість, кривошип, коромисло.

Вступ. Відомі такі методи [1] фінішної обробки дрібних металевих та полімерних деталей: із застосуванням примітивних засобів малої механізації, із використанням універсальних різальних верстатів та із застосуванням галтувального обладнання [2]. Перший спосіб потребує значного часу на виконання технологічної операції та робочого потенціалу. Другий спосіб не завжди актуальний, оскільки значна кількість деталей, які обробляються не потребують зняття точно визначеної величини припуску. Третім способом обробляються ті вироби, для яких відсутні вимоги щодо зняття точно визначеної величини припуску з їх оброблюваної поверхні, а якість їх поверхні можна визначити органолептично. Таким методом, наприклад, можуть реалізуватися технологічні процеси покращення якості поверхні (шліфування [3] та полірування [4]) виробів, відділення деталей від ливників [5] тощо.

Для реалізації галтувальних технологічних процесів використовують різні типи обладнання: машини з обертовими ємкостями; вібраційні та шпиндельні машини; машини, у яких робоча ємкість виконує складний просторовий рух. Відомо, що машини з обертальними ємкостями та вібраційні машини характеризуються низькою продуктивністю виконання галтувальних технологічних операцій. Перспективним типом обладнання вважаються машини [6, 7], робочі ємкості яких виконують складний просторовий рух [8]. Доведено [9], що саме такий рух робочої ємкості сприяє підвищенню інтенсивності руху робочого масиву. В результаті чого досягається значне підвищення продуктивності виконання фінішних галтувальних технологічних операцій з одночасним зменшенням енерговитрат.

Постановка завдання. Відома [10] «базова» конструкція машини зі складним рухом робочої ємкості. В основі такої машини шестиланковий статично невизначений просторовий механізм з надлишковим зв'язком, що має негативний вплив на експлуатаційні властивості механізму. Попередніми дослідженнями встановлено [11], що такий механізм може функціонувати лише при дотриманні співвідношень довжин його ланок з високою точністю. Однак, при роботі такого механізму може виникнути повне його заклинювання, яке буде зумовлене навіть незначною деформацією будь-якої із його ланок. У результаті, при проектуванні такого механізму ставляться підвищені вимоги, а саме: деталі необхідно виготовляти за допусками з підвищеною точністю. Це призводить до значного збільшення вартості такого обладнання.

Таким чином, актуальним є синтез статично визначених просторових механізмів галтувальних машин, що будуть аналогічні за своїм функціональним призначенням, а також подальше аналітичне дослідження їх відповідних геометричних параметрів.

Результати дослідження. У роботі [6] достеменно розглянуто базову конструкцію машини зі складним просторовим рухом робочої ємкості. Згідно формули Сомова-Малишева [12] для визначення ступеня вільності просторового механізму встановлено, що для даного просторового механізму він рівний нулю. Механізми, у яких ступінь рухомості рівний нулю, вважаються непрацездатними. Однак, шестиланковий просторовий механізм «базової» конструкції галтувальної машини здатен функціонувати при забезпеченні чітких конструктивних співвідношень довжин його ланок, які отримані в роботах [8, 11]. Це пов'язано із наявністю у ньому надлишкового зв'язку.

Звільнитися від дії надлишкового зв'язку можна шляхом введення додаткової рухомої ланки у його кінематичний просторовий ланцюг. Таким чином, у якості додаткової рухомої ланки було використано кривошип, який кінематично з'єднаний з веденим валом машини та з можливістю повнообертального руху відносно горизонтальної вісі встановлений у станині машини. Кінематична схема просторового шарнірного механізму представлена на рис. 1 (а), а модель такої машини на рис. 1 (б).

Просторовий механізм машини складається зі станини 0, ведучого 1 та веденого 5 валів, ведучого шатуна 2, веденого шатуна 4, проміжного шатуна 3, кривошипу 6. Ведучий 1 та ведений 5 вали шарнірно з'єднані другими кінцями з ведучим шатуном 2 та веденим шатуном 4 відповідно, діаметрально взаємо перпендикулярні вісі 7 і 8 шатунів є вісями кріплення проміжного шатуна 3. Проміжний шатун 3 (робоча ємкість) виконує складний просторовий рух.

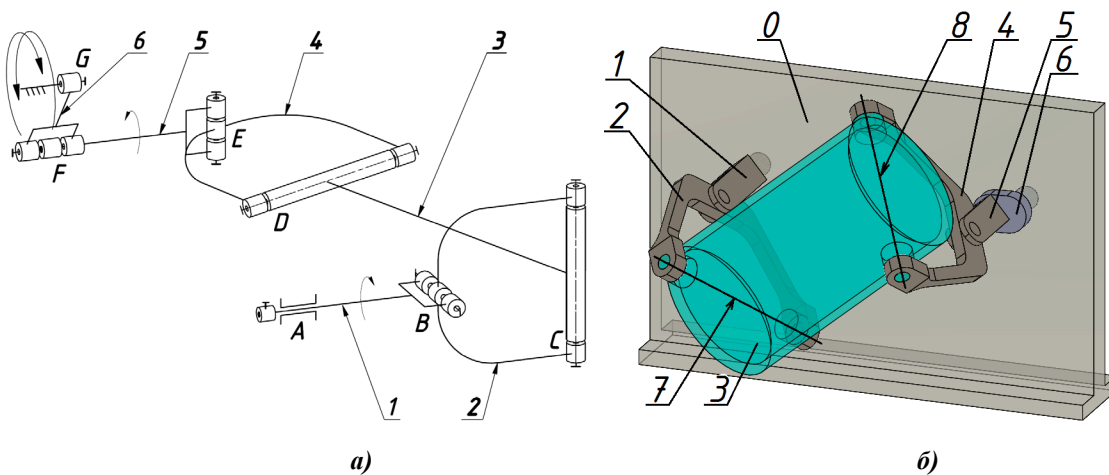


Рис. 2. а – кінематична схема синтезованого механізму, б – модель машини

При експлуатації даного механізму, за один оберт ведучого валу 1, кривошип 6 буде виконувати вісім додаткових обертань. При розробці даного механізму важливим аспектом є розрахунок раціональної довжини кривошипу. Розглянемо конструкцію даної машини при таких положеннях рухомих ланок, коли між вісями ведучого та веденого валів утворюватиметься максимальна (рис. 2 (а)) та мінімальна (рис. 2 (б)) відстані.

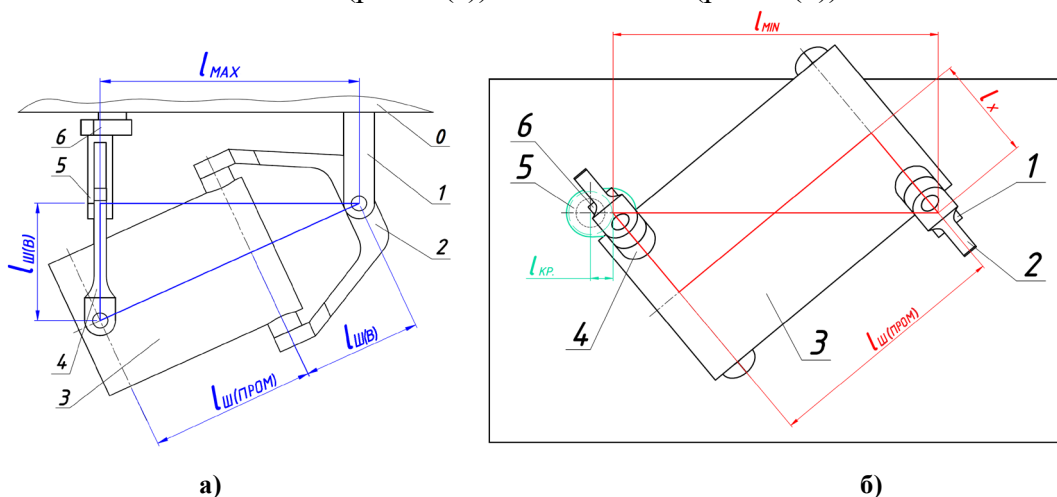


Рис. 2. Розроблена галтувальна машина: а – вид зверху, б – вид спереду

Для функціонування такої конструкції машини необхідно, щоб вісь обертання ведучого валу знаходилась в одній горизонтальній площині з віссю обертання кривошипу, котрий кінематично з'єднаний з веденим валом. Середню відстань l_0 між віссю обертання ведучого валу та віссю обертання кривошипу в проекції на горизонтальну площину можна розрахувати наступним чином:

$$l_0 = l_{MIN} + l_{KP}, \quad (1)$$

де l_{KP} – довжина кривошипу, l_{MIN} – мінімальна відстань між віссю обертання ведучого валу та віссю обертання кривошипу.

Виходячи з геометричної побудови на рис. 2 (б), запишемо вираз для розрахунку величини l_{MIN} :

$$l_{MIN} = \sqrt{l_{ш(проп)}^2 + 4l_x^2}, \quad (2)$$

де $l_{Ш(ПРОМ)}$ – відстань між осями кріплення проміжного шатуна (робочої ємкості), l_X – відстань у проекції на вертикальну площину між віссю обертання веденого (ведучого) валу та віссю проміжного шатуна.

У роботі [8] було отримано вираз для розрахунку відстані l_X :

$$l_X = l_{Ш(B)} \cos 45^\circ. \quad (3)$$

де $l_{Ш(B)}$ – міжосьова відстань ведучого (веденого) шатуна.

Рівняння (2) з урахуванням виразу (3) буде мати вигляд:

$$l_{MIN} = \sqrt{l_{Ш(ПРОМ)}^2 + 4(l_{Ш(B)} \cos 45^\circ)^2}. \quad (4)$$

Запишемо вираз (1) з урахуванням (4):

$$l_0 = \sqrt{l_{Ш(ПРОМ)}^2 + 4(l_{Ш(B)} \cos 45^\circ)^2} + l_{KP}. \quad (5)$$

Вираз для розрахунку раціональної довжини кривошипу буде мати вигляд:

$$l_{KP} = \frac{l_{MAX} - l_{MIN}}{2}, \quad (6)$$

де l_{MAX} – максимальна відстань між віссю обертання ведучого валу та віссю обертання кривошипу. l_{MAX} , виходячи з геометричної побудови, яка представлена на рис. 2 (а), можна визначити наступним чином:

$$l_{MAX} = \sqrt{(l_{Ш(B)} + l_{Ш(ПРОМ)})^2 - l_{Ш(B)}^2}. \quad (7)$$

З урахуванням виразів (4) та (7), рівняння (6) буде мати вигляд:

$$l_K = \frac{\sqrt{(l_{Ш(B)} + l_{Ш(ПРОМ)})^2 - l_{Ш(B)}^2} - \sqrt{l_{Ш(ПРОМ)}^2 + 4(l_{Ш(B)} \cos 45^\circ)^2}}{2}. \quad (8)$$

Підставимо рівняння (8) у вираз (5):

$$l_0 = \frac{\sqrt{(l_{Ш(B)} + l_{Ш(ПРОМ)})^2 - l_{Ш(B)}^2} + \sqrt{l_{Ш(ПРОМ)}^2 + 4(l_{Ш(B)} \cos 45^\circ)^2}}{2}. \quad (9)$$

За виразом (9) можна розрахувати відстань l_0 між віссю обертання ведучого валу та віссю обертання кривошипу в проекції на горизонтальну площину, що буде характеризувати необхідне розташування вісі кривошипу до вісі ведучого валу у горизонтальній площині.

Слід зазначити, що при порушенні рівності (6), додаткова рухома ланка у даній конструкції машини перестане виконувати повнообертальний рух, а коливатиметься на відповідний кут. Таким чином, додаткова рухома ланка стане коромислом.

Для того, щоб додаткова рухома ланка почала виконувати коливальне переміщення у вертикальній площині необхідно, щоб виконувалася наступна нерівність:

$$l_{KP} > \frac{l_{MAX} - l_{MIN}}{2}, \quad (10)$$

де l_{KP} – довжина коромисла.

Висновки.

1. Представлено один з можливих варіантів звільнення просторового шарнірного механізму галтувальної машини від надлишкового зв'язку.

2. Виконано синтез статично визначеного семиланкового просторового механізму із застосуванням додаткової рухомої ланки кривошипа. Розроблено нову конструкцію машини для обробки деталей, що забезпечує більш інтенсивне струшування робочого середовища.

3. Аналітично отримані математичні вирази для розрахунку основних геометричних та конструктивних параметрів машини. Дані залежності можуть бути використані відповідними машинобудівними підприємствами під час проектування такого типу обладнання.

Література

1. Залюбовський М. Г. Машини 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;
2. 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;
3. Zalyubovskiy M.G. Analytical determination of the time of handling process of polymeric details in a machine with a complex movement of working container / Zalyubovskiy M.G., Panasyuk I.V., Smirnov Y.I., Kuznetsova O.O., Malyshev V.V. // Bulletin of the Kyiv National University of Technologies and Design – 2019. – Vol. 3 (134). – P. 9 – 17;
4. 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, – C. 24-32;
5. Залюбовський М. Г. Експериментальне визначення енергії необхідної для відділення металевих деталей від ливників / М.Г. Залюбовський, І.В. Панасюк, В.В. Малишев // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну – 2019. – №6 (140). – С. 9 – 17;
6. M. Marigo. Discrete Element Method Modelling of Complex Granular Motion in Mixing Vessels: Evaluation and Validation: dissertation EngD / M. Marigo. - The University of Birmingham, UK., 2012;
7. 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;
8. M. G. Zalyubovskii. On the study of the basic design parameters of a seven-link Spatial mechanism

References

1. Zalyubovskiy, M.H., Panasyuk, I.V., & Malyshev V.V. (2007). *Mashyny zi skladnym rukhom robochykh yemkosti dlia obrobky polymernykh detalei: monohrafiia* [Machines with complex movement of working capacities for processing of polymer parts]. Kyiv [in Ukraine];
2. Pershin, V.F., Odnolko, V.G., & Pershina, S.V. (2009). *Pererabotka syvuchikh materialov v mashinakh barabannogo tipa* [Processing bulk materials in drum type machines]. Moscow: Mashinostroenie [in Russian];
3. Zalyubovskiy M.G., Panasyuk I.V., Smirnov Y.I., Kuznetsova O.O., Malyshev V.V. (2019). Analytical determination of the time of handling process of polymeric details in a machine with a complex movement of working container. *Bulletin of the Kyiv National University of Technologies and Design*, 3, 9 – 17 [in English];
4. Zalyubovskiy, M.H., Panasyuk, I.V., Smirnov Y.I., Klaptsov, Y.V., Malyshev, V.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, 24-32 [in English];
5. Zalyubovskiy, M.H., Panasyuk, I.V., Malyshev V.V. (2019). *Eksperymentalne vyznachennia enerhii neobkhdnoi dlia viddilennia metalevykh detalei vid lyvnykiv* [Experimental determination of the energy required to separate metal parts from foundries], *Visnyk Kyiv National University of Technologies and Design – Bulletin of the KNUITD*, 6, 9 – 17 [in Ukraine];
6. Marigo, M. (2012). Discrete Element Method Modelling of Complex Granular Motion in Mixing Vessels: Evaluation and Validation: dissertation EngD. The University of Birmingham, UK, 316 [in English];
7. 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*, 2, 60-68 [in English];
8. Zalyubovskii, M.H., Panasyuk, I.V. (2020). On the study of the basic design parameters of a seven-link Spatial mechanism of a part processing machine. *International Applied Mechanics*, 56, 54 – 64. [in

of a part processing machine / M. G. Zalyubovskii, I. V. Panasyuk // International Applied Mechanics, 56, issue 1, April 2020, 54 – 64;

9. Marigo M. Developing Mechanistic Understanding of Granular Behaviour in Complex Moving Geometry using the Discrete Element Method. Part A: Measurement and Reconstruction of Turbula-Mixer Motion using Positron Emission Particle Tracking / M. Marigo, D. L. Cairns, M. Davies, M. Cook, A. Ingram, E. H. Stitt // CMES: Computer Modeling in Engineering & Sciences, Vol. 59, No. 3 (2010), p. 217-238.

10. Панасюк І.В. Визначення закону зміни кутової швидкості ведучого валу машини для обробки деталей зі складним рухом робочої ємкості / І.В. Панасюк, М.Г. Залюбовський // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну – 2015. – №5. – С.40-46;

11. Zaliubovskiy M. G. Synthesis and research of the tumbling machine spatial mechanism / M. G. Zaliubovskiy, I. V. Panasiuk, Yu. I. Smirnov, V. V. Malyshev // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu, – 2020. – 178, issue 4, 69-75;

12. Артоболевский И.И. Теория машин и механизмов. – М.: Наука, 1988. – 640 с;

English];

9. Marigo, M., Cairns, D. L., Davies, M., Cook, M., Ingram, A., Stitt E. H. (2010). Developing Mechanistic Understanding of Granular Behaviour in Complex Moving Geometry using the Discrete Element Method. Part A: Measurement and Reconstruction of Turbula-Mixer Motion using Positron Emission Particle Tracking. *CMES: Computer Modeling in Engineering & Sciences*, 3, 217-238. [in English];

10. Panasyuk, I.V., Zalyubovskiy, M.H. (2015). Vyznachennia zakonu zminy kutovoi shvydkosti veduchoho valu mashyny dlia obrobky detalei zi skladnym rukhom robochoi yemkosti [Determination of the law of change of angular velocity of the driving shaft of the machine for processing parts with complex movement of the working capacity], *Visnyk KNUTD – Bulletin of the KNUTD*, 5, 40-46 [in Ukraine];

11. Zaliubovskiy, M. G., Panasiuk, I. V., Smirnov, Yu. I., Malyshev V. V. (2020). Synthesis and research of the tumbling machine spatial mechanism. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 178, 69-75. [in English];

12. Artobolevskii, I.I. (1988). *Teoriia mashin i mekhanizmov* [Theory of machines and mechanisms]. Moscow [in Russian];

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»

СИНТЕЗ И АНАЛИТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СТАТИЧЕСКИ ОПРЕДЕЛЕННОГО ПРОСТРАНСТВЕННОГО ШАРНИРНОГО МЕХАНИЗМА ГАЛТОВОЧНОЙ МАШИНЫ 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. Синтез семизвенного статически определенного пространственного шарнирного механизма с дополнительным подвижным звеном кривошипом без избыточной (пассивной) связи галтовочной машины со сложным пространственным движением рабочей емкости с последующим аналитическим исследованием его конструктивных и геометрических параметров.

Методика. Использованы аналитический метод исследования на основе геометрического и структурного синтеза пространственного семизвенного шарнирного механизма с дополнительным подвижным звеном кривошипом без избыточной связи галтовочной машины со сложным пространственным движением рабочей емкости. Выполнено моделирование машины в системе автоматизированного проектирования SolidWorks-2016.

Результаты. На основе структурного синтеза предложена конструкция семизвенного статически определенного пространственного механизма с дополнительным подвижным звеном

кривошипом галтовочной машины, у которой рабочая емкость выполняет сложное пространственное движение. Выполнено 3D моделирование машины в системе автоматизированного проектирования SolidWorks 2016. Проведены аналитические исследования основных геометрических параметров разработанной галтовочной машины.

Научная новизна. Установлена взаимосвязь между различными геометрическими параметрами синтезированного семизвенного статически определенного пространственного шарнирного механизма, в частности, между межосевой длиной промежуточного шатуна (рабочей емкости) и длиной кривошипа, что дает возможность рассчитать необходимые соотношения длин звеньев механизма для обеспечения функционирования машины без заклинивания ее пространственного механизма.

Практическая значимость. Разработана новая конструкция машины для обработки деталей, в основе которой используется семизвенный статически определенный пространственный шарнирный механизм с дополнительным подвижным звеном кривошипом. Получены математические зависимости для расчета ее основных конструктивных и геометрических параметров. Данные зависимости могут быть использованы в соответствующих конструкторских бюро машиностроительных предприятий на стадии проектирования галтовочного оборудования со сложным пространственным движением рабочих емкостей.

Ключевые слова: избыточный связь, статически определенный пространственный механизм, вращательное движение, рабочая емкость, кривошип, коромысло.

SYNTHESIS AND ANALYTICAL INVESTIGATIONS OF GEOMETRIC PARAMETERS OF A STATICALLY DETERMINED SPATIAL HINGED MECHANISM OF A HANDLING MACHINE

ZALYUBOVSKIY 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. Synthesis of a seven-link statically determined spatial hinge mechanism with an additional movable crank link without redundant (passive) connection of the tumbling machine with a complex spatial movement of the working vessel with subsequent analytical study of its design and geometric parameters.

Methodology. The analytical method of research is used on the basis of geometric and structural synthesis of a spatial seven-link hinge mechanism with an additional movable crank link without redundant connection of the tumbling machine with a complex spatial movement of the working vessel. The machine was simulated in the SolidWorks-2016 computer-aided design system.

Results. Tumbling types of equipment with containers, which perform a different character of movement, are analyzed. On the basis of structural synthesis, the design of a seven-link statically defined spatial mechanism with an additional movable link, a tumbling machine crank, in which the working capacity performs a complex spatial movement, is proposed. Carried out 3D modeling of the machine in the CAD system SolidWorks 2016. Analytical studies of the main geometric parameters of the developed tumbling machine were carried out.

Scientific novelty. A relationship has been established between various geometric parameters of the synthesized seven-link statically determined spatial hinge mechanism, in particular, between the center-to-center length of the intermediate connecting rod (working capacity) and the length of the crank, which makes it possible to calculate the necessary ratios of the lengths of the links of the mechanism to ensure the functioning of the machine without jamming its spatial mechanism.

Practical significance. A new design of a machine for processing parts has been developed, based on a seven-link statically determined spatial hinge mechanism with an additional movable crank link. Mathematical dependences are obtained for calculating its basic design and geometric parameters. These dependencies can be used in the corresponding design bureaus of machine-building enterprises at the design stage of tumbling equipment with a complex spatial movement of working containers.

Keywords: redundant communication, statically defined spatial mechanism, rotational motion, working capacity, crank.

<https://doi.org/DOI:10.30857/1813-6796.2020.5.3>

УДК 677.075. 3:
677.072.7+004.4

ЄЛІНА¹ Т.В., ГАЛАВСЬКА¹ Л.Є., МІКУЧІОНЕНЕ Д.²,
МІЛАШІУС Р.², БЕЗСМЕРТНА³ В.І.

¹ Київський національний університет технологій та дизайну

² Каунаський технологічний університет, Каунас, Литва

³ Інститут проблем матеріалознавства ім.І.М. Францевича НАН України

ОСОБЛИВОСТІ 3D МОДЕЛЮВАННЯ СТРУКТУРИ ТРИКОТАЖУ У МАКСИМАЛЬНО РОЗТЯГНУТОМУ СТАНІ

Мета. Метою даного дослідження є розробка математичного забезпечення для засобів автоматизованої побудови тривимірних геометричних моделей трикотажу, що знаходиться у максимально напруженому стані внаслідок одновісного розтягу вздовж петельних стовпчиків або петельних рядів.

Методика. У процесі дослідження використано методи теоретичного аналізу, теорія сплайнів, методи тривимірного геометричного моделювання та параметризації, засоби комп'ютерної графіки, засоби програмування.

Результати. У ході роботи прийнято припущення, що у максимально розтягнутому стані дотична до осової лінії петлі у точці переплетення розташована під кутом 45° до вертикальної лінії, орієнтованої вздовж петельного стовпчика. Запропоновано математичні вирази для визначення координат характерних точок петлі у тривимірному просторі. Розроблено алгоритм та програмна реалізація у якості окремого модуля програми Структура 3D, призначеного для створення моделей трикотажу у розтягнутому стані.

Для верифікації алгоритму виготовлено зразки кулірного трикотажу переплетення гладь на плосков'язальному обладнанні 8 класу з параарамідних і високомолекулярних поліетиленових ниток лінійної густини 58,8х2 текс та 44х3 текс відповідно. Визначено параметри петельної структури зразків в умовно-рівноважному стані та при максимальному одновісному розтягненні вздовж лінії петельного стовпчика та ряду. Розтяг випробуваних зразків виконано на машині KaoTieh KT-7010AZ. Максимально напружений стан зразків зафіксовано за допомогою мікроскопу Micro Capture Pro для подальшого визначення особливостей зміни параметрів структури трикотажу під дією деформації розтягу. Одержані значення параметрів петельної структури зразків використано у якості вихідних даних для побудови тривимірних моделей. Відхилення значення довжини сплайну, що представляє осьову лінію нитки в моделі петлі від довжини нитки в петлі, отриманого у ході аналізу зразків, не перевищує 5%.

Наукова новизна. Розроблено алгоритм автоматизованої побудови тривимірних моделей трикотажу переплетення гладь, що знаходиться у стані максимального одновісного розтягу вздовж петельних стовпчиків або петельних рядів.

Практична значимість. Створено окремий модуль програми Структура 3D для автоматичної побудови петлі трикотажу у напруженому стані під дією одновісного розтягу.

Ключові слова: трикотаж, деформації розтягу, мезомоделі, надміцна сировина, тривимірне моделювання.

Вступ. З бурхливим розвитком цифрових технологій у моделюванні фізичних процесів методи дослідження механічних властивостей трикотажу отримують нові перспективи. Багато дослідників та наукових шкіл працюють над розвитком систем тривимірного моделювання текстильних матеріалів, здатних забезпечити можливість проведення на достатньо високому рівні віртуальних експериментів та моделювання деформацій тканин та трикотажу. Розтяжність трикотажу є однією з його найбільш важливих характеристик, оскільки від неї залежить здатність виробу зберігати форму, комфортність експлуатації, можливість спрощення конструкції трикотажних виробів у порівнянні з аналогічними

виробами з інших текстильних матеріалів, виготовлення безшовного та малошовного трикотажного одягу. Функціональні властивості захисних трикотажних виробів напряму залежать від здатності матеріалів протистояти дії механічних руйнуючих факторів. У процесі розтягу кулірного трикотажу переплетення гладь відбуваються процеси розпрямлення зігнутих ділянок ниток, орієнтованих у напрямку розтягу та, на стадіях деформацій, що передують розриву, перетягування нитки з голкових та платинних дуг у палички остовів (розтяг вздовж петельних стовпчиків) та із паличок остовів у голкові та платинні дуги (розтяг вздовж петельних рядів). Для передачі особливостей такого перерозподілу у тривимірних мезомоделях трикотажу необхідно уточнення опису геометрії осьової лінії нитки та вибір форми та розміру перерізу для адекватної передачі властивостей у системах моделювання під час симуляції перевірки зразків на міцність. Такі розрахунки є особливо важливими при проєктуванні засобів індивідуального бронезахисту з надміцних ниток.

Постановка завдання. Активне вивчення процесу деформування трикотажу почалось з середини минулого століття та знайшло відображення у дослідженнях О.І. Коблякова [1], І.І. Шалова та Л.О. Кудлявіна [2], О.І. Далідовича [3] та ін. Застосування теорії гнучких пружних стержнів у задачах опису геометрії нитки в тканих та трикотажних структурах розглянуто у роботах Г. Ліфа [4], О.В. Труєвцева [5], В.П. Щербакова та Н.С. Скуланової [6] та ін. Але, якщо для більшості моделей минулого століття на перший план виходило питання прогнозування довжини нитки в структурі трикотажу на базі відомостей про її сировинний склад, геометричні та/або механічні характеристики та параметри процесу в'язання – з появою сучасного в'язального обладнання, що дозволяє виготовляти трикотаж з заданою довжиною нитки в петлі, акценти наукового пошуку дещо змістились. Розрахунково-аналітичні комплекси надають інженерам можливість проводити віртуальні експерименти за умови наявності відповідної теоретичної бази, що включає високу точність передачі геометрії нитки в тривимірних моделях трикотажу з одного боку та властивостей матеріалу і алгоритмів, що враховують особливості деформування трикотажу з іншого. Багато наукових робіт присвячено створенню комп'ютерних моделей трикотажної петлі [7], а протягом останніх років у наукових публікаціях активно обговорюються питання використання моделей мезо- та макрорівня у моделюванні деформацій трикотажу [8, 9, 10, 11, 12]. Модель трикотажу як незамкненої текстильної оболонки, що включає визначення енергії розтягнутого полотна, відштовхуючись від енергії зігнутої у петлю нитки, представлено у роботі [13]. Створенню тривимірної моделі та дослідженню механічних властивостей трикотажу ластик 1+1 з вертикальними та горизонтальними утоковими нитками з використанням програмного забезпечення Abaqus присвячено роботу [14]. У роботі [15] проведено комп'ютерне дослідження механічних характеристик трикотажу переплетення гладь з використанням мезомodelей та характеру напружень у зонах контакту ниток з застосуванням методу скінчених елементів. Моделювання розтяжності трикотажу переплетення гладь з використанням моделей мезо- та макрорівня розглянуто у роботі [16].

Перерозподіл нитки між окремими елементами структури трикотажу є процесом, що залежить від багатьох факторів та на даний момент не достатньо вивчений. Однак у максимально розтягнутому трикотажі, як справедливо зазначено у роботі [3], усе навантаження сприймають розпрямлені нитки та при розтягненні вздовж петельного

стовпчика міцність стовпчика трикотажу дорівнює міцності двох ниток (без урахування нахилу петельних паличок). Тому для забезпечення можливості прогнозування міцності трикотажу з використанням багаторівневого проєктування необхідно забезпечити високу точність передачі геометрії трикотажної петлі, що знаходиться у максимально розтягнутому стані.

З урахуванням вимог до геометричних об'єктів, що використовують у системах тривимірного моделювання для опису осьової лінії нитки в моделях трикотажної петлі [17] нами запропоновано використовувати для трикотажу, який знаходиться в умовно-рівноважному стані або в межах швидкооборотних деформацій, модель, описану в роботах [18, 19] та програмне забезпечення Структура 3D [20]. Однак для побудови моделей структури трикотажу у максимально розтягнутому стані опис геометрії осьової лінії нитки, що використано у моделі, потребує уточнення. Тому виникла необхідність доповнити алгоритм програми окремою гілкою для розрахунку конфігурації нитки у структурі трикотажу при максимальному одновісному розтягненні.

Результати досліджень. Алгоритм побудови осьової лінії нитки, запропонований нами у роботах [18, 19] передбачає можливість використання різних наборів вихідних даних. Осьова лінія нитки, зігнутої у петлю, подається у вигляді В-сплайну другого порядку. Спочатку на підставі даних про параметри структури трикотажу такі як: довжина нитки в петлі ℓ , петельний крок A , висота петельного ряду B , умовний діаметр нитки D_u , розрахунковий діаметр нитки D_p , товщина трикотажу M , кут нахилу петельної палички α (рис.1) та кут нахилу дотичної до осьової лінії нитки у точці переплетення γ , розраховуються координати характерних точок петлі, таких як точка вершини голкової дуги K , точка переплетення B , точка середини петельної палички T (рис.1). Приймається припущення, що петля є симетричною відносно вертикальної осі та дотичні у точках вершин голкової та платинної дуг належать площині, паралельній серединній поверхні полотна, та розташовані паралельно осі OX , орієнтація якої співпадає з напрямком петельних рядів. На підставі прийнятих припущень, вихідних даних розрахунку та загальних уявлень про конфігурацію нитки у структурі трикотажу, визначаються напрямки дотичних до осьової лінії нитки у характерних точках, координати яких розраховані на першому етапі роботи алгоритму. Просторові координати керівних вершин розраховуються як точки перетину дотичних до осьової лінії нитки у її характерних точках. Далі формується рівняння сплайну та визначається його довжина. Отримане значення довжини порівнюють зі значенням, введеним у вихідних даних. Якщо різниця перевищує 3% (задане значення допустимої похибки), відбувається корегування значення кута γ та повторення розрахунку. Оскільки внаслідок нерівномірності петельної структури точне визначення кутів α та γ неможливе, допускається варіювання значення кута нахилу дотичної у точці переплетення γ у межах обраного інтервалу для отримання побудованого за координатами керівних вершин.

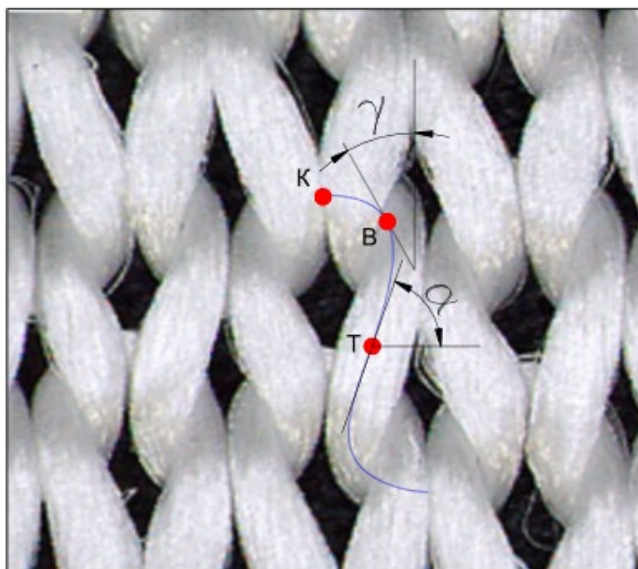


Рис. 1. Розташування характерних точок петлі на осьовій лінії нитки

В залежності від мети проєктування та сфери використання тривимірних моделей трикотажу, елементарні ділянки ниткової структури можуть бути подані як у вигляді оболонки (макромоделі), так і з деталізацією на рівні ниток або навіть окремих філаментів. На рис. 2 представлено петлю трикотажу переплетення гладь (а) та фрагмент петельного стовпчика (б), побудовані з деталізацією на рівні нитки з урахуванням зміни форми поперечного перерізу на окремих сегментах петлі.

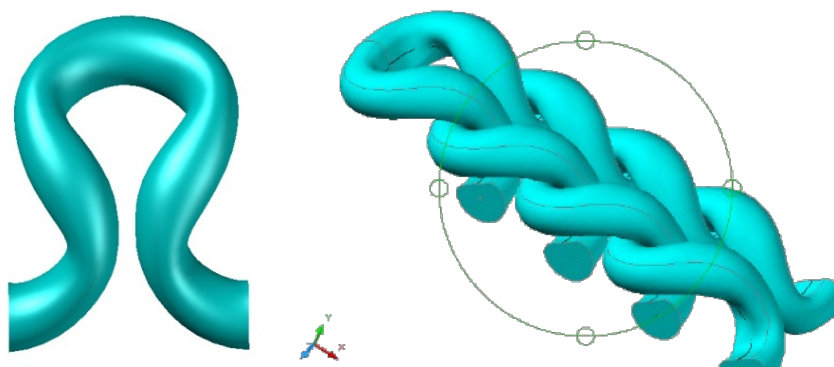


Рис. 2. Мезомодель трикотажу переплетення гладь, побудована з урахуванням зміни форми поперечного перерізу у програмі Структура 3D

Задачі моделювання міцності ниткових структур є особливо актуальними при проєктуванні захисного одягу, для якого використовують багатофіламентні надміцні нитки. Так, наприклад, параарамідна нитка Русар з підвищеними фізико-механічними властивостями складається з 300 філаментів [21], нитки Тварон 1000 та Тварон 2000 мають по 860 філаментів, тварон 2040 – 1000 філаментів, Кевлар – 670. Для створення моделей структури трикотажу з багатофіламентних ниток можна прийняти припущення про те, що елементарні нитки не змінюють свого взаємного положення при переході від одного перерізу до іншого, змінюючи лише відстань між сусідніми філаментами так як показано на рис. 3.

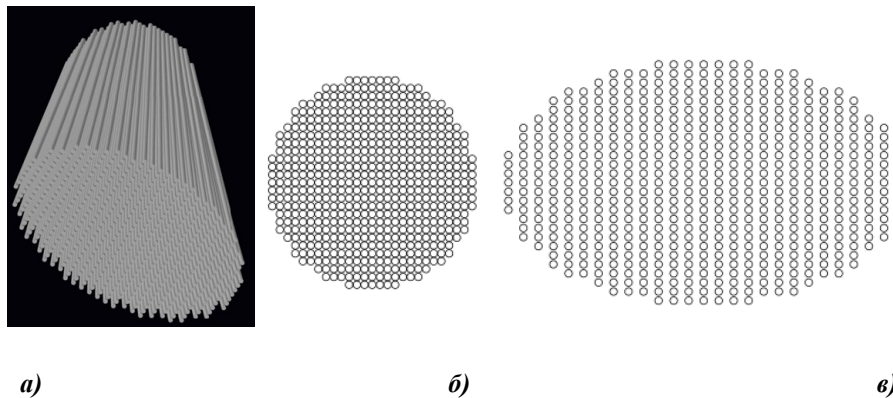


Рис. 3. Розподіл філаментів у перерізах нитки зі збереженням взаємного розташування

У роботі О.С. Далідовича [3] зв'язок між міцністю пряжі та зразка трикотажу переплетення гладь шириною 5 см запропоновано визначати за наступною формулою:

$$K_d = \frac{2 \cdot q \cdot N_c}{1000} [\text{кГ}], \quad (1)$$

де q – міцність нитки в Г;

N_c – щільність по горизонталі.

Розтяг трикотажу вздовж петельних стовпчиків супроводжується видовженням у напрямку розтягу та зменшенням лінійного розміру зразка вздовж петельних рядів (рис. 4а). Нитка, пров'язана у петлю здійснює опір розривним зусиллям силою q , орієнтованою вздовж петельних паличок. Його напрямок не співпадає з напрямком прикладених зусиль Q та може бути визначене з урахуванням кутів нахилу петельної палички [3].

$$Q = q \cdot \cos \varphi \cdot \cos \psi, \quad (2)$$

де φ – кут нахилу петельної палички до вісі петельного стовпчика;

ψ – кут нахилу петельної палички до площини полотна.

Зі зменшенням висоти петлі кути φ та ψ збільшуються, а сила опору Q – відповідно зменшується. Тому показники міцності на розрив для більш щільних структур є меншими порівняно зі зразками, виготовленими при більших рівнях глибини кулірування. З формул 1 та 2 можна записати вираз (3) для оцінки міцності на розрив сміжки трикотажу переплетення гладь шириною 5 см з урахуванням розташування петельної палички [3].

$$K_d = \frac{2 \cdot q \cdot N_c}{1000} \cos(\varphi + \psi). \quad (3)$$

Розтяг трикотажу по ширині супроводжується збільшенням ширини петельних стовпчиків та відстані між ними (рис. 4б). Тому опір розривним зусиллям розподіляється на ділянки нитки, орієнтовані вздовж петельних рядів (голкові та платинні дуги). Для визначення міцності по ширині у роботі [3] запропоновано використовувати вираз (4). При цьому рекомендовано визначати міцність нитки q при затискній довжині, що не перевищує 25 мм, оскільки відстань між точками фіксації нитки у структурі трикотажу дуже мала.

$$K_{ш} = \frac{q \cdot N_p}{1000}, \quad (4)$$

де N_p – щільність по вертикалі.

Як зазначено вище, для моделювання трикотажу переплетення гладь доцільно використовувати у якості вихідних даних такі значення як: довжина нитки в петлі ℓ , петельний крок A , висота петельного ряду B , товщина трикотажу M , умовний діаметр нитки D_u , та розрахунковий діаметр D_p . Причому для моделі трикотажу, максимально розтягнутого вздовж петельного ряду, $A=A_{\max}$, $B=B_{\min}$, а для моделі трикотажу, розтягнутого вздовж петельного стовпчика, $B=B_{\max}$, $A=A_{\min}$ (рис. 4). Ці дані можуть бути отримані експериментально або розраховані за відомими методиками [3 та ін.].

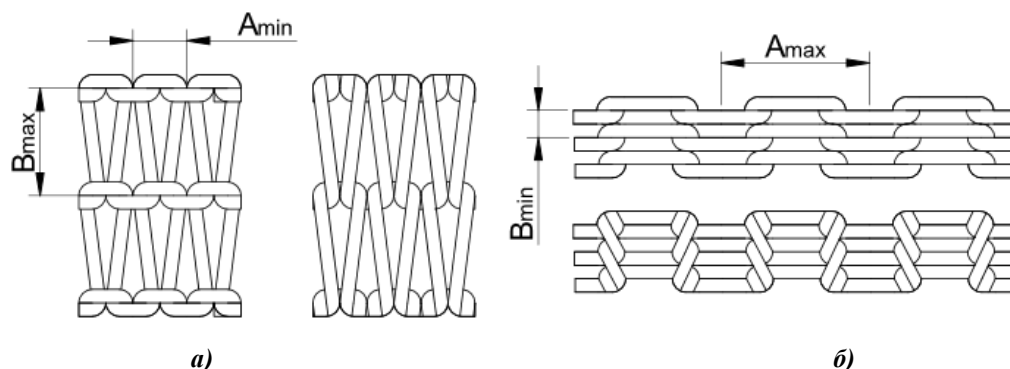


Рис. 4. Структура трикотажу переплетення гладь при максимальному розтязі вздовж петельних стовпчиків та петельних рядів

Як зазначено у роботі [18], при моделюванні у тривимірному середовищі, просторова лінія, що представляє у моделі осьову лінію нитки, повинна проходити через характерні точки, які лежать безпосередньо на центральній лінії пряжі та розташовані так, щоб у тривимірному просторі їхнє положення можна було визначити використовуючи традиційні уявлення про форму петлі. На (рис. 5) наведено схематичне зображення максимально розтягнутої вздовж петельного стовпчика петлі трикотажу переплетення гладь у проєкції на площину полотна та у проєкції на площину, яка проходить по центральній лінії петельного стовпчика та перпендикулярна площині полотна. Таке ж зображення для петлі гладі, розтягнутої вздовж петельного ряду, наведено на (рис. 6). Для опису конфігурації нитки на (рис. 5 та 6) крім точок K , B , T , показаних вище (рис. 1), наведено точки A та C – точки контакту ниток, що розташовані на перетині проєкцій на площину полотна осьових ліній двох переплєтених сегментів нитки, що належать суміжним петлям. Візуальний аналіз структури трикотажу переплетення гладь при максимальному однобічному розтягненні показав, що як при розтягненні у напрямку петельних стовпчиків, так і петельних рядів у точках переплетення нитки суміжних петель максимально щільно переплетені. У зоні переплетення нитка знаходиться у максимально стиснутому стані та її переріз у точці B (рис.1) може бути представлений як коло діаметр якого дорівнює умовному діаметру нитки (рис. 26). Оскільки проєкції перерізів ниток, що переплетені, на площину полотна однакові, можна прийняти припущення, що дотична до осьової лінії нитки у точці переплетення B розташовується під кутом $\gamma = 45^\circ$ до лінії, паралельній вісі OY (рис. 5 та 6).

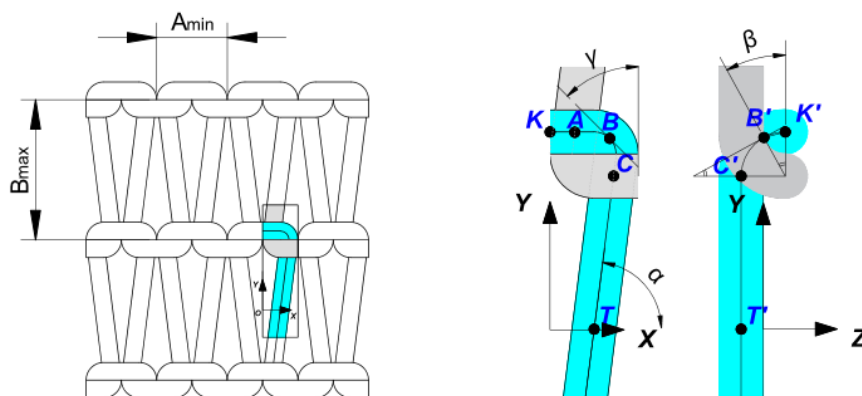


Рис. 5. Розташування характерних точок осьової лінії нитки петлі, максимально розтягнутої вздовж петельного стовпчика

Кут нахилу палички остову петлі α може бути розраховано за формулою (5):

$$\alpha = \arctg\left(\frac{B}{D_y}\right) \quad (5)$$

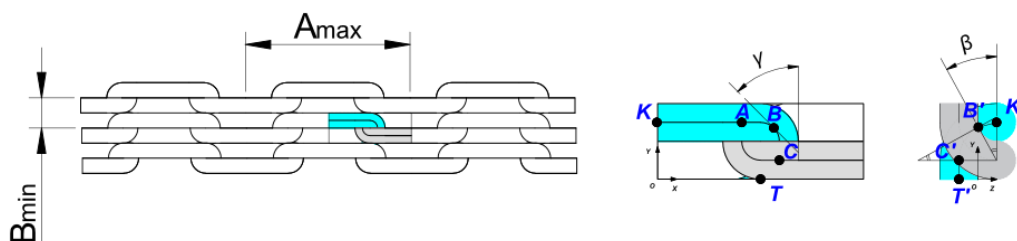


Рис. 6. Розташування характерних точок осьової лінії нитки петлі, максимально розтягнутої вздовж петельного ряду

У системі координат, розташованій так як показано на рис. 5, координати точок К (X_k, Y_k, Z_k), А (X_a, Y_a, Z_a), В (X_b, Y_b, Z_b), С (X_c, Y_c, Z_c), Т (X_t, Y_t, Z_t) можуть бути розраховані з урахуванням прийнятих припущень про симетричну форму петлі та відомі характеристики структури А, В, D_y , М. У таблиці 1 наведено математичні вирази для визначення координат характерних точок петлі в обраній системі координат.

Таблиця 1.

Математичні вирази для визначення координат характерних точок у системі координат петлі

Точка	Абсциса	Ордината	Апліката
К	$X_k = 0$	$Y_k = \frac{B + D_y}{2}$	$Z_k = \frac{D_y}{2}$
А	$X_a = \frac{A}{4} - \frac{D_y}{2} \left(1 + \frac{1}{\tg \alpha}\right)$	$Y_a = \frac{B + D_y}{2}$	$Z_a = \frac{D_y}{2}$
В	$X_b = \frac{A}{4} + \frac{D_y}{2} \cos \gamma$	$Y_b = \frac{B}{2} + \frac{D_y}{2} \sin \gamma$	$Z_b = 0$
С	$X_c = \frac{A}{4} + \frac{D_y}{2} \left(1 - \frac{1}{\tg \alpha}\right)$	$Y_c = \frac{B - D_y}{2}$	$Z_c = -\frac{D_y}{2}$
Т	$X_t = \frac{A}{4}$	$Y_t = 0$	$Z_t = -\frac{D_y}{2}$

Напрямок дотичних до точок K' , B' та T' у проекції на площину YOZ можна визначити наступним чином: проекція дотичної у точці K' вироджена у точку, проекція дотичної до осьової лінії нитки у точці B' розташована під кутом β до напрямку осі OX, та його легко визначити по теоремі косинусів, адже всі сторони трикутника $K'B'Q$ нам відомі, а проекція дотичної у точці T' проходить паралельно осі OY.

Даний алгоритм розрахунку дозволяє визначити координати характерних точок петлі та напрямки дотичних у цих точках. Це забезпечує можливість побудови B-сплайну, що відтворює осьову лінію нитки у системах тривимірного моделювання трикотажу. Оскільки у системах скінченно-елементного моделювання механічні властивості призначаються окремим об'єктам проєктування, у мезо-моделях, призначених для моделювання деформацій, доцільно використовувати переріз нитки у стисненому стані на всіх ділянках петлі.

Одержані у ході дослідження формули закладено у окремий модуль програми Структура 3D, призначений для моделювання трикотажу головних кулірних переплетень при максимальному одновісному розтязі. Для розробки тривимірних моделей трикотажу з сировини підвищеної міцності та перевірки їх адекватності виготовлено зразки кулірного трикотажу переплетень гладь на плосков'язальному обладнанні 8 класу з парамідиальних і поліетиленових ниток лінійної густини 58,8x2 текс та 44x3 текс відповідно. Визначено параметри петельної структури зразків в умовно-рівноважному стані та при максимальному одновісному розтягненні вздовж лінії петельного стовпчика та ряду. Розтяг випробуваних зразків виконано на розривній машині KaoTieh KT-7010AZ. Максимально напружений стан зразків зафіксовано за допомогою мікроскопа Micro Capture Pro для подальшого визначення особливостей параметрів структури трикотажу. Слід відзначити, петлі трикотажу з поліетиленові нитки майже рівномірної структури, окрім того, що один петельний ряд незначно менше іншого. Це пов'язано з особливостями переробки нитки в трикотажне полотно на плосков'язальному обладнанні типу ПВРК. На відміну від петель з поліетиленових ниток, петлі з парамідиальних ниток у рівноважному стані в одному петельному стовпчику нахилені зигзагоподібно, тобто один ряд петель нахилено вправо, а інший – вліво. Це знову таки пов'язано з фізико-механічними характеристиками ниток та особливістю їх переробки у трикотажне полотно на плоскофанговій машині, а точніше зворотно-поступальним напрямком руху каретки. При моделюванні прототипів трикотажних полотен слід враховувати особливості вищевказаних ниток, щоб для подальшого моделювання якісних властивостей полотен мінімізувати відхилення показників.

Таблиця 2.

Параметри петельної структури зразків трикотажу

Параметри петельної структури зразків трикотажу переплетення гладь, визначені експериментальним шляхом						Довжина сплайну	Відхилення
вид сировини зразка та напрямок розтягу	A, мм	B, мм	Dy, мм	M, мм	l, мм	Лs, мм	%
високомолекулярна поліетиленова нитка 44х2 текс; розтяг вздовж петельних стовпчиків	1,58	2,78	0,32	0,75	7,95	8,0	0,6
високомолекулярна поліетиленова нитка 44х2 текс; розтяг вздовж петельних рядів	3,46	0,85		0,82		7,8	1,8
параарамідна нитка 58,8х2 текс; розтяг вздовж петельних стовпчиків	1,28	2,43	0,32	0,75	7,74	7,35	5,0
параарамідна нитка 58,8х2 текс; розтяг вздовж петельних рядів	3,2	1		0,82		7,41	4,2

На рис. 7 наведено тривимірну модель та фотографічне зображення зразка трикотажу переплетення гладь з високомолекулярних поліетиленових ниток при максимальному розтязі вздовж петельних стовпчиків (рис. 7а) та рядів (рис. 7б). Форма перерізу нитки у моделі подана як коло з діаметром, що дорівнює діаметру нитки у максимально стисненому стані (Dy). Це зменшує рівень візуальної відповідності моделі до зразка, але виправдане з точки зору відповідності фізичного об'єму матеріалу нитки, що сприймає розривальне навантаження у механічних розрахунках.

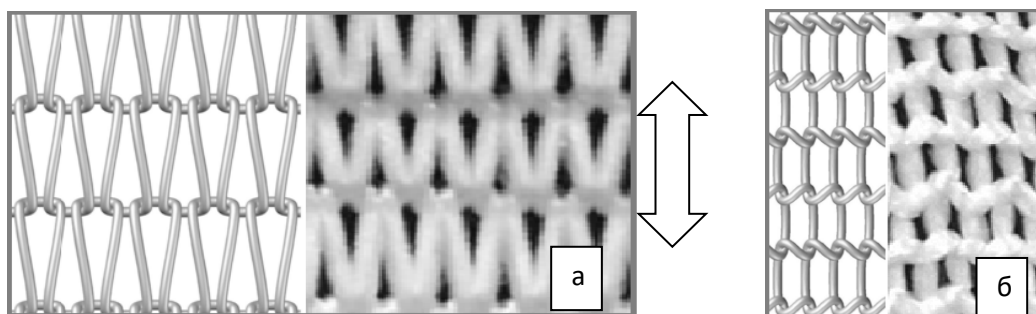


Рис. 7. Мезомодель та фото зразка трикотажу переплетення гладь з високомолекулярної поліетиленової нитки при максимальному розтязі вздовж петельних стовпчиків (а) та петельних рядів (б)

Слід зазначити, що для інших задач моделювання, таких як, наприклад, моделювання повітропроникності або світлопропускних властивостей трикотажу слід використовувати варіант побудови моделі з урахуванням зміни форми та розміру поперечного перерізу нитки вздовж осової лінії петлі. На рис. 8 наведено моделі з ідентичною геометрією осової лінії

нитки в петлі. Але у якості геометричного об'єкту, що використовується для формування перерізу нитки, у моделі, представленої на рис. 8а використано коло, діаметр якого відповідає діаметру нитки у максимально стиснутому стані (умовний діаметр нитки), а у моделі, представленої на рис. 8б використано різні геометричні об'єкти, такі як еліпс у точках К та Т, і коло у точці В.

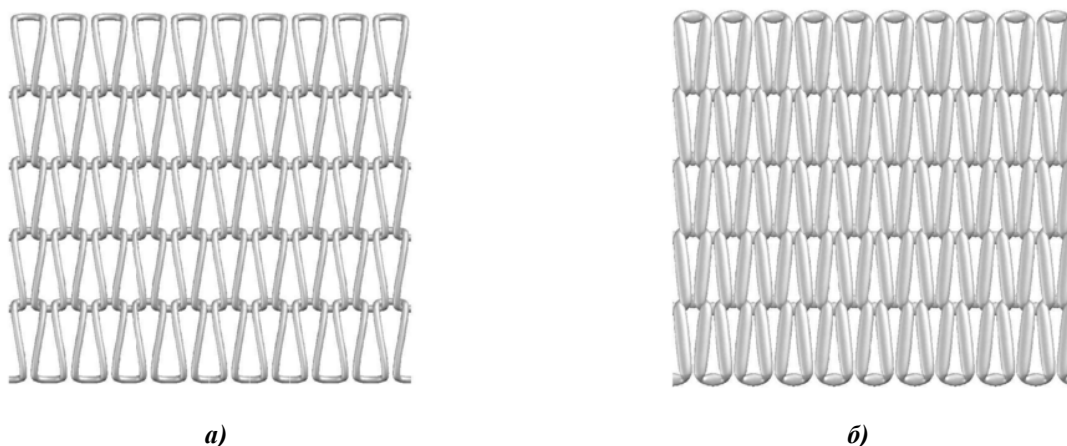


Рис. 8. Мезомодель зразка трикотажу переплетення гладь з високомолекулярної поліетиленової нитки, побудована з вибором незмінного діаметру поперечного перерізу нитки (а), та з урахуванням зміни форми та розміру перерізу у різних характерних точках петлі (б)

Під дією розтягуючих зусиль при навантаженнях, близьких до розривних, відбувається перерозподіл нитки у структурі трикотажу. Характер цього перерозподілу залежить від багатьох факторів, серед яких коефіцієнт тертя нитки, її жорсткість, пружність, розривне видовження, швидкість прикладання розтягуючого зусилля. У відповідності до прийнятих раніше припущень, при описі конфігурації нитки у структурі трикотажу ми відштовхувались від того, що петля гладі є не тільки симетричною відносно вертикальної осі, що проходить через вершину голкової дуги але й центральносиметричною відносно точки Т (середини петельної палички), а саме, платинна та голкова дуги є однаковими за формою та розмірами. Однак досить часто в реальних структурах перерозподіл нитки відбувається іншим чином (рис. 9).

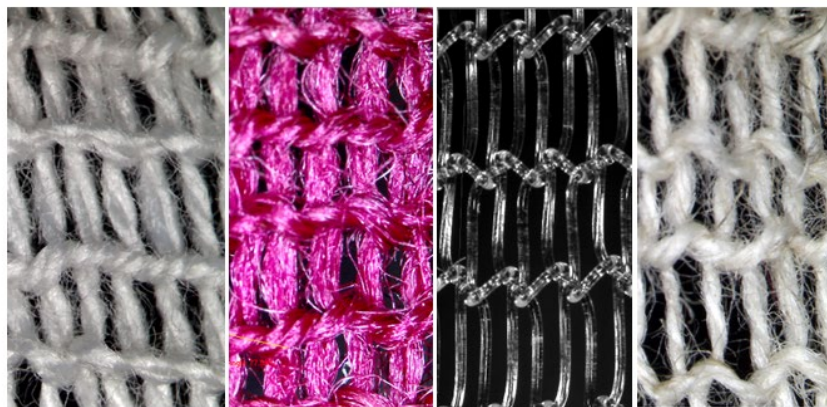


Рис. 9. Розтяг зразків трикотажу переплетення гладь по ширині при навантаженнях, близьких до розривних

З метою забезпечення можливості урахування у моделі відмінності ширини голкових та платинних дуг, у алгоритм введено коефіцієнт незбалансованості K_n , що являє собою відношення ширини остова у напруженому стані (Шо) до петельного кроку (A_{max}) трикотажу переплетення гладь. На рис. 10 наведено тривимірну модель та фотографічні зображення зразка трикотажу з параарамідної нитки, розтягнутого вздовж петельних стовпчиків (рис. 10а) та рядів (рис. 10б). Для побудови моделі, представленої на рис. 9б використано значення коефіцієнта незбалансованості структури $K_n=0,75$.

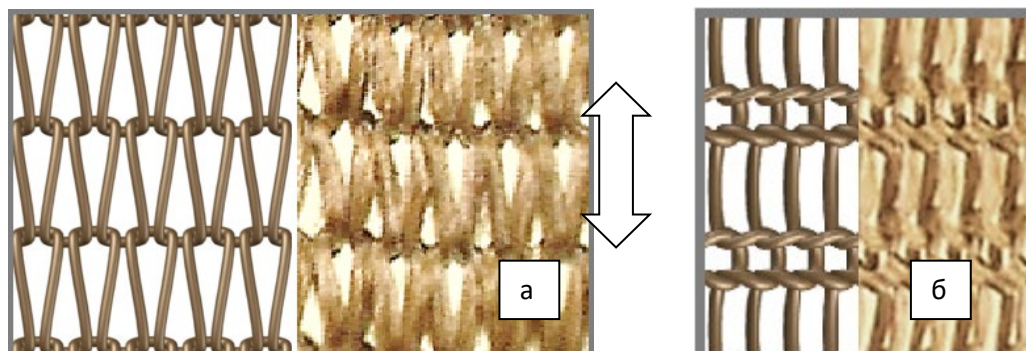


Рис. 10. Мезомодель та фото зразка трикотажу переплетення гладь з параарамідної нитки лінійної густини 58,8х2 текс при максимальному розтязі вздовж петельних стовпчиків (а) та петельних рядів (б)

Відхилення довжини сплайну, що представляє осьову лінію нитки, пров'язаної в петлю в тривимірній моделі від довжини нитки в петлі не перевищує 5%. Одержані тривимірні геометричні моделі структури трикотажу з високоміцних параарамідних та поліетиленових ниток можна вважати адекватними та рекомендувати їх для проведення віртуальних експериментів в комп'ютерних системах моделювання з визначення властивостей трикотажу.

Висновок: У ході дослідження розглянуто особливості моделювання деформацій кулірного трикотажу та запропоновано математичну модель трикотажу переплетення гладь у максимально напруженому стані внаслідок одновісного деформування у напрямку петельних рядів або петельних стовпчиків. У запропонованій моделі прийнято припущення, що у максимально напруженому стані напрямок дотичної до осової лінії нитки у точках переплетення дорівнює 45° , адже такі переплетення мають у своїй структурі однакові елементи, пров'язані з однієї нитки та підлягають однаково стисканню, тому діаметри ниток, що огинаються, та тих, що їх огинають, є однакові. У роботі наведено математичний опис розрахунку координат характерних точок осової лінії нитки. Викладені положення реалізовано у програмному коді, написаному для автоматизації роботи зі створення 3D моделей кулірного трикотажу у середовищі AutoCAD на мові програмування AutoLisp.

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

Література

1. Кобляков А.И. Структура и механические свойства трикотажа. М.: Легкая индустрия, 1973. 240 с

References

1. Koblyakov, A.I. (1973). Struktura i mekhanicheskie svoystva trikotazha. [Structure and mechanical properties of knitwear] M.: Legkaya

2. Шалов И.И., Кудрявин Л.А. Основы проектирования трикотажного производства с элементами САПР: Учеб. для вузов. - 2-е изд., перераб. и доп. М.: Легпромбытиздат, 1989. 288 с.
3. Далидович А. С. Основы теории вязания. М.: Легкая индустрия. 1970г. 432с.
4. Leaf, G.A.V. (1958). A property of a buckled elastic rod //British Journal of Applied Physics.— Vol.9. - №2.- P.71-72.
5. Труевцев А.В. Прикладная механика трикотажа: учебное пособие. - СПб.: СПГУТД, 2001.
6. Щербakov В.П., Скуланова Н.С. Основы теории деформирования и прочности текстильных материалов. – М.: МГТУ им. А.Н. Косыгина, 2008. — 268 с.
7. Chen X (Eds). (2010). Modelling and predicting textile behavior. Woodhead Publishing Series in Textiles: No 94. Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC. 536 p.
8. Lomov, S., Dufort, V., Luca, P.D., I. Verpoest (2007). Meso-macro integration of modeling of stiffness of textile composites. Proceedings of 28th International Conference of SAMPE Europe, Porte de Versailles Expo, Paris, pp. 4003-4008.
9. Loginov, A., Grishanov, S., Harwood, R. (2002). Modelling the load-extension behavior of plain-knitted fabric. Part I: A unit-cell approach towards knitted-fabric mechanics. Journal of the Textile Institute, Vol. 93 (Part 1, No. 3), - P. 218-238.
10. Abghary, M. J., Nadoushan, R.J., Hasani, H. (2016). Simulation of the Spherical Deformation of Biaxial Weft-Knitted Fabrics Using Meso and Macro Models Fibers and Polymers 17(10):1702-1708
11. Qi, Y., Jiang, Y., Xiang, H., Qaseem, S., Li, X., Wang, M. (2020) Macro-geometric method based modeling of the uniaxial tensile properties of tri-axial knitted fabrics, The Journal of The Textile Institute, 111:10, 1502-1510
12. Kaldor, J., James, D.L., Marshner, S. (2008). Simulating knitted cloth at the yarn level. Proceedings of SIGGRAPH, Los Angeles, California. Vol. 27, p. 65.
13. Poincloux, S., Mokhtar, A.-B., Lechenault, F. (2018). Geometry and elasticity of a knitted fabric, Physical Review X8(2) 021075.
14. Abghary, M.J., Hasani, H., Nedoushan, R.J. (2017). Geometrical modeling for bi-axial weft-knitted fabrics based on rib structures. Indian Journal of Fiber & Textile Research Vol. 42, pp. 431-43
- industriya. 240 p. [in Russian].
2. Shalov, I.I. & Kudryavin, L.A. (1989). Osnovy proektirovaniya trikotazhnogo proizvodstva s elementami SAPR [Basics of designing knitwear production with CAD elements]: Ucheb. dlya vuzov. - 2-e izd., pererab. i dop. M.: Legprombytizdat, 288 p. [in Russian].
3. Dalidovich A. S. (1970). Osnovy teorii vyazaniya [Knitting Theory Basics]. M.: Legkaya industriya. 432p. [in Russian].
4. Leaf, G.A.V. (1958). A property of a buckled elastic rod //British Journal of Applied Physics.— Vol.9. - №2.- P.71-72.
5. Truevtsev, A.V. (2001). Prikladnaya mekhanika trikotazha: uchebnoe posobie [Applied knitwear mechanics]. - SPb.: SPGUTD, [in Russian].
6. Shcherbakov, V.P. & Skulanova, N.S. (2008). Osnovy teorii deformirovaniya i prochnosti tekstil'nykh materialov [Fundamentals of the theory of deformation and strength of textile materials]. – M.: MGTU im. A.N. Kosygina,— 268 p.
7. Chen, X (Eds). (2010). Modelling and predicting textile behavior. Woodhead Publishing Series in Textiles: No 94. Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC. 536 p.
8. Lomov, S., Dufort, V., Luca, P.D. & I. Verpoest (2007). Meso-macro integration of modeling of stiffness of textile composites. Proceedings of 28th International Conference of SAMPE Europe, Porte de Versailles Expo, Paris, pp. 4003-4008.
9. Loginov, A., Grishanov, S., Harwood, R. (2002). Modelling the load-extension behavior of plain-knitted fabric. Part I: A unit-cell approach towards knitted-fabric mechanics. Journal of the Textile Institute, Vol. 93 (Part 1, No. 3), - P. 218-238.
10. Abghary, M. J., Nadoushan, R.J., Hasani, H. (2016). Simulation of the Spherical Deformation of Biaxial Weft-Knitted Fabrics Using Meso and Macro Models Fibers and Polymers 17(10):1702-1708
11. Qi, Y., Jiang, Y., Xiang, H., Qaseem, S., Li, X., Wang, M. (2020) Macro-geometric method based modeling of the uniaxial tensile properties of tri-axial knitted fabrics, The Journal of The Textile Institute, 111:10, 1502-1510
12. Kaldor, J., James, D.L., Marshner, S. (2008). Simulating knitted cloth at the yarn level. Proceedings of SIGGRAPH, Los Angeles, California.
13. Poincloux, S., Mokhtar, A.-B., Lechenault, F. (2018). Geometry and elasticity of a knitted fabric, Physical Review X8(2) 021075.
14. Abghary, M.J., Hasani, H., Nedoushan, R.J. (2017). Geometrical modeling for bi-axial weft-knitted fabrics based on rib structures. Indian Journal

15. Liu, D., Christe, D., Shakibajahromi, B., Knittel, Ch. Castaneda, N. Breen, D. Dion, G. Kontsos, A., (2017). On the role of material architecture in the mechanical behavior of knitted textiles, *International Journal of Solids and Structures*, Volume 109, pp. 101-111
16. Weeger, O., Sakhaei, A.H., Tan, Y., Quek, Y.H., Lee, T.L., Yeung, S., Kaijima, S., & Dunn, M. (2018). Nonlinear Multi-Scale Modelling, Simulation and Validation of 3D Knitted Textiles. *Applied Composite Materials*, 25, 797-810.
17. Ausheva N., Halavska L., Yelina T. (2013) Geometric representation features of textile yarn in the 3D modeling systems. Scientific Conference [«Unitech-13»], (Gabrovo, Bulgaria, 22-23 November, 2013). Iss. 3. P. 199–202.
18. Bobrova S., Ielina T., Beskin N., Bezsmertna V. and Halavska L. The use of 3D geometric models in special purpose knitwear design and predicting of its properties. *Vlákna a textil* (Fibres and Textiles). 2018. Vol. 25. № 2. P. 19–26.
19. Єліна Т.В., Боброва С.Ю., Галавська Л.Є., Дзикович Т.А. Автоматизоване проектування текстилю: навч. посіб. Київ: Кафедра, 2017. 280 с.
20. А.с. 46469 Україна. Комп'ютерна програма «Структура – 3D». /Єліна. Т. В., Галавська Л.Є. – заявка №46726 від 25.09.2012, опубл. 23.11.2012.
21. Никитина О.В. Разработка метода прогнозирования механических свойств параарамидных нитей после воздействия светопогоды. Автореф. дис. к.т.н. спец-ть. 05.19.01 – Материаловедение производств текстильной и лёгкой промышленности. Москва, - 2012
22. Srebrateep K, Bohez E L J., (2006). Computer aided modelling of fibre assemblies, *Computer-Aided Design & Applications*. — № 3(1–4). – P. 367 – 376.
23. Кудрявин Л.А., Шалов И.И. Основы технологии трикотажного производства: Учеб. пособие для вузов. М.: Легпромбытиздат, 1991. 496 с.
- of Fiber & Textile Research Vol. 42, pp. 431-43
15. Liu, D., Christe, D., Shakibajahromi, B., Knittel, Ch. Castaneda, N. Breen, D. Dion, G. Kontsos, A., (2017). On the role of material architecture in the mechanical behavior of knitted textiles, *International Journal of Solids and Structures*, Volume 109, pp. 101-111
24. Weeger, O., Sakhaei, A.H., Tan, Y., Quek, Y.H., Lee, T.L., Yeung, S., Kaijima, S., & Dunn, M. (2018). Nonlinear Multi-Scale Modelling, Simulation and Validation of 3D Knitted Textiles. *Applied Composite Materials*, 25, 797-810.
16. Ausheva N., Halavska L., Yelina T. (2013) Geometric representation features of textile yarn in the 3D modeling systems. Scientific Conference [«Unitech-13»], (Gabrovo, Bulgaria, 22-23 November, 2013). Iss. 3. P. 199–202.
17. Bobrova S., Ielina T., Beskin N., Bezsmertna V. and Halavska L. The use of 3D geometric models in special purpose knitwear design and predicting of its properties. *Vlákna a textil* (Fibres and Textiles). 2018. Vol. 25. № 2. P. 19–26.
18. Yelina T.V., Bobrova S.Yu, Galavska L.Ye, Dzykovich T.A. , (2017). Avtomatyzovane proektuvannia tekstyliu [Automated textile design]: navch. posib. Kyiv: Kafedra. 280 p. [in Ukrainian].
19. A.s. 46469 Ukraine. Computer program "Structure - 3D". / Yelina. TV, Halavska L.Ye. - application №46726 dated 25.09.2012, publ. 11/23/2012
20. Nikitina O. V. (2012) Development of a method for predicting the mechanical properties of para-aramid filaments after exposure to light weather. Author's abstract. dis. Ph.D. special. 05.19.01 - Materials science of textile and light industry production. Moscow, RF
21. Srebrateep K, Bohez E L J., (2006). Computer aided modelling of fibre assemblies, *Computer-Aided Design & Applications*. — № 3(1–4). – P. 367 – 376.
22. Kudryavin L.A., Shalov I.I. Osnovy tekhnologii trikotazhnogo proizvodstva: Ucheb. posobie dlya vuzov. M.: Legprombytizdat, 1991. 496 s. [Fundamentals of knitting technology]. [in Russian].

HALAVSKA L. Ye.

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

Scopus Author ID: 57191413261

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

BEZSMERTNA V.I.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2247-6718>

MIKUCIONIENE D.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2219-2643>

Scopus Author ID: 11439797000

Faculty of Mechanical Engineering and Design,
Kaunas University of Technology, Lithuania

YELINA T. V.

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

Scopus Author ID: 57203861122

Scopus Author ID: 57203866865
Department of Composite Materials,
Frantsevykh Institute for Problems of Material Sciences
of NAS of Ukraine,
Ukraine

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

MILASIUS R.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1803-6795>
Scopus Author ID: 6603217403
Faculty of Mechanical Engineering and Design,
Kaunas University of Technology, Lithuania

**ОСОБЕННОСТИ 3D МОДЕЛИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ ТРИКОТАЖА
В МАКСИМАЛЬНО РАСТЯНУТОМ СОСТОЯНИИ**
**ЕЛИНА Т.В.¹, ГАЛАВСКАЯ Л.Е.¹, МИКУЧИОНЕНЕ Д.², МИЛАШИУС Р.²,
БЕЗСМЕРТНАЯ В.И.³**

¹Киевский национальный университет технологий и дизайна

²Каунасский технологический университет, Литва

³Институт проблем материаловедения им. И.Н. Францевича НАН Украины

Цель. Целью данного исследования является разработка математического обеспечения для средств автоматизированного построения трехмерных геометрических моделей трикотажа, находящегося в максимально напряженном состоянии вследствие одноосного растяжения вдоль петельных столбиков или петельных рядов.

Методика. В процессе исследования использованы методы теоретического анализа, теория сплайнов, методы трехмерного геометрического моделирования и параметризации, средства компьютерной графики, средства программирования.

Результаты. В ходе работы принято предположение, что в максимально растянутом состоянии касательная к осевой линии петли в точке переплетения расположена под углом 45° к вертикальной линии, ориентированной вдоль петельного столбика. Предложены математические выражения для определения координат характерных точек петли в трехмерном пространстве. Разработан алгоритм и его программная реализация в качестве отдельного модуля программы Структура 3D, предназначенного для создания моделей трикотажа в растянутом состоянии.

Для верификации алгоритма на плосковязальном оборудовании 8 класса изготовлены образцы кулирного трикотажа переплетения гладь из параарамидных и высокомолекулярных полиэтиленовых нитей линейной плотности 58,8х2 текс и 44х3 текс соответственно. Определены параметры петельной структуры образцов в условно-равновесном состоянии и при максимальном одноосном растяжении вдоль линии петельного столбика и ряда. Растяжение образцов выполнено на машине KaoTieh KT-7010AZ. Максимально напряженное состояние образцов зафиксировано с помощью микроскопа Micro Capture Pro для дальнейшего определения особенностей изменения параметров структуры трикотажа под действием деформации растяжения. Полученные значения параметров петельной структуры образцов использованы в качестве исходных данных для построения трехмерных моделей. Отклонение значения длины сплайна, представляющий осевую линию нити в модели петли от длины нити в петле, полученного в ходе анализа образцов не превышает 5%.

Научная новизна. Разработан алгоритм автоматизированного построения трехмерных моделей трикотажа переплетения гладь, находящегося в состоянии максимального одноосного растяжения вдоль петельных столбиков или петельных рядов.

Практическая значимость. Создан отдельный модуль программы Структура 3D для автоматического построения петли трикотажа в напряженном состоянии под действием одноосного растяжения.

Ключевые слова: трикотаж, деформации растяжения, мезомодели, высокопрочные нити, трехмерное моделирование.

3D SIMULATION OF KNITTED STRUCTURE IN THE MAXIMUM STRETCHED STATE

YELINA T.V.¹, HALAVSKA L.YE¹, MIKUCIONIENE D.², MILASIUS R.²,
BEZSMERTNA V.I.³

¹ Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine,

² Kaunas University of Technology, Lithuania

³ Frantsevykh Institute for Problems of Material Sciences of NAS of Ukraine

Purpose. The study aims at the development mathematical basics for software for automated construction of three-dimensional geometric models of knitwear in the most stretched state due to uniaxial stretching along the wale or course direction.

Methodology. The research methods of theoretical analysis, spline theory, methods of three-dimensional geometric modeling and parameterization, computer graphics tools, programming tools were used.

Findings. During the research, it was assumed that in the maximally stretched state, the tangent to the centerline of the loop at the interlacing point is located at an angle of 45° to the vertical line oriented along the wale direction. Mathematical expressions are proposed for determining the co-ordinates of the characteristic points of the loop in three-dimensional space. An algorithm and its software implementation have been developed as a separate module of the Structure 3D program, designed to create models of knitwear in a stretched state.

To verify the algorithm, samples of weft knitted fabrics were made with a 8th gauge flat-bed knitting machine of para-aramid and high-molecular polyethylene threads of linear density 58.8x2 tex and 44x3 tex, respectively. The parameters of the loop structure of the samples in dry-relaxed state and under maximum uniaxial stretching along the wale and the course directions. Tensile testing of specimens was performed on the machine KaoTieh KT-7010AZ. The maximum stress state of the samples was recorded using a Micro Capture Pro microscope to further determine the changes of the loop structure parameters under the action of tensile deformation. The obtained values of the the loop structure parameters of the samples were used as input data for the construction of three-dimensional models. The deviation of the value of the length of the spline representing the centerline of the thread in the loop model from the length of the thread in the loop obtained during the analysis of the samples does not exceed 5%.

Scientific novelty. An algorithm for the automated construction of 3D models of knitted structures, undergoing maximum deformations coursed by uniaxial tension along the wales or course directions, has been developed.

Practical value. A separate module of the 3D Structure program has been created for the automated construction of a knitted loop undergoing maximal stretching under has been developed.

Keywords: knitwear, tensile deformations, meso-models, high-strength threads, 3D modeling.

УДК 685.3

БОРЩЕВСЬКА Н.М.

Київський національний університет технологій та дизайну

**ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЛАЗЕРНОГО ГРАВІРУВАННЯ НА
ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ НАТУРАЛЬНИХ ШКІР
ДЛЯ ВЕРХУ ВЗУТТЯ ТА ШКІРГАЛАНТЕРЕЙНИХ ВИРОБІВ**

Мета. Дослідження впливу лазерного гравірування на фізико-механічні властивості натуральних шкір для верху взуття та шкіргалантерейних виробів, а саме шкіри Краст, «Флотар» та «Наппа».

Методика. Для реалізації поставленої мети використано ряд методів: фізико-механічного аналізу шкір, математичного планування (багатофакторний експеримент) та статистичного оброблення експериментальних даних.

Результат. За результатами дослідження впливу лазерного гравірування на фізико-механічні властивості натуральних шкір для верху взуття та шкіргалантерейних виробів встановлено, що глибина та площа лазерної абляції впливають на показники границі міцності під час розтягування та подовження під час напруження 10 МПа, а також те, що між ними існує певний зв'язок. На підставі результатів експерименту можна констатувати, що збільшення глибини абляції до 50-52% товщини шкіри негативно впливає на її фізико-механічні властивості, тим самим погіршуючи експлуатаційні та споживачькі характеристики взуття та шкіргалантерейних виробів. Збільшення площі гравірованих елементів до 50% від загальної площі деталі виробу не рекомендовано застосовувати на відповідальних деталях взуття, які зазнають найбільшого навантаження під час формування та експлуатації. Для гравірування шкір з шліфованою або підшліфованою поверхнею потужність променя регулюється в межах від 11 до 40 Вт при швидкості головки лазера від 270 до 300 мм/с. Для лазерного гравірування декоративних елементів з високим ступенем деталізації зображення рекомендовано використовувати переважно лінзу на 1,5 дюйма, де інтервал (фокусна відстань) між нею і поверхнею буде складати 3,81 см.

Наукова новизна. Визначено закономірності впливу глибини та площі декоративних елементів при лазерному гравіруванні на фізико-механічні властивості натуральних шкір для верху взуття та шкіргалантерейних виробів.

Практична значимість. Визначені раціональні параметри лазерного гравірування при оздобленні взуття та шкіргалантерейних виробів із натуральної шкіри.

Ключові слова: лазерне гравірування, натуральна шкіра, вироби зі шкіри, глибина та площа абляції, параметри обробки шкіри.

Вступ. Впровадження лазерних технологій відкриває нові можливості для інноваційних рішень, і є ключовими для економічного успіху промисловості. Застосування таких технологій оптимізує виготовлення продукції за рахунок безпеки, простоти використання та недорогого технічного обслуговування. Завдяки універсальності та широкому спектру можливостей застосування лазерних верстатів незмінно розширюється та стає все більше популярним. Вони можуть служити для обробки практично будь-якого типу матеріалу, в перелік яких входять шкіра, полімерні та текстильні матеріали, натуральна деревина та фанера, картон і щільний папір, гума, метали тощо.

Використання лазерного устаткування дозволяє сумістити декілька технологічних операцій в технологічному процесі виготовлення виробу. Наприклад, виконати розкрій деталей, нанести зображення або текст шляхом гравірування, зробити перфорацію. Придатність матеріалів до лазерного гравірування залежить від ступеня поглинання ними лазерного випромінювання, а також їх теплопровідності. Лазерний промінь взаємодіє з

матеріалом термічно та повністю безконтактно, використовуючи лише лазерне світло [1].

Лазерне гравірування створює на поверхні шкіри тактильний ефект, що надає особливість виробу. Але потрібно зазначити, що натуральна шкіра різного призначення, зважаючи на своє біогенне походження, особливості структури та будови, хімічного складу, наповнення, способу дублення та видів лицьового покриття, демонструє і різну реакцію на лазерну обробку [2]. Тільки при дотриманні визначеної послідовності дій можна отримати бажаний результат у вигляді якісної продукції.

Постановка завдання. Обробка натуральної шкіри на лазерних верстатах є гідною альтернативою «класичним» методам обробки за допомогою механічних граверів, різних способів оздоблення (гарячого та холодного тиснення, випалювання тощо) та різного ручного приладдя [3,4]. Обробка тонким лазерним променем високої енергії має безсумнівні переваги, серед яких:

- висока тонкість і акуратність нанесення гравірувальних зображень;
- висока економічність обробки (зменшення витрат на електроенергію в цілому та утримання парку обладнання зокрема);
- відсутність шуму, вібрацій і відходів;
- економну витрату матеріалів для заготовок;
- простота експлуатації та управління лазерними верстатами;
- можливість суміщення виконання різних операцій технологічного процесу виготовлення виробів.

Незважаючи на зазначені переваги, робота на лазерному устаткуванні (як і будь-яке матеріальне виробництво), вимагає знань та відповідального підходу. Обробка матеріалів заснована на застосуванні дуже високих температур, які можуть плавити або випаровувати практично будь-який матеріал завдяки великій концентрації потужності та енергії на дуже невеликій площі. Загальні уявлення про технологію обробки лазером різних матеріалів [5] дають можливість визначити основні напрями подальших досліджень, а комплексний підхід до якості виробів із шкіри передбачає необхідність дослідження впливу лазерного гравірування на фізико-механічні властивості шкір для верху взуття та шкіргалантерейних виробів [6]. Для досягнення прогнозованого результату важливим є встановлення загальних правил та алгоритму роботи з натуральною шкірою, технологічних параметрів обробки та технічного налаштування лазерного обладнання.

Метою роботи є визначення закономірності впливу глибини та площі абляції на фізико-механічні властивості різних шкір в процесі лазерного гравірування та встановлення раціональних технологічних параметрів обладнання для виконання даного виду обробки.

Результати дослідження. Результати патентного пошуку та вивчення науково-технічної інформації [7] виявили неопрацьовані аспекти щодо обробки виробів зі шкіри способом лазерного гравірування та його впливу на зовнішній вигляд, експлуатаційні характеристики взуття та шкіргалантерейних виробів та рентабельність застосування даного виду оздоблення. Можливість роботи з широким спектром матеріалів (рис.1), що використовуються в процесі виготовлення взуття та шкіргалантерейних виробів, підвищують ефективність та доцільність застосування лазерного устаткування на різних етапах виробництва.

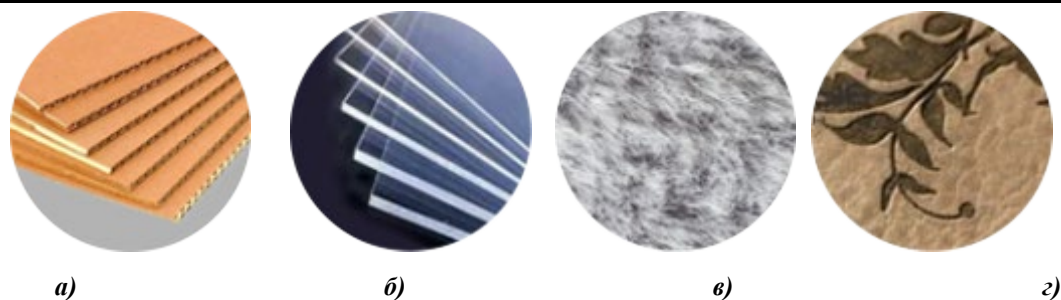


Рис. 1. Види матеріалів для виготовлення взуття та шкіргалантерейних виробів:

а) – взуттєвий картон та тексон; б) – полімерні матеріали;
в) – ткани та неткані матеріали; г) – натуральна та штучна шкіра

Аналіз асортименту взуття за видами оздоблення (рис.2) відображає невелику частку застосування лазерного гравірування у серійному виробництві. Такий розподіл обумовлено відсутністю узагальненої технології, режимів та нормативів виконання даного виду оздоблення в промислових умовах.

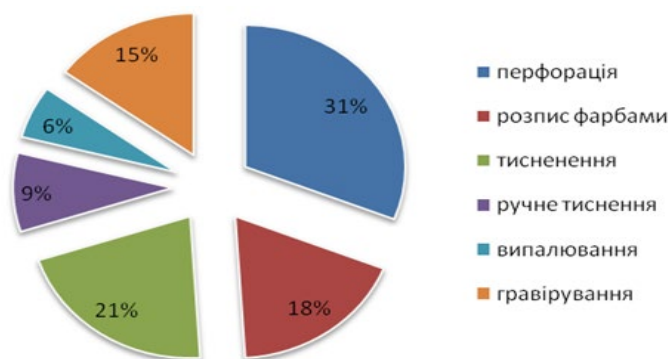


Рис. 2. Аналіз асортименту взуття за видами оздоблення

В порівнянні з механічним тисненням або випалюванням оздоблення лазерним гравіруванням вважається більш точним та уніфікованим. До переваг даного виду оздоблення серед інших методів, що створюють подібний ефект на поверхні натуральної шкіри, є: максимально висока швидкість проходження і точність позиціонування лазерного променя; деталізоване відтворення зображень, написів і візерунків будь-якої складності; чіткий контур в зоні проходження лазера; довговічність гравірованих зображень.

Фізичний принцип лазерного гравірування полягає у впливі променя високої енергії, яка сфокусована в малу площу «світлову пляму», на оброблювану поверхню. Під дією високої температури матеріал заготовки випаровується аж до наскрізного пропалювання [8]. Такий метод видалення речовини з поверхні лазерним імпульсом називається *лазерною абляцією*. Переміщенням лазерного випромінювача щодо поверхні матеріалу реалізує необхідну траєкторію обробки, яка переноситься за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення.

Реалізація цього принципу здійснюється за допомогою комплексних лазерних верстатів (рис.3).

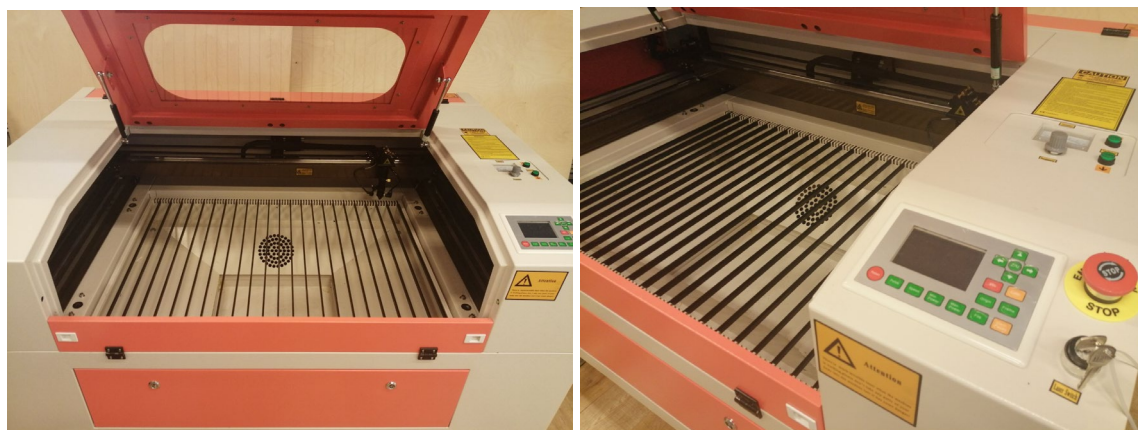


Рис. 3. Комплексний лазерний верстат COMELZ CZ/M

Комплексний лазерний верстат має корпус з відсіками, найбільший з яких забезпечений столом для розміщення оброблюваних заготовок. Лазерна трубка, розташована в задній частині верстата, містить в собі активне середовище, яке генерує лазерне випромінювання при подачі на трубку електричної напруги. Фокусна лінза головки випромінювача «збирає» промінь в вузьку точку на поверхні заготовки. Керуючі імпульси надходять від блоку управління. Їх тривалість і послідовність визначається закладеною у пам'ять установки програмою обробки – графічним файлом в векторному вигляді. Таким чином, програмний ескіз втілюється в матеріалі, реалізуючи віртуальну графічну модель у вигляді завершеного оздоблення – лазерного гравірування. Завдяки тому, що лазерний випромінювач здатний рухатися по складній траєкторії, є можливість нанесення декоративних елементів за складною програмою, в тому числі для отримання рельєфних 3D-гравірувань.

Для забезпечення якісного оздоблення поверхні шкіри лазерним гравіруванням необхідно враховувати ряд чинників, що впливають на процес виконання операції. Зміною потужності та тривалості випромінювання можна регулювати глибину абляції. Фокусна відстань регулюється у відповідності до характеру гравірованих зображень та їх лінійних розмірів.

Для проведення експериментальних досліджень були обрані три найрозповсюдженіші види натуральних шкір хромового методу дублення з сировини великої рогатої худоби (ВРХ), що застосовуються для виготовлення взуття та шкіргалантерейних виробів [9], а саме Краст, «Флотар» і «Наппа» (табл.1).

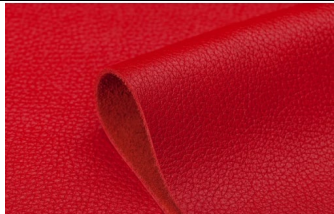
Дослідження зразків шкіри мали за мету визначити раціональні технологічні параметри лазерного гравірування, а саме потужності та швидкості головки лазера, які б забезпечували необхідну глибину абляції, високу якість виконання процесу оздоблення на шкірах різних видів та впливу лазерної обробки на основні фізико-механічні властивості шкір (границі міцності під час розтягування, подовження під час напруження).

Границя міцності під час розтягування відноситься до найбільш важливих характеристик фізико-механічних властивостей шкіри. Мінімальні норми передбачаються ДСТУ і ТУ на всі без винятку види шкіри та коливається від 1,4 до 1,8, 9,8 МПа в залежності від виду шкіри [10]. Границя міцності під час розтягування шкіри обумовлюється механічними властивостями вихідної шкіряної сировини та методами її переробки в готову

шкіру. Вибір в якості основного показника для оцінки фізико-механічних властивостей шкір границі міцності під час розтягування обумовлюється його близькістю до навантажень, що виникають в деталях взуття в процесі її виготовлення та експлуатації. Практичне значення тягучості шкіри для деталей взуття в багатьох випадках навіть більш важливе, ніж її міцність при розтягуванні.

Таблиця 1

Натуральні шкіри для верху взуття та шкіргалантерейних виробів

Номер зразка	Фото зразка	Назва шкіри	Товщина, мм	Висота рельєфу поверхні, мм
1		Краст	1,4	0,05
2		Флотар	1,4	0,22
3		Наппа	1,35-1,4	0,08

При випробуванні зразків шкіри Краст, Флотар та Наппа на розривній машині за відповідною шкалою було відзначено навантаження при розриві (абсолютне навантаження при розриві) та подовження при заданому напруженні 9,8 МПа.

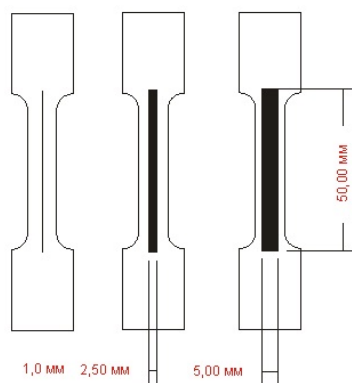


Рис.4. Схема зразків випробувань

Попередньо в робочих зонах зразків були нанесенні елементи прямокутної форми, що складали 1%, 25% та 50% від робочої площі випробуваного зразка, з різною глибиною лазерної абляції від 0,1 мм до 0,7 мм з кроком 0,1 мм (рис.4). Під час проведення

випробування зазначено, що розтріскування лицьової поверхні зразків відбувалось майже одночасно з повним розривом зразка.

Залежність впливу глибини лазерної абляції на границю міцності під час розтягування представлена на діаграмах (рис. 5), при цьому площа абляції досліджуваних зразків була мінімальною та дорівнювала 1% від робочої площі зразка.

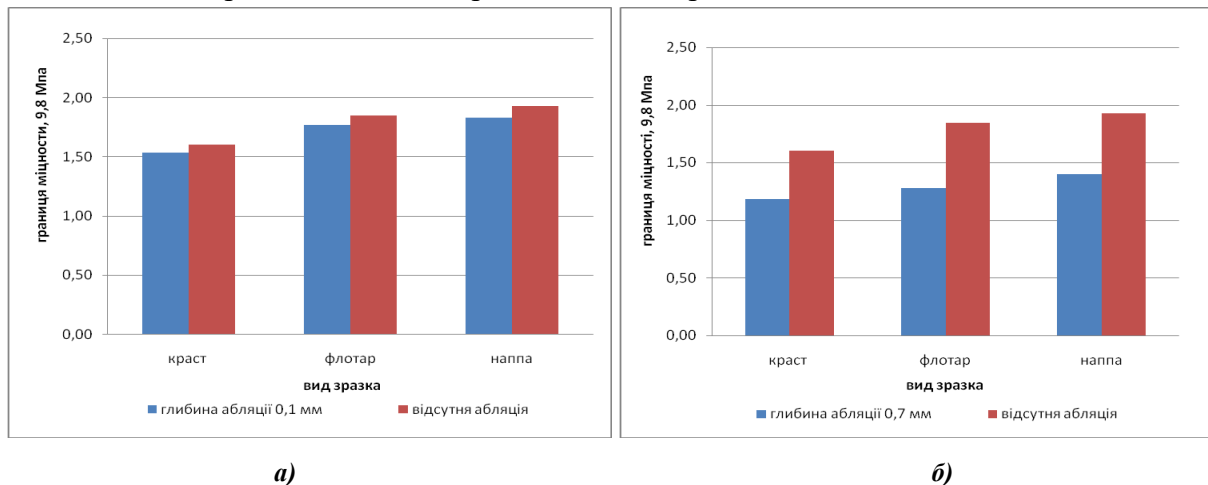


Рис. 5. Діаграма впливу глибини абляції на фізико-механічні властивості шкір
а) – глибина абляції 0,1 мм; б) - глибина абляції 0,7 мм

Побудовані графічні залежності демонструють, що зі збільшенням глибини абляції границя міцності під час подовження зменшується. Така тенденція спостерігається у всіх зразках досліджуваних шкір, при цьому в порівнянні з контрольними зразками, де абляція відсутня, границя міцності під час розтягування зразків з глибиною абляції 0,1 мм (рис. 5а) знаходиться в межах допустимих значень за ДСТУ 2726-94. При підвищенні глибини абляції до 0,7 мм, що для обраних зразків складає 50-52% від товщини шкіри, спостерігається різке зниження границі міцності під час розтягування.

В результаті аналізу зразків та отриманих значень рекомендовані наступні технологічні режими лазерного гравірування шкір Краст, «Флотар» та «Наппа» (табл.2).

Таблиця 2

Технологічні параметри лазерного гравірування шкір для верху взуття та шкіргалантерейних виробів

Вид шкіри	Глибина абляції, мм	Потужність променю, Вт	Швидкість головки лазеру, мм/с
Краст	0,1	11	300
	0,4	17	
	0,7	28	
Флотар	0,1	11	270-300
	0,4	17-19	
	0,7	30	
Наппа	0,1	11	270-300
	0,4	15-17	
	0,7	28	

Для виконання лазерного гравірування натуральних шкір за визначених технологічних параметрів достатньо лазерної трубки з потужністю променю на 40 Вт. Такий

випромінювач якісно і швидко буде наносити зображення на натуральну шкіру. Рекомендована потужність при гравіруванні таких матеріалів становить 60-80% від номіналу. Швидкість переміщення лазерної головки при цьому може бути близька до максимальної. При роботі з іншими видами шкіри, наприклад, шкірою з ворсовою або лаковою поверхнями, потужність слід підбирати експериментальним шляхом, щоб уникнути прогорання країв та пошкодження її поверхні. Номінальна потужність лазерного верстата, за допомогою якого виконувалося гравірування дорівнювала 100 Вт. Відповідно для гравірування з різною глибиною абляції була встановлена потужність 11, 17 та 30% від номінальної.

За результатами експериментальних досліджень впливу лазерного гравірування на фізико-механічні властивості досліджуваних матеріалів можна зробити висновок: лазерна обробка поверхні шкіри пошкоджує лицьовий шар та в залежності від ступеню гравірування (поверхнєве, середнє, глибоке), який визначається глибиною лазерної абляції, впливає на міцність шкір (рис.7). Оцінивши якість гравірованих елементів на зразках органолептично слід зазначити, що найбільш чіткий контур спостерігається на шкірах зі шліфованою лицьовою поверхнею (Краст та Наппа). Шкіра, з поверхнею ущільненою тисненням (Флотар), має менш чіткий контур гравірування в порівнянні з Крастом та Наппою та потребує збільшення потужності променю при виконанні операції оздоблення.

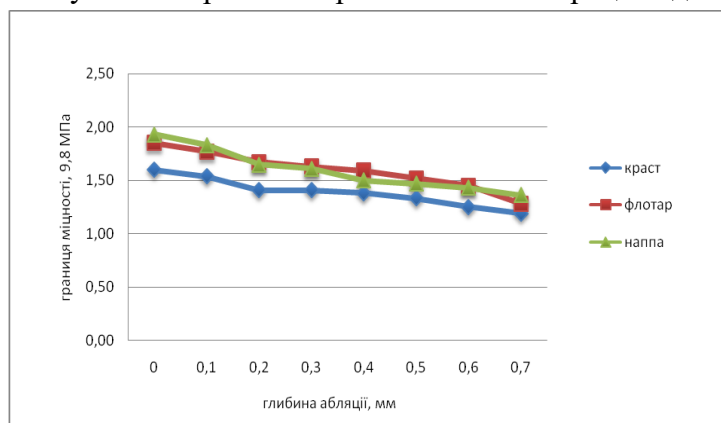


Рис. 7. Залежність границі міцності під час розтягування від глибини лазерної абляції

Глибоке гравірування (глибина абляції 0,7 мм) значно погіршує фізико-механічні властивості всіх досліджуваних зразків шкір, тому не може бути рекомендоване для оздоблення деталей верху взуття. Шкіргалантерейні вироби можуть містити елементи з глибоким гравіруванням, якщо вони не є основними деталями корпусу, не отримують великих навантажень або виконують декоративну функцію.

Визначення впливу площі лазерної абляції не менш вагомий показник, що підтверджується експериментальними дослідженнями (рис.8).

За результатами експериментального дослідження було визначено, що збільшення площі та глибини лазерної абляції впливає на зменшення показника границі міцності під час розтягування. Так, при збільшенні площі абляції до 50%, а глибини – до 0,7 мм зменшується показник границі міцності при розтягуванні: для Наппи в 1,5-2 рази, для Красту в 1,1 рази, а для Флотару в 0,65 разів.

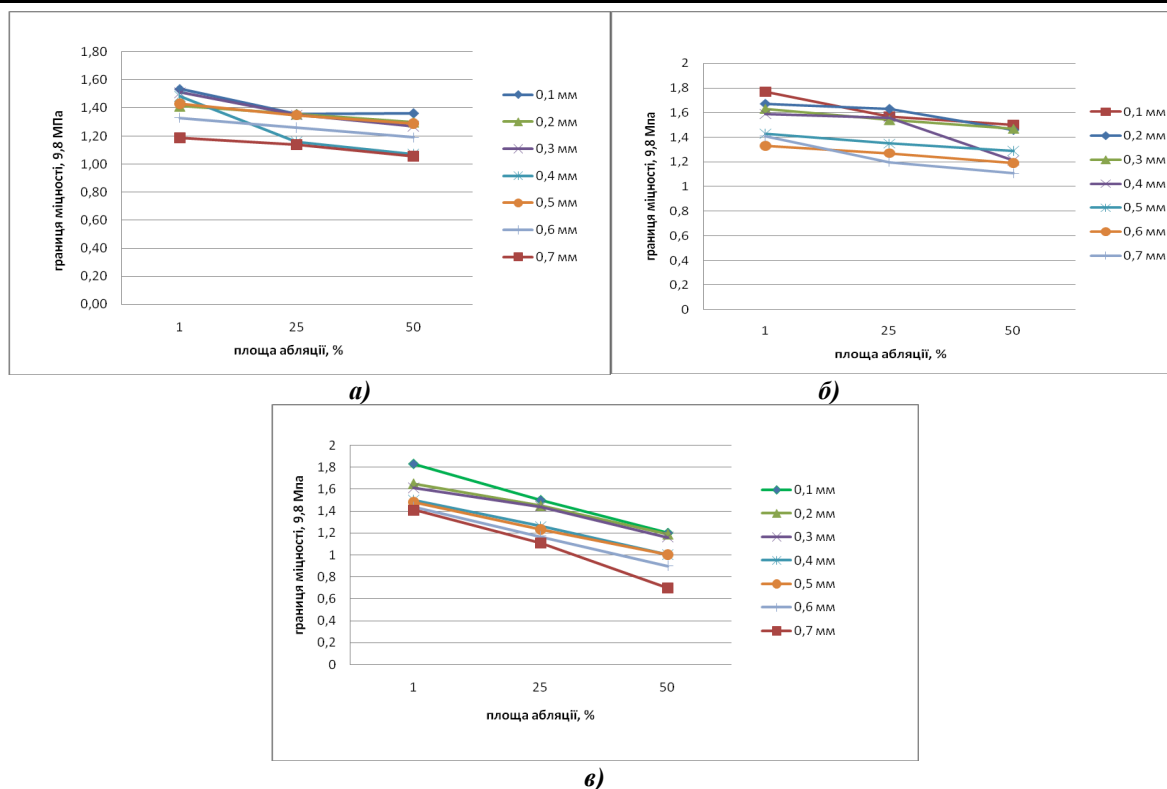


Рис. 8. Залежність впливу площі та глибини лазерної абляції на фізико-механічні властивості шкір: а) – для шкіри Краст; б) – для шкіри Флотар; в) – для шкіри Наппа

Висновки. Дослідження впливу глибини та площі лазерної абляції на фізико-механічні властивості натуральних шкір надали можливість оцінити доцільність застосування лазерного гравірування на виробах з Красту, Флотару та Наппи та визначити раціональні параметри оздоблення їх гравіруванням. Доведено, що збільшення глибини абляції до 50-52% від товщини шкіри негативно впливає на фізико-механічні властивості шкір та погіршує експлуатаційні та споживчі характеристики взуття та шкіргалантерейних виробів. Встановлено, що збільшення площі гравірованих елементів до 50% від загальної площі деталі виробу не рекомендовано застосовувати на відповідальних деталях взуття, що зазнають найбільшого навантаження під час формування та експлуатації. Визначено раціональні параметри та технологічні режими налаштування лазерного верстата. Для гравірування шкір зі шліфованою або підшліфованою лицьовою поверхнею потужність променя регулюється в межах від 11 до 40 Вт при швидкості головки лазера від 270 до 300 мм/с. Для лазерного гравірування декоративних елементів з високим ступенем деталізації зображення рекомендовано використовувати переважно лінзу на 1,5 дюйма, що означає, що інтервал (фокусна відстань) між нею і поверхнею буде складати 3,81 см. Збільшення фокусної відстані доцільно при гравіруванні надписів та зображень з низькими вимогами до деталізації.

Література

1. Григор'янц А.Г. Основи лазерной обработки материалов. Москва : Машиностроение, 1989. 304 с.
2. Данилкович А. Г. Практикум з хімії та

References

1. Grigor'janc A. (1989). Osnovi lazernoj obrabotki materialov. [Basics of laser material processing]. Moskva [in Russian].
2. Danylkovich A. (2006). Praktykum z khimii ta

технології шкіри та хутра: навчальний посібник. Київ : Фенікс, 2006. 340 с.

3. Михеева Е.Я. Справочник обувщика. Михеева Е.Я. [и др]. Москва: Легпромбытиздат, 1989. 416 с.

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

5. Углов А.А. Резка неметаллических материалов лучом лазера. Углов А.А., Кокора А.Н., Берлин Н.В. Квантовая электроника: сб. статей. – Москва, 1988. С.1553-1558.

6. Кутянин Г.И. Исследование физико-механических свойств кожи. Москва: Гизлегпром, 1956. 196 с.

7. Колотихин М.Е., Серегина Е.И. Способ получения широкоформатного художественного рисунка на лицевой поверхности натуральной кожи с применением лазерно-гравировального станка: пат.2561904 Российская федерация: №2014102436/12; заявл. 24.01.2014; опубл. 10.09.2015, Бюл. №25.

8. Рыкалин Н.Н., Углов А.А., Кокора А.Н. Лазерная обработка материалов. Москва: Машиностроение, 1975. 205 с.

9. Страхов И.П. Химия и технология кожи и меха/ И.П. Страхов [и др.] Москва: Легкая индустрия.1970. 632с.

10. ДСТУ 2726-94. Шкіра для верху взуття. Технічні умови [Чинний від 1996–01–01]. Київ: Держспоживстандарт, 1995. 14 с.

tekhnologii shkiry ta khurta. [Workshop on chemistry and technology of leather and fur]. Kyiv: Feniks [in Ukrainian].

3. Mikheyeva E.Ya. (1989). Spravochnik obuvshchika. [Shoemaker's Handbook]. Moskva [in Russian]

4. Zhuravskiy V.A., Kasian E.S., Danylkovych A.G. (1996). Tekhnologiya shkiry ta khutra. [Leather and fur technology]. Kyiv [in Ukraine].

5. Uglov A.A., Kokora A.N., Berlin N.V. (1988). Rezka nemetallicheskih materialov luchom lazera. [Laser cutting of non-metallic materials]. Moskva: Kvantovaya elektronika [in Russian].

6. Kutyanin G. (1956). Issledovaniye fiziko-mekhanicheskikh svoystv kozhi. [Research of the physical and mechanical properties of the leather]. Moskva [in Russian].

7. Kolotikhin ME, Seregina EI, inventors (2015). Spособ polucheniya shirokoformatnogo khudozhestvennogo risunka na litsevoy poverkhnosti naturalnoy kozhi s primeneniye lazerno-gravirovalnogo stanka [Method of obtaining a wide-format art drawing on the front surface of natural leather using a laser engraving machine]. Russian patent, no.2561904.

8. Rykalin N.N., Uglov A.A., Kokora A.N. (1975). Lazernaya obrabotka materialov. [Laser processing of materials]. Moskva: Mashinostroyeniye [in Russian].

9. Strakhov I. (1970). Khimiya i tekhnologiya kozhi i mekha. [Chemistry and technology of leather and fur]. Moskva: Legkaya industriya [in Russian].

10. DSTU 2726-94. Shkira dlia verkhu vzuttia [Specifications 2726-94. Leather for shoe uppers]. Kyiv, Standartinform Publ.,1996. 14 p. [in Ukrainian].

BORSHCHEVSKA N.M.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3242-0419>

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЛАЗЕРНОЙ ГРАВИРОВКИ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НАТУРАЛЬНОЙ КОЖИ ДЛЯ ВЕРХА ОБУВИ И КОЖГАЛАНТЕРЕЙНЫХ ИЗДЕЛИЙ

БОРЩЕВСКАЯ Н.Н.

Киевский национальный университет технологий и дизайна

Цель. Исследование влияния лазерной гравировки на физико-механические свойства натуральных кож для верха обуви и кожгалантерейных изделий, а именно кожи Крафт, «Флотар» и «Наппа».

Методика. Для реализации поставленной цели использован ряд методов: физико-механического анализа кож, математического планирования (многофакторный эксперимент) и статистической обработки экспериментальных данных.

Результат. По результатам исследования влияния лазерной гравировки на физико-механические свойства натуральных кож для верха обуви и кожгалантерейных изделий установлено, что глубина и площадь лазерной абляции влияют на показатели предела прочности при

растяжении и удлинения при напряжении 10 МПа, а также то, что между ними существует определенная связь. На основании результатов эксперимента можно констатировать, что увеличение глубины абляции до 50-52% толщины кожи негативно влияет на физико-механические свойства кож, тем самым может ухудшать эксплуатационные и потребительские характеристики обуви и кожгалантерейных изделий. Увеличение площади гравированных элементов до 50% от общей площади детали изделия не рекомендуется применять на ответственных деталях обуви, которые испытывают большие нагрузки при формировании и эксплуатации. Для гравировки кож со шлифованной или подшлифованной поверхностями мощность луча лазера регулируется в пределах от 11 до 40 Вт при скорости головки от 270 до 300 мм/с. Для лазерной гравировки декоративных элементов с высокой степенью детализации изображения рекомендуется использовать преимущественно линзу на 1,5 дюйма, где интервал (фокусное расстояние) между ней и поверхностью будет составлять 3,81 см.

Научная новизна. Определены закономерности влияния глубины и площади декоративных элементов при лазерной гравировке на физико-механические свойства натуральных кож для верха обуви и кожгалантерейных изделий.

Практическая значимость. Определены рациональные параметры лазерной гравировки при отделке обуви и кожгалантерейных изделий из натуральной кожи.

Ключевые слова: лазерная гравировка, натуральная кожа, изделия из кожи, глубина и площадь абляции, параметры обработки кожи.

RESEARCH OF THE INFLUENCE OF LASER ENGRAVING ON THE PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF NATURAL LEATHER FOR SHOE UPPERS AND LEATHER GOODS BORSHCHEVSKA N.M.

Kyiv National University of Technologies and Design

Purpose. Research of the influence of laser engraving on the physical and mechanical properties of natural leathers for shoe upper of footwear and leather goods, namely leather crust, Flotar and Nappa.

Methodology. The methods of physical and mechanical analysis of leather, mathematical planning (multivariate experiment) and statistical processing of experimental values were used for the study problems.

Findings. According to the research influence of laser engraving on the physical and mechanical properties of natural leather for shoe upper and leather goods, it was found that the depth and area of laser ablation affect the tensile strength indicators. There is a certain relationship between them. Based on the results experiment, it can be stated that an increase in the depth of ablation to 50-52% of the thickness of the leather negatively affects the physical and mechanical properties, can worsen the operational and consumer characteristics of footwear and leather goods. An increase in the area of engraved elements up to 50% of the total area of a product part is not recommended for use on shoe parts. The recommended power for engraving natural leather for shoe upper and leather goods is 60-80% of the machine's power. For engraving leather with a polished surface, the laser beam power is adjustable from 11 to 40 W at a head speed of 270 to 300 mm/s. For laser engraving decorative elements with a high degree of detail, it is recommended to use a 1.5" lens, where the spacing between it and the surface will be 3.81 cm. Increasing the focal length is advisable when engraving captions and images with low detail requirements.

Originality. The regularities of the influence of the depth and area of decorative elements during laser engraving on the physical and mechanical properties of natural leather for shoe upper of footwear and leather goods have been determined.

Practical value. The optimal parameters of laser engraving for finishing shoes and leather goods made of natural leather have been determined.

Key words: laser engraving, leather, leather products, depth and area of ablation, parameters of leather processing.

УДК 685.34.01

ЛЕЩИШИН М. М.

Київський національний університет технологій та дизайну

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ПІДВИЩЕННЯ КОМФОРТНОСТІ ВЗУТТЯ ЗА ІНДИВІДУАЛЬНИМ ЗАМОВЛЕННЯМ

Мета. Дослідити проблеми виготовлення взуття за індивідуальним замовленням з урахуванням суб'єктивного відчуття комфорту споживачів.

Методика. Теоретико-аналітичні, маркетингові та експериментальні дослідження.

Результати. На основі порівняльного аналізу результатів антропометричних досліджень стоп і суб'єктивних відчуттів комфортності взуття обґрунтовано доцільність удосконалення процесу проектування взуття за індивідуальним замовленням з використанням універсального макета-трансформера взуття. В даній роботі проведений аналіз сучасних матеріалів, фактори споживчого вибору, що впливають на формування спектру впровадження новацій у виробництво взуття за індивідуальним замовленням. В роботі наведено результати калібрування резистивного датчика сили та представлено макет-трансформер взуття з використанням дослідного зразка комп'ютерної системи для визначення комфортних параметрів на основі відчуттів тиску на стопу замовника. Наведено результати досліджень індивідуальних відчуттів тиску на стопу взуттям у стані стояння та стані ходьби.

Наукова новизна. На основі комп'ютерної системи з мікроконтролером Arduino Uno і резистивними датчиками сили FSR402 розроблено прилад для визначення тиску між стопою і внутрішньою поверхнею взуття. Виготовлений макет-трансформер взуття з використанням установки комп'ютерної системи на базі мікроконтролера Arduino Uno надає можливість виміряти рівень суб'єктивного комфортного тиску взуття на стопу замовника.

Практична значимість. Дані дослідження дають можливість дослідити і спрогнозувати забезпечення високої якості, комфортності і формостійкості взуття з верхом із сучасних класичних і не типових (пітон, крокодил) натуральних шкіряних матеріалів як при макетуванні так і при виготовленні та експлуатації виробу, а також після ремонту і оновлення чи вдосконалення конструкції виробу. Запропонований макет-трансформер взуття з використанням дослідного зразка комп'ютерної системи

Ключові слова: антропометричні параметри стопи, колодка, комфорт, макет-трансформер, взуття, комп'ютерна система, тиск.

Вступ. Необхідність носіння комфортного взуття завжди було актуальним питанням для споживача, проте в умовах масового фабричного виробництва не завжди вдається задовольнити критерії комфорту взуття для кожного користувача у зв'язку з індивідуальними особливостями будови та біомеханічних характеристик його стопи. В процесі експлуатації взуття, збереження природньої анатомічної побудови стопи у її задовільному функціонуванні можливе в тому випадку, якщо забезпечити зручність і захистити стопу від зовнішнього середовища.

Вирішенню проблеми проектування і виготовлення комфортного взуття присвячені фундаментальні праці вітчизняних і зарубіжних вчених В. П. Либа [1], В. О. Фукін [2], Замарашкін Н.В [3], Ю.П. Зибін [4], та ін.

Як показав аналіз робіт, присвячених проблемі комфортності взуття [3, 5], можна зробити висновок, що автори розглядали питання комфортності взуття з позиції масового виробництва. Форма стопи в певних межах змінюється під впливом взуття, тому комфортність

взуття в основному визначається тим, наскільки воно виготовлене якісно та раціонально. Якісне та доступне взуття повинно виготовлятися за технологією масового виробництва, але враховувати індивідуальні особливості споживача. Значну роль в цьому сенсі відіграє процес конструювання взуття з урахуванням анатомічних точок стопи. При будь-яких, навіть незначних відхиленнях стопи від нормальних показників виготовлене по опосередкованій формі взуття створює певний дискомфорт, оскільки стопа - це орган з дуже складною анатомічною структурою [6, 7].

Постановка завдання. Взуттєва промисловість представляє собою яскравий приклад галузі, де в умовах ринкової економіки йде гостра конкурентна боротьба за споживача. Постійно зростають вимоги до якості і дизайну взуття при одночасній необхідності скорочення строків розробки нових моделей.

У зв'язку з гонитвою за модою та естетичним виглядом взуття, більшість виробників в основному упускають найважливіші завдання: виготовити споживачам взуття, яке захищає стопу від зовнішніх впливів та буде комфортним при експлуатації. Виготовлення індивідуального взуття на замовлення розпочинається з антропометричних обмірів стопи, для подальшого проектування взуттєвої колодки та деталей майбутньої моделі взуття. Але щоб задовольнити суб'єктивний комфорт споживача необхідно врахувати відчуття сили тиску внутрішньої поверхні взуття на стопу.

Силова взаємодія стопи та взуття дуже складний процес. На верх взуття діють активні сили тиску тильної частини стопи, а на низ взуття - реактивні сили тиску підошовної частини стопи і активні сили опорного тиску стопи [8, 9].

На сьогоднішній день немає достатніх даних і єдиного підходу до визначення комфортного тиску внутрішньої поверхні взуття на стопу з урахуванням анатомічних показників стопи і психофізичних особливостей відчуття комфорту замовника, при виготовленні різних видів взуття за індивідуальним замовленням, тому доцільно дослідити це питання.

Результати дослідження. Виробництво виробів індустрії моди за індивідуальним замовленням з кожним роком стає більш популярним і має свою сегментну нішу споживачів.

Виготовлення взуття за індивідуальним замовленням необхідно перш за все тим, хто цінує індивідуальність, унікальність і ексклюзивність у всьому, а також для тих, кому важливий підвищений комфорт.

Пізнання взуття як об'єкту дослідження з точки зору фактичної комфортності може бути оцінене на основі відчуття та сприйняття безпосередніми споживачами. Тобто сприйняття взуття споживачем можна розглядати як цілісний образ або об'єктивно-суб'єктивну оцінку взуття, що містить в собі сукупність властивостей, які отримує індивід за допомогою чуттєвих органів. За своєю природою сприйняття, як і відчуття, має рефлексний характер.

За результатами теоретико-аналітичних, маркетингових і експериментальних досліджень було спроектовано макет-трансформер взуття (рис. 1.а) для попереднього обміру стопи та дослідний зразок з використанням комп'ютерної системи на базі мікроконтролера Arduino Uno (рис. 1.б) для вимірювання тиску внутрішньої поверхні взуття на стопу.

Макет являє собою заготовку верху закритого взуття зі шкіри, з шкіряним підкладом, затягнуто на чоловічу взуттєву колодку, до якої приклеєна тонка, плоска підошва з каблуком,

розміром 275мм. На макеті зафіксовано 7 застібок, на яких відмічена шкала довжиною від 70-100мм, кожна з яких розміщена у відповідних місцях:

- 1 - найвища точка висоти берця напівчеревики (від т.С +70мм вверх по центру гребеня);
- 2 - на прямому підйомі (0,55Дст);
- 3 - точка кальцати т.С (центр лінії внутрішнього та зовнішнього пучків (кальцата));
- 4 - середина сопи з зовнішнього боку (0,5Дст);
- 5 - точка зовнішнього пучка (0,68Дст);
- 6 - середина стопи з внутрішнього боку (0,5Дст);
- 7 - точка внутрішнього пучка (0,72Дст).

Комп'ютерна система складається з наступних елементів: мікроконтролер Arduino UNO, резистор 3,3 кОм, резистивний датчик сили FSR402. Резистивний датчик сили та подільник напруги під'єднані до виводу мікроконтролера Arduino Uno. Напруга живлення складає 5 В.

Резистивні датчики сили по суті є резисторами, які змінюють значення свого опору (в Ом) в залежності від сили натискання на чутливий елемент.

Принцип роботи приладу полягає в наступному. Коли сила прикладена до датчика дорівнює нулю, його опір буде майже нескінченний, відповідно сигнал з датчика також дорівнює нулю.

Коли на резистивний датчик сили буде прикладене навантаження на виводі з'явиться аналоговий сигнал. АЦП перетворює цей сигнал на цифрове значення сили, прикладеної до датчика та виводить його на дисплей монітора.

Для калібрування приладу використовувались вантажі масою 0,1 кг; 0,2 кг; 0,3 кг; 0,4 кг і 0,5 кг, які встановлювались на датчик тиску через перехідний диск.

Тиск на датчик визначався для кожного вантажу за формулою:

$$P_i = \frac{(m_i + m)g}{S}, \quad (1)$$

Де P_i – тиск i -го вантажа, Па; m_i – маса i -го вантажа, кг; $m = 0,01$ кг маса перехідного диска; g – прискорення вільного падіння, м/с²; S – площа перехідного диска, на яку тисне вантаж, м².

Площа, на яку тисне вантаж:

$$S = \pi r^2, \quad (2)$$

де $r = 0,005$ м – радіус перехідного диска.

Підставляючи (2) в (1), отримаємо:

$$P_i = \frac{(m_i + m)g}{\pi r^2}, \quad (3)$$

Апроксимуюча функція має вигляд:

$$Y = 0,0353 \cdot P^{0,9341}, \quad (4)$$

де Y – показник приладу; P – тиск на датчик, Па.

З виразу (4) отримаємо формулу для визначення тиску на датчик в залежності від показання приладу:

$$P = \left(\frac{Y}{0,0353}\right)^{\left(\frac{1}{0,9341}\right)} \text{ (Па)} \quad (5)$$

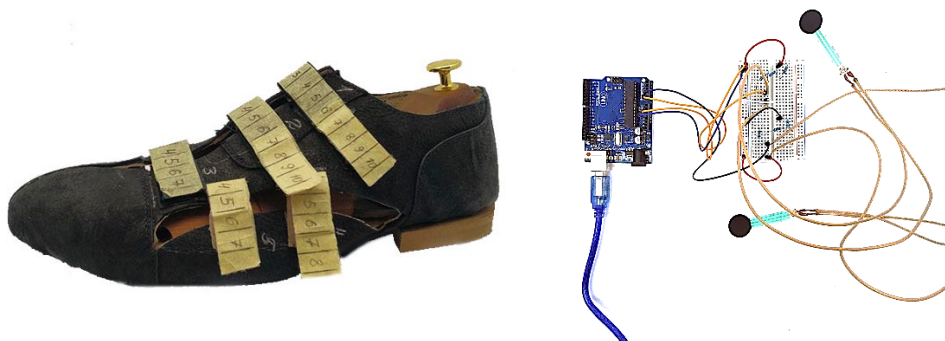


Рис. 1. а) - Макет-трансформер взуття; б) - Дослідний зразок з використанням комп'ютерної системи на базі мікроконтролера Arduino Uno

Таблиця 1

Шкала оцінювання комфортності взуття на основі фіксації застібок на макеті

Оцінка	Відчуття стану комфорту
90-100	Відмінно
60-80	Помірний ступінь дискомфорту
30-50	Важкий ступінь дискомфорту
1-20	Незадовільно

Нижче наведені параметри припасування макета до стопи замовника у стані стояння та стані ходьби для визначення рівня комфортного тиску (табл.2).

Таблиця 2

Параметри припасування макета до стопи

Спадає з ноги							
Довжина затягнутої частини:	застібки 1, мм	застібки 2, мм	застібки 3, мм	застібки 4, мм	застібки 5, мм	застібки 6, мм	застібки 7, мм
Параметри	51,0	51,0	33,0	34,0	34,0	32,0	32,0
Дуже вільно							
Довжина затягнутої частини:	застібки А, мм	застібки В, мм	застібки С, мм	застібки D, мм	застібки Е, мм	застібки F, мм	застібки G, мм
Параметри	45,0	45,0	28,0	29,0	29,0	28,0	28,0
Вільно припасовано							
Довжина затягнутої частини:	застібки А, мм	застібки В, мм	застібки С, мм	застібки D, мм	застібки Е, мм	застібки F, мм	застібки G, мм
Параметри	39,0	39,0	26,0	26,5	26,5	25,0	25,0
Припасовано							
Довжина затягнутої частини:	застібки А, мм	застібки В, мм	застібки С, мм	застібки D, мм	застібки Е, мм	застібки F, мм	застібки G, мм
Параметри	34,0	34,0	22,0	22,0	20,0	22,0	20,0

Продовження таблиці 2

Щільно припасовано							
Довжина зтягнутої частини:	застібки А, мм	застібки В, мм	застібки С, мм	застібки D, мм	застібки Е, мм	застібки F, мм	застібки G, мм
Параметри	31,0	30,0	19,0	20,0	17,02	20,0	17,0
Дуже щільно							
Довжина зтягнутої частини:	застібки А, мм	застібки В, мм	застібки С, мм	застібки D, мм	застібки Е, мм	застібки F, мм	застібки G, мм
Параметри	28,0	29,0	17,0	17,5	15,5	17,0	15,5
Пережимає							
Довжина зтягнутої частини:	застібки А, мм	застібки В, мм	застібки С, мм	застібки D, мм	застібки Е, мм	застібки F, мм	застібки G, мм
Параметри	24,0	25,0	15,0	16,0	15,0	16,0	15,0

Закріплення датчиків на внутрішній поверхні макету взуття дозволяє вимірювати тиск між стопою і внутрішньою поверхнею взуття як в статичних, так і в динамічних умовах.

На макеті взуття розміщено резистивні датчики, що найменше у 4 антропометричних точках стопи:

- 1 точка – внутрішній пучок (0,72Дст),
- 2 точка - зовнішній пучок (0,68Дст),
- 3 точка - прямий підйом стопи (0,55Дст),
- 4 точка - висота п'ятки ($V_{п} = 0,2N + 12$).

Замовник оцінює комфортність тиску у балах від 1-100 (табл. 1).

Таблиця 3

Оцінка комфортності взуття за допомогою фіксації макета-трансформера на стопі в статистиці

Фіксація макета на нозі:	Спадає з ноги	Дуже вільно	Вільно припасовано	Припасовано	Щільно припасовано	Дуже щільно	Пережимає
Відчуття комфорту, бали	30	70	80	90	100	60	22
Тиск в точці виміру 1, Па	-	688,4	2944,4	8269,5	10491,2	16227,9	16952,8
Тиск в точці виміру 2, Па	-	614,1	2540,7	7475,3	8869,9	14544,8	16090,1
Тиск в точці виміру 3, Па	-	628,0	2221,8	7224,5	9645,0	15070,2	16952,8
Тиск в точці виміру 4, Па	-	628,0	1861,1	4964,3	8209,1	13259,7	15831,8

З табл. 3 видно, що найвищу оцінку комфортності у стані стояння замовник відчуває при щільно припасованих застібках макета до стопи. Фіксований тиск на стопу в різних точках при такій фіксації в межах від 8869,9 - 10491,2 Па. Первинна оцінка зручності взуття в момент його примірки зв'язана з розпізнаванням і порівнянням психічного образу взуття, що приміряється.

Наступне питання експерименту зводилось до того, щоб визначити тиск при ходьбі, який відповідає відчуттю комфорту.

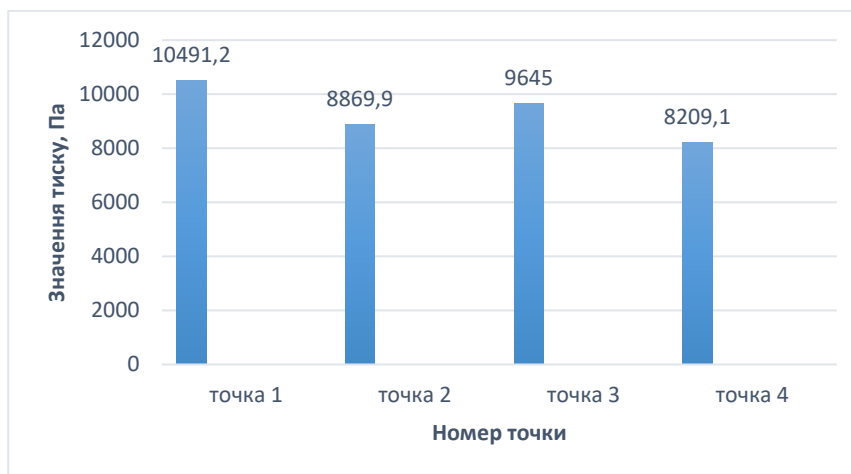


Рис. 2. Діаграма комфортних параметрів тиску в різних точках при щільно припасованому макеті до стопи

Таблиця 4

Оцінка комфортності взуття за допомогою фіксації макета-трансформера на стопі в стані ходьби

Фіксація макета на нозі:	Спадає з ноги	Дуже вільно	Вільно припасовано	Припасовано	Щільно припасовано	Дуже щільно	Пережимає
Відчуття комфорту, бали	9	52	79	100	81	61	11
Максимальний тиск в точці виміру 1, в різних фазах кроку, Па	-	4065,8	8869,9	11039,1	14146,0	16664,9	18860,9
Максимальний тиск в точці виміру 2, в різних фазах кроку, Па	-	3856,3	8209,1	9367,7	10647,5	13691,0	17818,5
Максимальний тиск в точці виміру 3, в різних фазах кроку, Па	-	3961,0	8759,5	9922,8	11263,3	14430,8	16090,1
Максимальний тиск в точці виміру 4, в різних фазах кроку, Па	-	2923,8	7224,5	8209,1	8869,9	11656,4	16377,3

В результаті можна зазначити, що максимальний комфортний тиск у стані стояння сягає 10491,2 Па, а при ходьбі значення підвищується до 11039,0 Па. Різниця даних значень дорівнює 547,8 Па. Для того, щоб замовник відчував комфорт не тільки стоячи, а й при ходьбі, в умовах стояння потрібно зменшити тиск на стопу за допомогою застібок на різницю 547,8 Па. Піковий задовільний тиск в статиці повинен бути: $10491,2 - 547,8 = 9943,4$ Па. Тоді, з урахуванням величини

збільшення тиску при ходьбі людина буде відчувати комфортний тиск на стопу, аналогічний тому, який визначається в умовах.

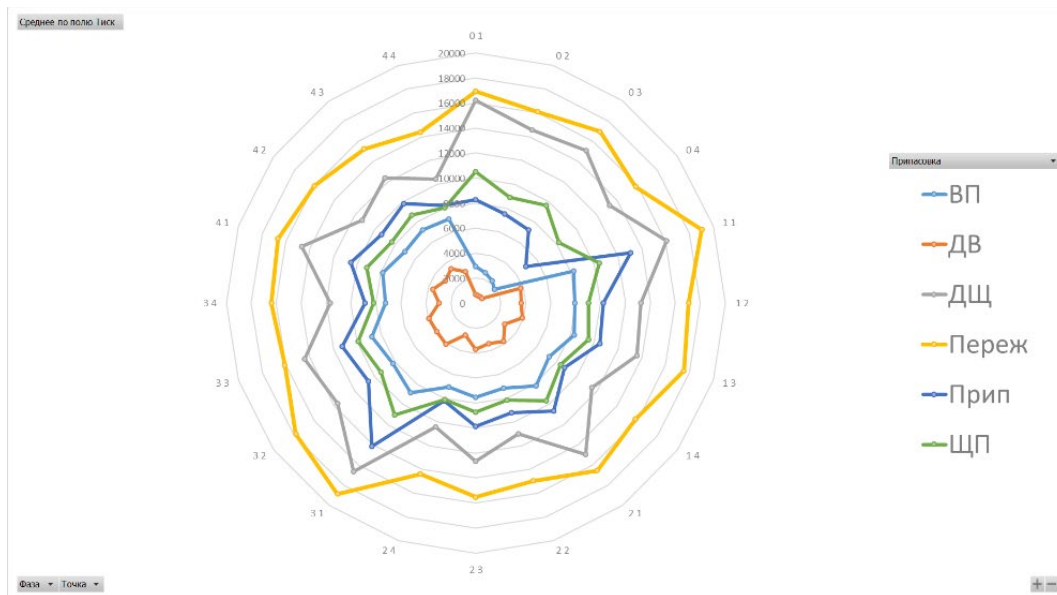


Рис. 3. Діаграма порівняння оцінювання відчуття суб'єктивного комфорту у різних станах

В результаті можна зазначити, що максимальний комфортний тиск у стані стояння сягає 10491,2 Па, а при ходьбі значення підвищується до 11039,0 Па. Різниця даних значень дорівнює 547,8 Па. Для того, щоб замовник відчував комфорт не тільки стоячи, а й при ходьбі, в умовах стояння потрібно зменшити тиск на стопу за допомогою застібок на різницю 547,8 Па. Піковий задовільний тиск в статичі повинен бути: $10491,2 - 547,8 = 9943,4$ Па. Тоді, з урахуванням величини збільшення тиску при ходьбі людина буде відчувати комфортний тиск на стопу, аналогічний тому, який визначається в умовах

Для виготовлення бажаної моделі взуття за індивідуальним замовленням також було досліджено фізико-механічні властивості за визначеними показниками вагомості.

Натуральні шкіри мають широку сферу застосування. Більша частина направлена на виготовлення шкір для верху взуття. Тому контроль якості натуральних шкір є досить важливим фактором. Оскільки людина проводить тривалий час доби у взутті, важливо, щоб їй було зручно і комфортно.

Для досліджень якості шкіри для верху взуття було підібрано 4 зразки натуральних шкір різних виробників. Загально органолептичні ознаки шкір для верху взуття представлені в табл.5.

Для оцінки якості шкір за фізико-механічними властивостями визначили межу міцності матеріалу при розтягуванні, відносне видовження при напруженні 10 МПа, стійкість покриття до багаторазового вигину, адгезію покривної плівки до мокрої та сухої шкіри. Для оцінки деформаційних властивостей матеріалів було використано зразки описаних вище матеріалів. Згідно методик описаних в ДСТУ [10] на відповідні випробування було відібрано по три зразки викроєних з різних ділянок шкіри, що імітували союзку (3 варіанти). Одна союзка викроюється із

чепракової частини в поздовжньому напрямі, друга – із чепракової частини в поперечному напрямі, третя викроюється із крайньої ділянки чепракової частини шкіри у поздовжньому напрямі. Всього 15 зразків [10].

Таблиця 5

Органолептичні ознаки шкір для верху взуття

Показник	Зразок шкіри			
	1	2	3	4
Назва	ВРХ	крокодил	пітон	страус
Артикул	350-P15-5505	650-P-154352	100-P-110601	200-P-151215
Колір	бордо	блакитний	білий	чорний
Стан мереживки	Природний стан	Чітко виражені сегменти «квадратів»	Природні чітко виражені лусочки	Природні чітко виражені отвори

Отже, обрані для досліджень зразки були оцінені на якість за показниками фізико-механічних та деформаційних властивостей. Результати проведених досліджень представлені в (табл. 6). Як видно з представлених даних вищезазначених таблиць, досліджувані зразки шкір за показниками повністю задовольняють вимоги стандарту для шкір для верху взуття [10].

Таблиця 6

Фізико-механічні випробування шкір

Зразок	Межа міцності при розтягненні 9,8 МПа	Відносне видовження, при навантаженні 9,8 МПа, %	Відносне видовження при розриві, %
1	1,7	52,0	80,0
2	1,5	35,0	65,0
3	1,6	35,0	58,0
4	1,8	24,0	59,0
Вимоги стандарту	1,5	20,0-40,0	-



Рис. 4. Діаграма фізико-механічних властивостей натуральних шкір

Отже, слід відмітити, що всі зразки натуральних шкір для верху взуття згідно показників

хімічного складу, фізичних та фізико-механічних властивостей повністю відповідають вимогам нормативних документів і є безпечними для стопи людини.

Висновки. На основі комп'ютерної системи з мікроконтролером Arduino Uno і резистивними датчиками сили FSR402 розроблено прилад для визначення тиску між стопою і внутрішньою поверхнею взуття. В результаті проведеного калібрування приладу встановлено однозначну залежність між показаннями приладу і величиною вимірюваного тиску, що дозволяє визначити тиск внутрішньої поверхні взуття на стопу як в процесі стояння, так і в процесі ходьби. Аналіз отриманих дослідниками результатів показує, що не всі індивідуальні особливості стопи замовника можуть бути враховані при проектуванні та виготовленні комфортного взуття за індивідуальним замовленням. На сьогоднішній день немає достатніх даних і єдиного підходу до визначення комфортного тиску внутрішньої поверхні взуття на стопу з урахуванням анатомічних показників стопи і психофізичних особливостей відчуття комфорту замовника, при виготовленні різних видів взуття за індивідуальним замовленням.

Запропонований в роботі спосіб вимірювання тиску внутрішньої поверхні взуття на стопу з урахуванням її основних анатомічних параметрів за допомогою структурної схеми дослідного зразка дозволяє спроектувати та виготовити комфортне індивідуальне взуття для замовника. В результаті проведення виміру тиску у стані стояння та стані ходьби наведені фіксовані значення комфортного тиску на стопу в різних зазначених точках та при різних фазах ходьби. Удосконалено ергономічні властивості виготовленого взуття за індивідуальним замовленням за рахунок використання матеріалів з покращеними фізико-механічними властивостями.

Література

1. Лыба В.П. Теория и практика проектирования комфортной обуви: дис. доктора техн. наук: 05.19.06 / Лыба Владимир Петрович. – М., 1996. – 314.
2. Фукин В.А. О комплексе свойств, определяющих комфортность обуви / В.А. Фукин, Д.О. Саккулина, В.В. Костылева. – М.: Кожев. – обув. пром-сть – 1994. - № 1– 2. – С. 37– 38.
3. Замарашкин Н.В. Исследование закономерностей формообразования, точности изготовления, создание способов и средств проектирования, обработки, контроля колодок и деталей обуви: автореф. дисс. д.т.н., Л., ЛИТЛП, 1977
4. Зыбин Ю.П. Конструирование изделий из кожи / Ю.П. Зыбин, В.М. Ключникова, Т.С. Кочеткова, В.А. Фукин – М: Легкая и пищевая промышленность, 1982. – 264с.
5. Александров С.П. Автоматическое профилирование поверхности стельного узла / С.П. Александров, О.В. Паршина –М.: Кожев. –

References

1. Lyba V.P. (1996) Teoriya i praktika proektirovaniya komfortnoy obuvi [Theory and practice of designing comfortable footwear] Doctor's thesis. M. [in Russian].
2. Fukin V.A., Sakkulina D.O., Kostyleva V.V. (1994). O komplekse svoystv, opredelyayushchikh komfortnost' obuvi [On the complex of properties that determine the comfort of shoes]. M. [in Russian].
3. Zamarashkin N.V. (1977). Issledovanie zakonomernostey formoobrazovaniya, tochnosti izgotovleniya, sozdanie sposobov i sredstv proektirovaniya, obrabotki, kontrolya kolodok i detaley obuvi [Investigation of the patterns of shaping, manufacturing accuracy, the creation of methods and tools for design, processing, control of lasts and shoe parts]. Extended abstract of Doctor's thesis. M. [in Russian].
4. Zybin Yu.P., Klyuchnikova V.M., Kochetkova T.S., Fukin V.A. (1982). Konstruirovaniye izdeliy iz kozhi [Leather goods design]. M. [in Russian].
5. Aleksandrov S.P., Parshina O.V. (1998). Avtomaticheskoye profilirovaniye poverkhnosti stelchnogo uzla [Automatic profiling of the surface of the insole assembly]. Vol. 8, 12-16 [in Russian].

обув. Пром-сть. – 1998. - № 8. - С. 12 - 16.
6. Надопта Т.А. Анатомо-морфофункціональне обґрунтування раціональної конструкції верху взуття з низьким каблукком: Т.А. Надопта // Вісник Хмельницького національного університету. – 2010. - № 1. – С. 283-286
7. Очкурєнко О. М. Анатомія людини: навч. посібник / О. М. Очкурєнко, О. В. Федотов– К.: Вища шк., 1992. – С. 286 – 289.
8. Уткин В. Л. Биомеханика физических упражнений: учеб. пособие для студентов фак. физ. воспитания пед. ин-тов и для ин-тов физ. культуры по спец. № 2114 «Физ. воспитание».— М.: Просвещение, 1989.— 210 с.
9. Горбачик В. Е. Основы анатомии, физиологии, антропометрии и биомеханики : учебное пособие / В. Е. Горбачик. – Витебск : УО «ВГТУ», 2011. – 125 с.
10. ДСТУ 20347-2012 Засоби індивідуального захисту. Взуття побутового призначення. Технічні умови. Київ. Дата введення 2012-01-01

6. Nadopta T.A. (2010). Anatomo-morfo-funktsionalne obgruntuvannya ratsionalnoi konstrukttsii verkhu vzuttia z nyzkym kablukom [Anatomical and morphofunctional substantiation of a rational design of a top of footwear with a low heel]. Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu - Bulletin of Khmelnytsky National University, 1 . 283-286 [in Ukraine].
7. Ochkurenko O. M., Fedotov O. M. (1992). Anatomiiia liudyny: navch. posibnyk [Human anatomy]. K. [in Ukraine].
8. Utkin V. L. (1989). Biomekhanika fizicheskikh uprazhneniy [Exercise biomechanics]. Fiz. Vospitanie - Physical Education. M. [in Russian].
9. Gorbachik V. E. (2011). Osnovy anatomii, fiziologii, antropometrii i biomekhaniki [Fundamentals of Anatomy, Physiology, Anthropometry and Biomechanics]. [in Belarus].
10. DSTU 20347 - 2012 Zasoby indyvidualnoho zakhystu. Vzuttia pobutovoho pryznachennia. Tekhnichni umovy. [State Standard 20347 – 2012. Personal protective equipment. Household shoes. Specifications]. Ukraine, Standartinform Publ., 2012. 01. 01.

LESHCHYSHYN MARYNA
e-mail: marfiichuk@gmail.com
Kyiv National University of Technologies and Design

ИССЛЕДОВАНИЕ И ПОВЫШЕНИЕ КОМФОРТНОСТИ ОБУВИ ПО ИНДИВИДУАЛЬНОМУ ЗАКАЗУ ЛЕЩИШИН М.Н.

Киевский национальный университет технологий и дизайна

Цель. Исследовать проблемы изготовления обуви по индивидуальному заказу с учетом субъективного ощущения комфорта потребителей.

Методика. теоретико-аналитические, маркетинговые и экспериментальные исследования.

Результаты. На основе сравнительного анализа результатов антропометрических исследований стоп и субъективных ощущений комфортности обуви обоснована целесообразность совершенствования процесса проектирования обуви по индивидуальному заказу с использованием универсального макета-трансформера обуви. В данной работе проведен анализ современных материалов, факторы потребительского выбора, влияющие на формирование спектра внедрения инноваций в производство обуви по индивидуальному заказу, в работе приведены результаты калибровки резистивного датчика силы и представлен макет-трансформер обуви с использованием опытного образца компьютерной системы для определения комфортных параметров на основе ощущений давления на стопу заказчика. Приведены результаты исследований индивидуальных ощущений давления на стопу обувью в состоянии стояния и состоянии ходьбы.

Научная новизна. На основе компьютерной системы с микроконтроллером Arduino Uno и резистивными датчиками силы FSR402 разработан прибор для определения давления между стопой и внутренней поверхностью обуви. Изготовлен макет-трансформер обуви с использованием установки

компьютерной системы на базе микроконтроллера Arduino Uno, который позволяет измерить уровень субъективного комфортного давления обуви на стопу заказчика.

Практическая значимость. Данные исследования дают возможность исследовать и спрогнозировать обеспечение высокого качества, комфортности и формоустойчивости обуви с верхом из современных классических и не типовых (python, крокодил) натуральных кожевенных материалов как при макетировании так и при изготовлении и эксплуатации изделия, а также после ремонта и обновления или совершенствование конструкции изделия. Предложенный макет-трансформер обуви с использованием опытного образца компьютерной системы

Ключевые слова: антропометрические параметры стопы, колодка, комфорт, макет-трансформер, обувь, компьютерная система, давление.

RESEARCH AND INCREASE OF COMFORT OF SHOES ON THE INDIVIDUAL ORDER

LESHCHYSHYN M.

Kyiv National University of Technologies and Design

Purpose. Research and solve the problems of custom-made shoes, taking into account the subjective feeling of consumer comfort.

Methodology. Theoretical and analytical, marketing and experimental research.

Findings. On the basis of the comparative analysis of results of anthropometric researches of feet and subjective feelings of comfort of footwear expediency of perfection of process of designing of footwear by the individual order with use of the universal model-transformer of footwear is proved. This paper analyzes modern materials, consumer choice factors influencing the formation of the range of innovations in the production of footwear by individual order. comfortable parameters based on the sensations of pressure on the customer's foot. The results of researches of individual sensations of pressure on the foot by footwear in a standing and walking condition are given.

Originality. Based on a computer system with an Arduino Uno microcontroller and resistive force sensors FSR402, a device for determining the pressure between the foot and the inner surface of the shoe has been developed. The made model-transformer of footwear with use of installation of computer system on the basis of the Arduino Uno microcontroller gives the chance to measure level of subjective comfortable pressure of footwear on a foot of the customer.

Practical value. Creating a comfortable and convenient shape of the product is one of the main stages of shoe production, the quality and careful implementation of which depends not only on the shape stability and comfort of shoes during operation, but also the appearance of the product. These studies make it possible to investigate and predict the provision of high quality, comfort and durability of shoes with uppers of modern classic and non-typical (python, crocodile) natural leather materials both in the layout and in the manufacture and operation of the product, as well as after repair and upgrade or improvement product design. The proposed model-transformer of shoes using a prototype computer system

Keywords: anthropometric parameters of the foot, pad, comfort, model-transformer, shoes, computer system, pressure.

УДК 677.017

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

Київський національний університет технологій та дизайну

ЗАСТОСУВАННЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ПРИСТРОЮ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ПОВЕРХНЕВОЇ ГУСТИНИ ТЕКСТИЛЬНОЇ ВОЛОКОННОЇ МАСИ

Мета. Забезпечення визначення поверхневої густини текстильної волоконної маси безпосередньо під час технологічного процесу виготовлення із застосуванням ультразвукового пристрою, оснащеного безконтактними ультразвуковими датчиками. Зокрема, показати вплив поверхневої густини текстильної волоконної маси на амплітуду зондуючих коливань у вимірювальному каналі ультразвукового пристрою.

Методика. Запропоновано амплітудний метод контролю, який покладений в основу роботи ультразвукового пристрою. Він полягає в опроміненні текстильної волоконної маси, яка переміщується відносно скануючої скоби з датчиками, та визначенні поверхневої густини волоконної маси за допомогою ослаблення амплітуди ультразвукових хвиль у вимірювальному каналі. Результати вимірювань оброблюються з їх подальшим оцифровуванням і комп'ютерним аналізом.

Результати. Отримані аналітичні вирази, які пов'язують між собою поверхневу густину текстильної волоконної маси та цифровий код, який пропорційний амплітуді зондуючих хвиль та утворюється за допомогою внутрішнього АЦП мікроконтролера, що входить до складу запропонованого пристрою. За допомогою цифрових кодів та запропонованої сучасної системи контролю поверхневої густини текстильної волоконної маси можна проводити оперативний моніторинг технологічного параметру в режимі реального часу. Це дозволить забезпечити в процесі виробництва однорідність текстильної волоконної маси у визначених межах.

Наукова новизна. Встановлено, що завдяки проходженню та перевідбиттю ультразвукових хвиль, які потрапляють до двох приймачів з різною затримкою коливань, можна підвищити точність вимірювань середніх значень поверхневої густини текстильної волоконної маси.

Практична значимість. Запропонована структурна схема ультразвукового пристрою для визначення поверхневої густини текстильної волоконної маси та описана його робота. Також наведені основні залежності, за якими система пристрою буде визначати поверхневу густину текстильної волоконної маси.

Ключові слова: поверхнева густина, текстильна волоконна маса, ультразвуковий пристрій, ультразвукова хвиля.

Вступ. Для легкої промисловості актуальним є питання оперативного контролю технологічних параметрів різних текстильних матеріалів [1-7], що є важливим для виробничого процесу. Якщо взяти текстильну волоконну масу, то існує необхідність контролювати її за поверхневою густиною безпосередньо у процесі виробництва. Це дасть можливість забезпечити ефективне використання сировини для отримання якісної готової продукції на виході виробництва. На сьогодні показано використання як амплітудних залежностей ультразвукових хвиль [8], так і їх фазових виразів [9]. Однак запропонований у роботі [10] метод, контролю текстильної волоконної маси шляхом взяття точкових проб в лабораторних умовах для контролю текстильної волоконної маси не дає можливості вести оперативний технологічний контроль безпосередньо у процесі виробництва.

Постановка завдання. Для вирішення поставленої задачі пропонується використати ультразвуковий пристрій, що зможе сканувати текстильну волоконну масу та визначати її поверхневу густину. Тому задача створення пристрою із можливістю підключення

безконтактних ультразвукових датчиків з їх кріпленням у вигляді скоби є актуальною та потребує встановлення взаємозв'язку між амплітудою зондуючих коливань при їх перевідбитті й проходженні та поверхневою густиною волоконного матеріалу у вимірювальному каналі ультразвукового пристрою. Зазначене, у свою чергу, дозволить контролювати різну текстильну масу за основним параметром, який впливає на технологічні процеси виробництва. Іншими словами, при підключенні датчиків, які розміщуються у скобі, можна контролювати поверхневу густину волоконної маси безпосередньо під час технологічного процесу.

Результати дослідження. За структурою запропонований пристрій (див. рис. 1) можна описати з урахуванням можливості його роботи для визначення поверхневої густини текстильної волоконної маси. Така система пристрою включає в себе наступні складові блоки: мікроконтролер 1 (МК1); мікроконтролер 2 (МК2); формувач імпульсного сигналу 3; підсилювач 4; п'єзоелектричні перетворювачі 5, 6, 7; кріплення скоби 8; регульовані підсилювачі 9, 10; амплітудні детектори 11, 12; блок комутації 13; мікросхему перетворення логічних рівнів 14; персональний комп'ютер 15 (ПК); блок керування двигунами 16 (БКД) для транспортного механізму, який переміщує текстильну волоконну масу 17.

Разом п'єзоелектричні перетворювачі 5, 6, 7 та кріплення скоби 8 представляють собою перший блок з ультразвуковими датчиками (БУД). При підключенні БУД до загального блоку передачі інформації й керування (ЗБПК) та до блоку перетворення й обробки інформації (БПОІ) ультразвуковий пристрій може безконтактно визначати поверхневу густину текстильної волоконної маси. Розглянемо принцип роботи запропонованого ультразвукового пристрою в режимі безконтактного визначення поверхневої густини текстильної волоконної маси (маса текстильних волокон на одиницю площі). Імпульси ультразвукової частоти f , що виробляються МК1, надходять на формувач імпульсного сигналу 3, з виходу якого пакети імпульсів з напругою U_m подаються на підсилювач 4. Після підсилення імпульсний сигнал надходить на п'єзоперетворювач 5, за допомогою якого перетворюється в ультразвукові хвилі. Ці хвилі проходять текстильні волокна, перевідбиваючись від верхньої та нижньої стінок скоби 8, та надходять на перший приймаючий п'єзоперетворювач 6, а далі надходять, шляхом подальшого перевідбивання коливань з деяким ослабленням, на другий приймаючий п'єзоперетворювач 7. Завдяки п'єзоперетворювачам 7, 8 ультразвукові хвилі перетворюються в електричні коливання, підсилюються за потужністю регульованими підсилювачами 9, 10, далі детектуються та перетворюються в постійні напруги U_1 та U_2 за допомогою амплітудних детекторів 11, 12. Постійні напруги U_1 та U_2 утворюються із затримкою у часі та надходять до комутаційного блоку 13, який переключає вимірювальні канали по чергову, з'єднуючи їх з входом МК2.

Затримка утворення напруг U_1 та U_2 у часі пов'язана з різною відстанню для ультразвукових хвиль, яку вони проходять перед потраплянням на перший 6 та другий 7 приймальні п'єзоперетворювачі відповідно. Момент переключення вимірювальних каналів за допомогою комутаційного блоку 13 та МК2 синхронізується з часом утворення електричних напруг U_1 та U_2 . Для можливості отримання невідомих значень поверхневої густини для текстильної волоконної маси згасання амплітуд ультразвукових хвиль має бути

у встановленому робочому діапазоні.

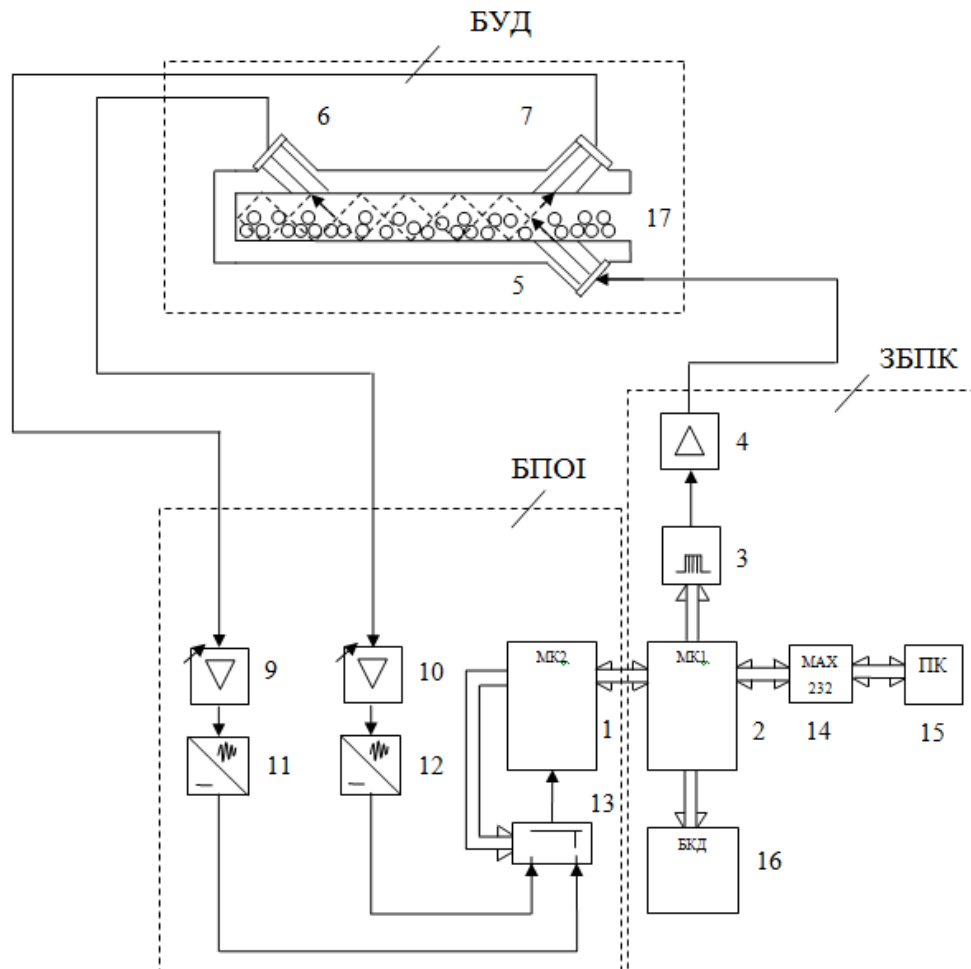


Рис.1. Структурна схема ультразвукового пристрою для визначення поверхневої густини m_s текстильної волоконної маси

Цей параметр також визначається у робочому діапазоні для ультразвукового пристрою. За допомогою внутрішнього АЦП МК2 напруга U_1 перетворюється в цифровий код N_1 таким чином:

$$N_1 = \frac{U_1}{r_u} = \frac{K_1 K_2 K_4 K_6 K_8}{\sqrt{1 + \left(\frac{n_{1np} \cdot m_{ov} m_k f \cos v}{Z_1} \right)^2}} \frac{U_m}{r_u}, \quad (1)$$

де r_u – одиниця найменшого молодшого розряду АЦП МК2 за напругою; m_k – поверхнева кількісна густина текстильної волоконної маси 17; n_{1np} – кількість проходжень ультразвукової хвилі до п'єзоперетворювача 6 перерізу хвилеводу, який утворюється верхньою та нижньою стінкою скоби 8; m_{ov} – середня маса одного волокна; K_1 – коефіцієнт підсилення підсилювача 4; K_2 – коефіцієнт перетворення коливань

випромінюючим п'єзоперетворювачем 5 та приймаючим п'єзоперетворювачем 6; K_4 – коефіцієнт підсилення регульованого підсилювача 10; K_6 – коефіцієнт перетворення напруги амплітудного детектора 12; K_8 – коефіцієнт передачі сигналу блоком комутації 13.

Інша напруга U_2 перетворюється за допомогою внутрішнього АЦП МК2 в цифровий код N_2 як:

$$N_2 = \frac{U_2}{r_u} = \frac{K_1 K_3 K_5 K_7 K_8}{\sqrt{1 + \left(\frac{n_{2np} \cdot m_{ov} m_k f \cos \nu}{Z_1} \right)^2}} \frac{U_m}{r_u}, \quad (2)$$

де n_{2np} – кількість проходжень ультразвукової хвилі до п'єзоперетворювача 7 перерізу хвилеводу, який утворюється верхньою та нижньою стінкою скоби 8; K_1 – коефіцієнт підсилення підсилювача 4; K_3 – коефіцієнт перетворення коливань випромінюючим п'єзоперетворювачем 5 та приймаючим п'єзоперетворювачем 7; K_5 – коефіцієнт підсилення регульованого підсилювача 9; K_7 – коефіцієнт перетворення напруги амплітудного детектора 11; K_8 – коефіцієнт передачі сигналу блоком комутації 13.

Отримані коди N_1 та N_2 передаються до МК1, який виробляє сигнал для БКД 16, що, у свою чергу, керує двигунами транспортного механізму, який переміщує текстильну волоконну масу 17 для подальшого зондування наступних волокон.

З МК1 отримані коди N_1 та N_2 передаються через мікросхему перетворення логічних рівнів 14 до ПК 15, де і визначається поверхнева густина m_s текстильної волоконної маси. При налаштуванні системи, коли $U_{max} = N_{max} \cdot r_u = K_1 K_2 K_4 K_6 K_8 U_m = 5B$, $K_2 = K_3$, $K_4 = K_5$ та $K_6 = K_7$, тоді поверхнева густина m_s текстильної волоконної маси визначається за допомогою спеціальної програми на ПК 15 наступним виразом:

$$m_s = m_k \cdot m_{ov} = \frac{Z_1 N_m}{2f} \cdot \left(\left(\sqrt{\left(\frac{N_{max}}{N_1} \right)^2 - 1} \right) \cdot N_{1np} + \left(\sqrt{\left(\frac{N_{max}}{N_2} \right)^2 - 1} \right) \cdot N_{2np} \right), \quad (3)$$

де N_m – код, який відповідає значенню величини $1/\cos \nu$ та вводиться в пам'ять системи для обчислення середньої поверхневої густини m_s текстильної волоконної маси 17; N_{1np} – код, який відповідає значенню величини $1/n_{1np}$ та вводиться в пам'ять системи, а також залежить від геометричних розмірів скоби 8; N_{2np} – код, який відповідає значенню величини $1/n_{2np}$ та вводиться також в пам'ять системи.

Перед початком вимірювання ультразвуковий пристрій налаштовується без контрольованої волоконної маси 17 всередині скоби 8. При цьому за допомогою регулюючих

підсилювачів 9, 10 забезпечується $N_{max} = N_1 = N_2$, тоді, враховуючи цю рівність з виразу (3), отримаємо $m_s = 0$.

Запропонований ультразвуковий пристрій дозволяє проводити у процесі виробництва оперативний безконтактний контроль одного з найбільш важливих параметрів, поверхневої густини, для різної текстильної волоконної маси.

Якщо розглянути переваги самих ультразвукових датчиків системи, то їх можна застосовувати досить тривалий час порівняно з існуючими контактними. Зазначене обумовлено відсутністю безпосереднього контакту ультразвукових датчиків з контрольованим матеріалом. Тому подальше інтегрування безконтактних технологій для визначення поверхневої густини текстильної волоконної маси дозволить вдосконалити технологічні процеси зі зменшенням витрат самої сировини у процесі виробництва.

Висновки. Запропонований ультразвуковий пристрій дозволяє проводити оперативний безконтактний контроль поверхневої густини текстильної волоконної маси безпосередньо у процесі виробництва. У загальному випадку встановлено, що за допомогою проходження та перевідбиття ультразвукових хвиль, які потрапляють до двох приймачів з різною затримкою коливальних, можна підвищити точність вимірювань середніх значень поверхневої густини волоконної маси. Наведені основні залежності, за якими ультразвуковий пристрій буде визначати значення невідомого параметру для різної текстильної волоконної маси. Безконтактне визначення поверхневої густини текстильних волокон сприяє вдосконаленню технологічних процесів шляхом зменшення витрат самої сировини безпосередньо в процесі виробництва, що є досить актуальним для легкої промисловості у наш час.

Література

1. Здоренко В.Г. Технологічний контроль текстильних матеріалів / В.Г. Здоренко, С.В. Барилко, О.В. Барилко // Метрологія та прилади. – 2017. – №5. – С. 86 – 88.
2. 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.
3. Кандрин Ю.В. Скорость распространения ультразвуковых колебаний в волоконной среде / Ю.В. Кандрин, О.В. Цымбалист, Н.П. Воробьев // Вестник АГАУ. – 2011. – № 1. – С. 95–98.
4. Бреховских Л.М. Волны в слоистых средах / Л.М. Бреховских. — М.: Наука, — 1973. — 343 с.
5. Здоренко В.Г. Дослідження

References

1. 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].
2. Zdorenko, V.G., Barylko, O.V., Barylko, S.V., Lisovets S.N., & Lebedyuk T.V. (2018). Doslidzhennya zastosuvannya ultrazvukovogo bezkontaktnogo metodu 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].
3. Kandrin, Yu.V., Tsymbalist O.V., & Vorobiev N.P. (2011). Skorost rasprostraneniya ultrazvukovyh kolebanij v volokonnoj srede [The propagation velocity of ultrasonic vibrations in a fiber medium]. Vestnik AGAU. — Bulletin of Altai State Agricultural University, 1, 95 — 98 [In Russian].
4. Brekhovskikh, L.M. (1973). Volny v sloistyh sredah [The waves in layered medium]. Moscow: Nauka [In Russian].
5. Zdorenko, V.G., & Barylko, S.V. (2013). Doslidzhennya prohodzhennya impulsnogo ultrazvukovogo signalu kriz tkaninu pri kontroli poverhnevoyi shilnosti [Research of

проходження імпульсного ультразвукового сигналу крізь тканину при контролі поверхневої щільності / В.Г. Здоренко, С.В. Барилко // Вісник ХНУ. — 2013. — №3. — С. 90—96.

6. 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.

7. 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.

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

9. Костюков А.Ф. Метод контроля технологических параметров сельскохозяйственных волокон с помощью ультразвука / А.Ф. Костюков // Вестник АГАУ. — 2013. — № 1. — С. 96—99.

10. Костюков А.Ф. Экспериментальное исследование параметров волоконного сырья с помощью ультразвука / А.Ф. Костюков // Ползуновский Вестник. — 2011. — № 2/2. — С. 225—229.

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].

6. 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].

7. Zdorenko, V.G., & Barylko, S.V. (2013). Kontrol tehnologichnih parametriv tkanini za dopomogoyu ultrazvukovogo adaptivnogo pristroyu [Control of the technological parameters of the fabric with the ultrasonic adaptive device]. Visnik Vinnickogo politechnichnogo institutu. — Visnyk of Vinnytsia Politechnical Institute, 3, 7 — 11 [In Ukrainian].

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

9. Kostukov, A.F. (2013). Metod kontrolya tehnologicheskikh parametrov selskohozyajstvennyh volokon s pomoshhyu 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].

10. Kostukov, A.F. (2013). Eksperimentalnoe issledovanie parametrov volokonnoho syrya s pomoshhyu ultrazvuka [Experimental study of the parameters of the fiber raw materials by using ultrasound]. Polzunovsky vestnik. — Polzunovsky vestnik, 2/2, 225 — 229 [In Russian].

BARYLKO S.

poo4ta@bigmir.net

[ORCID: 0000-0002-2785-5784](https://orcid.org/0000-0002-2785-5784)

Kyiv National University of
Technologies and Design

LISOVETS S.

ser.lis.290171@gmail.com

[ORCID: 0000-0003-3643-046X](https://orcid.org/0000-0003-3643-046X)

Kyiv National University of
Technologies and Design

ZDORENKO V.

alzd123@meta.ua

[ORCID: 0000-0001-6508-4290](https://orcid.org/0000-0001-6508-4290)

Kyiv National University of
Technologies and Design

SHIPKO D.

kaks@knutd.com.ua

Kyiv National University of
Technologies and Design

ПРИМЕНЕНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНОЙ ПЛОТНОСТИ ТЕКСТИЛЬНОЙ ВОЛОКОННОЙ МАССЫ ЗДОРЕНКО В. Г., БАРЫЛКО С. В. ЛISOVEC С. Н., ШИПКО Д. А.

Киевский национальный университет технологий и дизайна

Цель. Обеспечение определения поверхностной плотности текстильной волоконной массы непосредственно во время технологического процесса изготовления с применением ультразвукового

устройства, оснащенного бесконтактными ультразвуковыми датчиками. В частности, показать влияние поверхностной плотности текстильной волоконной массы на амплитуду зондирующих колебаний в измерительном канале ультразвукового устройства. .

Методика. Предложено амплитудный метод контроля, который положен в основу работы ультразвукового устройства. Он заключается в облучении текстильной волоконной массы, которая перемещается относительно сканирующей скобы с датчиками, и определении поверхностной плотности волоконной массы за счет ослабления амплитуды ультразвуковых волн в измерительном канале. Результаты измерений обрабатываются с их последующей оцифровкой и компьютерным анализом.

Результаты. Полученные аналитические выражения, связывающие между собой поверхностную плотность текстильной волоконной массы и цифровой код, который пропорционален амплитуде зондирующих волн и образуется с помощью внутреннего АЦП микроконтроллера, который входит в состав предлагаемого устройства. С помощью цифровых кодов и предложенной современной системы контроля поверхностной плотности текстильной волоконной массы можно проводить оперативный мониторинг технологического параметра в режиме реального времени. Это позволит обеспечить в процессе производства однородность текстильной волоконной массы в определенных пределах.

Научная новизна. Установлено, что благодаря прохождению и переотражению ультразвуковых волн, которые попадают на два приемника с разной задержкой колебаний, можно повысить точность измерений средних значений поверхностной плотности текстильной волоконной массы.

Практическая значимость. Предложена структурная схема ультразвукового устройства для определения поверхностной плотности текстильной волоконной массы и описана его работа. Также приведены основные зависимости, по которым система устройства будет определять поверхностную плотность текстильной волоконной массы.

Ключевые слова: поверхностная плотность, текстильная волоконная масса, ультразвуковое устройство, ультразвуковая волна.

APPLICATION OF ULTRASOUND DEVICE FOR DETERMINATION OF BASIS WEIGHT OF TEXTILE FIBER MASS

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

Kyiv National University of Technologies & Design

Purpose. Ensuring the determination of the basis weight of the textile fiber mass directly during the manufacturing process using an ultrasonic device equipped with non-contact ultrasonic sensors. In particular, show the effect of the basis weight of a textile fiber mass on the amplitude of probing vibrations in the measuring channel of an ultrasonic device. .

Methodology. An amplitude control method is proposed, which is the basis of the operation of the ultrasonic device. It consists in irradiating the textile fiber mass, which moves relative to the scanning bracket with the sensors, and determining the basis weight of the fiber mass by reducing the amplitude of the ultrasonic waves in the measuring channel. The measurement results are processed with their subsequent digitization and computer analysis. .

Findings. It has been established that due to the passage and re-reflection of ultrasonic waves, which fall on two receivers with different vibration delays, it is possible to increase the accuracy of measurements of the average values of the basis weight of the textile fiber mass.

Originality. In the general case, it is established that by passing and reflecting ultrasonic waves entering two receivers with different delay of oscillations, it is possible to increase the accuracy of measurements of average values of basis weight of textile fiber mass.

Practical value. The block diagram of the ultrasonic device for determination of basis weight of textile fiber mass is shown and its work is described. The main dependences on which the device system will determine the basis weight of the textile fiber mass are also given.

Keywords: basis weight, textile fiber mass, ultrasonic device, ultrasonic wave.

УДК 678.7:661.1
:615.4

БЕССАРАБОВ В.І.¹, ПЛАВАН В.П.¹, КУЗЬМІНА Г.І.¹,
ЛІСОВИЙ В.М.¹, ВАХІТОВА Л.М.²

¹Київський національний університет технології та дизайну

²Інститут фізико-органічної хімії та вуглехімії ім. Л.М. Литвиненка НАН України

ВИКОРИСТАННЯ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ БІОДОСТУПНОСТІ ГЕСПЕРИДИНА

Мета. Дослідження впливу складу полімерних солюбілізаторів на фазову солюбілізацію у воді модельного активного фармацевтичного інгредієнта (АФІ) флавоноїдної природи гесперидина (Hes).

Методика. Модельною речовиною характерної хімічної структури обрано гесперидин. Для проведення досліджень використовували фармацевтично прийнятні високомолекулярні полімери на основі полівінілпіролідону (ПВП) з молекулярною масою від 2500 до 58000 D; цетилпіридинію хлорид; β -циклодекстрин. Фазову солюбілізацію Hes досліджували за методом Higuchi and Connors. Концентрацію Hes визначали спектрофотометрично за поглинанням при 284 нм. Діаграму фазової розчинності будували як залежність концентрації Hes в розчині від концентрації полімера. Отримані профілі фазової розчинності Hes порівнювали зі стандартними кривими. Для різних складів при температурі дослідів $37 \pm 0,5^\circ\text{C}$ розраховували константу стійкості та константу дисоціації міжмолекулярних комплексів.

Результати. Досліджено вплив складу полімерних солюбілізаторів на фазову солюбілізацію у воді модельного АФІ флавоноїдної природи Hes. За результатами графічного аналізу отриманих даних зроблено висновок про підвищення розчинності Hes зі збільшенням кількості полімерів з різною молекулярною масою та поверхнево-активних речовин (ПАР). Підвищення розчинності залежить від складу композиції. При додаванні одразу декількох полімерів або комбінації полімера з ПАР розчинність зростає значно більше, ніж при додаванні однієї сполуки. Показано, що максимальне значення підвищення розчинності спостерігається в системі з полімером С та К ПАР – у 42,7 рази. Встановлено, що константи стійкості полімерних композиційних матеріалів Hes з полівінілпіролідонами знаходяться в межах від 161,87 до 219,88 M^{-1} , що свідчить про сприятливі умови утворення комплексів.

Наукова новизна. Встановлено вплив складу полімерних солюбілізаторів на фазову солюбілізацію у воді модельного АФІ флавоноїдної природи Hes.

Практичне значення. Обґрунтовано оптимальний склад полімерного композиційного матеріалу з Hes у вигляді твердої дисперсної системи для максимального підвищення розчинності флавоноїда у воді.

Ключові слова: полімери, композиційні матеріали, тверді дисперсні системи, флавоноїди, біодоступність, розчинність.

Вступ. Біодоступність, – один з головних факторів, що характеризує фармакокінетичні властивості лікарських засобів, розглядається як частка введеної дози АФІ, що досягає системної циркуляції. Вважається, що лікарський засіб, який вводиться через внутрішньовенний шлях, має абсолютну біодоступність $F = 1$, в той час як препарати що вводяться через інші шляхи, як правило, мають біодоступність $F < 1$.

Різні фактори зменшують доступність АФІ ще до вступу в системну циркуляцію, серед яких слід виділити (але не обмежуючись) фізико-хімічні властивості АФІ (гідрофобність, pK_a , розчинність) [1].

Для підвищення біодоступності застосовують, перш за все, методи та підходи, що збільшують розчинність та швидкість розчинення АФІ. Для цього використовують різні модифікації АФІ, особливе місце серед яких займають фізичні.

Зменшення розміру частинок (мікронізація, нанонізація) призводить до підвищення розчинності ліків у біологічному середовищі, що покращує біологічну доступність при пероральному введенні. Мікронізацію АФІ здійснюють методами подрібнення з використанням струменевого обладнання, колоїдних млинів тощо. В роботі А. Farinha та співавт. [2] знайдено значне збільшення оральної біодоступності мікронізованих мегестролацетатів при дослідженні *in vivo*. Мікронізація призводить до збільшення площі поверхні АФІ та, відповідно, до збільшення швидкості розчинення, але це не є гарантією підвищення біодоступності. Одночасно в процесі мікронізації відбувається підвищення температури, що може призвести до руйнування термолабільних АФІ. Іншим підходом, що використовується, є нанонізація, яка в цілому призводить до утворення наносуспензії – субмікронної колоїдної дисперсії частинок АФІ, стабілізованих поверхнево-активними речовинами. Це збільшує швидкість розчинення завдяки більшій площі поверхні, що піддається впливу шлунково-кишкової рідини, а також обумовлює відсутність явища дозрівання Оствальда для мікронізованих частинок.

Використання технологій рідких наносистем, в яких малі розміри наночастинок дозволяють їм залишатися в підвішеному стані в суспензії, дає можливість значно підвищити біодоступність кверцетину при пероральному введенні. Автори [3 – 5] в умовах експерименту *in vitro* показали, що швидкість вивільнення флавоноїдів з рідких систем доставки збільшується в 5 разів. В той же час, ця технологія вимагає особливій уваги до стабільності суспензії у часі.

До фізичної модифікації АФІ відноситься й метод отримання "твердих дисперсій" – речовин, в яких один або більше активних інгредієнтів містяться на інертному носії або в твердій матриці. Такий підхід використовується для подолання низької біодоступності ліпофільних АФІ шляхом формування евтектичних сумішей лікарських засобів з водорозчинними транспортерами [3]. Одним з вдалих прикладів такого напрямку фармацевтичних досліджень є створення твердодисперсної наносистеми з таксіфоліном, бетуліном і рідкої самомікроемульгуючої системи доставки флавоноїдів, в тому числі кверцетину [5]. Ці дослідження дозволили значно збільшити швидкість розчинення флавоноїдів і забезпечити рівномірне вивільнення діючої речовини з системи.

Для збільшення розчинності важкорозчинних АФІ застосовують процес комплексоутворення – асоціації між двома або більше молекулами, щоб одержати комплексну сполуку з чітко визначеною стехіометрією. Такі комплекси характеризуються відносно слабкими силами зв'язування – водневі зв'язки, гідрофобні взаємодії тощо [1]. Комплекси включення формуються шляхом вставки неполярної молекули або неполярної частини молекули (гість) в порожнину іншої молекули або групи молекул (господар).

Циклодекстрини та їх похідні були використані як господар для включення в комплекс для підвищення водорозчинності та швидкості розчинення ліпофільних АФІ для оральної або парентеральної доставки. Циклодекстрини мають гідрофільну зовнішню і гідрофобну внутрішню порожнини. Ці порожнини дозволяють циклодекстринам стати комплексоутворювачем для молекул АФІ та змінювати такі їх властивості, як розчинність, стабільність, біодоступність та токсичність [6]. Однак ефективність циклодекстринів суттєво обмежена просторовими параметрами молекули АФІ при комплексоутворенні.

В дослідженні Chiou W.L. та Riegelman S. [4] продемонстровано підвищення коефіцієнтів розчинення панкреатистатину, гідрокортизону та паклітакселу після формування комплексів з циклодекстрином.

Одним з перспективних напрямків в створенні більш біодоступних лікарських форм флавоноїдів є розробка ліпосом. Крім збільшення біодоступності ліпосомальні препарати мають такі переваги, як пролонговану дію, захист від руйнування, селективність попадання в тканини [5]. Ліпосомальна форма кверцетину – препарат Ліпофлавон, який представляє собою кверцетин-лецитиновий комплекс. Він був зареєстрований в Україні в 2006 році як кардіологічний та офтальмологічний засіб [7]. Ліпофлавон застосовували при діабетичній ретинопатії і кератитах як антиоксидант, а також для регенеративної, імуномодуючої дії та як протизапальний засіб після оперативного втручання при катаракті [8; 9].

Постановка завдання. Дієвим способом підвищення біодоступності флавоноїдів як АФІ є створення водорозчинних форм, що також дозволяє застосовувати ін'єкційні шляхи введення. Однією з перших водорозчинних ін'єкційних форм кверцетину є препарат корвітин, зареєстрований в Україні в 2000 році [10]. Він являє собою кверцетин-субстанцію з полімерним модулятором розчинності. У клінічній практиці препарат застосовується інфузійно в кардіології та неврології для лікування гострого інфаркту міокарда та ішемічного інсульту [11; 12]. Проведені експериментально-клінічні дослідження показали поліфункціональну дію корвітину при первинній глаукомі, виявлено його позитивний вплив на циліарно-хороїдальне кровопостачання, встановлена антиоксидантна, ендотеліопротекторна та ретінопротекторна ефективність [13].

На жаль сьогодні практично відсутні дані щодо методів підвищення біодоступності найменш водорозчинних АФІ флавоноїдної природи, таких як діосмін та гесперидин. Ці органічні речовини застосовуються в фармацевтичній практиці, але сфера їх використання, не зважаючи на великий фармакологічний потенціал, дуже обмежена завдяки невисокій розчинності у водному середовищі. Тому метою цієї роботи стало дослідження впливу складу полімерних солюбілізаторів на фазову солюбілізацію у воді модельного АФІ флавоноїдної природи гесперидину (Hes).

Матеріали та методи дослідження. Для проведення досліджень використовували наступні реактиви: Hes у вигляді порошку (Chengdu Okay Pharmaceutical Co., LTD, Китай); фармацевтично прийнятні високомолекулярні полімери на основі ПВП з молекулярною масою від 2500 до 58000; цетилпіридинію хлорид (Sigma-Aldrich, Inc., Німеччина); β -циклодекстрин (Ashland Industries Europe GmbH, Швейцарія).

Для проведення досліджень використовували наступне обладнання та допоміжні матеріали: УФ-спектрофотометр Optizen POP (Mecasys, Південна Корея); ваги аналітичні AccuLab ALC 110.4 (Sartorius, UK); центрифугу лабораторну CM-8 (MICROmed, KHP); центрифугу лабораторну CM-3 (MICROmed, KHP); прилад для проведення тесту «Розчинення» Vankel VK 7000 (Varian, USA); прилад для нагрівання Vankel VK 750D (Varian, USA); шейкер лабораторний Flask shaker SF1 (Stuart Scientific, UK); TS-100C термо-шейкер з охолодженням для пробірок Еппендорф з блоком SC-24C (для 24x2 мл мікропробірок); термостат для кювет DB-10C; лабораторну установку водопідготовки RO-4 (Werner, Німеччина); установку для отримання високочистої води Sartorius Stedim biotech Arium H₂O pro DI-T (Sartorius, UK); кювети кварцові з товщиною оптичного шару 1,0 та 0,5 см; пробірки

типу Eppendorf об'ємом 2 мл; колби скляні, порцелянові чашки, одноканальні автоматичні дозатори 50, 1000 мкл.

На першому етапі досліджень було побудовано градувальний графік залежності оптичної густини від вмісту гесперидина в розчині при довжині хвилі 284 нм в кюветі з товщиною шару 10 мм використовуючи в якості розчину порівняння воду очищену. За результатами будували градувальний графік залежності оптичної густини від концентрації гесперидину в розчині. Виходячи з даних градувального графіка, лінійна залежність спостерігається в інтервалі концентрацій гесперидина 0,004 – 0,022 мг/мл. Коефіцієнт кореляції (R_{sq}) дорівнює 0,99234, що дозволяє використовувати даний графік для кількісного визначення гесперидину.

В якості солюбілізаторів використовували полімери у складі твердих дисперсних систем (ТДС) (Табл. 1) та цетилпіридинію хлорид (К ПАР). Окремо визначили, що спектри поглинання солюбілізаторів не перекривають спектр поглинання гесперидину, а отже не заважають його виявленню у розчині.

Таблиця 1.

Фізико-хімічні властивості полімерів, які використано у складі полімерного композиційного матеріалу з гесперидином у вигляді твердої дисперсної системи [14]

№	Повна назва полімеру	Шифр полімеру	Скорочена назва полімеру	М.м., D	Т _{плав.} , °C
1	полівінілпіролідон К-12	Полімер А	ПВП К-12	~ 2 500	130-170
2	полівінілпіролідон К-17	Полімер В	ПВП К-17	~ 10 000	130-170
3	полівінілпіролідон К-25	Полімер С	ПВП К-25	~ 30 000	130-170
4	полівінілпіролідон К-29/32	Полімер D	ПВП К-29/32	~ 58 000	130-170
5	β-циклодекстрин		β-CD	1135	255 – 265

Фазову солюбілізацію гесперидину досліджували за методом Higuchi and Connors [15]. В воду очищену додавали надлишок гесперидина та розчини з різною концентрацією полімера. Суміш інтенсивно перемішували протягом 30 хвилин при температурі $37 \pm 0,5$ °C з використанням TS-100C Термошейкера з охолодженням для пробірок Еппендорф з блоком SC-24C (для 24x2 мл мікропробірок), фільтрували через нейлоновий шприцевий дисковий фільтр з діаметром пор 0,45 μm. Концентрацію гесперидина у фільтраті визначали спектрофотометрично за поглинанням при 284 нм. Діаграму фазової розчинності будували як залежність концентрації гесперидину в розчині від концентрації полімера. Всі зразки аналізували тричі. Отримані профілі фазової розчинності гесперидина порівнювали зі стандартними кривими.

Для різних складів, при температурі дослідів $37 \pm 0,5$ °C, розраховували константу стійкості міжмолекулярних комплексів з використанням рівняння 1:

$$K_s = \frac{slope}{S(1 - slope)}, \quad (1)$$

де *slope* – кутовий коефіцієнт нахилу, який чисельно дорівнює тангенсу кута між додатнім напрямом осі абсцис та лінією тренду;

S – концентрація H_{es} при максимальній концентрації полімеру, M.

Константа дисоціації зворотно пропорційна константі утворення комплексу, та може бути обчислена за рівнянням 2:

$$K_D = \frac{1}{K_S} \quad (2)$$

Результати дослідження. В результаті дослідження фазової розчинності було отримано дані щодо підвищення розчинності Нес залежно від складу композиції. Отримані профілі фазової розчинності Нес порівнювали зі стандартними кривими. Отримано наступні значення тангенсу кута між додатнім напрямом осі абсцис та лінією тренду, константи стійкості (утворення) комплексу та константи дисоціації комплексу, які представлено у таблиці 2.

Таблиця 2.

Кутовий коефіцієнт нахилу, константи стійкості та дисоціації комплексів Нес з фармацевтично прийнятними допоміжними речовинами у воді при температурі проведення досліду $37,0 \pm 0,5$ °C

Компоненти комплексів	Slope	K_S, M^{-1}	K_D, M
β-циклодекстрин (Склад №1)	-0,0015	-20,76	-0,0481
Полімер С (Склад №2)	0,0527	219,88	0,0045
Полімер В (Склад №3)	0,0297	188,95	0,0053
Полімер D (Склад №4)	0,0381	207,38	0,0048
Полімер А+К ПАР (0,5%) (Склад №5)	0,0531	161,87	0,0062
Полімер С+Полімер D (Склад №6)	0,0516	211,46	0,0047
Полімер С+К ПАР (0,5%) (Склад №7)	0,0544	164,55	0,0061

Отримані константи стійкості полімерних композиційних матеріалів гесперидина на основі полівінілпіролідонів знаходяться в межах від 161,87 до 219,88 M^{-1} , що свідчить про сприятливі умови утворення комплексів. Відомо, що оптимальні значення константи стійкості знаходяться в межах від 100 до 1000 M^{-1} [16].

Графічний аналіз отриманих даних свідчить про підвищення розчинності Нес зі збільшенням кількості ВМР з різною молекулярною масою та ПАР (рис.). Підвищення розчинності залежить від складу композиції. При додаванні одразу декількох ВМР або комбінації ВМР з ПАР розчинність зростає значно більше, ніж при додаванні однієї сполуки. Максимальне значення підвищення розчинності спостерігається в системі з полімером С та К ПАР – у 42,7 рази.

При порівнянні отриманих профілів фазової розчинності зі стандартними зроблено висновок, що до типу A_p відносяться профілі з полімером С, полімером В, полімером D, та полімером С+ полімер D. Утворюються комплекси з різною стехіометрією (спочатку 1:1, потім 1:2 або інший тип взаємодії). До типу A_L можна віднести профілі фазової розчинності з полімером А+К ПАР та полімером С+К ПАР. Утворюються комплекси зі стехіометрією 1:1, розчинність підвищується в лінійній залежності. З β-циклодекстрином утворюється комплекс, який є малорозчинним у полярних розчинниках. Профіль фазової розчинності відноситься до

типу В. Зі збільшенням концентрації циклодекстину не спостерігається збільшення розчинності Hes.

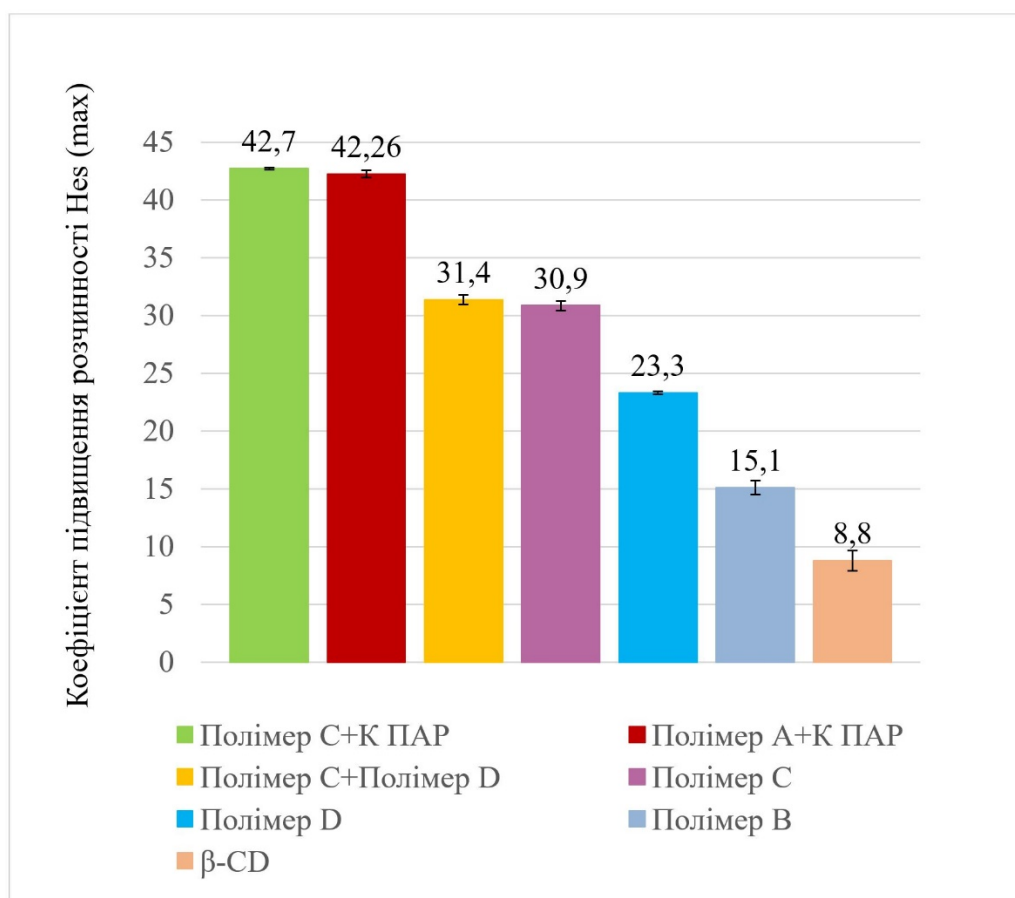


Рис. Залежність підвищення розчинності Hes від складу полімерної системи

Висновки. Досліджено вплив складу полімерних солюбілізаторів на фазову солюбілізацію у воді модельного АФІ флавоноїдної природи гесперидину. Показано, що максимальне значення підвищення розчинності спостерігається в системі з полімером С та К ПАР – у 42,7 рази. Встановлено, що константи стійкості полімерних композиційних систем гесперидину на основі полівінілпіролідонів знаходяться в межах від 161,87 до 219,88 M^{-1} , що свідчить про сприятливі умови утворення комплексів. Подальші розвідки у напрямку випробування полімерних композиційних систем гесперидину з полівінілпіролідонами будуть спрямовані на дослідження залежностей розчинення модельного флавоноїда від температури та визначення термодинамічних параметрів утворення комплексів включення.

Література

1. Thakkar H., Patel B., Thakkar S. A review on techniques for oral bioavailability enhancement of drugs. *International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research*. 2010. Vol. 4 (3). P. 203–223.
2. Farinha A., Bica A., Tavares P. Improved bioavailability of a micronized megestrol acetate tablet formulation in humans. *Drug Dev. Ind. Pharm.* 2000. Vol. 26 (5). P. 567–570.

References

1. Thakkar, H., Patel, B., Thakkar, S. (2010). A review on techniques for oral bioavailability enhancement of drugs. *International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research*, Vol. 4 (3), 203–223.
2. Farinha, A., Bica, A., Tavares, P. (2000). Improved bioavailability of a micronized megestrol acetate tablet formulation in humans. *Drug Dev. Ind. Pharm.*, Vol. 26 (5), 567–570.
3. Shah, J. C., Chen, J. R., Chow, D. (1999). Metastable

3. Shah J. C., Chen J. R., Chow D. Metastable Polymorph of Etoposide with Higher Dissolution Rate. *Drug Dev. Ind. Pharm.* 1999. Vol. 25 (1). P. 63–67.
4. Chiou W.L., Riegelman S. Pharmaceutical applications of solid dispersion systems. *J. Pharm. Sci.* 1971. Vol. 60. P. 1281–1302.
5. Наносистемы как способ улучшения биодоступности природных соединений / А. Шиков, О. Пожарницкая, И. Мирошник и др. *Фармация*. 2008. № 7. С. 53–57.
6. The type of sugar moiety is a major determinant of the small intestinal uptake subsequent biliary excretion of dietary quercetin glycosides / I. C. Arts, A. L. Sesink, M. Faassen-Peters, P. C. Hollman. *Br J Nutr.* 2004. Vol. 91. P. 841–847.
7. Спосіб отримання ліпосомального засобу, що містить кверцетин: пат. 76393 Україна: МПК А61Р 31/00, А61Р 39/06, А61К 31/353, А61К 47/44, А61Р 35/00, А61К 9/127. № а200604675; заявл. 27.04.2006; опубл. 17.07.2006, Бюл. № 7.
8. Петруня А. М., Спектор А. В. Использование комбинации глазных капель и внутривенных инъекций препарата “Липофлавон” у больных неproлиферативной диабетической ретинопатией и его влияние на показатели системного иммунитета. *Офтальмол. журн.* 2007. № 4. С. 13–16.
9. Петруня А. М., Спектор А. В., Степаненко Г. В. Эффективность иммунокоррекции в комплексном лечении больных начальной неproлиферативной диабетической ретинопатией. *Архив офтальмол. України*. 2014. № 2. С. 66–72.
10. Спосіб получения корвитина: пат. UA 23996 Україна: МПК І01О 8.006 Ф61І 35.686 Ф61І 9.146 С08А 271.00. № 97030962; заяв. 04.03.1997; опубл. 15.12.2000, Бюл. № 7.
11. Виничук С. М., Прокопів М. М., Черенько Т. М. Поиск новых подходов к лечению острого ишемического инсульта. *Укр. неврол. журн.* 2010. № 1. С. 8–19.
12. Використання нових лікарських форм кверцетину при ішемічних та радіаційних ушкодженнях / Н. П. Максютіна, О. О. Мойбенко, О. М. Пархоменко та ін. :метод. рекомендації. К. : ВІФ, 2000. 13 с.
13. Combined effects of curcumin and vitamin C to protect endothelial dysfunction in the iris tissue of STZ-induced diabetic rats / S.Patumraj, N. Wongeakin, P. Sridulyakul et al. *Clin. Hemorheol. Microcirc.* 2006. Vol. 35. P. 481–489.
14. Handbook of Pharmaceutical Excipients. Sixth Edition / Edited by Raymond C Rowe, Paul J Sheskey, Marian E Quinn. London : Pharmaceutical Polymorph of Etoposide with Higher Dissolution Rate. *Drug Dev. Ind. Pharm.*, Vol. 25 (1), 63–67.
4. Chiou, W.L., Riegelman, S. (1971). Pharmaceutical applications of solid dispersion systems. *J. Pharm. Sci.*, Vol. 60, 1281–1302.
5. Shykov, A., Pozharnytskaia, O., Myroshnyk, Y. et al. (2008). Nanosystemi kak sposob uluchsheniya byodostupnosti pryrodnykh soedyneni [Nanosystems as a way to improve the bioavailability of natural compounds]. *Farmatsiya*, no. 7, 53–57, [in Russian].
6. Arts, I. C., Sesink, A. L., Faassen-Peters, M., Hollman, P. C. (2004). The type of sugar moiety is a major determinant of the small intestinal uptake subsequent biliary excretion of dietary quercetin glycosides. *Br J Nutr.*, Vol. 91, 841–847.
7. Sposib otrymannia liposomalnoho zasobu, shcho mistyt kvertsetyn [The method of obtaining a liposomal agent containing quercetin]: pat. UA76393 Ukraine. (2006). [in Ukraine].
8. Petrunya, A. M., Spektor, A. V. (2007). Ispolzovanie kombinatsii glaznykh kapel i vnutrivennykh inektsiy preparata “Lipoflavon” u bolnykh neproliferativnoy diabeticheskoy retinopatyei i ego vliyanie na pokazateli sistemnogo immuniteta [The use of a combination of eye drops and intravenous injections of the drug “Lipoflavone” in patients with non-proliferative diabetic retinopathy and its effect on the parameters of systemic immunity]. *Ophthalmol. zhurn.*, no. 4, 13–16, [in Russian].
9. Petrunya, A. M., Spektor, A. V., Stepanenko, G. V. (2014). Effektivnost immunokorreksii v kompleksnom lechenii bolnykh nachalnoy neproliferativnoy diabeticheskoy retinopatyei [The effectiveness of immunocorrection in the complex treatment of patients with initial nonproliferative diabetic retinopathy]. *Arhiv oftalmol. Ukrayini*, no. 2, 66–72, [in Russian].
10. Sposob polucheniya korvitina [Method of obtaining corvutin]: pat. UA 23996 Ukraine. (2000). [in Russian].
11. Vinichuk, S. M., Prokopiv, M. M., Cherenko, T. M. (2010). Poisk novykh podhodov k lecheniyu ostrogo ishemicheskogo insulta [Search for new approaches to the treatment of acute ischemic stroke]. *Ukr. nevrol. zhurn.*, no. 1, 8–19, [in Russian].
12. Maksyutina, N. P., Moybenko, O. O., Parhomenko, O. M. et al. Vikoristannya novih likarskikh form kvertsetinu pri ishemichnih ta radiatsiynih ushkodzhennyah [The use of new dosage forms of quercetin for ischemic and radiation injuries] : metod. rekomendatsiyi. K. : BIPh, 2000. 13 p., [in Ukraine].
13. Patumraj, S., Wongeakin, N., Sridulyakul, P. et al. (2006). Combined effects of curcumin and vitamin C to protect endothelial dysfunction in the iris tissue of STZ-induced diabetic rats. *Clin. Hemorheol. Microcirc.*, Vol. 35, 481–489.
14. Rowe, R. C., Sheskey, P. J., Quinn, M. E. (Eds.).

Press and American Pharmacists Association, 2009. 888 p.
15. Higuchi, T., Connors, K.A. Phase-solubility techniques. *Adv. Anal. Chem. Instrum.* 1965. № 4. P. 117–122.
16. Connors K. Thermodynamics of Pharmaceutical Systems: An Introduction for Students of Pharmacy. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons Inc, 2002. 360 p.

(2009). Handbook of Pharmaceutical Excipients. Sixth Edition. London : Pharmaceutical Press and American Pharmacists Association. 888 p.
15. Higuchi, T., Connors, K.A. (1965). Phase-solubility techniques. *Adv. Anal. Chem. Instrum.*, no. 4, 117–122.
16. Connors, K. (2002). Thermodynamics of Pharmaceutical Systems: An Introduction for Students of Pharmacy. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons Inc. 360 p.

BESSARABOV VOLODYMYR

Scopus Author ID: 36917184700
orcid.org/0000-0003-0637-1729
Researcher ID: D-3425-2017;
v.bessarabov@kyivpharma.eu
Department of Industrial Pharmacy
Kyiv National University of Technologies and Design

PLAVAN VIKTORIIA

Scopus Author ID: 6603130130
orcid.org/0000-0001-9559-8962;
plavan.vp@knuutd.edu.ua
Department of Applied Ecology, Technology of
Polymers and Chemical Fibers
Kyiv National University of Technologies and Design

LISOVYI VADYM

orcid.org/0000-0002-8038-0650
Researcher ID: A-7184-2019;
v.lisovyi@kyivpharma.eu
Department of Industrial Pharmacy
Kyiv National University of Technologies and Design

VAKHITOVA LIUBOV

Scopus Author ID: 8443383300
orcid.org/0000-0003-1923-7895
Researcher ID: J-9402-2016;
L.M.Vakhitova@nas.gov.ua
Department of nucleophilic reactions research
2L. M. Litvinenko Institute of Physical-Organic and Coal
Chemistry of the National Academy of Sciences of Ukraine

KUZMINA GALINA

Scopus Author ID: 57193353594
orcid.org/0000-0002-0691-8563;
g.kuzmina@kyivpharma.eu
Department of Industrial Pharmacy
Kyiv National University of Technologies and Design

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ
ПОВЫШЕНИЯ БИОДОСТУПНОСТИ ГЕСПЕРИДИНА
БЕССАРАБОВ В.И.¹, ПЛАВАН В.П.¹, КУЗЬМИНА Г.И.¹, ЛISOVЫЙ В.Н.¹,
ВАХИТОВА Л.Н.²**

¹Київський національний університет технологій і дизайну

²Институт физико-органической химии и углехимии им. Л. М. Литвиненко НАН Украины

Цель. Исследование влияния состава полимерных солюбилизаторов на фазовую солюбилизацию в воде модельного активного фармацевтического ингредиента флавоноидной природы гесперидина.

Методика. Модельным веществом характерной химической структуры выбран гесперидин. Для проведения исследований использовали фармацевтически приемлемые высокомолекулярные полимеры на основе поливинилпирролидона (ПВП) с молекулярной массой от 2500 до 58000 D; цетилпиридиния хлорид, β -циклодекстрин. Фазовую солюбилизацию гесперидина исследовали методом Higuchi and Connors. Концентрацию гесперидина определяли спектрофотометрически по поглощению при 284 нм. Диаграмму фазовой растворимости строили как зависимость концентрации гесперидина в растворе от концентрации полимера. Полученные профили фазовой растворимости гесперидина сравнивали со стандартными кривыми. Для разных составов при температуре $37 \pm 0,5$ °C рассчитывали константу устойчивости и константу диссоциации межмолекулярных комплексов.

Результаты. Исследовано влияние состава полимерных солюбилизаторов на фазовую солюбилизацию в воде модельного АФИ флавоноидной природы гесперидина. По результатам графического анализа полученных данных сделан вывод о повышении растворимости гесперидина с увеличением количества полимеров с различной молекулярной массой и поверхностно-активных веществ (ПАВ). Повышение растворимости зависит от состава композиции. При добавлении сразу

нескольких полимеров или комбинации полимера и ПАВ растворимость возрастает значительно больше, чем при добавлении одного соединения. Показано, что максимальное значение для повышения растворимости наблюдается в системе с полимером С и К ПАВ – в 42,7 раза. Установлено, что константы устойчивости полимерных композиционных материалов гесперидина на базе поливинилпирролидона находятся в пределах от 161,87 до 219,88 M^{-1} , что свидетельствует о благоприятных условиях образования комплексов.

Научная новизна. Установлено влияние состава полимерных солюбилизаторов на фазовую солюбилизацию в воде модельного АФИ флавоноидной природы гесперидина.

Практическое значение. Обоснован оптимальный состав полимерного композиционного материала с гесперидином в виде твердой дисперсной системы для максимального повышения растворимости флавоноида в воде.

Ключевые слова: полимеры, композиционные материалы, твердые дисперсные системы, флавоноиды, биодоступность, растворимость

USE OF POLYMER COMPOSITIONAL MATERIALS TO INCREASE THE BIOAVAILABILITY OF HESPERIDINE

BESSARABOV V.I.¹, PLAVAN V.P.¹, KUZMINA G.I.¹, LISOVYI V.M.¹,
VAKHITOVA L.M.²

¹Kyiv National University of Technologies and Design

²L. M. Litvinenko Institute of Physical-Organic and Coal Chemistry of the National Academy of Sciences of Ukraine

Purpose. Investigation of the influence of the composition of polymeric solubilizers on the phase solubilization in water of the model active pharmaceutical ingredient of flavonoid nature hesperidin.

Methods. Hesperidin was chosen as a model substance of characteristic chemical structure. Pharmaceutically acceptable high molecular weight polymers based on polyvinylpyrrolidone (PVP) with a molecular weight of from 2500 to 58000 D were used for research; cetylpyridinium chloride; β -cyclodextrin. Phase solubilization of hesperidin was investigated by the method of Higuchi and Connors. The concentration of hesperidin was determined spectrophotometrically by absorption at 284 nm. The phase solubility diagram was constructed as the dependence of the concentration of hesperidin in solution on the concentration of the polymer. The obtained phase solubility profiles of hesperidin were compared with standard curves. For different compositions at the experiment temperature of 37 ± 0.5 °C, the stability constant and the dissociation constant of intermolecular complexes were calculated.

Scientific novelty. The influence of the composition of polymer solubilizers on the phase solubilization in water of the model API of flavonoid nature of hesperidin was established.

Practical significance. The optimal composition of the polymer composite material with hesperidin in the form of a solid dispersed system to maximize the solubility of flavonoids in water is substantiated.

Results. The influence of the composition of polymer solubilizers on the phase solubilization in water of the model API of flavonoid nature of hesperidin was investigated. Based on the results of graphical analysis of the obtained data, it was concluded that the solubility of hesperidin increases with increasing number of polymers with different molecular weights and surfactants. The increase in solubility depends on the composition. When adding several polymers or a combination of a polymer with a surfactant, the solubility increases significantly more than when adding one compound. It is shown that the maximum value of solubility increase is observed in the system with polymer C and K surfactant - 42.7 times. It was found that the stability constants of polymeric composite materials of hesperidin based on polyvinylpyrrolidones are in the range from 161.87 to 219.88 M^{-1} , which indicates favorable conditions for the formation of complexes.

Key words: polymers, composite materials, solid dispersed systems, flavonoids, bioavailability, solubility

УДК 006.91.001:
628.2

ШТЕПА В.М.¹, ПЛАВАН В.П.², ЗАЄЦЬ Н.А.³, КОЛЯДА М.К.²,
КРИНИЦЬКА Н.²

¹ Поліський державний університет, м. Пінськ, Білорусь

² Київський національний університет технологій та дизайну

³ Національний університет біоресурсів і природокористування України

КОМБІНОВАНА ТЕХНОЛОГІЯ ОБРОБКИ СТОКІВ ШКІРЯНОГО ВИРОБНИЦТВА

Мета. Обґрунтування та створення комбінованої технології очистки стічних вод шкіряних підприємств, які відрізняються багатокомпонентністю забруднювачів. Запровадження розробленої технології дозволить покращити екологічну безпеку таких промислових об'єктів за рахунок виконання вимог технічного регулювання до споруд для видалення забруднювачів.

Методика. Комбінована технологія обробки стоків шкіряного виробництва передбачає поєднання фізико-хімічного та хімічного способів очистки, електротехнологій, електрохімічних та біохімічних процесів. Оптимізація параметрів розробленої технології здійснювалась із застосуванням градієнтних методів аналізу багатокомпонентних систем.

Результати. Розроблена комбінована технологія обробки стоків шкіряного виробництва, яка включає дві технологічні стадії: електрохімічне окислення та коагуляцію і флокуляцію, інтенсифіковані електролізними процесами і кавітацією. Проведені дослідження підтвердили ефективність запропонованих технологічних рішень очищення стічних вод шкіряного виробництва. Досягнуто наступні зниження вмісту забруднювачів в стоках, %: сульфідів – 77,38, сірководень – 99,15, хром – 99,84, ХСК – 91,19, хлориди – 10,98, фосфати – 62,22.

Наукова новизна. Вперше шляхом фізичного моделювання комбінованого очищення стічних вод шкіряного підприємства на основі застосування як базисних електролізних процесів для деградації органічних забруднювачів та безреагентної рН-корекції, створено підґрунтя для дослідження систем очищення промислових стоків, що дало можливість поєднати в одному технологічному рішенні різні способи видалення забруднювачів із стоків.

Практична значимість. Створені технологічні схеми та розроблені режими комбінованого очищення стічних вод шкіряного виробництва, запропоновано комбінований модуль водоочищення, розраховано його електроенерговитрати з можливістю масштабування згідно фактичного об'єму водовідведення на промислових об'єктах.

Ключові слова: стічні води шкіряних підприємств, водоочищення, екологічна безпека, електротехнологія, електроліз, коагуляція, шкіряне виробництво.

Вступ. Стічні води шкіряних підприємств віднесені до висококонцентрованих, токсичних та агресивних [1-3]. Вони містять низку різних забруднень: залишки волосу, шматочки міздри, продукти розпаду білків, синтетичні поверхнево-активні речовини (СПАР), жирові речовини, барвники, мінеральні солі, рослинні і синтетичні дубителі. Серед мінеральних солей переважають сульфідів, хлоридів, солі хрому, алюмінію та інших металів. При цьому, через високий вміст органічних речовин, такі стічні води схильні до гниття, тому не виключається ризик повного руйнування екосистеми при попаданні таких стоків у водний об'єкт [4].

Найбільш забрудненими є стоки після підготовчих процесів, зокрема відмочування, зневолошування-зоління. Це пояснюється наявністю в робочих розчинах нерозчинних речовин органічного та неорганічного походження, хлоридів, сульфідів, поверхнево-активних речовин, водорозчинних протеїнів, деградованих залишків кератину [5]. Стічні води після хромового дублення токсичні через сполуки хрому III і високий вміст

нейтральних солей. Саме тому розроблення схем та режимів очищення таких стічних вод шкіряних підприємств є актуальною та важливою науково-практичною задачею.

На шкіряних підприємствах для нейтралізації і реагентного оброблення стоків застосовують фізико-хімічне очищення [6]. Перший спосіб застосовується на всіх виробництвах, що мають кислу ($\text{pH} < 6,5$) або лужну ($\text{pH} > 8,5$) реакцію. Реагентну обробку використовують для інтенсифікації процесів видалення зі стічних вод грубодисперсних, колоїдних і розчинених домішок, а також для знешкодження хрому.

Серед сучасних методів видалення сполук хрому, присутнього в стічних водах після процесу дублення, широко застосовується хімічне осадження та електрокоагуляція. Хімічне осадження забезпечує ефективність видалення 99,74%, а електрокоагуляція з алюмінієвими, мідними та залізними електродами забезпечує ефективність видалення 97,76, 69,91 і 90,27 %, відповідно [7]. Однією з альтернатив обробки є коагуляція/флокуляція з використанням вапна, сульфату алюмінію, хлориду заліза та сульфату заліза в якості коагулянтів [8]. Відомо використання катіонного поліакриламідів як флокулянта [9].

Іонний обмін, адсорбція і мембранна фільтрація найбільш часто використовуються для видалення важких металів із стічних вод. Відомо, як сорбенти використовуються природні матеріали на рослинній і мінеральній основі [10-13] та штучні синтетичні матеріали на основі синтетичних волокон, пінополіуретану [14-15] тощо. Останніми роками все більш широке застосування отримують волокнисті сорбційно-активні матеріали [16]. Від гранульованих сорбентів їх відрізняє вища хімічна і термічна стійкість, однорідність пористої структури і можливість її регулювання, значний об'єм мікропор і вищий коефіцієнт масопередачі. Подібні волокнисті абсорбенти можуть використовуватись для очищення стічних вод від нафтопродуктів, солей важких металів [17].

Інший сучасний підхід – використання кавітації. При такій обробці випадають в осад сполуки кальцію і деяка частина коагульованого білка. Окремо необхідно відмітити потенційну перспективність поєднання різних способів водоочищення на основі електролітичних процесів для деструкції органічних забруднювачів та безреагентної рН-корекції [18]. Отже, обґрунтування структурних та режимних параметрів комбінованого очищення стічних вод шкіряних підприємств дозволить покращити екологічну безпеку таких об'єктів природокористування.

Постановка завдання. Мета роботи – обґрунтування та створення комбінованої технології очистки стічних вод шкіряних підприємств, які відрізняються багатокомпонентністю забруднювачів. Запровадження розробленої технології дозволить покращити екологічну безпеку таких промислових об'єктів за рахунок виконання вимог технічного регулювання до споруд для видалення забруднювачів.

Методологія досліджень. У лабораторних дослідженнях видалення забруднювачів із стоків використовували скиди реального підприємства із вмістом забруднювачів, мг/л: сульфідів – 4,2, сірководню – 40, хрому – 147, хлоридів – 4500, фосфатів – 4,5; ХСК – 5300 $\text{мгO}_2/\text{л}$.

Обробка стічних вод включала дві технологічні стадії:

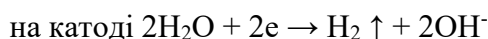
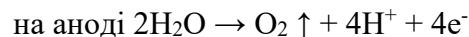
I. Електрохімічне окислення.

II. Коагуляція і флокуляція, для інтенсифікації яких використали електролітичні процеси

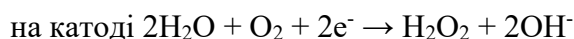
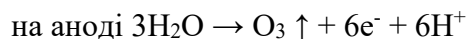
і кавітацію.

Як хімічний коагулянт використовували розчин хлориду заліза (III), концентрація 0,25 мл /дм³, як флокулянт – препарат на основі поліакриламід (концентрація 1 мг/дм³).

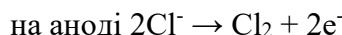
Електроліз стічних вод супроводжувався серією паралельних електрохімічних реакцій, в результаті яких у воді відбувається синтез окислювачів. Основними реакціями електролізу води є утворення кисню O₂ і водню H₂, а також гідроксид іона OH⁻:



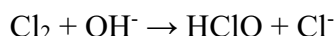
При електролізі води також утворюються озон O₃ і пероксид водню H₂O₂:



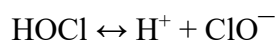
У присутності хлоридів (їх значна кількість у стоках шкіряних підприємств) при електролізі води утворюється розчинений хлор:



Розчинений хлор Cl₂, реагуючи з водою і гідроксид іоном, утворює гіпохлоритну кислоту HClO:

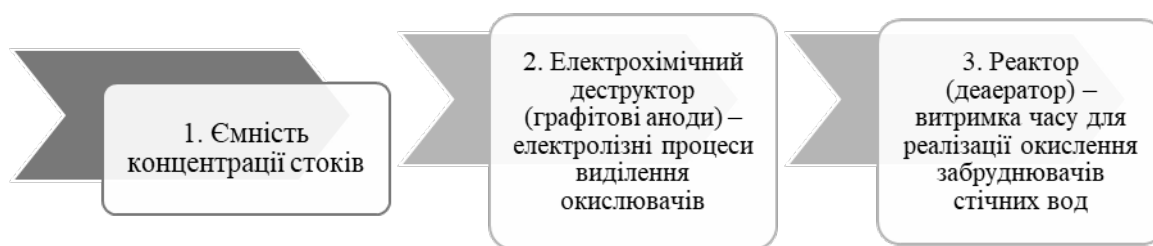


Розкладання гіпохлоритної кислоти HClO у воді призводить до утворення гіпохлорит іона:

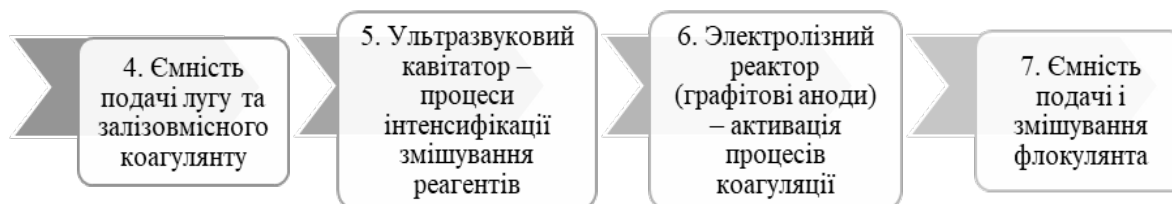


Тобто, при електролізі стічної води шкіряного підприємства утворюється ряд сильних окислювачів: кисень O₂, озон O₃, перекис водню H₂O₂, гіпохлорит іон OCl⁻. Поява при електролізі води OH-радикалів, H₂O₂ і O₃ призводить до утворення інших сильних окислювачів, таких як O₃⁻, O₂⁻, O⁻, HO₂, HO₃, HO₄.

Структурна схема стадії електрохімічного окислення (I стадія):



Структурна схема стадії інтенсифікації електролізними процесами і кавітацією коагуляції та флокуляції (II стадія):



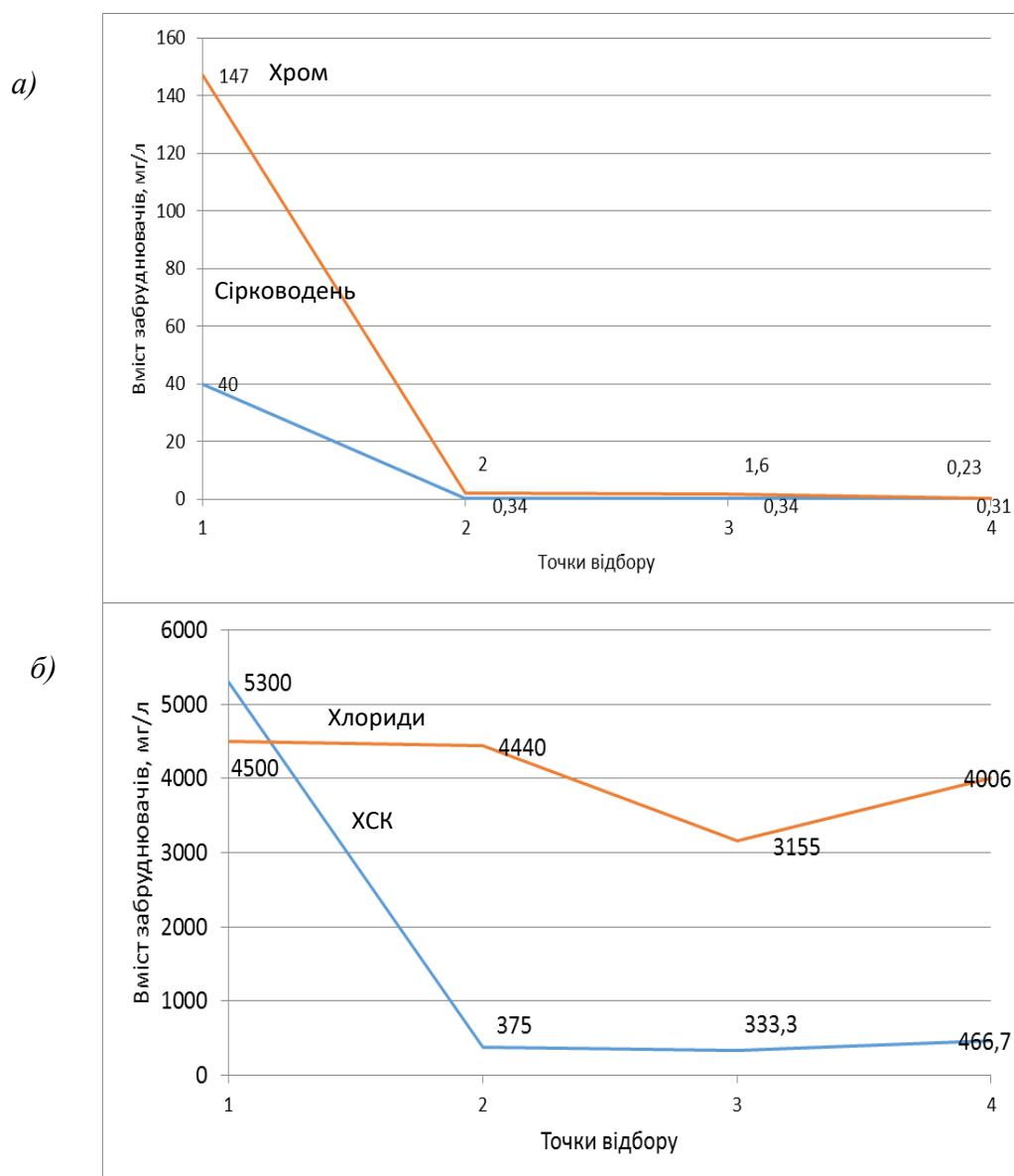
Пробовідбір виконувався в таких точках:

1. Вихідні концентрації забруднювачів.

2. Після «Електрохімічний деструктор» (позиція №2 схеми);
3. Після «Реактор (деаератор)» (позиція №3 схеми);
4. Після «Ємність подачі і змішування флокулянта» (позиція №7 схеми).

При такій компоновці устаткування акцент був зроблений на видалення специфічного запаху стічних вод шкіряного підприємства (головним чином через присутність сірководню) та зниженні вмісту сірководню, сульфідів, солей хрому, значення показника хімічного споживання кисню (ХСК).

Результати досліджень. Результати експериментальних досліджень щодо видалення забруднювачів із стоків шкіряного виробництва наведені на рис. 1.



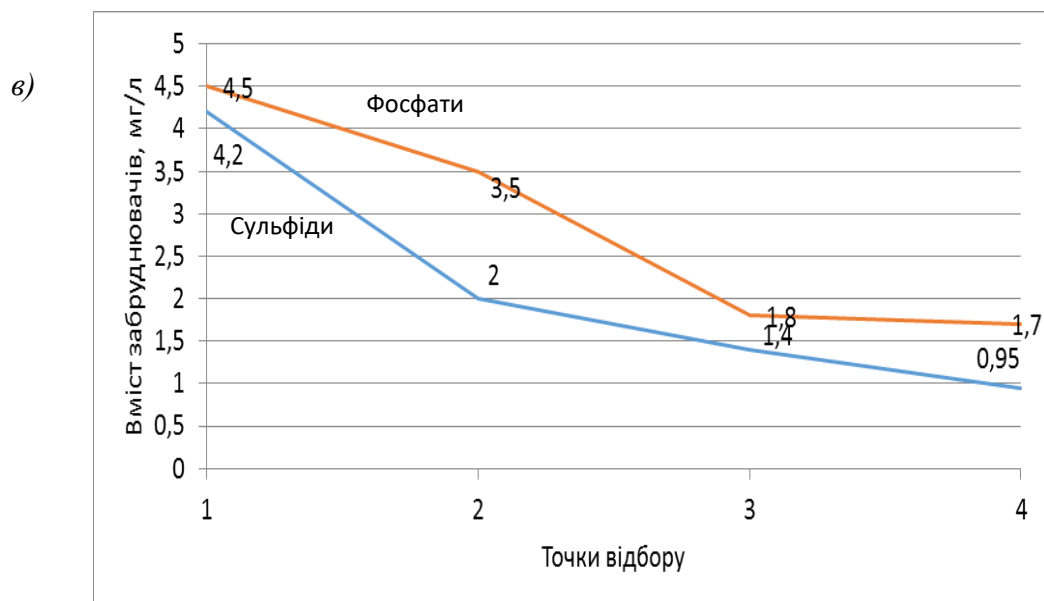


Рис. 1. Зміна концентрації забруднювачів по мірі очищення стічних вод шкіряного підприємства на різних етапах комбінованої технології:

а) сірководню і хрому; б) хлоридів і значення ХСК; в) сульфідів і фосфатів

Як видно з наведених даних, спостерігається послідовне зниження вмісту сульфідів, фосфатів, хрому і сірководню в стоках, водночас вміст хлоридів і значення ХСК в четвертій точці пробовідбору після коагуляції і флокуляції підвищується. Це може бути пов'язане з тим, що як коагулянт використовується хлорид заліза (III), а як флокулянт – препарат на основі поліакриламідів, що викликає підвищення показника ХСК, який характеризує кількість кисню у мг/л, яка необхідна для повного окиснення органічних речовин, що містяться в пробі води.

Орієнтуючись на остаточний вихід очищених стоків (після позиції №7 – завершення коагуляції та флокуляції), можна констатувати перспективність застосованої комбінованої схеми очищення водних розчинів (рис. 2).

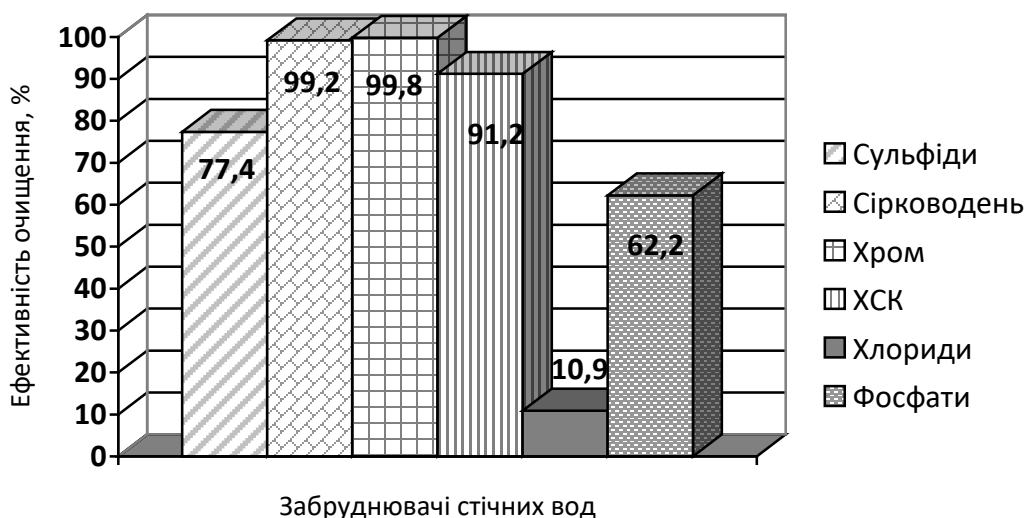


Рис. 2. Відносна ефективність комбінованого очищення стічних вод шкіряного виробництва на завершальному етапі очистки (після флокуляції)

Відштовхуючись від отриманих результатів (рис. 1 та 2) можна запропонувати електрохімічний модуль очищення стоків із інтеграцією у нього низки базових способів видалення забруднювачів (рис. 3).

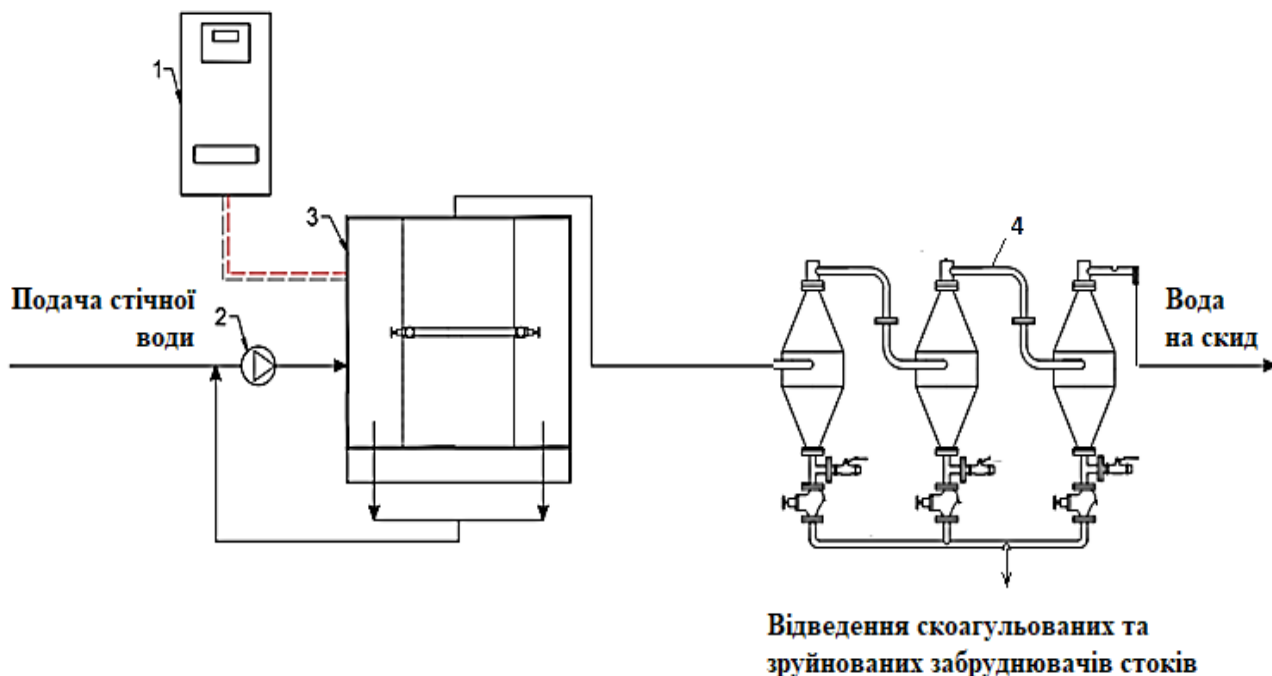


Рис. 3. Технологічна схема комбінованого модуля продуктивністю 100 м³/доба очищення стічних вод шкіряного підприємства: 1 – джерело постійного струму, 2 – електронасосний агрегат, 3 – електролізер-деструктор з деаератором та можливістю підключення дозаторів коагулянтів та флокулянтів; 4 – батарея гідроциклонів з УЗ-кавітатором

Розраховані електроенерговитрати на функціонування такого модуля наведено у табл. 1.

Таблиця 1.

Проектні електроенерговитрати комбінованого модуля очищення стічних вод шкіряного виробництва продуктивністю 100 м³/добу

Обладнання*	Споживна потужність	
	кВт/год	кВт/роб. зміна (24 г.)
Насосний агрегат 1	1,0	24,0
Насосний агрегат 2	1,5	36
Електролізер	4,0	96
Ультразвуковий кавітатор	1	24
Загалом	7,5	180,0

*Примітка. Залежить від показників якості стоків

Обґрунтована технологічна схема очищення стічних вод на основі комбінованого поєднання різних способів видалення забруднювачів із стоків шкіряного підприємства прийнятна для використання у виробничих умовах у якості модулів продуктивністю 100 м³/доба кожен з можливістю масштабування згідно фактичного об'єму водовідведення на промислових об'єктах. У подальшому одержані результати у вигляді методичного та технологічного забезпечення систем очищення стічних вод шкіряних підприємств будуть

використанні як підґрунтя для створення нормативних документів щодо технічного регулювання екологічно безпечних систем водовідведення.

Висновки. Розроблена комбінована технологія обробки стоків шкіряного виробництва, яка включає дві технологічні стадії: електрохімічне окислення та коагуляцію і флокуляцію, інтенсифіковані електролізними процесами і кавітацією. Проведені дослідження підтвердили ефективність запропонованих технологічних рішень очищення стічних вод шкіряного виробництва. Досягнуто наступні зниження вмісту забруднювачів в стоках, %: сульфіді – 77,38, сірководень – 99,15, хром – 99,84, ХСК – 91,19, хлориди – 10,98, фосфати – 62,22. Запропонована технологічна схема очищення стічних вод на основі комбінованого поєднання різних способів видалення забруднювачів може бути використана у виробничих умовах як окремий модуль продуктивністю 100 м³/доба, причому кількість таких модулів залежатиме від фактичного об'єму водовідведення на промислових об'єктах.

Література

1. Александров В. И., Гембицкий П. А., Кручинина Н. Е. [и др.] Повышение эффективности очистки сточных вод кожевенного и мехового производства. *Экология и промышленность России*. 2002. № 10. С.36-37.
2. Артемов А. В. Производство изделий из кожи: проблемы экологии. *Экология и промышленность России*. 2004. № 2. С. 32-35.
3. Плаван В. П., Данилкович А. Г., Павлова М. С. Пути повышения экологичности процесса дубления кож. *Экотехнологии и ресурсосбережение*. 2007. №3. С. 52-56.
4. Мазоренко Д. І., Цапко В. Г., Гончаров Ф. І. Інженерна екологія сільськогосподарського виробництва. К.: Знання, 2006. 376 с.
5. Саблій Л. А., Бунчак О. М., Плаван В. П. Попереднє очищення стічних вод шкір заводів фізико-хімічними методами. *Вісник КНУТД*. 2013. №1 (69). С. 117-123
6. Штепа В. Н., Луцкая Н. Н., Заец Н. А. Управление теплотехническими режимами электротехнологической водоочистки. *Вестник ГГТУ имени П. О. Сухого : научно-практический журнал*. 2019. № 3. С. 63-70
7. Mella, B., Glanert, A. C. C., & Gutterres, M. Removal of chromium from tanning wastewater by chemical precipitation and electrocoagulation. In *XXXII Congress of the IULTCS*, 29th-31th May 2013, Istanbul.
8. Ferreira, M. J., Almeida, M., Pinho, S. C., & Neves, A. Alternative treatments for footwear industry liquid effluents. Part 1: Classical approach. *Society of Leather Technologists and Chemists*, 2002. 86(3). P. 96-100.
9. Minghua, L., Hualong, Z., & Huaiyu, Z.

References

1. Aleksandrov V. I., Gembitskiy P. A., Kruchinina N. E. [et al.] Povyshenie effektivnosti ochistki stochnykh vod kozhevennogo i mekhovogo proizvodstva [Improving the efficiency of wastewater treatment in leather and fur production]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*. 2002. 10. P.36-37 [in Russian].
2. Artemov A.V. Proizvodstvo izdeliy iz kozhi: problemy ekologii [Production of leather goods: environmental problems]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*. 2004. № 2. P. 32-35 [in Russian].
3. Plavan V. P., Danilkovich A. G., Pavlova M. S. Puti povysheniya ekologichnosti protsessa dubleniya kozh [Ways to improve the environmental friendliness of the leather tanning process]. *Ekotekhnologii i resursozberezhnie*. 2007. 3. P. 52-56 [in Russian].
4. Mazorenko D. I., Tsapko V. H., Honcharov F. I. Inzhenerna ekolohiia silskohospodarskoho vyrobnytstva [Engineering ecology of agricultural production]. – K.: Znannia, 2006. 376 p. [in Ukrainian].
5. Sablii L. A., Bunchak O. M., Plavan V. P. Poperednie ochyshchennia stichnykh vod shkir zavodiv fizyko-khimichnymy metodamy [Preliminary treatment of wastewater from the tanneries by physical and chemical methods] *Visnyk KNUITD*. 2013. 1(69). P. 117-123 [in Ukrainian].
6. Shtepa V. N., Lutsкая N. N., Zaets N. A. Upravlenie teploekhnicheskimi rezhimami eletrotekhnologicheskoy vodoochistki [Control of thermotechnical modes of electrotechnological water treatment] *Vestnik GGTU imeni P. O. Sukhogo : nauchno-prakticheskiiy zhurnal*. 2019. 3. P. 63-70 [in Russian].
7. Mella, B., Glanert, A. C. C., & Gutterres, M. Removal of chromium from tanning wastewater by chemical precipitation and electrocoagulation. In *XXXII Congress of the IULTCS*, 29th-31th May 2013, Istanbul
8. Ferreira, M. J., Almeida, M., Pinho, S.C., & Neves, A. Alternative treatments for footwear industry liquid

- Recovery of chromium (III) from chrome tanning wastewater by precipitation and adsorption processes. *Journal of the Society of Leather Technologists and Chemists*. 2006. 90(5). P. 183-187.
10. Yu, B., Zhang, Y., Shukla, A., Shukla, S. S., & Dorris, K. L. The removal of heavy metals from aqueous solutions by sawdust adsorption-removal of lead and comparison of its adsorption with copper. *Journal of hazardous materials*, 2001. 84(1). P. 83-94.
11. Palma, G., Freer, J., & Baeza, J. (2003). Removal of metal ions by modified *Pinus radiata* bark and tannins from water solutions. *Water Research*. 2003. 37(20). P. 4974-4980.
12. Shaheen, S. M., Derbalah, A. S., & Moghanm, F. S. Removal of heavy metals from aqueous solution by zeolite in competitive sorption system. *International Journal of Environmental Science and Development*. 2012. 3(4). P. 362-367.
13. Kołodyńska, D., Krukowska, J. A., & Thomas, P. Comparison of sorption and desorption studies of heavy metal ions from biochar and commercial active carbon. *Chemical Engineering Journal*. 2017. 307. P. 353-363.
14. Lin, J., Shang, Y., Ding, B., Yang, J., Yu, J., & Al-Deyab, S. S. Nanoporous polystyrene fibers for oil spill cleanup. *Marine pollution bulletin*. 2012. 64(2). P. 347-352.
15. Li, H., Liu, L., & Yang, F. Hydrophobic modification of polyurethane foam for oil spill cleanup. *Marine pollution bulletin*. 2012. 64(8). P. 1648-1653.
16. Матвеева О. Л., Демянко Д. О., Копиленко А. В., Шараєв К. О. Ефективність застосування сорбентів при очистці забруднених вод. *Харчова промисловість*. 2012. 12. С. 162-166.
17. Долина Л. Ф. Современная техника и технологии для очистки сточных вод от солей тяжелых металлов: Монография. Дн-вск.: Континент, 2008. 254 с.
18. Штепа В. М. Віртуальна міра водоочищення та оцінка ризиків виникнення надзвичайних ситуацій / В. М. Штепа, В. В. Каплун // Вимірювальна техніка та метрологія : міжвідомчий науково-технічний збірник / Національний університет «Львівська політехніка». Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2018. Том 79, вип. 4. С. 5-11.
- effluents. Part 1: Classical approach. *Society of Leather Technologists and Chemists*, 2002. 86(3). P. 96-100.
9. Minghua, L., Hualong, Z., & Huaiyu, Z. Recovery of chromium (III) from chrome tanning wastewater by precipitation and adsorption processes. *Journal of the Society of Leather Technologists and Chemists*. 2006. 90(5). P. 183-187.
10. Yu, B., Zhang, Y., Shukla, A., Shukla, S. S., & Dorris, K. L. The removal of heavy metals from aqueous solutions by sawdust adsorption-removal of lead and comparison of its adsorption with copper. *Journal of hazardous materials*, 2001. 84(1). P. 83-94.
11. Palma, G., Freer, J., & Baeza, J. (2003). Removal of metal ions by modified *Pinus radiata* bark and tannins from water solutions. *Water Research*. 2003. 37(20). P. 4974-4980.
12. Shaheen, S. M., Derbalah, A. S., & Moghanm, F. S. Removal of heavy metals from aqueous solution by zeolite in competitive sorption system. *International Journal of Environmental Science and Development*. 2012. 3(4). P. 362-367.
13. Kołodyńska, D., Krukowska, J. A., & Thomas, P. Comparison of sorption and desorption studies of heavy metal ions from biochar and commercial active carbon. *Chemical Engineering Journal*. 2017. 307. P. 353-363.
14. Lin, J., Shang, Y., Ding, B., Yang, J., Yu, J., & Al-Deyab, S. S. Nanoporous polystyrene fibers for oil spill cleanup. *Marine pollution bulletin*. 2012. 64(2). P. 347-352.
15. Li, H., Liu, L., & Yang, F. Hydrophobic modification of polyurethane foam for oil spill cleanup. *Marine pollution bulletin*. 2012. 64(8). P. 1648-1653.
16. Matveeva O. L., Demianko D. O., Kopylenko A. B., Sharaiev K. O. Efektyvnist zastosuvannia sorbentiv pry ochysttsi zabrudnennykh vod [The effectiveness of sorbents in the treatment of contaminated water] *Kharchova promyslovist*. 2012. 4. P. 162-166. [in Ukrainian].
17. Dolina L. F. Sovremennaya tekhnika i tekhnologii dlya ochistki stochnykh vod ot soley tyazhelykh metallov [Modern equipment and technologies for wastewater treatment from heavy metal salts]: Monografiya. Dn-vsk.: Kontinent, 2008. 254p. [in Russian]
18. Shtepa V. M., Kaplun V. V. Virtualna mira vodoochyschennia ta otsinka ryzykiv vynyknennia nadzvychnykh sytuatsii. [Virtual measure of water purification and assessment of risks of emergencies]. *Vymiriuvalna tekhnika ta metrolohiia : mizhvidomchyi nauko-ve-tekhnichnyi zbirnyk / Natsionalnyi universitet «Lvivska politekhnika»*. 2018. 79(4). P. 5-11 [in Ukrainian].

VLADIMIR SHTEPA

shns1981@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2796-3144>

Polessky State University, Belarus

PLAVAN VIKTORIIA

plavan.vp@knuutd.com.ua

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9559-8962>

ResearcherID: I-5852-2015

Kyiv National University of Technologies & Design

ZAIETS NATALIYA

z-n@ukr.net

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5219-2081>

National University of Life and Environmental Sciences of
Ukraine, Kyiv, Ukraine

MAKSYM KOLIADA

maksym.koliada@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4360-9556>

ResearcherID: C-1352-2016

Kyiv National University of Technologies & Design

NADIYA KRYNYTSKA

plaksik03041997@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7436-4347>

Kyiv National University of Technologies & Design

КОМБИНИРОВАННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ СТОКОВ КОЖЕВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

ШТЕПА В.Н.¹, ПЛАВАН В.П.², ЗАЕЦ Н.А.³, КОЛЯДА М.К.², КРИНИЦКАЯ Н.Н.²

¹ Полесский государственный университет, г. Пинск, Беларусь

² Киевский национальный университет технологий и дизайна

³ Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины

Цель. Обоснование и создание комбинированной технологии очистки сточных вод кожевенных предприятий, которые отличаются многокомпонентностью загрязнителей. Внедрение разработанной технологии позволит улучшить экологическую безопасность таких промышленных объектов за счет выполнения требований технического регулирования к сооружениям для удаления загрязнителей.

Методика. Комбинированная технология обработки стоков кожевенного производства предусматривает сочетание физико-химического и химического способов очистки, электротехнологий, электрохимических и биохимических процессов. Оптимизация параметров разработанной технологии осуществлялась с применением градиентных методов анализа многокомпонентных систем.

Результаты. Разработана комбинированная технология обработки стоков кожевенного производства, которая включает две технологические стадии: электрохимическое окисление и коагуляцию/флокуляцию, интенсифицированные электролизными процессами и кавитацией. Проведенные исследования подтвердили эффективность предлагаемых технологических решений очистки сточных вод кожевенного производства. Получены следующие результаты снижения содержания загрязнителей в стоках, %: сульфиды - 77,38, сероводород - 99,15, хром - 99,84, ХПК - 91,19, хлориды - 10,98, фосфаты - 62,22.

Научная новизна. Впервые путем физического моделирования комбинированной очистки сточных вод кожевенного предприятия на основе применения электролизных процессов в качестве базисных для деструкции органических загрязнителей и безреагентной pH-коррекции, создана основа для исследования систем очистки промышленных стоков, что позволило совместить в одном технологическом решении разные способы удаления загрязнителей из стоков.

Практическая значимость. Созданные технологические схемы и разработаны режимы комбинированной очистки сточных вод кожевенного производства, предложен комбинированный модуль водоочистки, рассчитаны его электроэнергорасход с возможностью масштабирования в соответствии с фактическим объемом водоотведения на промышленных объектах.

Ключевые слова: сточные воды кожевенных предприятий, водоочистка, экологическая безопасность, электротехнология, электролиз, коагуляция, кожевенное производство.

COMBINED TECHNOLOGY FOR TANNERIES WASTEWATER PROCESSING
SHTEPA V.M.¹, PLAVAN V.P.², ZAIETS N.A.³, KOLIADA M.K.², KRYNYTSKA N.M.²

¹Polesky State University, Pinsk, Belarus

²Kyiv National University of Technologies and Design

³National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

Purpose. Substantiation and creation of the combined technology of wastewater of tanneries, which differ in the multicomponent pollutants. The introduction of the developed technology will improve the environmental safety of such industrial facilities by complying with the requirements of technical regulation of facilities for the removal of contaminants.

Methodology. Combined tanneries wastewater treatment technology involves a combination of physico-chemical and chemical methods of treatment, electrical technology, electrochemical and biochemical processes. Optimization of the parameters of the developed technology was carried out with the use of gradient methods of analysis of multicomponent systems.

Results. Developed a combined tanneries wastewater treatment technology, which includes two technological stages: electrochemical oxidation and coagulation and flocculation, intensified by electrolysis processes and cavitation. The conducted study confirmed efficiency of the offered tanneries wastewater treatment technology. The following reductions in the content of pollutants in effluents were achieved, %: sulfides – 77,38, hydrogen sulfide – 99,15, chromium – 99,84, COD – 91,19, chlorides – 10,98, phosphates – 62,22.

Scientific novelty. For the first time by physical modeling of combined wastewater treatment from a leather plant based on the use as key electrolysis processes for the destruction of organic pollutants and reagent-free pH correction, a basis for the study of industrial wastewater treatment systems was created. This made it possible to combine in one technological solution different methods of removing pollutants from wastewater.

Practical significance. Created technological schemes and developed modes of combined tanneries wastewater treatment technology, a combined water treatment module has been proposed. Calculated electricity consumption with the possibility of scaling according to the actual volume of drainage at industrial facilities.

Key words: tanneries wastewater, water treatment, ecological safety, electrotechnology, electrolysis, coagulation, leather production.

УДК 678. 679:1

СОВА Н. В., СЛЕПЦОВ О. О., ФЕДОРІВ Т. Р., МАРТИНЕНКО А. О.,
КУДЛАЙ М. Р., ІСКАНДАРОВ Р. Ш.

Київський національний університет технологій та дизайну
**ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ АДИТИВНОГО ФОРМУВАННЯ НА
ЕЛЕКТРИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ГРАФІТОНАПОВНЕНОГО
КОМПОЗИТУ НА ОСНОВІ ПОЛІЛАКТИДУ**

Мета. Дослідити вплив параметрів адитивного формування на властивості антистатичної композиції на основі полілактиду (ПЛА).

Методика. Поверхневий та об'ємний електричний опір визначали за ASTM D257.

Результати. Досліджено вплив параметрів адитивного формування на електричні властивості графітонаповненого композиту на основі полілактиду. Виявлено, що величина питомого опору суттєво залежить від умов друку, а саме температури, швидкості, товщини шару. Підвищення температури друку сприяє зниженню питомого опору зразка. Зниження товщини шару полімеру також дозволяє знизити питомий опір при швидкості друку в межах 3000 мм/хв. Виявлено, що питомі електричні характеристики суттєво відмінні на площині зразка, що зазнає контакту з платформою для друку. Концентричний спосіб укладання шарів розплаву полімеру менш ефективний з точки зору питомого опору, ніж взаємоперпендикулярний. Виявлено, що питомий електричний опір зразків виготовлених з матеріалу для 3д друку, що попередньо піддавався висушуванню нижче за опір зразка виготовленого з несушеного матеріалу. Програмована зміна параметрів 3D друку дозволяє керувати регулювати питомий опір графітонаповненого композиту на основі полілактиду в діапазоні трьох порядків та одержувати вироби, що володіють властивостями від антистатиків до статично дисипативних матеріалів. Адитивне виробництво дозволяє одержувати вироби потрібної конфігурації з регульованими електричними властивостями.

Наукова новизна. Досліджено особливості зміни антистатичних властивостей полімерного композиту в залежності від умов адитивного формування дослідних зразків. В залежності від застосовуваних параметрів адитивного формування можна отримувати вироби з властивостями від антистатиків до статично дисипативних матеріалів.

Практична значимість. Відпрацьовано технологічні режими адитивного формування виробів з композиту на основі полілактиду та графіту. Оцінено енергозатрати на адитивне формування виробів різної маси.

Ключові слова: ПЛА, антистатична композиція, адитивне формування, енерговитрати, графіт.

Вступ. Друк у форматі 3D зовсім не новий винахід. Перші патенти на технологію стереолітографії було отримано ще у середині 1980-х років. Втім, як це відбулося й з багатьма іншими інноваціями, її справжній потенціал почав розкриватися лише з початком третього тисячоліття [1].

Найширшого використання технологія набуває у важкій промисловості. За допомогою 3D-друку виготовляють високоточні інструменти, складні деталі та механізми. За прогнозами Marketsand Markets, темпи зростання використання промислового адитивного друку обумовлюватимуть постійна еволюція технології, зменшення виробничих витрат та зниження вартості виробництва. Усі ці фактори, а також наявність державних дотацій у промисловий 3D-друк роблять цю галузь надзвичайно перспективною [2]. Виявилось, що найчастіше, у 28% випадків, цю технологію використовують для прискорення розробки того чи іншого продукту [3]. Також адитивний друк дозволяє бізнесу створювати індивідуальні продукти, а його запровадження підвищує гнучкість виробництва. І хоча зараз за допомогою

3Дпринтерів все ще виготовляють переважно прототипи, можливості цих пристроїв набагато ширші [4].

Сьогодні активно розвивається напрямок адаптації існуючих традиційних полімерних матеріалів та композитів до адитивного виробництва, оскільки це дозволяє зробити виробництво складних виробів гнучким та мобільним.

Різноманітність існуючих технологій адитивного формування дозволяє швидко та ефективно отримувати найрізноманітніші деталі та вироби з програмованими властивостями, що, в деяких випадках, навіть перевершують за своєю досконалістю аналогічні вироби, отримані традиційними способами переробки полімерних матеріалів [5]. Зі сторони енергозатрат адитивне виробництво в разі економічніше, що ідеально вписується в сучасні тенденції [6]. Тому дослідження спрямовані на оцінку впливу параметрів адитивного формування на властивості сформованих виробів є особливо актуальні.

З іншої сторони, широкої популярності набувають біопластики, які за отримують з рослинної сировини і які здатні безслідно деєструкувати в живій природі, після свого прямого застосування. Прикладом такого пластику є полілактид (PLA) – пластик, отриманий з продуктів переробки кукурудзи [7]. Даний матеріал набув значної популярності як замієнник традиційного полієтилентерефталату, оскільки володіє подібним комплексом властивостей і є полієфіром за хімічною природою [8]. Крім свого біопоходження PLA ще й ідеальний матеріал для адитивного формування методом пошарового нанесення, оскільки володіє комплексом властивостей, зокрема високий модуль жорсткості на згин, невисока температура плавлення та низька елонгаційна в'язкість, що дозволяють створювати різноманітні вироби для широкого застосування [9].

Полімерні матеріали зазичай є дієлектриками, тобто мають поверхневий опір $1 \cdot 10^{12}$ – $1 \cdot 10^{14}$ Ом. Дані властивості роблять їх цінними ізоляційними матеріалами. Але дієлектричні матеріали здатні поляризуватися та генерувати або накопичувати статичні електричні заряди, що можуть вражати людей та чутливі електронні пристрої. Для попередження накопичення статичних електричних зарядів полімерам надають антистатичних властивостей, змінюючи їх поверхневий опір до $1 \cdot 10^8$ - $1 \cdot 10^{10}$ Ом. Такі матеріали називають антистатиками. У разі необхідності використання полімерів у пристроях та конструкціях у високих електричних полях використовують статично дисипативні матеріали, котрі можуть ефективно розсіювати (заземлювати) статичні заряди. Такі антистатичні матеріали мають поверхневий опір від $1 \cdot 10^6$ до $1 \cdot 10^4$ Ом.

Найпоширенішим способом створення антистатичних матеріалів є введення в склад полімеру полярних речовин, електропровідних наповнювачів та гідрофільних сполук [10].

Постановка завдання. Метою роботи є дослідження впливу параметрів адитивного формування на електричні властивості антистатичної композиції на основі ПЛА.

Результати дослідження. Вихідними матеріалами для досліджень були зразки мононитки для 3д друку двох видів: ПЛА натуральний та ПЛА графітонаповнений (20% мас графіту). На першому етапі виготовляли стандартні зразки для випробування методом лиття під тиском на лабораторній литтєвій машині. Температурні режими лиття – 190-230°C. Властивості отриманих зразків наведено таблиці 1.

Таблиця 1

Властивості дослідних зразків, отриманих методом лиття під тиском

№	Назва матеріалу	Властивості		
		Міцність при розриві, Мпа	Відносне видовження при розриві, %	Густина, г/см ³
1	ПЛА	44	10	1,24
2	ПЛА+20% графіту	36	4	1,36

На другому етапі оцінювали зміну електричних параметрів досліджуваного композиту в залежності від режимів адитивного формування шляхом формування стандартного зразка для випробування у вигляді диску з діаметром 80мм та товщиною 1мм за допомогою 3д принтеру кінематики Prusa I3. (рис.1).

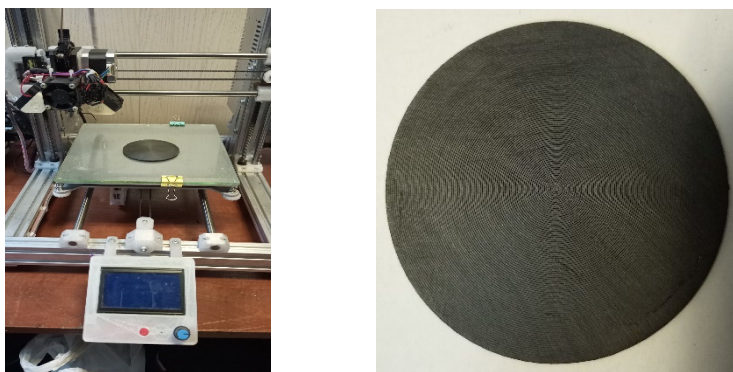


Рис.1. 3D принтер та дослідний зразок

Режими адитивного формування дослідних зразків наведено в таблиці 2. Було використано сопло 0.4 мм та температуру платформи 60°C, ширина екструзії 0,48мм.

Вимірювання поверхневого та об'ємного електричного опорів здійснювали за допомогою стандартної комірки згідно з ASTM 257 з використанням для вимірювання мегаомметра Fluke 1507. Діапазон вимірювання приладу складав від $1 \cdot 10^7$ до $1 \cdot 10^{10}$ Ом. Даний діапазон вимірювання пов'язаний з особливістю приладу при вимірюванні струму, що протікає через зразок.

Таблиця 2

Режими адитивного формування дослідних зразків

№	Товщина шару, мкм	Тип заповнення	Температура, °C	Коефіцієнт екструзії	Швидкість друку, мм/хв	Попереднє висушування мононитки перед 3д друком
1	250	Cocentric	215	1,0	4000	Ні
2	200	Cocentric	215	1,0	4000	Ні
3	100	Cocentric	215	1,0	4000	Ні
4	250	Rectiliner 90	215	1,0	4000	Ні
5	200	Rectiliner 90	215	1,0	4000	Ні
6	100	Rectiliner 90	215	1,0	4000	Ні
7	200	Cocentric	215	1,0	4000	Так
8	100	Cocentric	215	1,0	4000	Так
9	200	Rectiliner 90	215	1,0	4000	Так

Продовження таблиці 2

10	100	Rectiliner 90	215	1,0	4000	Так
11	200	Rectiliner 90	190	1,0	4000	Так
12	200	Rectiliner 90	200	1,0	4000	Так
13	200	Rectiliner 90	210	1,0	4000	Так
14	200	Rectiliner 90	220	1,0	4000	Так
15	200	Rectiliner 90	230	1,0	4000	Так
16	200	Rectiliner 90	240	1,0	4000	Так
17	200	Rectiliner 90	220	1,0	1000	Так
18	200	Rectiliner 90	220	1,0	2000	Так
19	200	Rectiliner 90	220	1,0	3000	Так
20	200	Rectiliner 90	220	1,0	4000	Так
21	200	Rectiliner 90	220	1,0	5000	Так
22	200	Rectiliner 90	220	1,0	4000	Так
23	200	Rectiliner 90	220	1,1	4000	Так
24	200	Rectiliner 90	220	1,2	4000	Так

Прилад оснащений системою автоматичного коригування струму шляхом зміни вимірювальної напруги. Виміряні значення корегувалися за допомогою коефіцієнта, що враховував форму комірки та тип вимірювання. Вимірювання здійснювали за двоконтактним принципом, захисні електроди заземлювали (рис.2).

Використовували п'ять фіксованих значень вимірювальної напруги – від 50 до 1000 В, що дозволило з'ясувати вплив прикладеної різниці потенціалів та роль контактного опору під час вимірювання. Результати наведено в таблиці 3.

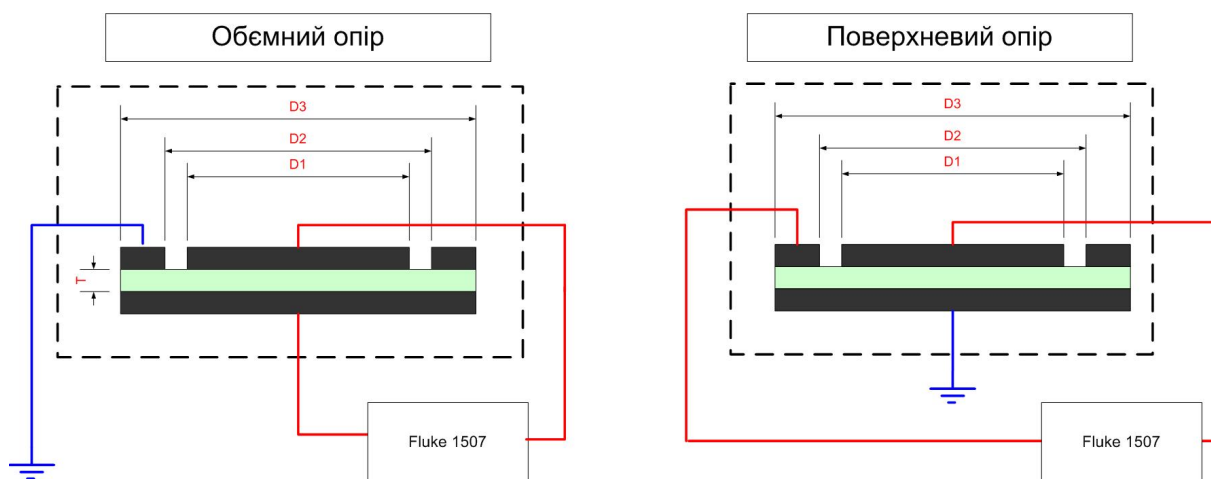


Рис.2. Схема комірки для вимірювання електричних властивостей

Під час вимірювання електричних характеристик було виявлено, що поверхневий електричний опір протилежних площин зразка суттєво відрізняється. Поверхневий опір сторони, що контактує з столом (нижня частина) принтера вище за опір верхнього шару зразка, що контактує з екструдером (верхня частина). Даний ефект, ймовірно, пов'язаний з умовами охолодження розплаву у зоні контакту з столом принтера та утворенням мікропор між струменями полімеру. Зразок, виготовлений литтям під тиском, не мав такої анізотропії властивостей. Швидкість охолодження струменя полімеру у контакті з столом завжди вища за швидкість охолодження струменя при контакті з наступним шаром полімеру. Дані

відмінності у охолодженні поверхонь призводять у відмінності у контактному опорі до електродів вимірювальної комірки.

Таблиця 3

Результати вимірювання

Зразок	Поверхневий електричний опір, 1*10 ⁹ Ом*см при напрузі					Об'ємний електричний опір, 1*10 ⁹ Ом*см				
	50 В	100 В	250 В	500В	1000В	50 В	100 В	250 В	500В	1000В
0	0,03	0,01	0,01	-	-	0,08	0,04	0,02	0,01	-
1a*	1,01	0,74	0,42	0,25	0,13	3,68	2,90	1,88	1,33	0,88
16*	0,62	0,41	0,22	0,13	0,05	4,47	3,47	2,30	1,47	0,30
2a	0	0	2,26	1,24	0,27	0	0	3,90	1,61	1,85
26	0	0	0,32	0,29	0,24	1,02	0,90	0,64	0,61	0,34
3a	0	2,08	0,72	0,35	0,07	0,80	0,57	0,35	0,23	0,08
36	0,71	0,59	0,22	0,10	0,01	0,40	0,26	0,14	0,07	0,04
4a	0,52	0,26	0,07	0,03	0,02	1,92	1,07	0,40	0,21	0,05
46	0,25	0,14	0,05	0,02	0,02	0,19	0,14	0,07	0,04	0,03
5a	0	2,15	1,42	0,80	0,02	1,35	0,96	0,58	0,40	0,26
56	0,70	0,57	0,36	0,23	0,02	0	0,91	0,67	0,41	0,08
6a	0,14	0,09	0,03	0,01	0,01	0,78	0,54	0,26	0,09	0,03
66	0,31	0,13	0,05	0,01	0,01	1,80	1,07	0,40	0,11	0,03
7a	0,21	0,16	0,08	0,04	0,01	0,36	0,26	0,12	0,05	0,03
76	0,15	0,12	0,07	0,03	0,01	0,74	0,57	0,25	0,06	0,03
8a	1,12	0,92	0,54	0,45	0,27	1,75	1,34	0,73	0,52	0,32
86	0,10	0,07	0,02	0,01	0,01	0,29	0,14	0,09	0,04	0,02
9a	0,25	0,19	0,11	0,06	0,01	0,89	0,56	0,15	0,08	0,02
96	0,23	0,18	0,12	0,07	0,01	0,23	0,10	0,05	0,09	0,02
10a	0,17	0,12	0,08	0,05	0,01	0,28	0,11	0,09	0,06	0,02
106	0,07	0,05	0,04	0,02	0,01	0,10	0,08	0,07	0,04	0,02
11a	0,62	0,37	0,16	0,03	0,01	0,72	0,48	0,12	0,42	0,03
116	2,3	1,84	0,62	3,90	0,01	3,40	2,70	1,10	0,31	0,02
12a	0,11	0,07	0,04	0,03	0,01	0,20	0,1	0,09	<0,01	<0,01
126	0,08	0,07	0,04	0,02	0,01	0,71	0,62	0,04	0,01	<0,01
13a	0,05	0,04	0,02	0,01	0,01	0,51	0,43	<0,01	<0,01	<0,01
136	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,22	0,21	0,11	0,02	<0,01
14a	0,10	0,06	0,05	0,01	0,01	0,56	0,94	0,38	<0,01	<0,01
146	0,04	0,02	0,01	0,01	0,01	0,43	0,31	<0,01	<0,01	<0,01
15a	0,12	0,08	0,04	0,01	0,01	0,52	0,22	0,12	<0,01	<0,01
156	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,28	0,05	<0,01	<0,01	<0,01
16a	0,09	0,06	0,03	0,02	0,01	0,34	0,18	0,13	<0,01	<0,01
166	0,05	0,04	0,02	0,01	0,01	0,55	0,45	<0,01	<0,01	<0,01
17a	3,89	1,37	0,51	0,31	0,22	1,94	1,43	0,62	0,23	<0,01
176	0,77	0,55	0,30	0,17	0,01	0,56	0,56	<0,01	<0,01	<0,01
18a	0,18	0,15	0,11	0,07	0,01	0,26	0,28	<0,01	<0,01	<0,01
186	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01	0,71	0,66	<0,01	<0,01	<0,01

Продовження таблиці 3

19a	0,07	0,05	0,02	0,01	0,01	0,94	0,55	<0,01	<0,01	<0,01
19б	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,38	0,23	<0,01	<0,01	<0,01
20a	0,04	0,04	0,02	0,01	0,01	0,63	0,4	<0,01	<0,01	<0,01
20б	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,42	0,3	<0,01	<0,01	<0,01
21a	0,08	0,06	0,03	0,02	0,01	0,15	0,12	0,09	<0,01	<0,01
21б	0,40	0,33	0,18	0,02	0,01	0,21	0,16	0,1	<0,01	<0,01
22a	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,91	0,73	<0,01	<0,01	<0,01
22б	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01	0,38	0,22	0,8	<0,01	<0,01
23a	0,05	0,04	0,02	0,01	0,01	0,41	0,41	<0,01	<0,01	<0,01
23б	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,10	0,93	0,81	<0,01	<0,01
24a	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,70	0,30	0,11	<0,01	<0,01

а* - сторона зразка зі сторони столу 3д принтеру; б* - сторона зразка зі сторони сопла 3д принтеру

Зі збільшенням значення напруги спостерігається зменшення виміряного значення опору, що, ймовірно, пов'язане з контактним опором на поверхні зразка.

При вимірюванні об'ємного електричного опору виявлені відмінні значення опору при перевертанні зразка у вимірювальній комірці, що пов'язано з різним поверхневим опором сторін та різною контактною площею електродів. Дану особливість слід враховувати при застосуванні антистатичних композицій у адитивному виробництві. Можливим способом подолання цього ефекту є збільшення температури столу, збільшення температури першого шару деталі, що створюється.

Вплив товщини шару екструзії показано на зразках 1- 3 в табл 3. Зменшення товщини шару призводить до зменшення опору, як поверхневого так і об'ємного, що, ймовірно, пов'язано з вищою щільністю укладання струменів розплаву полімеру та кращою перколяцією між окремими струменями у структурі зразка.

Важливим фактором, що впливає на властивості виробів під час адитивного виробництва є вологість вихідного матеріалу у вигляді філаменту. Дослідним шляхом встановлено, що використання філаменту, який не піддавався висушуванню (кондиціонований при кімнатній температурі та вологості 70%) призводить до утворення структур з більш високим значенням опору в порівнянні з матеріалом, що попередньо висушувався (табл.. 3 зразки 3,4 та 7,8 4,5 та 9,10). Даний результат, ймовірно, пов'язаний з утворенням мікропорожнин (бульбашок) у товщі та на поверхні струменів полімеру. Порожнини в структурі полімеру ускладнюють міжшарову перколяцію, а на поверхні збільшують контактний опір під час вимірювання.

Ще один специфічний фактор, що характерний для адитивного формування, це – спосіб укладання шарів полімеру. Вплив способу укладання шарів показано на прикладі зразків 1, 2, 3 та 4, 5, 6. Приклад укладання шарів наведено на рис.3.

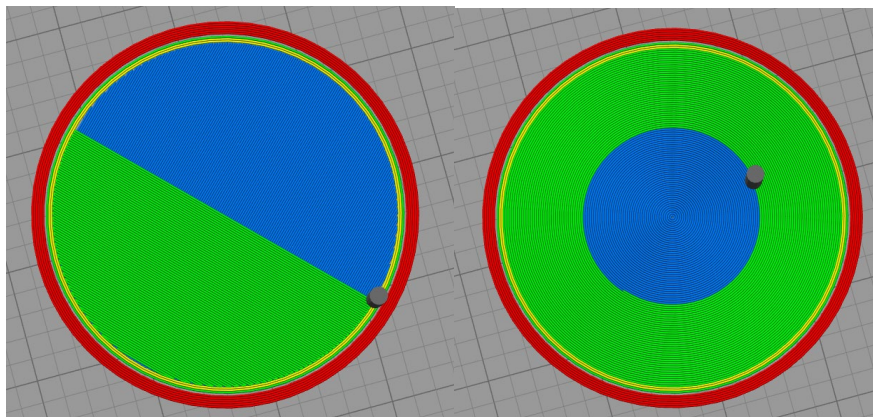


Рис.3. Схема укладання шарів полімеру при адитивному формуванні зразка

Концентричне укладання шарів менш ефективне з точки зору опору, ніж взаємоперпендикулярне. Даний ефект, ймовірно пов'язаний з утворенням трьохмірної перколяційної сітки між різними струменями полімеру для взаємоперпендикулярного розміщення.

Вплив температури екструдера показано на прикладі зразків 11-16. Зростання температури призводить до зменшення опору для всіх зразків та до зменшення різниці контактних опорів на різних сторонах зразка. Даний ефект, можливо, пов'язаний з зменшенням внутрішніх дефектів структури зразка, ефектом розширення струменя полімеру та ймовірно щільнішим укладанням шарів та кращим прилягання деталі до столу. Даний фактор необхідно враховувати під час застосування антистатичних композицій у адитивному виробництві.

Наступним фактором, що досліджувався, була швидкістю екструзії від 1000 до 5000 мм/хв. При збільшенні швидкості екструзії з 1000 до 3000 мм/хв показники опору знижуються, а з 4000 до 5000 поступово незначно зростають. Дане спостереження, ймовірно, пов'язане з орієнтацією часток наповнювача в структурі полімерного композиту, що призводить до зростання провідності вздовж струменя полімеру. Зростання опору при високих швидкостях друку, ймовірно, пов'язане з утворенням дефектів структури на поверхні, що погіршують контактний опір та перколяційну сітку в структурі виробу.

Вплив коефіцієнту екструзії показано на зразках 22-25. Зростання коефіцієнту екструзії не призводить до значного впливу на значення опору. При високому значенні спостерігається низьке значення опору, що можливо пов'язане з щільнішим пакуванням струменів полімеру в зразку.

На основі проведеного аналізу було встановлено, що оптимальними умовами друку антистатичних виробів з графітонаповненого ПЛА є: температура - 230 °С, швидкість - 3000 – 4000 мм/хв., товщина шару 100 мкм, спосіб заповнення - взаємно перпендикулярне, попереднє висушування філаменту 5-6 годин при 50 °С.

На основі здійснених вимірювань можна констатувати, що умови друку суттєво впливають на значення поверхневого та об'ємного опору, змінюючи даний показник в межах трьох порядків.

Також під час проведення досліджень були оцінені енергетичні витрати на процес адитивного виробництва за рахунок підключення в ланцюг живлення лічильника електричної енергії. Енергетичні витрати на виготовлення дослідного зразка склали 38,5 Вт/г для першого виробу вагою 6,5 г включаючи нагрів столу та 21,5 Вт/г для наступних виробів з розігрітим столом. Під час друку великогабаритного виробу вагою 200г енерговитрати склали 11- 12 Вт/г.

Висновки. Використання параметрів друку дозволяє регулювати питомий опір графітонаповненого композиту на основі полілактиду в діапазоні трьох порядків та одержувати вироби, що володіють властивостями від антистатиків та статично дисипативних. В залежності від умов охолодження поверхневий опір на протилежних частинах зразків сильно відрізняється, що необхідно враховувати під час проектування виробів та їх застосування. Адитивне виробництво дозволяє одержувати вироби з регульованими електричними властивостями.

Література

1. Сайт журналу «Тривимірний світ» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.business.ua/uk/trivimirnij-svit>
2. Шеховцов А. А. Аддитивные технологии как способ реализации концепции бережливого производства / А. А. Шеховцов, Н. П. Карпова // Научно-методический электронный журнал «Концепт». – 2015. – Т. 13. – С. 141–145. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://e-koncept.ru/2015/85029.htm>.
3. Site redshift autodesk. Retrieved from <https://redshift.autodesk.com/3d-printing-methods>
4. Baumann F.W. Additive manufacturing, cloud-based 3D printing and associated services – overview / F.W. Baumann, D. Roller // J Manuf Mater Process. – 2017.- Vol1 - p. 15.
5. Thomas D.S. Costs and cost effectiveness of additive manufacturing NIST / D.S. Thomas, S.W. Gilbert // Spec Publ. 2014. – Vol1176. - p. 12.
6. Site 3d printing from scratch. Retrieved from <http://3dprintingfromscratch.com/common/types-of-3d-printers-or-3d-printing-technologies-overview>
7. Сайт журнала «Сырье и упаковка для парфюмерии, косметики и бытовой химии» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://cosmetic-industry.com/biorazlagaemye-polimery.html>
8. Hagen R. Polylactic Acid. / R.Hagen // Polymer Science: A Comprehensive Reference/ - 2012/ - Vol10. - P. 231-236.
9. S. Aravind Raj, E. Muthukumaran, K.

References

1. Sait zhurnal «Trivimirnij svit» [Site of journal «Three-dimensional world»] www.business.ua/uk/trivimirnij-svit Retrieved from <http://www.business.ua/uk/trivimirnij-svit> [in Ukraine]
2. Shehovcov A.A., Karpova N.P. (2015) Additivnye tehnologii kak sposob realizacii koncepcii berezhlivogo proizvodstva // Nauchno-metodicheskij jelektronnyj zhurnal koncept. Vol 13, 141-145. [Additive technologies as a way to implement the concept of lean production // Scientific and methodological electronic journal "Concept" e-koncept.ru/2015/85029 Retrieved from: <http://e-koncept.ru/2015/85029.htm>. [in Russian]
3. Site redshift autodesk. Retrieved from <https://redshift.autodesk.com/3d-printing-methods>
4. Baumann F.W., Roller D. (2017) Additive manufacturing, cloud-based 3D printing and associated services – overview. //J Manuf Mater Process. Vol1, 15. [in English]
5. Thomas D.S., Gilbert S.W. (2014) Costs and cost effectiveness of additive manufacturing NIST // Spec Publ. Vol 1176, 12. [in English]
6. Site 3d printing from scratch. Retrieved from <http://3dprintingfromscratch.com/common/types-of-3d-printers-or-3d-printing-technologies-overview>.
7. Sait zhurnal « Сырье и упаковка для парфюмерии, косметики и бытовой химии » [Site of journal « Raw materials and packaging for perfumery, cosmetics and household chemicals»] www.cosmetic-industry.com/biorazlagaemye-polimery Retrieved from <https://cosmetic-industry.com/biorazlagaemye-polimery.html> [in Russian]
8. R.Hagen (2012). Polylactic Acid. // Polymer Science: A Comprehensive Reference. Vol 10, 231-236. [in English]
9. S. Aravind Raj, E. Muthukumaran, K. Jayakrishna

Jayakrishna. A Case Study of 3D Printed PLA and Its Mechanical Properties. Materials Today: Proceedings. Volume 5, Issue 5, Part 2, 2018, Pages 11219-11226

10. Kuryptya Y. Design of electrically conducting polymer hybrid composites based on polyvinyl chloride and polyethylene / Y. Kuryptya, B. Savchenko, A. Slieptsov, V. Plavan, N. Sova, // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. - Vol 3(6-81). - P. 26–32.

(2018). A Case Study of 3D Printed PLA and Its Mechanical Properties. Materials Today: Proceedings. Vol5, Part 2, 11219-11226 [in English]

10. Kuryptya, Y., Savchenko, B., Slieptsov, A., Plavan, V., Sova, N.(2016) Design of electrically conducting polymer hybrid composites based on polyvinyl chloride and polyethylene. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, Vol3(6-81), 26–32 [in English]

SOVA NADIYA

e-mail: djanc@ukr.net

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3550-6135>

*Department of Applied Ecology, technology of polymers and chemical fibers
National University of Technologies and Design*

SLIEPTSOV ALEKSANDR

*Department of Applied Ecology, technology of polymers and chemical fibers
National University of Technologies and Design*

FEDORIV TARAS

*Department of Applied Ecology, technology of polymers and chemical fibers
National University of Technologies and Design*

ISKANDAROV RUSLAN

E-mail: Iskandarov.R.Sh@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2164-0061>

*Department of Applied Ecology, technology of polymers and chemical fibers
National University of Technologies and Design*

MARTINENKO ANTON

*Department of Applied Ecology, technology of polymers and chemical fibers
National University of Technologies and Design*

KUDLAY MAKSIM

*Department of Applied Ecology, technology of polymers and chemical fibers
National University of Technologies and Design*

**ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ АДТИВНОГО ФОРМОВАНИЯ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ
СВОЙСТВА ГРАФИТОНАПОЛНЕННОГО КОМПОЗИТА НА ОСНОВЕ
ПОЛИЛАКТИДА
СОВА Н.В., СЛЕПЦОВ О.О., ФЕДОРОВ Т.Р., МАРТИНЕНКО А.О., КУДЛАЙ М.Р.,
ИСКАНДАРОВ Р.Ш.**

Киевский национальный университет технологий и дизайна

Цель. Исследовать влияние параметров аддитивного формирования на свойства антистатической композиции на основе полилактида (ПЛА).

Методика. Поверхностное и объемное электрическое сопротивление определяли по ASTM D257.

Результаты. Исследовано влияние параметров аддитивного формирования на электрические свойства графитонаполненного композита на основе полилактида. Выявлено, что удельное сопротивление существенно зависит от условий печати, а именно температуры, скорости, толщины слоя. Повышение температуры печати способствует снижению удельного сопротивления образца. Снижение толщины слоя полимера также позволяет снизить удельное сопротивление при скорости печати в пределах 3000 мм/мин. Выявлено, что удельные электрические характеристики существенно отличные на плоскости образца, подвергнутого контакта с платформой для печати. Концентрический способ укладки слоев расплава полимера менее эффективный с точки зрения удельного сопротивления, чем взаимно. Выявлено, что удельное электрическое сопротивление образцов изготовленных из материала для 3д печати, который предварительно подвергался сушке ниже, чем сопротивление образца изготовленного из несущего материала. Программируемое изменение параметров 3D печати позволяет целенаправленно регулировать удельное сопротивление графитонаполненного композита на основе полилактида в диапазоне трех порядков и получать

изделия, обладающие свойствами от антистатиков к статически диссипативным материалам. Аддитивное производство позволяет получать изделия нужной конфигурации с регулируемыми электрическими свойствами.

Научная новизна. Исследованы особенности изменения антистатических свойств полимерного композита в зависимости от условий аддитивного формирования опытных образцов. В зависимости от применяемых параметров аддитивного формирования можно получать изделия со свойствами от антистатиков к статически диссипативных материалов.

Практическая значимость. Отработаны технологические режимы аддитивного формирования изделий из композита на основе полилактида и графита. Оценены энергозатраты на аддитивное формования изделий различной массы.

Ключевые слова: ПЛА, антистатическая композиция, аддитивное формования, энергозатраты, графит.

**INFLUENCE OF ADDITIVE FORMING PARAMETERS ON ELECTRICAL PROPERTIES OF GRAPHITE-FILLED COMPOSITE BASED ON POLYLACTIDE
SOVA N.V., SLIEPTSOV A.A., FEDORIV T.R., MARTINENKO A.O., KUDLAY M.R.,
ISKANDAROV R. Sh.**

Kyiv National University of Technologies and Design

Purpose. Investigate the effect of additive formation parameters on the properties of an antistatic composition based on polylactide (PLA).

Methodology. Surface and bulk electrical resistance were determined by ASTM D257

Findings. The influence of additive formation parameters on the electrical properties of graphite-filled composite based on polylactide has been studied. It was found that the value of resistivity significantly depends on the printing conditions, namely the temperature, speed, thickness of the layer. Increasing the printing temperature helps to reduce the resistivity of the sample. Reducing the thickness of the polymer layer also reduces the resistivity at a print speed within 3000 mm / min. It was found that the specific electrical characteristics are significantly different in the plane of the sample in contact with the printing platform. Concentric method of laying layers of polymer melt is less effective in terms of resistivity than mutually perpendicular. It was found that the electrical resistivity of samples made of material for 3D printing, which was previously subjected to drying below the resistance of the sample made of undried material. The programmed change of 3D printing parameters allows to control the specific resistance of graphite-filled composite based on polylactide in the range of three orders and to obtain products with properties from antistatic to statically dissipative materials. Additive production allows to obtain products of the desired configuration with adjustable electrical properties.

Originality. The peculiarities of the change of antistatic properties of the polymer composite depending on the conditions of additive formation of experimental samples are investigated. Depending on the applied parameters of additive molding, it is possible to obtain products with properties from antistatic to statically dissipative materials.

Practical value. Technological modes of additive molding of composite products based on polylactide and graphite have been developed. Energy consumption for additive formation of products of different mass is estimated.

Key words: PLA, antistatic composition, additive formation, energy consumption, graphite.

УДК 692+678.71

НОВАК Д. С.¹, БЕРЕЗНЕНКО Н. М.², СЕРЕДЕНКО А. А.¹,
ПІЩУЛІН О. Г.¹

¹ Київський національний університет технологій та дизайну

² Державний науково-дослідний інститут МВС України

**ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ВМІСТУ ПІСКУ ТА
МОДИФІКУЮЧИХ ДОБАВОК НА ВЛАСТИВОСТІ
ПОЛІМЕРБЕТОННИХ КОМПОЗИЦІЙ**

Мета. Встановлення впливу вмісту піску та модифікуючих добавок на твердість, межу міцності при стисканні та ударну в'язкість полімербетонних композицій.

Методика. Дослідженню підлягали полімербетонні композиції у вигляді круглих млинців, паличок та брусків на основі поліефірної смоли марки CHROMOPLAST GP 2000, затверджувача (органічний пероксид для холодного затвердіння) марки Luperox K1, стеарату кобальту (кобальтова сіль стеаринової кислоти), стиролу та річкового піску. Зразки полімербетонних композитів отримували у дві стадії: 1) перемішування смоли з піском; 2) додавання затверджувача, стиролу та стеарату кобальту. Для одержання затверділої поліефірної композиції використовували металеві форми з відігнутими бортами; керамічні човники (не емальовані); металеві форми висотою 2 см. Приготування композиції проводили в наступній послідовності: спершу змішували смолу з піском, потім додавали затверджувач, стеарат кобальту та стирол. Також мала місце наступна послідовність приготування композиції: спершу змішували смолу і затверджувач, лише потім додавали пісок, змішаний зі стиролом та стеаратом кобальту. Форми завантажували у термошафу і нагрівали до температури 100 °С протягом 30-40 хв. Після охолодження у формі вироби виймали. Твердість, межу міцності при стисканні та ударну в'язкість розроблених композицій досліджували за стандартними методиками.

Результати. Встановлено, що збільшення вмісту піску від 0 до 90 % мас. в полімербетонній композиції призводить до збільшення показника твердості на ~ 466 %, а також зменшення межі міцності при стисканні на ~ 62 % та ударної в'язкості на ~ 50 %.

Наукова новизна. Встановлено збільшення показника твердості і зменшення межі міцності при стисканні та ударної в'язкості полімербетонних композицій при підвищенні вмісту піску до 90 % мас. Це пояснюється тим, що пісок має вищу твердість, ніж поліефірна смола, і відповідно збільшення його вмісту призводить до підвищення твердості композиції. Зниження межі міцності при стисканні та ударної в'язкості обумовлено зменшенням кількості зв'язуючого, за рахунок чого композиція стає більш крихкою.

Практична значимість. Розроблені полімербетонні композиції можуть бути використані в будівництві, а також для ремонту пошкоджених бетонних поверхонь і усунення тріщин.

Ключові слова. полімербетон, затверджувач, стеарат кобальту, стирол, пісок.

Вступ. Полімерні матеріали у всьому світі знайшли своє широке застосування, зокрема в будівництві. Одним із таких матеріалів є полімербетон, який набув достатньо широкого використання. Полімербетон – достатньо новий матеріал, що представляє собою композицію з натуральних матеріалів, поліефірних смол, гелікоутів та допоміжних матеріалів. Вироби із полімербетону відрізняються естетичним зовнішнім виглядом, щільною і рівною поверхнею, хімічною і атмосферною стійкістю, низькою теплопровідністю і довговічністю. З нього достатньо легко створюються вироби зі складною геометрією, а їхнє виробництво не потребує використання складного та дорогого обладнання. Суттєвий недолік такого виробництва полягає у виділенні нетоксичних газоподібних продуктів, через що цех має бути віддалений, як мінімум, на 100 м від житлових будівель [1-3].

На сьогоднішній день полімербетон набув широкого використання у промисловості. У багатьох галузях він є зручною заміною традиційному бетону. Порівняно з натуральним матеріалом, полімербетон має ряд переваг, таких як: покращені у порівнянні з традиційним бетоном механічні характеристики, підвищена хімічна і атмосферостійкість, низьке водопоглинання.

При розробці дизайну майбутнього виробу необхідно обов'язково враховувати: властивості матеріалу, обмеження, пов'язані з складом матеріалу і технологічним процесом виготовлення майбутнього виробу [3, 4].

На сьогоднішній день в США та Європейських країнах для виготовлення полімербетонів застосовують близько 10 різних типів мономерів і олігомерів, полімери, які в комбінаціях з модифікуючими добавками дозволяють отримати більше 30 різновидів полімербетонів. Однак найбільша перевага як і раніше надається полімербетонам на основі поліефірних та епоксидних смол і мономера метилметакрилату [4, 5].

В порівнянні з цементними бетонами полімербетони мають більшу міцність при розтягуванні, меншу крихкість, кращу здатність до деформацій. У них більш низька водонепроникність, кращі морозостійкість, опір стиранню, стійкість до дії агресивних рідин та газів.

Із полімербетону виготовляють підлоги в промислових будівлях, гаражах, лікарнях. Їх застосовують для отримання високоякісних шляхопроводів і аеродромних покриттів, ремонту пошкоджених бетонних поверхонь, усунення тріщин. Полімербетон з дрібним наповнювачем використовують як гідроізолюючі і захисні покриття, оздоблювальний і декоративно-облицювальний матеріали, мастики. Із полімербетону з легким наповнювачем отримують теплоізолюючі плити. Полімербетон використовують також для виготовлення неармованих тонкостінних виробів і різноманітних будівельних конструкцій. Полімербетон також знаходить своє застосування в підземних конструкціях і спорудах, зокрема, при виготовленні елементів шахтного кріплення, каналізаційних колекторів та ін. [5-9].

Нинішні тенденції ринку свідчать про те, що найближчим часом буде зростати попит у будівельній галузі України на матеріали, які являють собою поєднання полімерних матеріалів з додаванням в них наповнювачів. Тому вивчення питання залежності фізико-механічних властивостей полімер бетонної композиції від вмісту піску є актуальним.

Постановка завдання. Мета роботи – встановлення впливу вмісту піску та модифікуючих добавок на твердість, межу міцності при стисканні та ударну в'язкість полімербетонних композицій. Для досягнення цієї мети необхідно було визначити залежності твердості за Роквелом, межі міцності при стисканні та ударної в'язкості полімербетонних композицій на основі поліефірної смоли від вмісту піску та модифікуючих добавок.

Результати досліджень. Матриці для полімербетонів можуть бути виготовлені з різних матеріалів. При виборі конструкції матриць необхідно дотримуватись вимоги, що матриця не повинна втрачати або змінювати своєї форми під впливом реактивного тепла, яке виділяється при затвердінні. Традиційно використовують матеріали, з яких роблять матриці для виробів з полімербетону і штучного мармуру: ненасичені поліефірні смоли, армовані скловолокном; епоксиди; сталь; алюміній (для плоских, нескладних деталей); дерево (ламінати високого тиску); полімербетон з гелікоатом; силікон.

Виключно важливим є правильний вибір смоли, виходячи з передбачуваного виробу і його практичних функцій, крім того, важливим є і вибір устаткування, яке планується використовувати в технологічному процесі. Якщо до виробу, який планується виготовити не висуваються особливі вимоги, зокрема підвищені показники тепло- та хемостійкості, рекомендовано застосовувати марки смол, які мінімізують прояви внутрішнього напруження, усадки, тріщин і т. д. В даному випадку використовували смолу марки CHROMOPLAST GP 2000.

При виборі наповнювача для полімербетонної композиції основними чинниками, які треба брати до уваги, є ціна, розмір зерна, здатність створювати хорошу композицію із смолою. Для одержання монолітних виробів, які не містять у своїй структурі порожнин, необхідно досягти основної мети – це створення композиції, яка містить оптимальну кількість наповнювача, при цьому наповнювач повинен забезпечувати високу концентрацію зерен в розчині.

В роботі об'єктами досліджень є полімербетонні композиції у вигляді круглих млинців, паличок та брусків на основі поліефірної смоли марки CHROMOPLAST GP 2000, затверджувача (органічний пероксид для холодного затвердіння) марки Luperox K1, стеарату кобальту (кобальтова сіль стеаринової кислоти), стиролу та річкового піску. Рецептурний склад досліджуваних композицій наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Рецептурний склад полімербетонних композицій

№ композиції	Склад композиції
1	Пісок – 50 %, 60 %, 70 %, 80 %, 90 %; Поліефірна смола (відповідно) – 50 %, 40 %, 30 %, 20 %, 10 %; Затверджувач – 1 % (від об'єму смоли).
2	Пісок – 50 %, 60 %, 70 %, 80 %, 90 %; Поліефірна смола (відповідно) – 50 %, 40 %, 30 %, 20 %, 10 %; Затверджувач – 1 % (від об'єму смоли); Стеарат кобальту – 1 % (від маси композиції) Стирол – 2 % (від маси композиції)
3	Пісок – 50 %, 60 %, 70 %, 80 %, 90 %; Поліефірна смола (відповідно) – 50 %, 40 %, 30 %, 20 %, 10 %; Затверджувач – 1 % (від об'єму смоли); Стеарат кобальту – 2 % (від маси композиції) Стирол – 5 % (від маси композиції)

Підготовка матриці є першим етапом у виготовленні виробів з полімербетону і штучного мармуру. Для підготовки форми до роботи повинні застосовуватися тільки матеріали, спеціально для цього призначені. При підготовці матриць у поганому стані (наприклад, дуже старих або тих, які довго не застосовувались, забруднених, з подряпинами і т. д.) слід з обережністю використовувати абразивний наждачний папір для шліфування залишків застиглої смоли або гелькоату, а потім грубу поліроль для проміжної поліровки, пізніше для надання блиску слід використовувати полірувальну рідину (фінішну поліроль) і, нарешті, розділові матеріали (спочатку воскові, а потім полівініловий спирт і після цього роздільники багаторазової дії). Слід пам'ятати, що застосування абразивного паперу (бажано

вологостійкого) для очищення повинно здійснюватися у край обережно і лише в тих випадках, коли цього не уникнути.

При підготовці нової матриці можна одразу використовувати фінішну поліроль. Після нанесення воску і поліровки необхідно обклеїти краї форми спеціальною захисною липкою стрічкою (малярний скотч). Обклеювання слід проводити у край обережно і наносити тільки на неробочі поверхні. Іноді досить одного шару (прості форми або гелькоат наноситься один раз), але в деяких випадках (закриті або збірні форми) допускається два або три шари (наприклад, при великому проміжку між половинками матриці). Після лиття (коли процес заливки закінчений) стрічка відділяється дуже легко. При обклеюванні декількома шарами, верхній шар слід видалити відразу після нанесення гелькоату.

Для одержання затверділої поліефірної композиції використовували наступні форми:

- 1) металеві форми з відігнутими бортами;
- 2) керамічні човники (не емальовані) довжиною 8 см, об'ємом 15 мл;
- 3) металеві форми висотою 2 см, довжиною 14 см, шириною 3,5 см.

Приготування композиції йшло в наступній послідовності: спершу змішували смолу з піском, потім додавали затверджувач, стеарат кобальту та стирол. Також мала місце наступна послідовність приготування композиції: спершу змішували смолу і затверджувач, лише потім додавали пісок, змішаний зі стиролом та стеаратом кобальту.

Форми завантажували у термошафу і нагрівали до температури 100 °C протягом 30-40 хв. Після охолодження у формі вироби виймали у вигляді круглих млинців, паличок та брусків (відповідно до вищевказаної послідовності форм, що використовувалися).

Органоліптичним методом оцінювалося, чи є випаровування стиролу. Також варто зазначити, що властивості композиції не змінюються від довшої витримки в термошафі.

Дослідження твердості по Роквеллу проведено на приладі марки ТК-2, межі міцності при стисканні – на гідравлічному пресі, ударної в'язкості – на маятниковому копрі за стандартними методиками.

З усіх видів механічних випробувань полімерних матеріалів визначення твердості проводиться найчастіше. Це пояснюється простотою, швидкістю, точністю і зручністю випробувань, а також тим, що визначення твердості не пов'язане з руйнуванням виробу, який після випробування надходить в експлуатацію. Твердість характеризує опір матеріалу до проникнення в нього стороннього, більш твердого тіла (індентора). Найбільшого поширення набули наступні методи визначення твердості вдавненням індентора: Бринелля, Роквелла, Віккенса. В даній роботі доцільно використовувати визначення твердості по Роквеллу.

Твердість по Роквеллу визначають на стаціонарному приладі ТК-2 шляхом вдавнення в зразок індентора (сталевий кульки діаметром 1,588 мм чи алмазного конуса з кутом при вершині 120°) під дією двох навантажень – попереднього $P_0 = 10\text{кгс}$ (100 Н) і основного. Щоб наявні в підйомній системі приладу зазори не вплинули на отриманий результат, твердість визначають після зняття основного навантаження. Отримані залежності твердості по Роквеллу для полімербетонних композицій на основі поліефірної смоли від вмісту піску та модифікуючих добавок наведені на рис. 1.

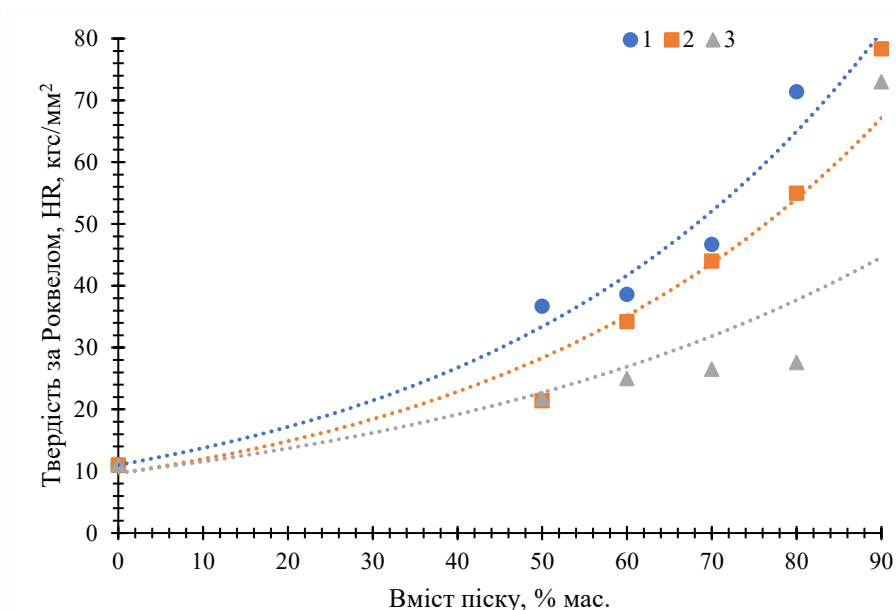


Рис. 1. Залежності твердості по Роквеллу від вмісту піску для полімербетонних композицій № 1, 2, 3 (див. табл. 1)

З наведених на рис. 1 залежностей випливає, що значення твердості по Роквеллу зростає зі збільшенням вмісту піску в композиції. Найбільше зростання спостерігається для композиції № 1 і становить 650 %, а найменше для № 3 і становить 250 %. Це пояснюється тим, що пісок має вищу твердість, ніж поліефірна смола, і відповідно збільшення його вмісту призводить до підвищення твердості композиції. Не зважаючи на те, що зразки з вмістом піску більше 80 % мас. характеризуються вищими значеннями твердості, при проведенні випробувань вони руйнуються, це відбувається за рахунок недостатньої змочуваності піску поліефірною смолою [10].

Міцністю називають здатність матеріалу опиратися внутрішнім напруженням. Такі напруження виникають під межею міцності і визначаються максимальним напруженням, яке виникає в матеріалі перед його руйнуванням. Межа міцності визначається дослідями на зразках встановлених розмірів і форми.

Якщо розглядати показник міцності матеріалів пористих і монолітних, то для монолітних матеріалів одного і того ж складу міцність залежить від щільності, а для пористих матеріалів – від складу і від вологості. Для визначення значення межі міцності матеріалу слід робити виміри не менше, ніж трьох зразків. Для розрахунку остаточного результату (визначення середнього арифметичного) відбирають тільки ті показники, які відрізняються між собою не більше 15% [9]. При випробуваннях використовують гідравлічний преси з максимальним зусиллям 5 т. Залежності межі міцності при стисканні для отриманих композицій наведені на рис. 2.

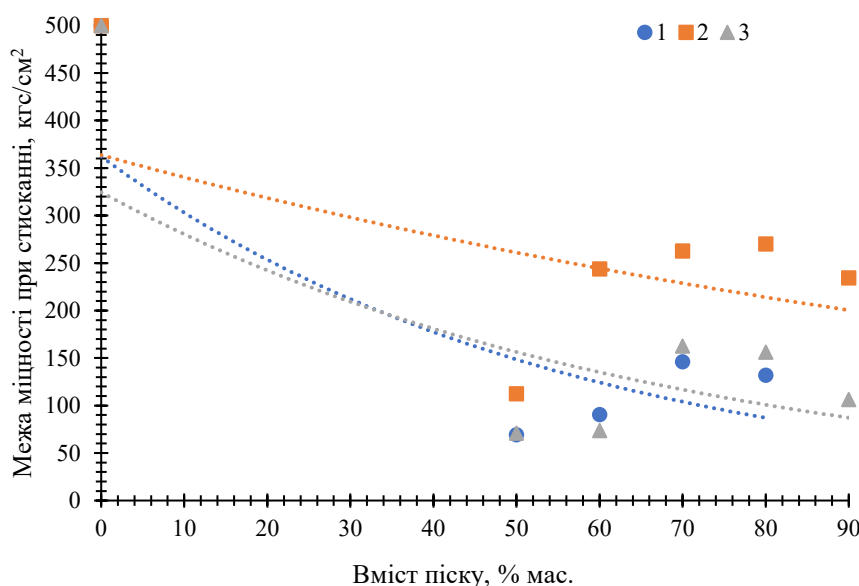


Рис. 2. Залежності межі міцності при стисненні від вмісту піску для полімербетонних композицій № 1, 2, 3 (див. табл. 1)

З наведених на рис. 2 залежностей випливає, що значення межі міцності при стисненні знижується при збільшенні вмісту піску до 90 % мас. При цьому найбільше зниження має місце для композиції № 1 і становить 73 %, а найменше для композиції № 2 і становить 46 %.

Ударна в'язкість матеріалу демонструє здатність до поглинання механічної енергії в процесі деформації та руйнування під дією ударного навантаження. Зазвичай ударна в'язкість оцінюється роботою, яка виконана до моменту руйнування зразка з надрізом при ударному згині, яка поділена на площу його перерізу в місці надрізу.

Ударна в'язкість вважається умовною характеристикою, яка в значній мірі залежить від геометричних розмірів зразка, його форми і стану поверхні надрізу, а також не дає можливості здійснити розрахунки на міцність. Практичне значення ударної в'язкості досить важливе. Температурна залежність ударної в'язкості оцінює схильність матеріалу до крихкого руйнування (ламкості). У більшості матеріалів при низьких температурах із зниженням ударної в'язкості крихкість зростає. Для таких матеріалів можна визначити критичну температуру крихкості, яка показує температуру, при якій спостерігається стрімке зменшення ударної в'язкості. Ці випробування проводяться при поступовому зниженню температури. Показник критичної температури крихкості для різних матеріалів різний. Нижче цієї температури матеріал стає непридатним для роботи при впливі динамічних навантажень.

Найчастіше проводять випробування зразків, які мають поперечний перетин у формі прямокутника, що має надріз посередині. Наявність надрізу сприяє крихкому руйнуванню матеріалу та викликає злам зразка навіть для пластичного матеріалу. Крім того, руйнуванню надрізаного зразка сприяє концентрація напружень. Залежності ударної в'язкості для отриманих композицій наведені на рис. 3.

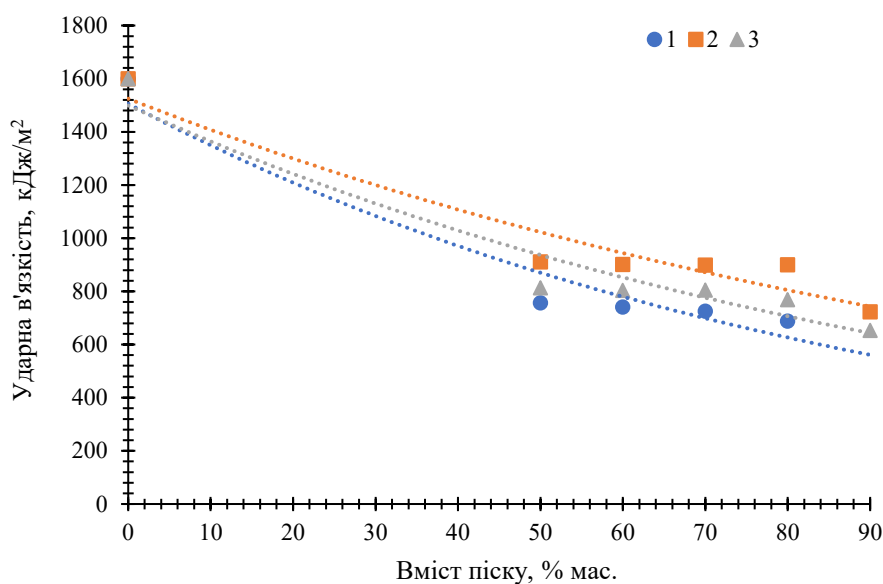


Рис. 3. Залежності ударної в'язкості від вмісту піску для полімербетонних композицій № 1, 2, 3 (див. табл. 1)

З наведених на рис. 3 залежностей випливає, що значення ударної в'язкості знижується при збільшенні вмісту піску до 90 % мас. При цьому найбільше зниження має місце для композиції № 1 і становить 57 %, а найменше для композиції № 2 і становить 43 %.

Висновки. Встановлено збільшення показника твердості і зменшення межі міцності при стисканні та ударної в'язкості полімербетонних композицій, які складаються з піску та модифікуючих добавок, якими є затверджувач, стеарат кобальту та стирол при підвищенні вмісту піску до 90 % мас. Це пояснюється тим, що пісок має вищу твердість, ніж поліефірна смола, і відповідно збільшення його вмісту призводить до підвищення твердості композиції. Зниження межі міцності при стисканні та ударної в'язкості обумовлено зменшенням кількості зв'язуючого, за рахунок чого композиція стає більш крихкою.

Література

1. Fowler DW, Whitney DP. Long-term performance of polymer concrete for bridge decks. Transportation Research Board; 2011.
2. Bedi R, Chandra R, Singh SP. Mechanical properties of polymer concrete. Journal of Composites. 2013;2013.
3. Haddad H, Al Kobaisi M. Optimization of the polymer concrete used for manufacturing bases for precision tool machines. Composites Part B: Engineering. 2012 Dec 1;43(8):3061-8.
4. Ali A, Ansari AA. Polymer Concrete as Innovative Material for Development of Sustainable Architecture. In2nd International Conference on Emerging Trends in Engineering & Technology 2013 Apr 12.
5. Fowler DW. Polymers in concrete: a vision for the 21st century. Cement and concrete composites. 1999 Dec 1;21(5-6):449-52.
6. Gao Y, Zhang H, Huang M, Lai F. Unsaturated

References

1. Fowler DW, Whitney DP. Long-term performance of polymer concrete for bridge decks. Transportation Research Board; 2011.
2. Bedi R, Chandra R, Singh SP. Mechanical properties of polymer concrete. Journal of Composites. 2013;2013.
3. Haddad H, Al Kobaisi M. Optimization of the polymer concrete used for manufacturing bases for precision tool machines. Composites Part B: Engineering. 2012 Dec 1;43(8):3061-8.
4. Ali A, Ansari AA. Polymer Concrete as Innovative Material for Development of Sustainable Architecture. In2nd International Conference on Emerging Trends in Engineering & Technology 2013 Apr 12.
5. Fowler DW. Polymers in concrete: a vision for the 21st century. Cement and concrete composites. 1999 Dec 1;21(5-6):449-52.
6. Gao Y, Zhang H, Huang M, Lai F. Unsaturated polyester resin concrete: A review. Construction and

- polyester resin concrete: A review. Construction and Building Materials. 2019 Dec 20;228:116709.
7. Sprinkel MM. Polymer concrete bridge overlays. Transportation Research Record. 1993;1392:107.
8. Barbuta M, Harja M. Properties of fiber reinforced polymer concrete. Buletinul Institutului Politehnic din Iasi. Sectia Constructii, Arhitectura. 2008 Jul 1;54(3):13.
9. Грещук С.В. Застосування полімерних матеріалів для виготовлення комунікаційних труб / Грещук С.В., Струк Н.Р., Березненко Н.М., Новак Д.С. –Електронний науковий журнал «Технології та дизайн», 2018. – № 4 Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/td_2018_4_21
10. Sultana R, Akter R, Alam MZ, Qadir MR, Begum MA, Gafur MA. Preparation and characterization of sand reinforced polyester composites. International Journal of Engineering & Technology IJET-IJENS. 2013;13(2):111-8.
- Building Materials. 2019 Dec 20;228:116709.
7. Sprinkel MM. Polymer concrete bridge overlays. Transportation Research Record. 1993;1392:107.
8. Barbuta M, Harja M. Properties of fiber reinforced polymer concrete. Buletinul Institutului Politehnic din Iasi. Sectia Constructii, Arhitectura. 2008 Jul 1;54(3):13.
9. Hreshchuk, S.V., Struk, N.R., Berezenko, N.M. & Novak, D.S. (2018). Zastosuvannia polimernykh materialiv dlia vyhotovlennia komunikatsiinykh trub [Application of polymer materials for manufacture of communication pipes]. Elektronnyi naukovi zhurnal «Tekhnolohii ta dyzain». Retrieved from: http://nbuv.gov.ua/UJRN/td_2018_4_21 [in Ukrainian].
10. Sultana R, Akter R, Alam MZ, Qadir MR, Begum MA, Gafur MA. Preparation and characterization of sand reinforced polyester composites. International Journal of Engineering & Technology IJET-IJENS. 2013;13(2):111-8.

NOVAK DMITRIY

Scopus Author ID: 57191836492;
ORCID:<http://orcid.org/0000-0002-1796-8857>;
Researcher ID: S-6598-2016;
novak.knutd@gmail.com;
Department of Applied Ecology, Technology of
Polymers
and Chemical Fiber,
Kyiv National University of Technologies and
Design

BEREZHENKO NATALIA

Scopus Author ID: 57192185076;
ORCID:<http://orcid.org/0000-0003-4589-3829>;
Researcher ID: 57192185076;
nmberezenko@gmail.com;
Second Department of Research Laboratory of
Forensic and Special Equipment,
State Research Institute of the Ministry of
Internal Affairs of Ukraine

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ПЕСКА И МОДИФИЦИРУЮЩИХ ДОБАВОК НА СВОЙСТВА ПОЛИМЕРБЕТОННЫХ КОМПОЗИЦИЙ
НОВАК Д. С.¹, БЕРЕЗНЕНКО Н. М.², СЕРЕДЕНКО А. А.¹, ПИЩУЛИН О. Г.¹**

¹Киевский национальный университет технологий и дизайна

²Государственный научно-исследовательский институт МВД Украины

Цель. Установление влияния содержания песка и модифицирующих добавок на твердость, предел прочности при сжатии и ударную вязкость полимербетонных композиций.

Методика. Исследованию подлежали полимербетонные композиции в виде круглых блинов, палочек и брусков на основе полиэфирной смолы марки CHROMOPLAST GP 2000, отвердителя (органический пероксид для холодного отверждения) марки Luperox KI, стеарата кобальта (кобальтовая соль стеариновой кислоты), стирола и речного песка. Образцы полимербетонных композитов получали в две стадии: 1) перемешивания смолы с песком 2) добавление отвердителя, стирола и стеарата кобальта. Для получения затвердевшей полиэфирной композиции использовали металлические формы с отогнутыми бортами; керамические лодочки (не эмалированные) металлические формы высотой 2 см. Приготовление композиции проводили в следующей последовательности: сначала смешивали смолу с песком, затем добавляли отвердитель, стеарат кобальта и стирол. Также имела место следующая последовательность приготовления композиции: сначала смешивали смолу и отвердитель, только потом добавляли песок, смешанный со стиролом и стеаратом кобальта. Формы загружали в термошкаф и нагревали до температуры 100 °С в

течение 30-40 мин. После охлаждения в форме изделия вынимали. Твердость, предел прочности при сжатии и ударную вязкость разработанных композиций исследовали по стандартным методикам.

Результаты. Установлено, что увеличение содержания песка от 0 до 90% масс. в полимербетонных композициях приводит к увеличению показателя твердости на ~ 466%, а также уменьшению предела прочности при сжатии на ~ 62% и ударной вязкости на ~ 50%.

Научная новизна. Установлено увеличение показателя твердости и уменьшение предела прочности при сжатии и ударной вязкости полимербетонных композиций при повышении содержания песка до 90 % масс. Это объясняется тем, что песок имеет высокую твердость, чем полиэфирная смола, и соответственно увеличение его содержания приводит к повышению твердости композиции. Снижение предела прочности при сжатии и ударной вязкости обусловлено уменьшением количества связующего, за счет чего композиция становится более хрупкой.

Практическая значимость. Разработанные полимербетонные композиции могут быть использованы в строительстве, а также для ремонта поврежденных бетонных поверхностей и устранения трещин.

Ключевые слова: полимербетон, отвердитель, стеарат кобальта, стирол, песок.

RESEARCH OF THE INFLUENCE OF THE CONTENT OF SAND AND MODIFIING ADDITIVES ON THE PROPERTIES OF POLYMER CONCRETE COMPOSITIONS NOVAK D.¹, BEREZHENKO N.², SEREDENKO A.¹, PISCHULIN O.¹

¹ Kyiv National University of Technologies and Design

² State Research Institute of the Ministry of Internal Affairs of Ukraine

Purpose. Establishment of the influence of the content of sand and modifying additives on the hardness, compressive strength, and impact strength of polymer concrete compositions.

Methodology. Polymer concrete compositions in the form of round pancakes, sticks and bars based on polyester resin of the CHROMOPLAST GP 2000 brand, hardener (organic peroxide for cold curing) of the Luperox K1 brand, cobalt stearate (cobalt salt of stearic acid), styrene and river sand were subject of investigation. Samples of polymer concrete composites were obtained in two stages: 1) mixing the resin with sand 2) the addition of hardener, styrene and cobalt stearate. To obtain a hardened polyester composition, metal forms with bent sides were used; ceramic boats (not enameled) metal molds 2 cm high. Preparation of the composition was carried out in the following sequence: first, resin was mixed with sand, then hardener, cobalt stearate and styrene were added. The following sequence of preparation of the composition also took place: first the resin and hardener were mixed, only then sand mixed with styrene and cobalt stearate was added. The forms were loaded into a heating cabinet and heated to a temperature of 100 °C for 30-40 minutes. After cooling in the form of the product was removed. The hardness, compressive strength and toughness of the developed compositions were investigated by standard methods.

Results. It was found that an increase in sand content from 0 to 90% of the mass. in polymer concrete compositions leads to an increase in hardness by ~ 466%, as well as a decrease in compressive strength by ~ 62% and impact strength by ~ 50%.

Scientific novelty. An increase in the hardness index and a decrease in the compressive strength and toughness of polymer concrete compositions with an increase in the sand content to 90 % of the mass was established. This is because the sand has a higher hardness than the polyester resin, and accordingly, an increase in its content leads to an increase in the hardness of the composition. The decrease in compressive strength and toughness is due to a decrease in the amount of binder, due to which the composition becomes more fragile.

Practical value. The developed polymer concrete compositions can be used in construction, as well as for repairing damaged concrete surfaces and eliminating cracks.

Keywords: polymer concrete, hardener, cobalt stearate, styrene, sand.