

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ВІСНИК

**КИЇВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ**

№ 6 (152), 2020

Частина 2 (серія «Технічні науки»)

DOI:10.30857/1813-6796.2020.6

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)

№ 6 (152), 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 № 5 від 17.12.2020 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 6 (152), 2020 Part 2.
Technical Science Series**

DOI:10.30857/1813-6796.2020.6

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)

№ 6 (152), 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@knutd.edu.ua

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

Recommendations from Science Council of Kyiv National University of Technologies and Design, Protocol № 5, originating date 17.12.2020.

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. **Грудкіна Н. С., Кузнецов М. М., Пашинський В. В.**
Удосконалення проектування технологічного процесу точного
об'ємного штампування видавлюванням на основі розвитку 9
енергетичного методу балансу потужностей

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО ІНДУСТРІЇ МОДИ, ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ТЕКСТИЛЮ, ОДЯГУ ТА ВЗУТТЯ

2. **Арабулі С. І., Арабулі А. Т., Труба В. С., Левицька Д. Р.**
Дослідження екрануючих властивостей текстильних матеріалів щодо 19
дії ультрафіолетового випромінювання
3. **Борщевська Н. М., Первая Н. В.**
Визначення впливу лазерного гравірування на гігієнічні властивості 29
натуральних шкір для верху взуття та шкіргалантерейних виробів
4. **Єліна Т. В., Галавська Л. Є.**
Ергономічні показники трикотажу та їх зв'язок з геометричними 40
характеристиками

ХІМІЧНІ ТА БІОФАРМАЦЕВТИЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ

5. **Вахітова Л. М., Плаван В. П., Шологон В. І.,
Калафат К. В., Таран Н. А., Бессарабов В. І.** 55
Підвищення вогнезахисної ефективності інтумесцентних епоксидних
покриттів сполуками інтеркальованого графіту

УДК 621.777.4

¹ГРУДКІНА Н. С., ²КУЗНЕЦОВ М. М., ³ПАШИНСЬКИЙ В. В.

¹Донбаська державна машинобудівна академія, Україна

²Донбаська національна академія будівництва і архітектури, Україна

³ТОВ Науково-виробниче об'єднання "ДОНІКС", Україна

УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ТОЧНОГО ОБ'ЄМНОГО ШТАМПУВАННЯ ВИДАВЛЮВАННЯМ НА ОСНОВІ РОЗВИТКУ ЕНЕРГЕТИЧНОГО МЕТОДУ БАЛАНСУ ПОТУЖНОСТЕЙ

Мета. Удосконалення проектування технологій точного об'ємного штампування видавлюванням на основі розвитку енергетичного методу балансу потужностей. Вироблення рекомендацій щодо раціонального використання систематизованої бази кінематичних модулів складної конфігурації при побудові розрахункових схем оцінки силового режиму та формоутворення в процесах холодного видавлювання із подальшою програмною реалізацією.

Методика. Енергетичним методом балансу потужностей на основі методу кінематичних модулів систематизовано результати дослідження розширення можливостей застосування процесів холодного видавлювання із визначенням силового режиму деформування та особливостей формоутворення напівфабрикату при виготовленні порожнистих та стрижневих деталей з фланцем, типу гільз та стаканів.

Результати. Систематизовано розширену базу кінематичних модулів складної конфігурації із виробленням рекомендацій щодо їх раціонального використання при побудові розрахункових схем процесів, в тому числі з можливістю оперативного врахування зміни конфігурації інструменту. Це дозволило визначити фактори керування формоутворенням напівфабрикату у процесах суміщеного та послідовного комбінованого холодного видавлювання.

Наукова новизна. Підтверджено можливості енергетичного методу балансу потужностей як ефективного методу попереднього аналізу визначення області раціонального застосування холодного видавлювання в рамках проектування технологічного процесу отримання складнопрофільованих деталей.

Практична значимість. Розроблений програмний продукт з систематизації розширеної бази кінематичних модулів, комплексу розрахункових моделей процесів холодного видавлювання з оцінки силового режиму, прогнозування формоутворення та дефектоутворення у вигляді утягнення сприятиме більш активному впровадженню процесів комбінованого видавлювання на виробництві.

Ключові слова: енергетичний метод балансу потужностей; комбіноване видавлювання; кінематичний модуль; проектування технологічного процесу.

Вступ. Процеси точного об'ємного штампування (ТОШ) видавлюванням демонструють високу ефективність та широкий діапазон можливостей у порівнянні з іншими процесами формоутворення напівфабрикатів, що сприяє розширенню номенклатури і матеріалів деталей, які виготовляють на такий спосіб [1–8]. Перспективним напрямком розвитку ТОШ є всебічне дослідження та активне впровадження на виробництві процесів комбінованого видавлювання у роз'ємних матрицях, що дозволяє використовувати переваги поєднаних простих способів обробки та скоротити кількість та час операцій і отримати складнопрофільовані деталі більш точних розмірів і форми [1–3, 5–8]. Однак ці процеси на противагу переліченим перевагам мають і труднощі застосування, пов'язані з наявністю саморегульованого режиму формоутворення, що вимагає адекватної попередньої оцінки як силового режиму деформування, так (що найважливіше для процесів з декількома ступенями свободи течії) і формозміни напівфабрикату та можливого дефектоутворення [3, 4]. При цьому конструктивні особливості інструменту у вигляді фасок, заокруглень, крайок виступають факторами керування формоутворенням напівфабрикату, що значно розширює можливості

способів комбінованого суміщеного видавлювання, та вимагає забезпечення оперативності при аналізі за рахунок введення цих змін в розрахункові моделі на етапі проектування. Таку оперативність у врахування змін конфігурації інструменту, умов тертя та інших технологічних факторів на можливість прогнозування силового режиму, особливостей формоутворення та дефектоутворення забезпечує енергетичний метод балансу потужностей (ЕМБП) на основі використання модульного підходу, що значно спрощує етап проектування, пов'язаний з оцінкою раціональності використання процесів комбінованого видавлювання, особливо для виготовлення складнопрофільованих деталей [5, 9, 11–14].

Постановка завдання. На даний час використовують методики проектування технологічних процесів (ТП), що ґрунтуються на системному підході вирішення задач практичного характеру та на груповому методі організації виробництва деталей. Таким чином, головна мета проектування технології полягає в розробці оптимального за комплексом умов та характеристик процесу. При цьому наявність спрощених даних та співвідношень з визначення граничних навантажень на інструмент, величин запасу пластичності і ступенів формоутворення, технологічних факторів, що відповідають дефектоутворенню різного роду, обумовлюють можливості використання способів холодного комбінованого видавлювання.

Таким чином, розширення можливостей процесу проектування технологій ТОШ видавлюванням на основі розвитку модульного підходу при розрахунках енергетичним методом балансу потужностей є актуальною науково-практичною задачею.

Результати дослідження. Алгоритм розробки процесів виготовлення деталей ТОШ видавлюванням можна описати вдосконаленою схемою [10], що ґрунтується на відомих алгоритмах розробки технологій штампування (рис. 1). Система проектування ТП видавлюванням містить сім основних етапів, інформаційне забезпечення та комплекс розрахункових моделей, що забезпечують реалізацію цих етапів [5, 11–18] із обов'язковим урахуванням умов виробництва і рівня наявних базових технологій.

В рамках виконання першого етапу для аналізу області раціонального застосування технологічних способів комбінованого видавлювання необхідним є вироблення комплексу обмежень для обраних способів видавлювання, головні з яких пов'язані з ресурсом пластичності та можливістю появи дефектів різного роду. Основою такої бази обмежень можуть слугувати результати досліджень ЕМБП появи утягнень в процесах радіально-поздовжнього видавлювання. Також для процесів з декількома ступенями свободи течії необхідним є контроль відповідності затребуваних розмірів напівфабрикату. У разі відхилень потрібно аналізувати можливості керування течією металу введенням змін у конфігурацію формоутворювальних інструментів у вигляді крайок, фасок та заокруглень. Другий етап полягає у розробці таких альтернативних варіантів ТП з відповідною вихідною інформацією (перелік типових процесів видавлювання) та бази основних характеристик обладнання і штампованих матеріалів. Третій етап полягає у виробленні системи критеріїв оцінки ефективності альтернативних процесів із відповідною вихідною інформацією, яка складається із системи показників ефективності обраної технології та містить принципи реалізації процесів ТОШ видавлюванням і базу методів прийняття рішень.

Четвертий етап процесу проектування представляє собою реалізацію вибору ефективного варіанту ТП із використанням встановлених критеріїв оцінки із його подальшою розробкою на п'ятому етапі. Реалізація розроблених розрахункових моделей процесів холодного видавлювання представлена у вигляді програмного модуля та використовується в якості модулів проектних систем в Донбаській державній машинобудівній академії (ДДМА) і на виробництві із апробацією запропонованих способів з використанням відповідного штампового оснащення. Шостим етапом є детальна розробка технологічного оснащення на основі класифікатора та сучасних комп'ютерних систем проектування штампів та змінних інструментів, відповідна нормативна та методична документація. Останній етап - це дослідно-

промислове відпрацювання визначеної технології із обов'язковим випробуванням штампового оснащення і деформуючого інструменту.

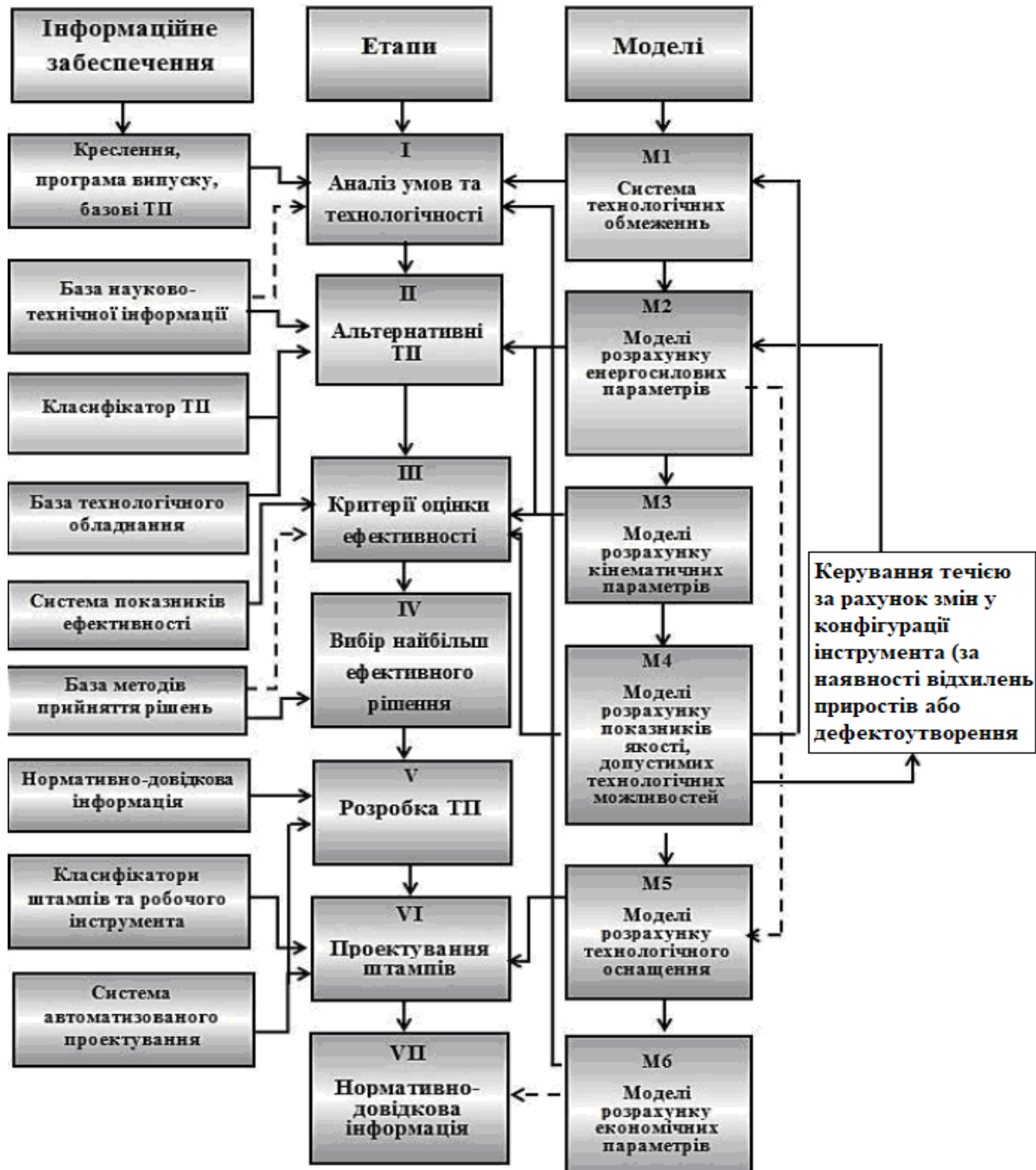


Рис. 1. Алгоритм розробки процесів точного об'ємного штампування видавлюванням

Реалізація другого етапу проектування процесів комбінованого видавлювання, в тому числі з декількома ступенями свободи течії, ґрунтується на запропонованій класифікації уніфікованих кінематичних модулів (елементів), в тому числі складної форми (трикутної або трапецеїдальної та їх комплексами) з різним орієнтуванням за швидкостями входу та виходу і формою (лінійною або нелінійною) похилих меж [5, 10]. Виокремлення їх властивостей, узагальнення кінематично можливого поля швидкостей (КМПШ) в рамках використання

методу кінематичних модулів (МКМ), дозволило виробити рекомендації із доцільності їх застосування в порівнянні із найуживанішими прямокутними кінематичними модулями із урахуванням конфігурації суміжних кінематичних модулів та особливостей вбудовуваності для різних осередків деформації при побудові розрахункових схем [5, 11–18] (рис. 2).

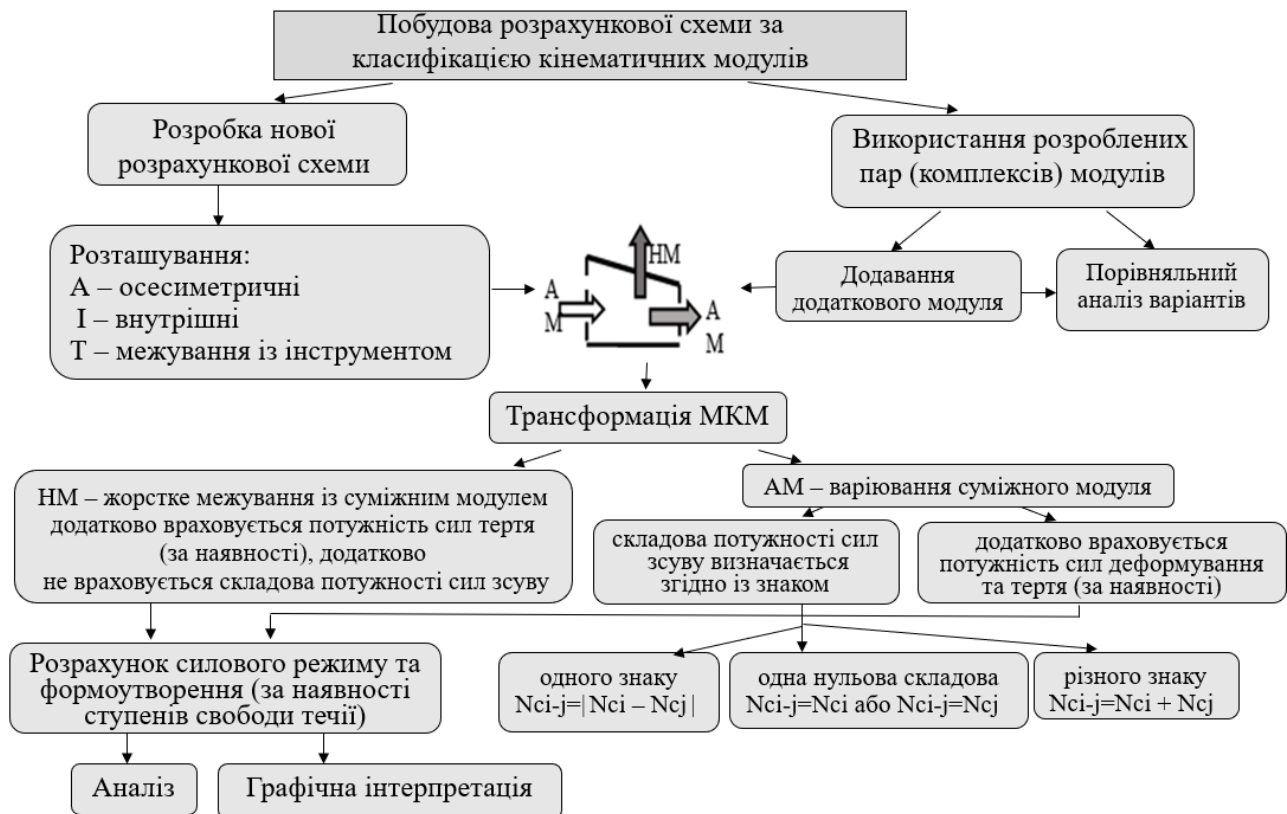
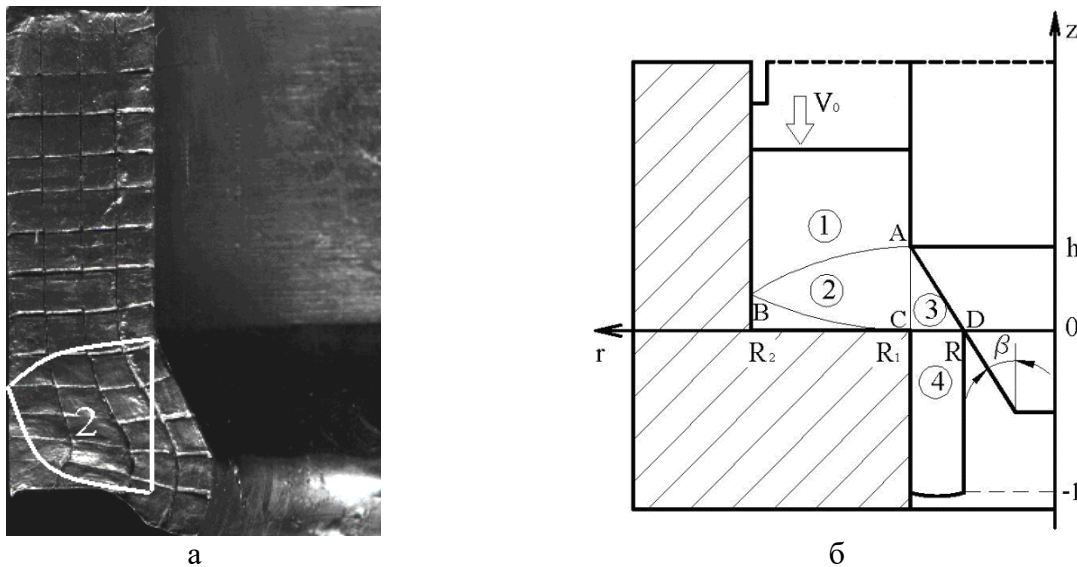


Рис. 2. Рекомендації з використання кінематичних модулів та методу кінематичних модулів в рамках проектування процесів ТОШ видавлюванням

Алгоритм побудови нової розрахункової схеми на основі відомих її складових частин (наприклад, видозмінення за рахунок добудови у вигляді кінематичного модуля, що описує фаску або заокруглення) полягає у з'єднання із суміжним кінематичним модулем із урахуванням складових потужностей сил зсуву (відповідних приведених тисків деформування) із обов'язковим урахуванням їх знаків (рис. 2). При цьому розробка нових розрахункових схем повинна ґрунтуватися на експериментально виявлених формах осередків пластичної деформації, побудова комплексу модулів виконується також згідно їх розташування та геометричних параметрів R , R_1 , R_2 , h , що визначаються розмірами матриць та пуансону та кутом нахилу втулки β (рис. 3) [11]. Після розрахунків енергосилового режиму та формоутворення напівфабрикату для процесів суміщеного комбінованого видавлювання з швидкістю руху пуансону V_0 за умови невідповідності напівфабрикату необхідним розмірам готової деталі, базову схему змінюють шляхом введення конструктивних особливостей у вигляді фасок та заокруглень, які розглядають як фактори керування течією металу. Такі зміни для процесу комбінованого радіально-зворотного видавлювання впливають не тільки на оформлення фланцевої зони та висоту стінки стакану, що формується, а й на момент появи утягнення в донній частині заготовки (рис. 4).



Джерело: [11].

Рис. 3. Дослідження процесу радіально-прямого видавлювання з обтисненням:
а) викривлення ділильної сітки для АД1; б) розрахункова схема ЕМБП

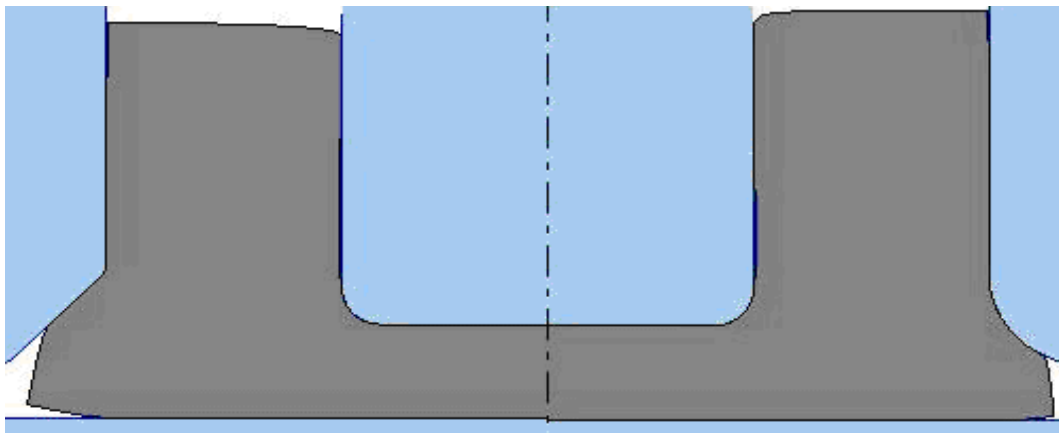


Рис. 4. Вплив змін конфігурації інструменту на формоутворення напівфабрикату

Результати проведених досліджень згідно систематизації кінематичних модулів та розроблених розрахункових моделей процесів холодного видавлювання реалізовано у вигляді програмного продукту «EXTRUSION», що використовується в навчальному процесі на лабораторних роботах, у науково-дослідних цілях та на підприємствах. Програма складається модулів Modules.exe (систематизація бази кінематичних модулів, рис. 5) та модуля розрахунку extrude_eng.exe (розроблені розрахункові моделі, рис. 6), що містить підмодуль прогнозування «дефектоутворення» Points2.exe.

В подальшому планується розширення програмного продукту за рахунок доповнення новими розрахунковими модулями процесів комбінованого радіально-поздовжнього видавлювання. Рекомендації із прогнозування енергосилового режиму, формозмінення напівфабрикату, можливого дефектоутворення та оптимальної конфігурації інструменту, отримані для процесів комбінованого (послідовного та суміщеного) поздовжньо-радіального видавлювання, для процесів прямого видавлювання з обтисненням та роздаванням, сприятимуть розширенню номенклатури стрижневих та порожнистих деталей з фланцем, типу стаканів, гільз та втулок.

MODULES

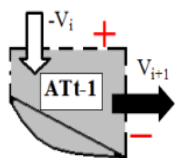
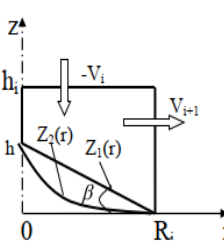
МОДУЛІ - МОДУЛЬ 1 - Конфігурація інструмента - Внутрішні - ATt-1 - AT-1 - AT-2 - AK_2a-2c - AP-1 - Зовнішні - Tr-1 - T-1 - TR-1 - Tt-1 - P-1 - PR-1 - Внутрішні - Осові - Одна ступінь свободи течії - Дві ступені свободи течії - Кільцеві - МОДУЛЬ 2 - З'єднаний осередок деформації - Радіально-зворотне видавлювання - Радіально-зворотне видавлювання (без утягнення) - Дефектоутворення - Приєднаний осередок деформації - Радіально-пряме видавлювання з осовим відростком - Комплекси кінематичних модулів	 	Властивості, обмеження та рекомендації: 1) Нижня похила межа – поверхня контакту із інструментом або «мертва зона», інших обмежень на суміжні кінематичні модулі немає; 2) Можливо дослідження криволінійної похилої межі; 3) Кут нахилу β можна розглядати у якості параметра оптимізації; 4) Для найпростішого випадку прямої: $N_t = 2\mu_z \cdot (1 + k_1^2) \cdot N_{c\downarrow}^-$ КМПШ: $\begin{cases} V_{z2a} = -V_i + \frac{V_i(z_i - h_i)}{z_i(r) - h_i} \cdot \left(1 + \frac{z_i'(r)r}{2(h_i - z_i(r))}\right); \\ V_{r2a} = \frac{V_i r}{2(h_i - z_i(r))}. \end{cases}$ де $z_i(r)$ – довільна крива, що описує похилу межу та проходить через точки $(0, h)$ та $(R, 0)$. Для випадку лінійної функції: $z_1(r) = k_1(r - R_i)$, $k_1 = z_1'(r) = -\frac{h}{R_i}$. $N_{d2} = \sigma_s \sqrt{\frac{\pi V_i^2}{V} \int_V \dot{\epsilon}_i^2 dV}$, де $V = 2\pi \int_{R_i}^{R_1} r dr \int_{z_1(r)}^{h_i} dz = \frac{(3(h_i + R_i k_1) - 2R_i k_1) R_i^2}{3} \pi$ та $\int_V \dot{\epsilon}_i^2 dV = -\frac{\pi V_i^2}{18 k_1^2} \left(12 + k_1^2 \left[R_i + (3C - A) \ln\left(\frac{h_i}{h_i - h}\right) - \left(\frac{1}{C} - \frac{k_1}{h_i}\right) (3C^2 - 2AC + B) - \frac{1}{2} \left(\frac{k_1^2}{h_i^2} - \frac{1}{C^2}\right) (C^3 - AC^2 + BC) \right] \right)$ де $A = \frac{6(h_i - h)(6 + k_1^2)}{(12 + k_1^2) k_1}$, $B = \frac{9(h_i - h)^2(4 + k_1^2)}{(12 + k_1^2) k_1^2}$, $C = R + \frac{h_i}{k_1}$. $N_{c\rightarrow}^+ = -\frac{\pi \sigma_s V_i}{\sqrt{3} \cdot k_1} \left[\frac{R_i^2}{2} + \left(R_i + \frac{h_i}{k_1}\right) R_i + \left(R_i + \frac{h_i}{k_1}\right) \ln\left(\frac{h_i}{h_i - h}\right) \right]; N_{c\downarrow}^- = \frac{\pi \sigma_s V_i}{\sqrt{3}} \left(1 - \frac{R_i}{2h_i} k_1\right) R_i h_i; N_t = 2\mu_z \cdot (1 + k_1^2) \cdot N_{c\rightarrow}^-$
---	---	---

Рис. 5. База кінематичних модулів у Modules.exe

Calculation of the combined radial-reverse extrusion process

Data input | Results

Form of boundary
☒ T1(z) ☐ T2(z) ☐ T3(z)

Dimensional radius of punson R1, [mm]
10

Dimensional radius of die R2, [mm]
15

Dimensional thickness of flange h1, [mm]
5

Initial workpiece height Ho, [mm]
20

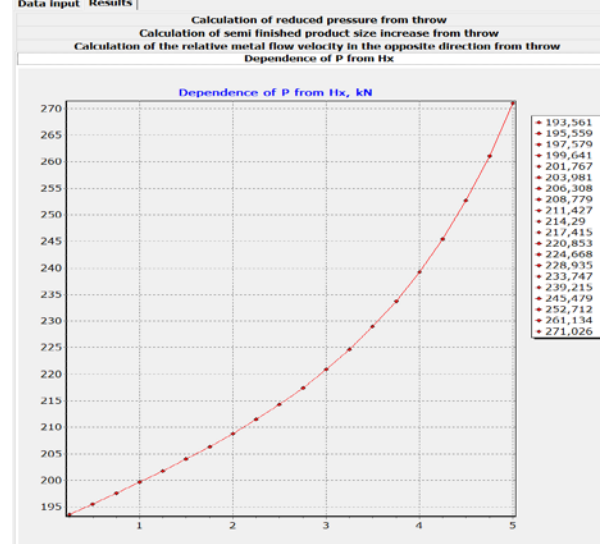
Active tool stroke Hx, [mm]
10

Coefficient of friction, μ_s
(0 < μ_s < 0.5)
0,05

Material
АД31
АД1
АМ6
Л62

а

Calculation of the combined radial-reverse extrusion process



б

Рис. 6. Вікна модуля extrude_eng.exe:

а) введення даних; б) розрахунку сили деформування

Висновки. Запропоновано удосконалену схему процесу проектування технологічних процесів у вигляді комплексу взаємопов'язаних етапів проектування, які виконуються в певній послідовності незалежно від обраного способу деформування і типорозміру деталі. Для оперативного аналізу технологічних режимів процесів видавлювання в рамках використання

енергетичного методу балансу потужностей (методу верхньої оцінки) розроблено кінематичні модулі (поля швидкостей) різної конфігурації, здатні описати пластичні зони складної форми. Це дозволяє оперативно змінювати розрахункову схему процесу та прогнозувати силовий режим та формоутворення напівфабрикату, визначити оптимальну конфігурацію інструменту. Розроблена програма, яка призначена для побудови відповідних математичних моделей, в тому числі для прогнозування дефектоутворення із можливістю керування формоутворенням, сприятиме більш активному впровадженню процесів холодного комбінованого видавлювання на виробництві. У подальшому необхідним є розширення бази кінематичних модулів із заокругленням, що дозволить описати складну конфігурацію інструменту та визначити вплив цих конструктивних особливостей на протікання процесу деформування.

References

1. Bhaduri, A. (2018). Extrusion. In: Mechanical Properties and Working of Metals and Alloys. *Springer Series in Materials Science*, No. 264, P. 599–646. https://doi.org/10.1007/978-981-10-7209-3_13.
2. Jafarzadeh, H., Zadshakoyan, M., Abdi, Sobbouhi E. (2010). Numerical studies of some important design factors in radial–forward extrusion process. *Materials and Manufacturing Processes*, No. 25, P. 857–863.
3. Aliev, I. S. (1990). Tehnologicheskie vozmozhnosti novyih sposobov kombinirovannogo vydavlivaniya [Technological possibilities of new methods of combined squeezing]. *Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo = Forging and stamping production*, No 2, P. 7–10 [in Russian].
4. Ogorodnikov, V. A., Derevenko, I. A., Sivak, R. I. (2018). On the Influence of Curvature of the Trajectories of Deformation of a Volume of the Material by Pressing on Its Plasticity Under the Conditions of Complex Loading. *Materials Science*, No. 54 (3), P. 326–332. <https://doi.org/10.1007/s11003-018-0188-x>.
5. Hrudkina, N. S., Aliieva, L. I. (2020). Modeling of cold extrusion processes using kinematic trapezoidal modules. *FME Transactions*, Vol. 48, No. 2, P. 357–363. <https://doi.org/10.5937/fme2002357H>.
6. Seo, J. M. et al. (2007). Forming Load Characteristics of Forward and Backward Tube Extrusion Process in Combined Operation. *Key Engineering Materials*, Vol. 340–341, P. 649–654.
7. Noh, J., Hwang, B.B., Le, H.Y. (2015). Influence of Punch Face Angle and Reduction on Flow Mode in Backward and Combined Radial Backward Extrusion Process. *Metals and Materials International*, Vol. 21, No. 6, P. 1091–1100. <https://doi.org/10.1007/s12540-015-5276-y>.
8. Winiarski, G., Gontarz, A., Samołyk, G. (2020). Theoretical and experimental analysis of a new process

Література

1. Bhaduri A. Extrusion. In: Mechanical Properties and Working of Metals and Alloys. *Springer Series in Materials Science*. 2018. No. 264. P. 599-646. https://doi.org/10.1007/978-981-10-7209-3_13.
2. Jafarzadeh H., Zadshakoyan M., Abdi Sobbouhi E. Numerical studies of some important design factors in radial–forward extrusion process. *Materials and Manufacturing Processes*. 2010. No. 25. P. 857–863.
3. Алиев И. С. Технологические возможности новых способов комбинированного выдавливания. *Кузнечно-штамповочное производство*. 1990. № 2. С. 7–10.
4. Ogorodnikov V. A., Derevenko I. A., Sivak, R. I. On the Influence of Curvature of the Trajectories of Deformation of a Volume of the Material by Pressing on Its Plasticity Under the Conditions of Complex Loading. *Materials Science*. 2018. No. 54 (3). P. 326–332, <https://doi.org/10.1007/s11003-018-0188-x>.
5. Hrudkina N. S., Aliieva, L. I. Modeling of cold extrusion processes using kinematic trapezoidal modules. *FME Transactions*. 2020. Vol. 48. No. 2. P. 357–363. <https://doi.org/10.5937/fme2002357H>.
6. Seo J. M. et al. Forming Load Characteristics of Forward and Backward Tube Extrusion Process in Combined Operation. *Key Engineering Materials*. 2007. Vol. 340–341. P. 649–654.
7. Noh J., Hwang B. B., Le H. Y. Influence of Punch Face Angle and Reduction on Flow Mode in Backward and Combined Radial Backward Extrusion Process. *Metals and Materials International*. 2015. Vol. 21. No. 6. P. 1091–1100. <https://doi.org/10.1007/s12540-015-5276-y>.
8. Winiarski G., Gontarz A., Samołyk G. Theoretical and experimental analysis of a new process for forming flanges on hollow parts.

- for forming flanges on hollow parts. *Materials*, Vol. 13/28:4088. <https://doi.org/10.3390/ma13184088>.
9. Stepanyuk, L. G. (1979). Calculation of metal-forming processes [Raschetyi protsessov obrabotki metallov davleniem]. *Mashinostroyeniye = Mechanical engineering*. Moscow. 215 p. [in Russian].
10. Aliieva, L. I., Grudkina, N. S. (2015). Osobennosti proektirovaniya protsessov holodnogo vydavlivaniya na osnove razvitiya modulnogo podhoda v ramkah energeticheskogo metoda [Features of the design of cold extrusion processes based on the development of a modular approach in the framework of the energy method]. *Vestnik NTU "HPI" = Bulletin of NTU "KhPI"*, Kharkiv, Vol. 24 (1133), P. 21–32 [in Russian].
11. Aliieva, L., Hrudkina, N., Aliiev, I., Zhibankov, I., Markov, O. (2020). Effect of the tool geometry on the force mode of the combined radial-direct extrusion with compression. *European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 2/1 (104), P. 15–22. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.198433>.
12. Hrudkina, N., Aliieva, L., Abhari, P., Markov, O., Sukhovirska, L. (2019). Investigating the process of shrinkage depression formation at the combined radial-backward extrusion of parts with a flange. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 2, N 5/1 (101), P. 49–57. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.179232>.
13. Grudkina, N., Markov, O. (2020). Matematichne modeljuvannja procesiv holodnogo vidavljuvannja zi skladnoju konfiguracieju instrumentu [Mathematical modeling of cold extrusion processes with complex tool configuration]. *Tekhnichni nauki ta tehnologii = Technical sciences and technologies*, No 3 (21), P. 89–97 [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2020-3\(21\)-89-97](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2020-3(21)-89-97) [in Ukrainian].
14. Hrudkina, N. S. (2020). Modeljuvannja protsesiv kombinovanoho radialno-priamoho vydavliuvannja skladnoprofilovanykh porozhnistykh detalei iz vykorystanniam metodu kinematychnykh moduliv [Modeling of processes of combined radial-forward extrusion of hollow parts with a complex profile by using the method of kinematic modules]. *Visnyk Kyivskogo natsionalnogo universitetu tekhnologij ta dizajnu = Bulletin of the Kyiv National University of Technologies and Design*, No. 3 (146), P. 69–78 <https://doi.org/10.30857/1813-6796.2020.3.6> [in Ukrainian].
15. Hrudkina, N. S. (2019). Verkhnia otsinka pryvedenoho tysku deformuvannja osovoho trapetseidalnogo kinematychnoho modulia z nyzhnoiu pokhyloiu mezheiu [Upper estimate of the reduced deformation pressure of the axial trapezoidal kinematic module with a lower inclined limit]. *Visnyk DDMA = Materials*. 2020. No. (13/18):4088. <https://doi.org/10.3390/ma13184088>.
9. Степанский Л. Г. Расчеты процессов обработки металлов давлением. Москва: Машиностроение. 1979. 215 с.
10. Алиева Л. И., Грудкина Н. С. Особенности проектирования процессов холодного выдавливания на основе развития модульного подхода в рамках энергетического метода. *Вісник НТУ «ХПІ»*. Харків, 2015. №24 (1133). С. 21–32.
11. Aliieva L., Hrudkina N., Aliiev I., Zhibankov I., Markov O. Effect of the tool geometry on the force mode of the combined radial-direct extrusion with compression. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. Vol. 2/1 (104). P. 15–22. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.198433>.
12. Hrudkina N., Aliieva L., Abhari P., Markov O., Sukhovirska L. Investigating the process of shrinkage depression formation at the combined radial-backward extrusion of parts with a flange. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. Vol. 2. N 5/1 (101). P. 49–57. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.179232>.
13. Грудкіна Н., Марков О. Математичне моделювання процесів холодного видавлювання зі складною конфігурацією інструменту. *Технічні науки та технології*. 2020. № 3 (21). С. 89–97 [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2020-3\(21\)-89-97](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2020-3(21)-89-97).
14. Грудкіна Н. С. Моделювання процесів комбінованого радіально-прямого видавлювання складнопрофільованих порожнистих деталей із використанням методу кінематичних модулів. *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Серія: Технічні науки*. 2020. No 3 (146). С. 69–78. <https://doi.org/10.30857/1813-6796.2020.3.6>.
15. Грудкіна Н. С. Верхня оцінка приведенного тиску деформування осового трапецеїдального кінематичного модуля з нижньою похилою межею. *Вісник ДДМА*. 2019. No. 3 (47). С. 21–27.

Herald of the DSEA, No. 3 (47), P. 21-27 [in Ukrainian].

16. Hrudkina, N. S. (2020). Modeling of cold extrusion processes using kinematic trapezoidal modules. *FME Transactions*. Vol. 49, No. 1, P. 56–63. <https://doi.org/10.5937/fme2101056H>.

17. Vlasenko, K., Hrudkina, N., Reutova, I., Chumak, O. (2018). Development of calculation schemes for the combined extrusion to predict the shape formation of axisymmetric parts with a flange. *Eastern European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 3/1 (93), P. 51–59. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.131766>.

18. Aliiev, I., Aliieva, L., Grudkina, N., Zhbakov, I. (2011). Prediction of the Variation of the Form in the Processes of Extrusion. *Metallurgical and Mining Industry: scientific and technical journal*. Dnepropetrovsk: NMetAU, Vol. 3, № 7, P. 17–22.

16. Hrudkina N. S. Process Modeling of Sequential Radial-Direct Extrusion Using Curved Triangular Kinematic Module. *FME Transactions*. 2020. Vol. 49. No. 1. P. 56–63. <https://doi.org/10.5937/fme2101056H>.

17. Vlasenko K., Hrudkina N., Reutova I., Chumak O. Development of calculation schemes for the combined extrusion to predict the shape formation of axisymmetric parts with a flange. *Eastern European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Vol. 3/1 (93). P. 51–59. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.131766>.

18. Aliiev I., Aliieva, L., Grudkina N., Zhbakov I. Prediction of the Variation of the Form in the Processes of Extrusion. *Metallurgical and Mining Industry: scientific and technical journal*. Dnepropetrovsk: NMetAU, 2011. Vol. 3, № 7. P. 17–22.

HRUDKINA NATALIA

Donbass State Engineering Academy, Ukraine

<http://orcid.org/0000-0002-0914-8875>

Scopus ID: 56257651900

E-mail: vm.grudkina@ukr.net

KUZNETSOV MYKOLA

Donbas National Academy of Civil

Engineering and Architecture, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0001-5121-3194>

E-mail: n.kuznecov.1967@gmail.com

PASHYNSKYI VOLODYMYR

LLC science-production association DONIX, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0003-0118-4748>

Scopus ID: 7004721567

E-mail: v.v.pashynskiy@mipolytech.education

¹ГРУДКИНА Н. С., ²КУЗНЕЦОВ Н. Н., ³ПАШИНСКИЙ В. В.

¹Донбасская государственная машиностроительная академия, Украина

²Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, Украина

³ООО Научно-производственное объединение «ДОНИКС», Украина

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ТОЧНОЙ ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВКИ ВЫДАВЛИВАНИЕМ НА ОСНОВЕ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО МЕТОДА БАЛАНСА МОЩНОСТЕЙ

Цель. Совершенствование проектирования технологий точной объемной штамповки выдавливанием на основе развития энергетического метода баланса мощностей. Выработка рекомендаций по рациональному использованию систематизированной базы кинематических модулей сложной конфигурации при построении расчетных схем оценки силового режима и формообразования в процессах холодного выдавливания с последующей программной реализации.

Методика. Энергетическим методом баланса мощностей на основе метода кинематических модулей систематизированы результаты исследования расширения возможностей применения процессов холодного выдавливания с определением силового режима деформирования и особенностей формообразования полуфабриката при изготовлении полых и стержневых деталей с фланцем, типа гильз и стаканов.

Результаты. Систематизировано расширенную базу кинематических модулей сложной конфигурации с выработкой рекомендаций по их рациональному использованию при построении

расчетных схем процессов, в том числе с возможностью оперативного учета изменения конфигурации инструмента. Это позволило определить факторы управления формообразованием полуфабриката в процессах совмещенного и последовательного комбинированного холодного выдавливания.

Научная новизна. Подтверждены возможности энергетического метода баланса мощностей как эффективного метода предварительного анализа определения области рационального применения холодного выдавливания в рамках проектирования технологического процесса получения сложнопрофилированных деталей.

Практическая значимость. Разработанный программный продукт с систематизацией расширенной базы кинематических модулей, комплекса расчетных моделей процессов холодного выдавливания по оценке силового режима, прогнозирования формообразования и дефектообразования в виде утяжины будет способствовать более активному внедрению процессов комбинированного выдавливания на производстве.

Ключевые слова: энергетический метод баланса мощностей; комбинированное выдавливание; кинематический модуль; проектирование технологического процесса.

¹HRUDKINA N. S., ²KUZNETSOV M. M., ³PASHYNSKYI V. V.

¹Donbass State Engineering Academy, Ukraine

²Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, Ukraine

³LLC science-production association DONIX, Ukraine

IMPROVEMENT OF TECHNOLOGY DESIGN IN PRECISION FORGING PROCESS BASED ON DEVELOPMENT OF ENERGY METHOD WITH POWER BALANCE

Purpose. Improvement of technology design in precision forging process based on development of energy method with power balance and development of recommendation with the rational use of systematized based on kinematic modules in complex configuration to make calculated schemes for power mode assessments and shaping of part in cold forging extrusion process with subsequent software implementation are considered.

Methodology. Energy method of power balance is considered based on kinematic module method that will be systematized the results of investigation for expanding in cold forging extrusion process with the definition of the power mode in deformation and features of semi-finished product shaping to make hollow and rod parts with flange such as sleeves and glasses.

Results. Development results of recommendation with the rational use of systematized based on kinematic modules in complex configuration to make calculated schemes including with the ability to quickly take into account changes in the configuration of the tool have been determined. This made it possible to define the several factors for controlling the shaping of the semi-finished product in combined and sequential combined cold forging extrusion processes.

Scientific novelty. Energy method of power balance is considered such as an effective method of preliminary analysis to determine the area of rational use in cold forging process based on process technology design to make complex parts.

Practical significance. Software product development with extended systematization based on kinematic modules, complex of calculation models in cold forging extrusion with power mode assessments and to predict shaping of part and defect formation such as dimple defect will contribute more active implementation in the manufacturing industry for combined cold forging extrusion processes.

Keywords: energy method of power balance; combined extrusion; kinematic module; process technology design.

УДК 677.075

АРАБУЛІ С. І., АРАБУЛІ А. Т., ТРУБА В. С., ЛЕВИЦЬКА Д. Р.

Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКРАНУЮЧИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ЩОДО ДІЇ УЛЬТРАФІОЛЕТОВОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

Мета. Дослідження можливості використання текстильних матеріалів для екранування від негативної дії ультрафіолетового (УФ) випромінювання.

Методика. Теоретичні та експериментальні дослідження базуються на основних положеннях текстильного матеріалознавства. Здатність текстильних матеріалів екранувати УФ випромінювання оцінювалася за значеннями коефіцієнта захисту від ультрафіолету (UPF). Коефіцієнт захисту від ультрафіолету оцінювався на спектрофотометрі UV-Vis (Cary 50, Varian, Австралія) відповідно до стандарту AS /NZ 4399: 1996 у діапазоні хвиль 280-400 нм. Згідно стандарту AS /NZ 4399:1996 текстильні матеріали за значенням коефіцієнту захисту від ультрафіолету (UPF) класифікуються на такі, що забезпечують «відмінний захист від УФ випромінювання», «дуже хороший захист від УФ випромінювання», «хороший захист від УФ випромінювання», «не захищає від УФ випромінювання».

Результати. Проаналізовано основні джерела УФ випромінювання та розглянуті особливості умов опромінення людини під час роботи у приміщенні та за його межами. Встановлено, що ступінь опромінення людини залежить від інтенсивності УФ випромінювання, та може бути зменшена за рахунок використання захисних засобів. Як один з ефективних засобів захисту від УФ випромінювання можуть бути гнучкі текстильні екрани. Переваги текстильних екранів полягають у можливості їх модифікації та можливості створювати із них екрануючих виробів різноманітних форм. Рівень захисних властивостей текстильних екранів залежить від багатьох факторів, а саме: хімічна природа полімеру текстильних матеріалів, структурні характеристики, модифікація певними речовинами, колір, вологість тощо. Наведені результати дослідження коефіцієнту захисту від ультрафіолету текстильних матеріалів в залежності від їх кольору.

Наукова новизна. У роботі доведено, що оптичні властивості мають велике значення не тільки для оцінки зовнішнього виду текстильного матеріалу та естетичного сприймання одягу, вони дозволяють керувати екрануючими властивостями текстилю щодо дії УФ випромінювання. Встановлено, що темні насичені кольори текстильних полотен, за всіх інших однакових умов, забезпечують екрануючі властивості на рівні «дуже хороший захист» порівняно зі світлими ненасиченими кольорами (рівень UPF змінюється від 10 до 35 зі збільшенням насиченості кольору).

Практична значимість. Підтверджено можливість використання текстильних матеріалів для захисту від дії УФ випромінювання.

Ключові слова: УФ випромінювання; текстильні екрани; коефіцієнт захисту від ультрафіолету; колір.

Вступ. В останні роки, поряд із загальним погіршенням екологічної обстановки, зміною клімату, забрудненням атмосфери і водного середовища, виникла проблема, пов'язана з впливом на здоров'я людини надмірного ультрафіолетового опромінення. Глобальний процес деградації озонового шару Землі, одним з проявів якого є утворення «озонових дір», призвів до порушення звичного режиму природного УФ випромінювання.

З надмірним впливом УФ випромінюванням Всесвітня організація охорони здоров'я пов'язує більше 25 захворювань і порушень стану здоров'я. Серед найбільш соціально та економічно значущих несприятливих наслідків впливу УФ-випромінювання слід зазначити онкологічні захворювання шкіри і катаракту.

З позиції біологічного впливу на організм людини УФ-випромінювання поділяється на 3 області [1]:

- область А – випромінювання з довжиною хвилі 400...315 нм. Цей діапазон УФ-випромінювання характеризується порівняно слабкою біологічною дією;
- область В – випромінювання з довжиною хвилі 316...280 нм. Ця частина УФ-випромінювань має сильну еритемну і антирахітичну дію;
- область С – випромінювання з довжиною хвилі 280...200 нм. Випромінювання цього діапазону активно діють на тканинні білки і ліпіди.

При проходженні сонячного світла крізь атмосферу, всі УФ-С промені і приблизно 90% УФ-В променів поглинаються озоном, парами води, киснем і вуглекислим газом. На УФ-А промені атмосфера впливає в меншій мірі. Тому УФ-випромінювання, що досягає поверхні Землі, в основному складається з УФ-А променів і незначної кількості УФ-В променів.

Так у роботі [2] представлені кліматичні показники у м. Києві (табл. 1).

Таблиця 1

Кліматичні показники навколишнього середовища у м. Києві

Найменування фактору, од. вимірювання	Фактичне значення	Найменування фактору, од. вимірювання	Фактичне значення
Тривалість сонячного світіння, год	1927	Рівні УФ-В, мВт/м ²	
Середня тривалість дня, год		Середньорічний	777
Зима	9	Взимку	140
Весна	13	Навесні	828
Літо	16	Влітку	1253
Осінь	11	Восени	373

Джерело: [2].

Сонячне світло визнано гігієнічно значущим фактором, яке з одного боку впливає на організм людини позитивно, а з іншого негативно. Так УФВ під час нетривалої дії позитивно впливає на організм людини, допомагає обміну речовин, загартовує шкіру. Він корисний для кісткової та гормональної системи. Сонце допомагає людям, які мають проблеми зі шкірою (вугрі, псоріаз), сприяє загоєнню ран [3]. Сонячні ванни також допомагають при болях у м'язах та ревматизмі, під впливом УФВ значно підвищується вміст антитіл у крові, що підвищує стійкість нашого організму до інфекційних та вірусних захворювань. Для цього достатньо лише 15 хвилин сонячних ванн на обличчя та руки, щоб виробилась добова доза вітаміну D₃ [4]. Недостатність УФВ погіршує самопочуття, викликає дитячий рахіт, різко знижує активність захисної системи організму. В свою чергу, зловживання сонячним світлом може призвести до негативних наслідків. Надмірне перебування на сонці сушить шкіру, призводить до її передчасного старіння, руйнує білки та інші корисні речовини. Зловживання сонцем може призвести до утворення меланоми, хвороби, відомої як рак шкіри. Але не тільки шкіра схильна до ризику негативного впливу сонячних променів, постраждати може і головний мозок. Тривале перебування на сонці з непокритою головою, може призвести до сонячного удару [4].

Беручи до уваги вище викладене, захист людського організму від негативного та надмірного впливу УФ випромінювання є надзвичайно важливою проблемою.

Постановка завдання. Розглядаючи інсоляцію приміщень, можна зазначити, що в залежності від інтенсивності і тривалості Сонця інсоляція приміщень може мати позитивний та негативний вплив на організм людини і на мікроклімат приміщення [4]. При склінні фасадів використовуються різні види скла та склопакетів. Відповідно до ДСТУ–Н Б В.2.6-83:2009 для різних склопакетів коефіцієнт спрямованого пропускання світла, окрім сонцезахисних склопакетів складає не менше 60–72%. Пропускання сонячного випромінювання – сонячна енергія, що безпосередньо проходить через скління у спектральному діапазоні від 300 нм до 2500 нм [ДСТУ–Н Б В.2.6-83:2009].

Результати досліджень [3] показали, що ультрафіолетове випромінювання сонця, яке проникає крізь однокамерний склопакет із звичайного скла, на географічних широтах розташування України, при максимально можливих умовах експозиції працюючого, може додавати до річної дози опромінення 28,62 мінімальної еритемної дози (МЕД) (1 МЕД – 200 Дж/м² згідно з ISO 17166:1999), що несе потенційну загрозу немеланомних злоякісних новоутворень шкіри не більше ніж 39% ($1,88 \times 10^{-3}$) порівняно з працюючими, які не зазнають такого додаткового навантаження, з прогнозованою величиною ризику смертності від цього захворювання не більше ніж $0,5 \times 10^{-4}$.

За критерієм ультрафіолетового індексу (УФІ) [5], гранично допустимий рівень експозиції (ГДЕ) цього фактора для працюючих (0,01 Вт/м² згідно з СНН 4557-88 або 30 Дж/м², згідно з рекомендаціями ACGIH для 8-годинного робочого дня [6, 7]) експозиція працюючого не менше ніж 3 години за зміну не тільки в прямих сонячних променях, а і в тих, які попадають через скло звичайного вікна в середину приміщення, потребує застосування захисту часом і екраном.

Як один з ефективних засобів захисту від УФ випромінювання можуть бути гнучкі текстильні екрани. Вибір параметрів структури текстильних матеріалів та модифікація відповідними абсорберами УФ випромінювання дає можливість створити текстильні матеріали з високими захисними функціями [8].

Метою роботи є дослідження можливості використання текстильних матеріалів для екранування від негативної дії УФ-випромінювання.

Матеріали та методи досліджень. Об'єктом дослідження є 4 ляльні тканини полотняного переплетення однакові за структурними характеристиками (табл. 2). Полотна розрізняються за кольором (рис. 1). Країна походження тканин – Китай.

Здатність текстильних матеріалів екранувати УФ-випромінювання оцінювали за значеннями коефіцієнта захисту від ультрафіолету (UPF), який розраховували за формулою:

$$UPF = \frac{\sum_{\lambda=280}^{400} E(\lambda) \cdot \varepsilon(\lambda) \cdot \Delta\lambda}{\sum_{\lambda=280}^{400} E(\lambda) \cdot T(\lambda) \cdot \varepsilon(\lambda) \cdot \Delta\lambda} \quad (1)$$

де $E(\lambda)$ – сонячна радіація, Вт·м⁻²·нм⁻¹;

$\varepsilon(\lambda)$ – відносна еритемна спектральна ефективність;

$T(\lambda)$ – спектральна проникність при довжині хвилі λ ;

$\Delta\lambda$ – інтервал довжини хвиль, нм.

Коефіцієнт захисту від ультрафіолету, величина UPF характеризує здатність текстильного матеріалу захищати шкіру людини від утворення сонячного опіку [9, 10].

Таблиця 2

Структурні характеристики тканин

Номер зразка	Зразок текстильного матеріалу	Вміст складників сировинного складу [%]	Переплетення	Поверхнева густина, Ms [г/м ²]	Товщина [мм]	Число ниток на 100 мм P_o/P_y
1	Льон «м'ята»	Льон – 100	Полотняне	150	0,5	170/150
2	Льон «помаранч»	Льон – 100	Полотняне	150	0,5	170/150
3	Льон «смарагд»	Льон – 100	Полотняне	150	0,5	170/150
4	Льон «аквамарин»	Льон – 100	Полотняне	150	0,5	170/150

Коефіцієнт захисту від ультрафіолету (UPF) оцінювали на спектрофотометрі UV-Vis (Cary 50, Varian, Австралія) відповідно до стандарту AS /NZ 4399: 1996 (рис. 2) в Національному науково-дослідному інституті текстилю та шкіри, м. Бухарест (Румунія).



Льон «м'ята»



Льон «помаранч»



Льон «смарагд»



Льон «аквамарин»

Рис. 1. Колір лляних тканин

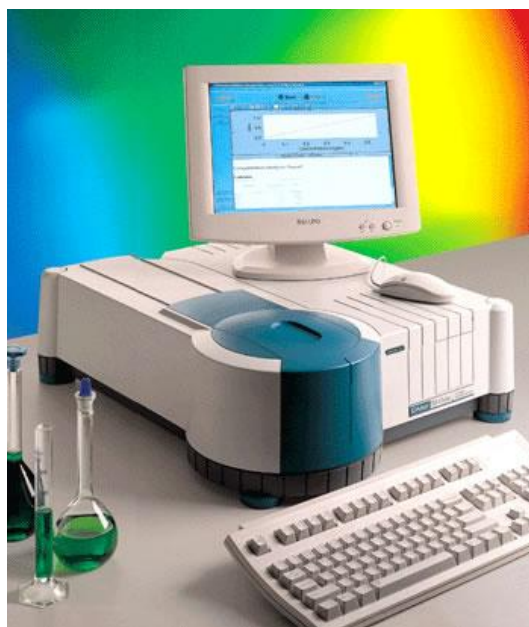


Рис. 2. Спектрометр Cary 50 UV-Vis (Varian Inc.)

Згідно стандарту AS /NZ 4399:1996 текстильні матеріали за значенням коефіцієнту захисту від ультрафіолету (UPF) класифікуються на такі, що забезпечують:

- «відмінний захист від ультрафіолетового випромінювання», якщо значення UPF становить 40 або більше;
- «дуже хороший захист від ультрафіолетового випромінювання», якщо значення UPF становить від 25 до 39;
- «хороший захист від ультрафіолетового випромінювання», якщо значення UPF знаходиться в діапазоні 15 – 24;
- «не захищає від ультрафіолетового випромінювання» якщо значення UPF знаходиться в діапазоні 0 – 14.

Результати дослідження. За результатами попередніх досліджень відомо, що загальне екранування (SE) текстильними матеріалами дорівнює сумі витрат на абсорбцію (A), відбивання (R) та на багаторазове відбивання (B) в текстильному екрані (рис. 3):

$$SE = A + R + B. \quad (2)$$

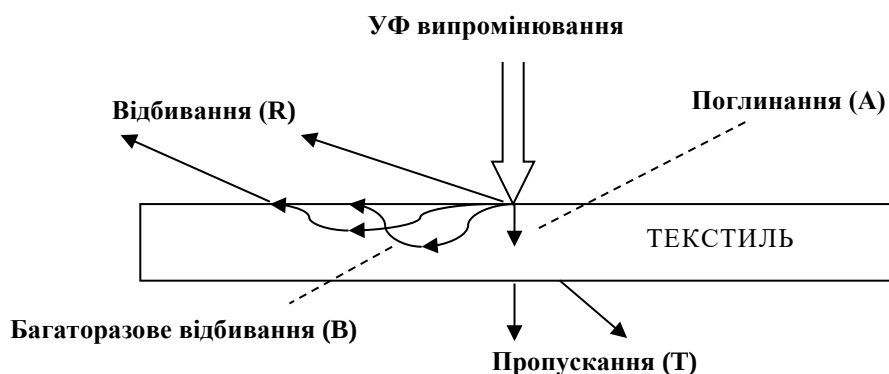
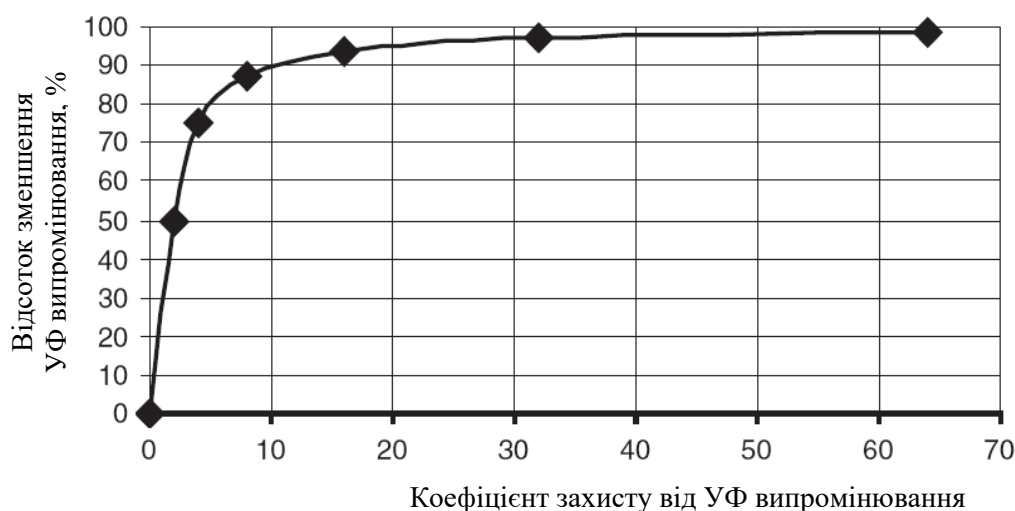


Рис. 3. Схема проникнення УФ випромінювання через текстильний матеріал

Значення коефіцієнта пропускання дає пряму інформацію про те, який відсоток УФ випромінювання потрапляє на шкіру через одяг:

$$\text{УФ пропускання (\%)} = 100\% - \text{УФ зменшення (\%)}. \quad (3)$$

Відношення між відсотком зменшення УФ випромінювання та коефіцієнтом захисту від УФ (UPF) для текстильних матеріалів наведені на рис. 4 [9].



Джерело: [9].

Рис. 4. Відношення між відсотком зменшення УФ випромінювання та коефіцієнтом захисту від УФ (UPF)

Це відношення є нелінійним. До значення UPF = 15, відсоток зменшення УФ випромінювання швидко зростає; потім його значення сповільнюється до незначних змін із найбільшими значеннями UPF. Таким чином, наприклад, подвоєння UPF з 20 до 40 не призводить до подвоєння зменшення УФ випромінювання, яке лише збільшується з 95% до 97%. Відповідно до наведеної залежності (рис. 4) можна сказати, що текстильний матеріал з UPF = 15, забезпечить мінімально достатній рівень захисту шкіри людини.

Значення UPF текстильних матеріалів, визначені на спектрометрі Cary 50 UV-Vis, наведені в табл. 3. Залежності коефіцієнта пропускання в різних областях УФ випромінювання наведені на рис. 5–8.

Таблиця 3

Коефіцієнта захисту від ультрафіолету (UPF) досліджуваних текстильних матеріалів

№	Зразок текстильного матеріалу	Значення UPF	Коефіцієнт пропускання в області УФА, %	Коефіцієнт пропускання в області УФВ, %	Рівень UPF	Класифікація текстильного полотна
1	Льон «м'ята»	12,830	7,753	7,573	10	«не захищає»
2	Льон «помаранч»	23,218	4,281	3,997	20	«хороший захист»
3	Льон «смарагд»	32,742	2,501	3,072	30	«дуже хороший захист»
4	Льон «аквамарин»	40,348	1,996	2,512	35	

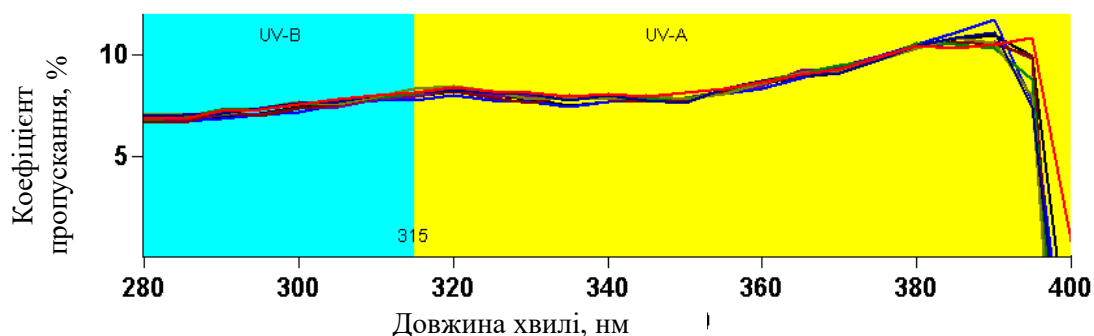


Рис. 5. Коефіцієнт пропускання в різних областях УФ випромінювання зразка льон «м'ята»

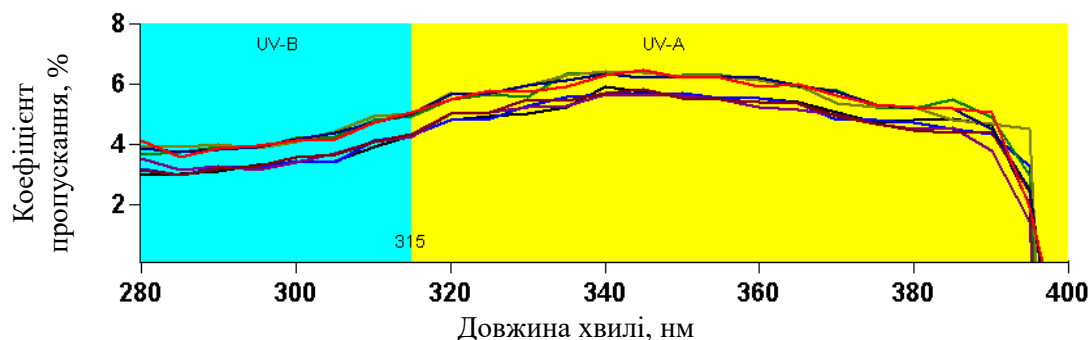


Рис. 6. Коефіцієнт пропускання в різних областях УФ випромінювання зразка льон «помаранч»

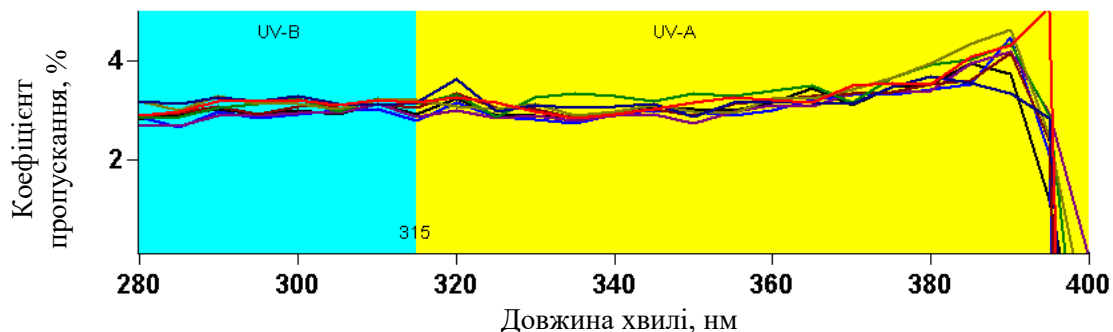


Рис. 7. Коефіцієнт пропускання в різних областях УФ випромінювання зразка льон «смарагд»

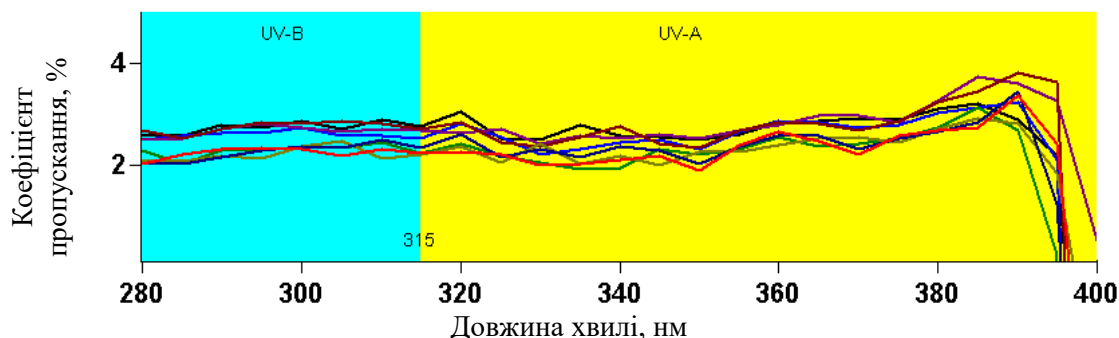


Рис. 8. Коефіцієнт пропускання в різних областях УФ випромінювання зразка льон «аквамарин»

Як свідчать отримані експериментальні дані, тканини однакового сировинного складу (Льон – 100%) та ідентичних структурних характеристик відрізняються екрануючими властивостями до дії УФ випромінювання. Ці дані свідчать про те, що на екрануючі властивості текстильних матеріалів великий вплив має колір. Світлі ненасичені кольори, наприклад, «м'ята» (рис. 9) мають UPF на рівні 10, що вказує на відсутність екрануючих властивостей до негативної дії УФ випромінювання. Зі збільшенням насиченості кольору здатність до екранування збільшується, що чітко прослідковується на прикладі лляних тканин полотняного переплетення з кольором від «помаранч» до «аквамарин» (рис. 9).

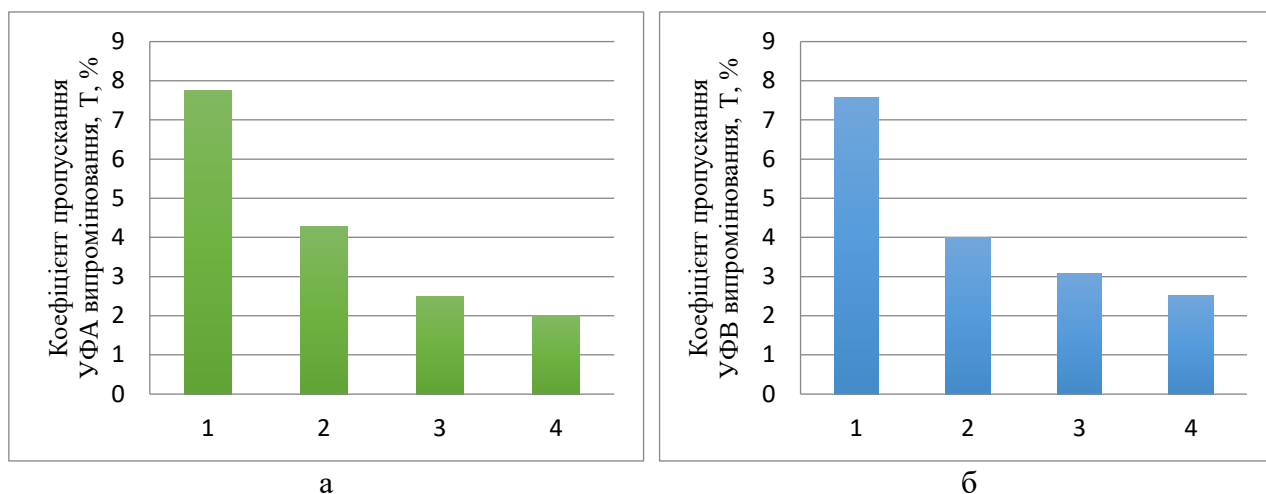


Рис. 9. Залежність коефіцієнту пропускання УФА (а) і УФВ (б) від кольору текстильного матеріалу: 1 – «м'ята», 2 – «помаранч», 3 – «смарагд», 4 – «аквамарин»

Висновки. Проведенні експериментальні дослідження та аналіз літературних джерел дозволив встановити наступне:

- одним з ефективних засобів захисту від негативної дії від УФ випромінювання є гнучкі текстильні екрани;
- переваги текстильних екранів полягають у можливості модифікації текстильного полотна з наданням йому необхідних властивостей (функцій) та можливість створювати з них екрануючі вироби різноманітних форм;
- рівень захисних властивостей текстильних екранів залежить від багатьох факторів. Найважливіші з них, які визначають ефективність екранів поглинати УФ випромінювання, –

це: хімічна природа полімеру текстильних матеріалів; структурні характеристики, додаткова модифікація певними речовинами, колір, вологість тощо.

У роботі доведено, що оптичні властивості мають велике значення не тільки для оцінки зовнішнього виду текстильного матеріалу та естетичного сприймання одягу, вони дозволяють керувати екрануючими властивостями текстилю щодо дії УФ випромінювання. Встановлено, що темні насичені кольори, за всіх інших однакових умов, забезпечують екрануючі властивості на рівні «дуже хороший захист» (рівень UPF змінюється від 10 до 35 зі збільшенням насиченості кольору).

References

1. Ofitsiyni sait Vsesvitnoi orhanizatsii zdorovia [The official website of the World Health Organization]. URL: https://www.who.int/uv/uv_and_health/ (Last accessed: 10.12.2020) [in Ukrainian].
2. Nazarenko, V. I., Martirosova, V. G. (2014). Sanitarno-hihienichni doslidzhennia soniachnogo ultrafioletovogo vyprominiuvannia na antarktychnii stancii Akademik Vernadskii [Sanitary and hygienic studies of solar ultraviolet radiation at the Antarctic station Academician Vernadsky]. *Zhurnal hihiena naselenykh mist – Journal of Hygiene of Settlements*, No. 63, P. 163–168 [in Ukrainian].
3. Koryst i shkoda sonyachnykh vann [The benefits and harms of sunbathing]. URL: <https://kyrykivska-gromada.gov.ua/news/1561984764/> (Last accessed: 10.12.2020) [in Ukrainian].
4. Stebliy, N. M., Akimenko, V. Ya. (2019). Ultrafioletova skladova insolyatsiyi yak faktor ryzyku dlya zdorovya lyudyny [Ultraviolet component of insolation as a risk factor for human health]. *Ukrayinskyy zhurnal z problem medytsyny pratsi – Ukrainian Journal of Occupational Medicine*, 15(1): 35–45 [in Ukrainian].
5. Gies, P., Deventer, E., Green, A. C. (2018). Review of the Global Solar UV Index 2015 Workshop Report. *Health Physics*, 114(1): 84–90 [in English].
6. Documentation of the Threshold Limit Values and Biological Exposure Indices. 5th ed. ACGIH. 2015. 276 p. [in English].
7. Mayorov, V. A. (2018). Optika stekla – sostoyaniye i perspektivy [Glass optics – state of the art and prospects]. *Zhurnal optika i spektroskopiya – Optics and Spectroscopy Journal*, 124(4): 559–573 [in Russian].
8. Vlasenko, V., Smertenko, P., Berezenko, S., Arabuli, S., Kucherenko, V. (2017). Synthesis of metals nano-particles in the porous structure of textiles for UV-shielding. *Vlakna a texti*, 4 (24): 30–33.
9. Wilson, C. A., Bevin, N. K., Laing, R. M., Niven, B. E. (2008). Solar protection – Effect of selected fabric and use characteristics on ultraviolet transmission. *Textile Research Journal*, 78: 95–104 [in English].

Література

1. Офіційний сайт Всесвітньої організації здоров'я. URL: https://www.who.int/uv/uv_and_health/ (дата звернення 10.12.2020).
2. Назаренко В. І., Мартіросова В. Г. Санітарно-гігієнічні дослідження сонячного ультрафіолетового випромінювання на антарктичній станції Академік Вернадський. *Журнал гігієни населених місць*. 2014. № 63. С. 163–168.
3. Користь і шкода сонячних ванн. URL: <https://kyrykivska-gromada.gov.ua/news/1561984764/> (дата звернення 10.12.2020).
4. Стеблій Н. М., Акіменко В. Я. Ультрафіолетова складова інсоляції як фактор ризику для здоров'я людини. *Український журнал з проблем медицини праці*. 2019. Том 15. № 1. С. 35–45.
5. Gies P., Deventer E., Green A. C. Review of the Global Solar UV Index 2015 Workshop Report. *Health Physics*. 2018. 114. Issue 1. P. 84–90.
6. Documentation of the Threshold Limit Values and Biological Exposure Indices. 5th Ed. ACGIH. 2015. 276 p.
7. Майоров В. А. Оптика стекла – состояние и перспективы. *Журнал оптика и спектроскопия*. 2018. Том 124. Вып. 4. С. 559–573.
8. Vlasenko V., Smertenko P., Berezenko S., Arabuli S., Kucherenko V. Synthesis of metals nano-particles in the porous structure of textiles for UV-shielding. *Vlakna a texti*. 2017. 4 (24). P. 30–33.
9. Wilson C. A., Bevin N. K., Laing R. M., Niven B. E. Solar protection – Effect of selected fabric and use characteristics on ultraviolet transmission. *Textile Research Journal*. 2008. 78. P. 95–104.

10. Riva, A., Algaba, I., Pepió, M., Prieto, R. (2009). Modeling the Effects of Color on the UV Protection Provided by Cotton Woven Fabrics Dyed with Azo Dyestuffs Ind. Eng. Chem. Res., 48(22): 9817–982.

10. Riva A., Algaba I., Pepió M., Prieto R. Modeling the Effects of Color on the UV Protection Provided by Cotton Woven Fabrics Dyed with Azo Dyestuffs Ind. Eng. Chem. Res. 2009. 48. 22. P. 9817–982.

ARABULI SVITLANA

PhD, Associate Professor, Department of
Technology and Design of Textile Materials
Kyiv National University of Technologies
and Design, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-1049-8255>
Scopus Author ID: 54405479200
E-mail: arabuli.si@knuutd.edu.ua

ARABULI ARSENI

PhD, Associate Professor, Department of
Technology and Design of Sewing Products
Kyiv National University of Technologies
and Design, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-2583-4998>
E-mail: arabuli.a@knuutd.edu.ua

TRUBA VLADYSLAV

Student, Department of Technology
and Design of Textile Materials
Kyiv National University of Technologies
and Design, Ukraine
E-mail: 2lg2@ukr.net

LEVYTSKA DARYNA

Student, Department of Technology
and Design of Textile Materials
Kyiv National University of Technologies
and Design, Ukraine
E-mail: dlevitskaya@ukr.net

АРАБУЛИ С. И., АРАБУЛИ А. Т., ТРУБА В. С., ЛЕВИЦКАЯ Д. Р.

Киевский национальный университет технологий и дизайна, Украина

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКРАНИРУЮЩИХ СВОЙСТВ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ
К ВОЗДЕЙСТВИЮ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

Цель. Исследование возможности использования текстильных материалов для экранирования от негативного воздействия ультрафиолетового излучения.

Методика. Теоретические и экспериментальные исследования базируются на основных положениях текстильного материаловедения. Способность текстильных материалов экранировать УФ оценивалась по значениям коэффициента защиты от ультрафиолета (UPF). Коэффициент защиты от ультрафиолета оценивался на спектрофотометре UV-Vis (Cary 50, Varian, Австралия) в соответствии со стандартом AS / NZ 4399: 1996 в диапазоне волн 280-400 нм. Согласно стандарту AS / NZ 4399: 1996 текстильные материалы по значению коэффициента защиты от ультрафиолета (UPF) классифицируются на те, которые обеспечивают «отличную защиту от УФ излучения», «очень хорошую защиту от УФ излучения», «хорошую защиту от УФ излучения», «не защищает от УФ излучения».

Результаты. Проанализированы основные источники УФ излучения и рассмотрены особенности условий облучения человека при работе в помещении и за его пределами. Установлено, что степень облучения человека зависит от интенсивности УФ излучения, и может быть уменьшена за счет использования защитных средств. В качестве одного из эффективных средств защиты от УФ излучения могут быть гибкие текстильные экраны. Преимущества текстильных экранов заключаются в возможности их модификации и возможность создавать из них экранирующие изделия различных форм. Уровень защитных свойств текстильных экранов зависит от многих факторов, а именно: химическая природа полимера текстильных материалов, структурные характеристики, модификация определенными веществами, цвет, влажность и т.д. Приведенные результаты исследования коэффициента защиты от ультрафиолета текстильных материалов в зависимости от их цвета.

Научная новизна. В работе доказано, что оптические свойства имеют не только большое значение для оценки внешнего вида текстильного материала и эстетического восприятия одежды,

они позволяют управлять экранирующими свойствами текстиля к действию УФ излучения. Установлено, что темные насыщенные цвета текстильных полотен, при всех остальных равных условиях, обеспечивают экранирующие свойства на уровне «очень хорошую защиту» по сравнению со светлыми ненасыщенными цветами (уровень UPF меняется от 10 до 35 с увеличением насыщенности цвета).

Практическая значимость. Доказана возможность использования текстильных материалов для защиты от действия УФ излучения.

Ключевые слова: УФ излучение; текстильные экраны; коэффициент защиты от ультрафиолета; цвет.

ARABULI S. I., ARABULI A. T., TRUBA V. S., LEVYTSKA D. R.

Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine

INVESTIGATION OF TEXTILE MATERIALS SHIELDING PROPERTIES TO THE EFFECTS OF ULTRAVIOLET RADIATION

Purpose. Study the possibility of using textile materials for shielding against the negative effects of ultraviolet radiation.

Methodology. Theoretical and experimental researches are based on the basic principles of textile materials science. The UV shielding ability of textiles was assessed by the UV protection factor (UPF). The UV protection factor was evaluated on a UV-Vis spectrophotometer (Cary 50, Varian, Australia) in accordance with AS / NZ 4399: 1996 in the wavelength range 280-400 nm. According to AS / NZ 4399: 1996, textiles are classified according to the value of the UV protection factor (UPF) as those that provide "excellent UV protection", "very good UV protection", "good UV protection", "does not protect against UV radiation."

Results. The main sources of UV radiation are analyzed and the features of the conditions of human exposure when working indoors and outside are considered. It has been established that the degree of human exposure depends on the intensity of UV radiation, and can be reduced by using protective equipment. Flexible textile screens can be one of the effective means of protection against UV radiation. The advantages of textile screens are the possibility of their modification and the ability to create shielding products of various shapes. The level of protective properties of textile screens depends on many factors, namely: the chemical nature of the polymer of textile materials, structural characteristics, modification by certain substances, color, moisture, etc. The results of the study of the coefficient of protection against ultraviolet radiation of textile materials, depending on their color are presented.

Scientific novelty. It is proved that the optical properties are not only important for the evaluation of appearance of the textile and garment aesthetic perception, they can control the shielding properties of the textile to the action of UV radiation. It was found that dark saturated colors of textile fabrics, all other conditions being equal, provide shielding properties at the level of "very good protection" compared to light unsaturated colors (the UPF level varies from 10 to 35 with increasing color saturation).

Practical value. The possibility of using textile materials for UV protection has been confirmed.

Keywords: UV radiation; textile screens; UV protection factor; color.

УДК 685.3

БОРЩЕВСЬКА Н. М., ПЕРВАЯ Н. В.

Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ЛАЗЕРНОГО ГРАВІРУВАННЯ НА ГІГІЄНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ НАТУРАЛЬНИХ ШКІР ДЛЯ ВЕРХУ ВЗУТТЯ ТА ШКІРГАЛАНТЕРЕЙНИХ ВИРОБІВ

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

Методика. Для реалізації поставленої мети використано метод скануючої електронної мікроскопії (СЕМ). Дослідження гігієнічних властивостей шкір Крест, «Флотар» та «Наппа» проводились згідно з ISO 14268:2008 шляхом визначення паропроникності

Результат. За результатами дослідження впливу лазерного випромінювання на гігієнічні властивості натуральних шкір для верху взуття та шкіргалантерейних виробів встановлено характер зміни мікро- та макроструктури дерми під дією лазерного гравірування та допустимі граничні значення глибини та площі лазерної абляції, які не погіршують гігієнічні властивості шкір та виробів в цілому. Зі збільшенням глибини абляції до 0,7 мм (50% від загальної товщини зразка), відносна паропроникність збільшується у всіх зразках досліджуваних шкір, при цьому відносна паропроникність для шкіри Крест збільшилась на 5%, «Флотару» на 13,5% та на 9,5% для «Наппи». Оптимальним значенням глибини лазерної абляції, що не погіршує експлуатаційні та гігієнічні характеристики виробів є 25–30% від товщини шкіри. На лицьовій поверхні виявлені особливості структури, які характерні лише для ділянки прямої дії лазерного променя, а саме зразки шкір «Флотару» та «Наппи» мають явні ознаки зварювання колагенових волокон. В зоні лазерної абляції також було виявлено збільшення міжструктурних відстаней між пучками волокон колагену, що стало результатом теплофізичних процесів дії лазерного випромінювання.

Наукова новизна. Визначено ефект впливу глибини та площі лазерної абляції на морфологічну структуру дерми та гігієнічні властивості натуральних шкір для верху взуття та шкіргалантерейних виробів.

Практична значимість. Визначено паропроникність натуральних шкір для верху взуття та шкіргалантерейних виробів під дією лазерного випромінювання. Встановлено значення глибини та площі лазерної абляції для оздоблення виробів з натуральної шкіри з урахуванням впливу на гігієнічні властивості виробів в цілому.

Ключові слова: лазерне гравірування; вироби зі шкіри; глибина та площа абляції; паропроникність; електронна скануюча мікроскопія; гігієнічні властивості шкіри.

Вступ. Лазерні технології останнім часом знаходять більш широке застосування в промисловості, тому що розвиток сучасного виробництва зумовлює впровадження наукомістких технологій та інноваційних підходів до вирішення різних робочих задач. Використання лазерної обробки матеріалів дозволяє забезпечити високу якість виробів, задану продуктивність процесів, їх екологічність, а також економію людських та матеріальних ресурсів. В результаті використання лазерного променя для обробки матеріалів з'являється можливість удосконалення типових технологій виготовлення виробів та поліпшення якості виконання технологічних операцій [1, 2].

Одним з перспективних напрямів застосування випромінювання безперервних лазерів слід вважати різання та обробку матеріалів, при чому найбільш ефективним є використання СО₂-лазерів, які мають найвищий ККД (15–20%) [3]. Лазерне випромінювання з довжиною хвилі 10,6 мкм поглинається різними органічними матеріалами, в тому числі матеріалами біогенного походження (натуральна шкіра) та хімічного (штучна шкіра, тканини зі штучних та синтетичних волокон тощо). Енергія лазера може бути направлена безпосередньо в окремі

ділянки виробу з метою вирішення конкретних технологічних задач (різання/оздоблення). Доцільним виявляється використання лазерів в таких процесах, де залучення лазерного устаткування дозволяє виконувати цілий ряд операцій одночасно або в одному технологічному циклі. Постійне удосконалення методів обробки натуральної шкіри обумовлено необхідністю підвищення ергономічних та естетичних властивостей виробів (взуття, одяг, шкіргалантерейні вироби); збільшенням техніко-економічних показників; впровадженням ресурсоощадних, швидко адаптивних технологій на різних етапах виробництва.

Оздоблення виробів зі шкіри із застосуванням лазерного обладнання виконується з дотриманням встановлених раціональних параметрів обробки [4] та індивідуальних особливостей шкіри, а саме її сировинного походження, методу дублення, ступеню обробки лицьової поверхні та інше [5]. Дозуючи теплові навантаження шляхом регулювання потужності та швидкості лазерного випромінювання, можна реалізувати різні види обробки, забезпечуючи необхідний температурний режим. Лазерний промінь здатен нагріти опромінювану ділянку виробу до високих температур за дуже короткий час, протягом якого тепло не встигає розсіюватися, а оброблювана ділянка може бути при цьому розм'якшеною, рекристалізованою, розплавленою або взагалі часткового випаритися [6]. Деструктивний характер процесу безпосередньо впливає на лицьову поверхню шкіри та її структуру, створюючи унікальний об'ємний візерунок, значення якого засновано на візуальному ефекті та естетичних особливостях виробу.

Постановка завдання. Визначення ефекту впливу лазерного гравірування на фізико-механічні властивості шкір обумовило вибір раціональних технологічних режимів виконання процесу гравірування та визначення допустимих значень глибини та площі лазерної абляції. Проте ефект впливу лазерного випромінювання на гігієнічні властивості шкіри для верху взуття та шкіргалантерейні вироби досі не визначено. Більшість лазерних технологій заснована на тепловій дії, тобто передбачається необхідність нагрівання матеріалу до заданої температури. Поглинання теплової енергії для натуральної шкіри носить об'ємний характер, при цьому глибина проникнення лазерного променя визначається фізичними властивостями шкіри, яка є анізотропним неоднорідним матеріалом, що передбачає відмінність властивостей на різних його ділянках. Тому для визначення послідовності тавпелу теплофізичних процесів, що відбуваються під дією лазерного випромінювання, проведено мікроскопічний аналіз топологічних та морфологічних змін структури дерми натуральної шкіри (Краст, «Флотар» та «Наппа») з метою встановлення залежності впливу лазерного гравірування на гігієнічні властивості шкір.

Метою роботи є визначення закономірності впливу глибини та площі лазерної абляції на гігієнічні властивості різних шкір та дослідження впливу лазерного випромінювання на тонку структуру та макроструктуру дерми.

Результати дослідження. Натуральну шкіру розглядають як систему переплетення колагенових волокон, у якій поверхня структурних елементів поєднана молекулами дубителя, а внутрішня структура елементів залишається без зміни [10]. Волокниста структура дерми має надзвичайно складну будову. Існує умовний розподіл структури колагену на мікро- та макроструктуру. Показниками макроструктури є сплетення пучків волокон, кут сплетення, компактність, звивистість пучків та ступінь розгалуження волокон. Між елементами структури волокон, а також між самими волокнами в дермі виникає додаткова взаємодія, яка зберігається навіть після зневоднення шкіряного покриття шляхом повітряного сушіння [7]. При утворенні первинних та вторинних волокон колагену дерми проявляється ефект взаємної орієнтації та взаємодії фібрил, діаметр яких досягає сотень нанометрів. Важливою особливістю вторинних волокон дерми великої рогатої худоби є те, що їх закінчення, які мають діаметр 5...10 мкм, розташовані у поверхневих шарах дерми. У середньому шарі вони

збільшуються до 20 мкм [8] і кожне з них поєднує 20...1000 первинних волокон діаметром близько 5 мкм, у перерізі яких по 200...800 фібрил.

Дослідження властивостей різних видів шкір методом розволокнення виявило велику різницю між середніми значеннями довжин волокон, які в 5-17 разів перевищують товщину відповідної ділянки [9]. Колагенові волокна порівняно з іншими волокнистими матеріалами містять більше міжструктурних проміжків пр. чому поєднують високу міцність із значною гнучкістю. Відмінності структури та властивостей різних ділянок сітчастого шару дерми можна спостерігати, аналізуючи мікрофотографії поперечного перерізу шкір (рис. 1).

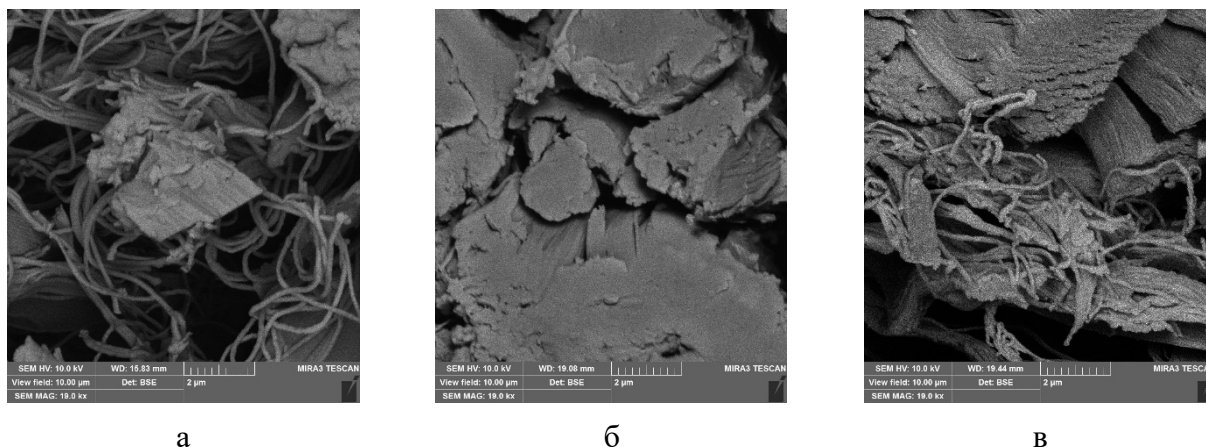


Рис. 1. Мікрофотографії поперечних зрізів зразків шкір:
а) Краст; б) «Флотар»; в) «Наппа»

Гістологічні дослідження дерми шкур великої рогатої худоби (ВРХ) дозволили визначити зміни властивостей шкіри, які зумовлені різними процесами виробництва – механічними та хімічними ефектами, що поєднуються із впливом вологи та тепла, і головним чином, дубленням. Основною зміною, що відбувається в шкірі при дубленні, є втрата здатності зморщуватися при висиханні, в результаті чого відбувається зв'язування часток колагену частками дубителя [11]. Це значно зміцнює систему та підвищує температуру зварювання шкір, хоча загальна структура в основному зберігається. Процес дублення призводить до порушення упорядкованості структури колагенових пучків та волокон, але основні міжструктурні відстані майже не змінюються [7].

Для дослідження впливу лазерного випромінювання на структуру натуральних шкір хромового методу дублення зі шкур ВРХ були обрані зразки шкіри для верху взуття та шкіргалантерейних виробів: Краст, «Флотар» та «Наппа» товщиною 1,4–1,45 мм, які мали глибину абляції від 0,1 мм до 0,7 мм з кроком 0,1 мм. Дослідження проводилося з метою визначення морфологічних змін мікро- та макроструктури дерми під дією лазерного випромінювання та встановлення граничних значень глибини та площі лазерної абляції, які не погіршують гігієнічні властивості шкір та виробів в цілому. Для експериментальних досліджень було застосовано метод скануючої електронної мікроскопії (СЕМ) із залученням електронного мікроскопу Tescan Mira 3 LMU (рис. 2), який застосовується для дослідження топології та морфології поверхні органічних та неорганічних матеріалів (в тому числі непровідних), а також біологічних об'єктів з граничною роздільною здатністю 1 нм; ідентифікації елементного складу поверхні матеріалу, кількісного аналізу елементного складу поверхні (або обраної ділянки), зокрема побудова карт розподілу хімічних елементів; вимірювання мікроструктур та мікротекстур [12].

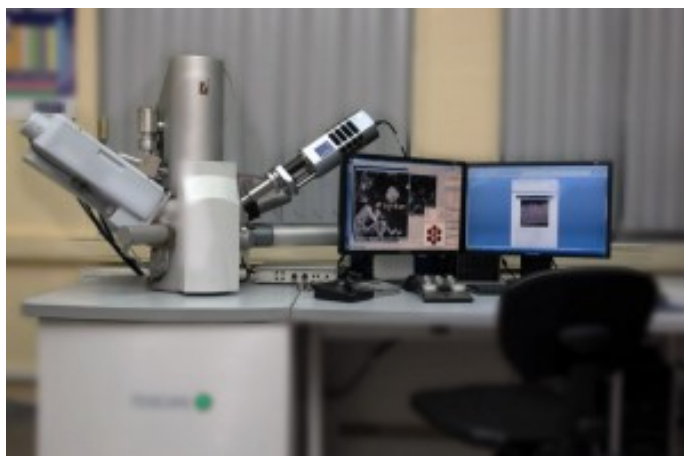


Рис. 2. Скануючий електронний мікроскоп Tescan Mira 3 LMU

У скануючому електронному мікроскопі Tescan Mira 3 LMU зручно вивчати зразки, які проводять електричний струм. Для вивчення зразків, що не проводять струм, розроблено кілька різних прийомів, покликаних подолати артефакти СЕМ-зображень, які викликані такими особливостями. Саме тому напилювальна установка є стандартним супутнім обладнанням до СЕМ. Для отримання якісних інформативних результатів на поверхню зразка та зрізи шкіри було напилено тонкий шар (1) провідного матеріалу - в даному випадку платини (рис. 3), який вкриває нативну поверхню зразка, поперечний зріз та зону прямої дії лазерного променя.

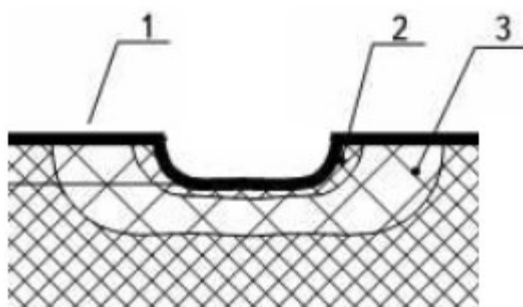


Рис. 3. Схема підготовки зразків шкір для електронно-мікроскопічного дослідження

Електронний скануючий мікроскоп Tescan Mira 3 LMU дозволяє отримати зображення з просторовою роздільною здатністю в режимі низького вакууму: 1.5 нм 30 кВ, 3 нм 3 кВ; збільшення: 3,5х – 1 000 000х. Додатково встановлені детектори ВЕ для роботи в низькому вакуумі та детектор для досліджень в просвічуючому режимі, енергодисперсійний та хвиледисперсійний спектрометри відбитих електронів.

При взаємодії сфокусованого електронного пучка з поверхнею шкіри генерується безліч відповідних сигналів. Кожен тип сигналу особливо чутливий до певного властивості зразка. Відповідно для реєстрації різних типів сигналу потрібна своя конструкція детектора. Детектор вторинних електронів SE (secondary electrons) чутливий до рельєфу поверхні зразка, тому SE-детектор дає найбільш точний результат при вивченні морфології поверхні. Детектор відбитих електронів BSE (backscattered electrons) використовувався для визначення якісного складу зразків. Сигнал відбитих електронів чутливий до композиційного контраста, тобто компоненти шкіри, які мають різний склад, матимуть різні відтінки в градаціях сірого на BSE-зображеннях (рис. 4). Це дозволяє візуалізувати усі елементи в будові шкіри.

Результати електронної мікроскопії показують, що структура дерми під дією лазерного випромінювання не зазнала суттєвих морфологічних змін. Всі зразки шкіри зберегли природну гістологічну будову: шари розташовані рівномірно без збільшення щільності структури, колагенові пучки не деформовані (рис. 4), що підтверджує правильність вибору технологічних параметрів виконання операції лазерного гравірування.

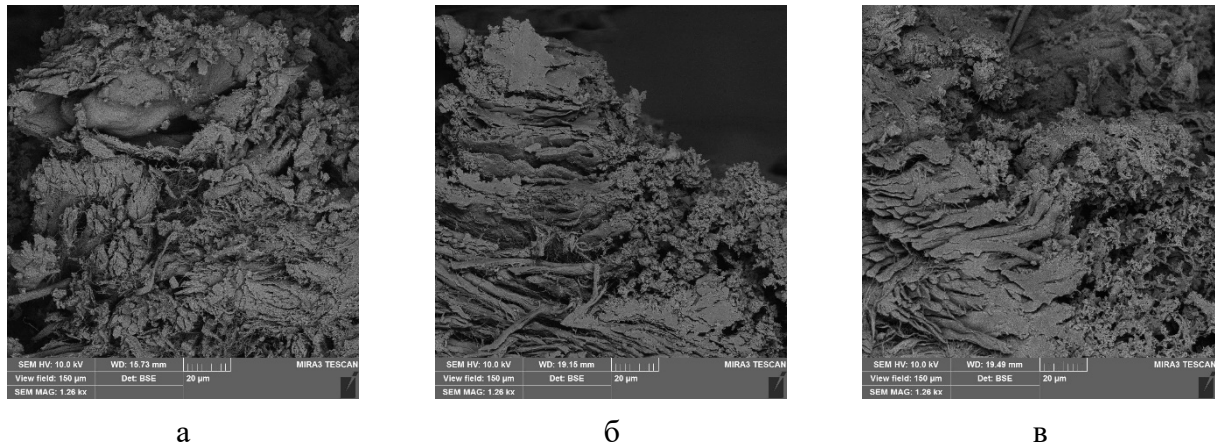


Рис. 4. Електронно-мікроскопічне зображення поперечних зрізів зразків шкір в зоні абляції: а) Краст; б) «Флотар»; в) «Наппа»

На мікрофотографіях (вид зверху) зрізів виявлені особливості, які характерні лише для ділянки прямої дії лазерного променя, а саме зразки шкір «Флотару» та «Наппи» мають явні ознаки зварювання колагенових волокон, при цьому на поверхні зразка не має шару з залишків покривної плівки або інших хімічних компонентів/наповнювачів шкіри (рис. 5 б, в). Видалений лазерним променем шар шкіри перетворюється в аморфний вуглець та видаляється з зони дії лазера газовим потоком.

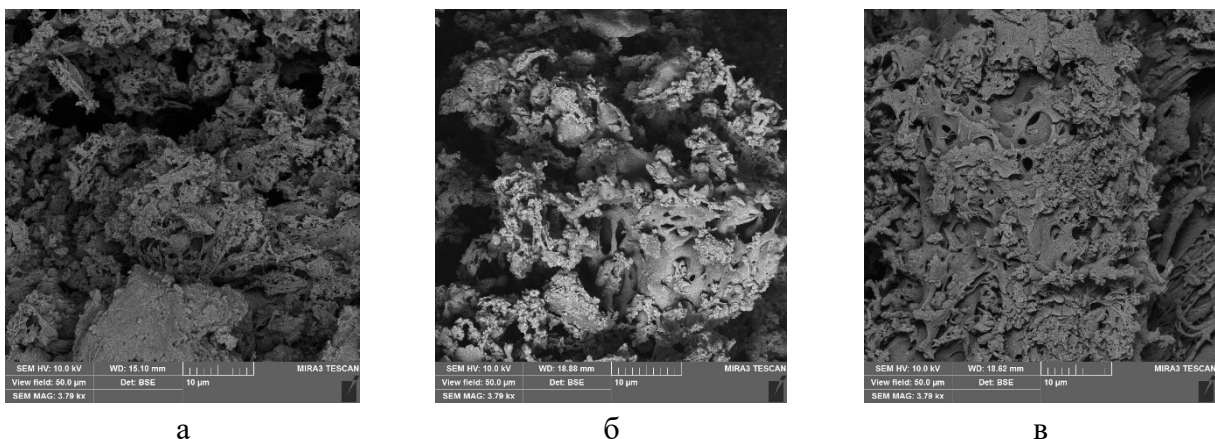


Рис. 5. Електронно-мікроскопічне зображення виду зверху поверхневого шару зразків шкір в зоні лазерної абляції: а) Краст; б) «Флотар»; в) «Наппа»

Подальший аналіз зони прямої дії лазера виявив збільшення міжструктурних відстаней між пучками волокон колагену в зоні абляції (на поверхні). Такі зміни стали результатом теплофізичних процесів, які схематично представлені на рис. 6. Зміна стану досліджуваних зразків залежить від коефіцієнта поглинання матеріалу на довжині хвилі лазера, його граничної потужності і тривалості впливу. Стійкість шкір до дії тепла характеризується

температурою зварювання, яка дорівнює 80-130°C (для хромового дублення) та витримує коротке нагрівання до 170°C. Тривалість дії лазерного випромінювання значно впливає на процес виконання обробки та визначає температуру та розміри прогрітих шарів в матеріалі.

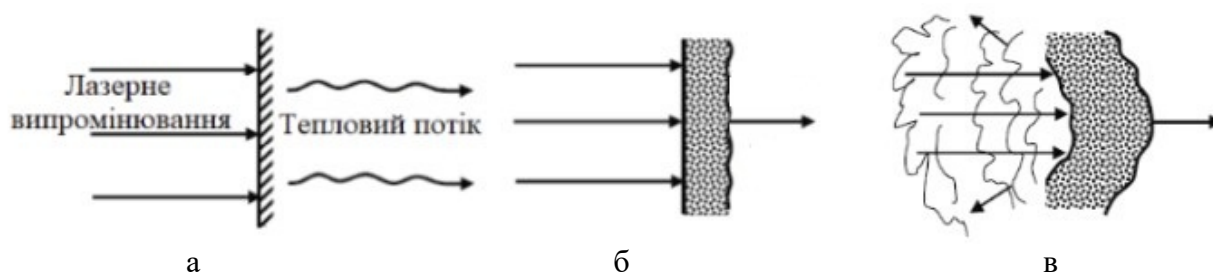


Рис. 6. Алгоритм дії лазерного випромінювання на натуральну шкіру:
а) поглинання і нагрівання; б) плавлення; в) випаровування

Лазерне випромінювання, попадаючи на поверхню зразка шкіри, поглинається відповідно до закону Бугера Ламберта:

$$I(x) = I_0 \exp(-\alpha x), \quad (1)$$

де $I(x)$ – інтенсивність лазерного випромінювання, що проникає в шкіру на глибину x ;
 I_0 – інтенсивність падаючого на матеріал лазерного випромінювання;
 α – монохроматичний коефіцієнт поглинання.

Якщо інтенсивність випромінювання надто велика, то в результаті виконання операції може відбуватися повне прогорання отворів у товщині шкіри та пошкодження/опалення кромки зрізу. За короткий час в шкірі формується теплове джерело, дія якого призводить до руйнування матеріалу після досягнення певної температури. Нагрівання зразка описується диференціальним рівнянням теплопровідності, а температура, до якої нагрівається об'єкт впливу, визначається щільністю поглиненої потужності випромінювання q , яка залежить від потужності випромінювання P_0 , її розподілу за поверхнею і поглинальної здатності об'єкта A :

$$q = P_0 A / S, \quad (2)$$

де S – площа опроміненої зони на поверхні зразка.

Таким чином, з рішення рівняння теплопровідності для різних шкір, враховуючи коефіцієнт теплопровідності, щільність та товщину матеріалу, фокусну відстань, температуру зварювання та швидкість виконання лазерної обробки, можна визначити зв'язок температури нагрівання шкіри з щільністю потужності лазерного випромінювання q , що дозволяє визначити граничне значення потужності для виконання обробки шкір, при якому температура поверхні зразка до моменту закінчення дії операції гравірування буде досягати заданого значення. В табл. 1 наведені технологічні параметри лазерної обробки, при яких рекомендовано виконання операцій гравірування та розкрою шкір Краст, «Флотар» та «Наппа», підтверджені експериментальними дослідженнями. Глибина лазерної абляції, що дорівнює 25–30% від товщини шкіри, є оптимальною та немає негативного впливу на гістологічну будову шкір, не погіршує експлуатаційні характеристики виробів.

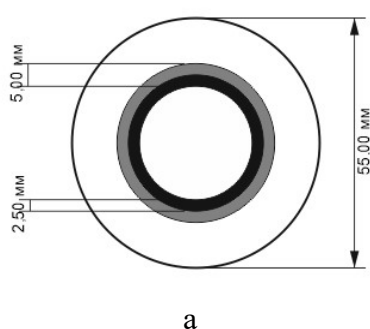
За результати електронної мікроскопії зразків шкіри (рис. 5) можна констатувати, що лазерна обробка не має негативного впливу на макроструктуру дерми та відкриваючи капілярно-пористу структуру шкіри, змінює значення показника паропроникності шкір. Дослідження гігієнічних властивостей шкір Краст, «Флотар» та «Наппа» проводились згідно

з ISO 14268:2008 шляхом визначення паропроникності, яка характеризує здатність шкіри пропускати водяну пару. Визначення паропроникності полягає у створенні різниці пружності водяної пари по обидва боки дослідного зразка та встановленні кількості водяної пари, що пройшла через одиницю площі за одиницю часу. Попередньо в робочих зонах зразків були нанесенні гравіровані елементи, 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. 7).

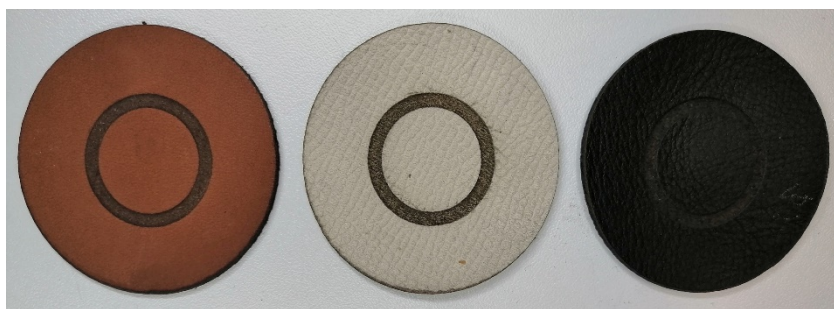
Таблиця 1

Технологічні параметри лазерної обробки шкір для верху взуття та шкіргалантерейних виробів

Вид шкіри	Гравірування		Розкрій	
	Потужність променю, Вт	Швидкість головки лазеру, мм/с	Потужність променю, Вт	Швидкість головки лазеру, мм/с
Краст	17	300	80	70 – 80
«Флотар»	17-19	270-300	70	60 – 65
«Наппа»	15-17	270-300	70	60 – 65



а



б

в

г

**Рис. 7. Зразки шкіри для випробувань
а) графічний макет; б) Краст; в) «Флотар»; г) «Наппа»**

Показником відносної паропроникності є відношення маси водяної пари, що пройшла через досліджуваний зразок із простору з більшою щільністю водяної пари у простір до маси водяної пари, що випаровується з вільної поверхні за таких самих умов. Побудовані діаграми демонструють (рис. 8), що зі збільшенням глибини абляції до 0,7 мм (50% від загальної товщини зразка), відносна паропроникність збільшується у всіх зразках досліджуваних шкір. В порівнянні з контрольними зразками, де абляція відсутня, відносна паропроникність для шкіри Краст збільшилась на 5%, «Флотару» на 13,5% та на 9,5% для «Наппи».

При збільшенні площі абляції до 50% від робочої зони зразків, спостерігається різке зростання відносної паропроникності для шкіри «Флотар» на 25% в порівнянні з контрольним зразком. Відповідно для шкіри Краст збільшення показника в межах 8,5%, а для «Наппи» – 11,6%. Таким чином, доведено залежність паропроникності від глибини та площі лазерної абляції, встановлено вплив на гігієнічні властивості виробів зі шкіри, а особливо при виготовленні взуття, оздобленого лазерним гравіруванням.

Гігієнічні властивості взуття визначаються в основному властивостями матеріалів, з яких воно виготовлено, та його конструкцією. Для забезпечення комфортних умов експлуатації матеріали верху взуття, підкладки та устілок повинні володіти не тільки паропроникністю, але і здатністю поглинати пари води для забезпечення необхідного мікроклімату у внутрішньовзуттєвому просторі. Пари вологи через матеріал можуть проникати двома шляхами: через наскрізні пори, розташовані між волокнами шкіри, і шляхом

адсорбції парів з середовища з більшою вологістю повітря, їх дифузії і десорбції в середу з меншою вологістю. Якщо у взутті відвід пари ускладнено через малу паропроникність та вологовідведення, то в процесі носіння при терті стопи створюються мікроділянки підвищеної температури і, як наслідок, неприємні відчуття перегріву і печіння стопи. Покращення гігієнічних властивостей реалізовано за рахунок оздоблення зовнішніх та внутрішніх деталей перфорацією та лазерним гравіруванням.

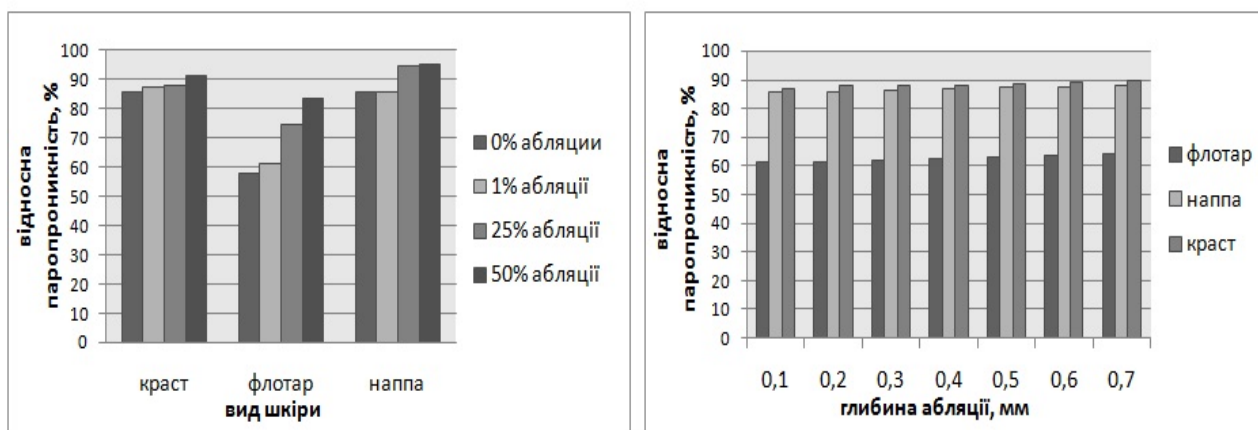


Рис. 8. Залежність паропроникності від площі та глибини абляції

Відповідно до вставлених параметрів лазерної обробки з урахуванням її впливу на гігієнічні властивості шкір було розроблено дизайн та конструкцію моделей взуття та вкладних устілок з оздобленням лазерним гравіруванням та перфорацією (рис. 9).



Рис. 9. Вироби зі шкіри, оздоблені лазерним гравіруванням

Висновки. Дослідження впливу глибини та площі лазерної абляції на гігієнічні властивості натуральних шкір дозволило оцінити ступінь впливу лазерного випромінювання на структуру дерми шкіри; визначити вплив теплофізичних процесів, що супроводжують процес лазерної обробки, на морфологічну будову шкір Краст, «Флотар» та «Наппа».

Встановлено, що стан структури дерми шкір під дією лазерного випромінювання не зазнає принципових морфологічних змін будови, а сам процес обробки не має негативного впливу на її макроструктуру. Зміни, що спостерігаються в зоні абляції, а саме на зразках шкір «Флотару» та «Наппи» вказують на явні ознаки зварювання колагенових волокон. Також спостерігається збільшення міжструктурних відстаней між пучками колагену, що стало результатом теплофізичних процесів лазерної обробки, при потужності променю від 15 до 19 Вт і швидкості головки лазера від 270 до 300 мм/с.

Доведено, що збільшення глибини абляції до 50–52% від товщини зразків та площі абляції до 50% від загальної площі значно підвищують показник μ паропроникності у всіх

зразках шкір, що відбувається внаслідок відкриття капілярно-пористої структури шкіри. В порівнянні з контрольними зразками, де абляція відсутня, відносна паропроникність для шкіри Краст збільшилась на 8,5%, «Флотару» на 25% та на 11,6% для «Наппи».

Покращення гігієнічних властивостей виробів зі шкіри досягається за рахунок розробки дизайну та конструкцій взуття та його окремих деталей з застосуванням лазерного гравірування та перфорації. Глибина лазерної абляції, що дорівнює 25-30% від товщини шкіри, та площа гравірованих елементів менша 50% від загальної площі деталі є раціональними технологічними параметрами для лазерного оброблення шкіри, що забезпечать гарні гігієнічні властивості та не погіршать експлуатаційних характеристик виробів.

References

Література

1. Grigoriants, A. G. (1989). Osnovy lazernoї obrabotki materialov [Basics of laser material processing]. Moscow: Mashinostroenie. 304 p. [in Russian].
1. Григор'янц А. Г. Основы лазерной обработки материалов. Москва: Машиностроение, 1989. 304 с.
2. Rykalin, N. N., Uglov, A. A., Kokora, A. N. (1975). Lazernaya obrabotka materialov [Laser processing of materials]. Moscow: Mashinostroenie. 205 p. [in Russian].
2. Рыкалин Н. Н., Углов А. А., Кокора А. Н. Лазерная обработка материалов. Москва: Машиностроение, 1975. 205 с.
3. Yashina, M. A., Trunova, I. G., Pachurin, G. V., Shevchenko, S. M. (2016). K voprosu ispolzovaniya lazernogo oborudovaniya v tsekhakh gibkikh avtomatizirovanykh proizvodstv [On the use of laser equipment in the workshops of flexible automated production]. Moscow: Tekhnosfera. p.42. [in Russian].
3. Яшина М. А., Трунова И. Г., Пачурин Г. В., Шевченко С. М. К вопросу использования лазерного оборудования в цехах гибких автоматизированных производств. Москва: Техносфера, 2016. 42 с.
4. Borshchevska, N. M. (2020). Doslidzhennia vplyvu lazernoho hraviruvannia na fizyko-mekhanichni vlastyvoli naturalnykh shkir dlia verkhу vzut'tia ta shkirhalantereynykh vyrobiv [Investigation of the influence of laser engraving on the physical and mechanical properties of genuine leather for shoe uppers and leather goods]. Visnyk KNUITD. Tekhnichni nauky, 5 (150): 46–55. [in Ukrainian].
4. Борщевська Н. М. Дослідження впливу лазерного гравірування на фізико-механічні властивості натуральних шкір для верху взуття та шкіргалантерейних виробів. Вісник КНУТД. Технічні науки. 2020. № 5 (150). С. 46–55.
5. Danylkovich, A. (2006). Praktykum z khimii ta tekhnologii shkiry ta khurta. [Workshop on chemistry and technology of leather and fur]. Kyiv: Feniks. 340 p. [in Ukrainian].
5. Данилкович А. Г. Практикум з хімії та технології шкіри та хутра: навчальний посібник. Київ: Фенікс, 2006. 340 с.
6. Parfenov, V. A. (2011). Lazernaya mikroobrabotka materialov: uchebnoye posobiye [Laser micromachining of materials: a tutorial]. St. Petersburg: LETI. 59 p. [in Russian].
6. Парфенов В. А. Лазерная микрообработка материалов: учебное пособие. Санкт-Петербург: Издательство СПбГЭТУ "ЛЭТИ", 2011. 59 с.
7. Strakhov, I. et al. (1970). Khimiya i tekhnologiya kozhi i mekha [Chemistry and technology of leather and fur]. Moscow: Legkaya industriya. 632 p. [in Russian].
7. Страхов И. П. и др. Химия и технология кожи и меха. Москва: Легкая индустрия, 1970. 632 с.
8. Rybalchenko, V. V., Konoval, V. P., Druhulias, E. P. (2010). Materialoznavstvo vyrobiv lehkoї promyslovosti. Metody vyprobuvan: navchalnyi posibnyk [Materials science of light industry products. Test methods: textbook]. Kyiv: KNUITD. 395 p. [in Ukrainian].
8. Рибальченко В. В., Коновал В. П., Дрегуляс Е. П. Матеріалознавство виробів легкої промисловості. Методи випробувань: навч. посібник. Київ: КНУТД, 2010. 395 с.
9. Zakharenko, V. O., Sorokina, S. V., Akmen, V. O. (2019). Vyvchennia mikrostruktury naturalnoi shkiry ta yii vplyv na fizychni vlastyvoli: monohrafiia [Study of the microstructure of genuine leather and its effect on physical properties: a monograph]. Kharkiv: KhDUKhT. 138 p. [in Ukrainian].
9. Захаренко В. О., Сорокіна С. В., Акмен В. О. Вивчення мікроструктури натуральної шкіри та її вплив на фізичні властивості: монографія. Харків: ХДУХТ, 2019. 138 с.

10. Miglyachenko, A. F. (1972). Opredeleniye parametrov poristoy struktury kozhi [Determination of the parameters of the porous structure of the skin]. *Kozhevenno-obuvnaya promyshlennost*, 2: 31. [in Russian].

11. Pavlin, A. V. (1979). Mikrostruktura i sootnosheniye makro- i mikropor v kozhe [Microstructure and ratio of macro- and micropores in the skin]. *Izvestiya vuzov: Tekhnologiya legkoy promishlennosti*, 5: 49–54 [in Russian].

12. Krishtal, M. M., Yasnikov, I. S., Polunin, V. I., Filatov, A. M., Ulianenkov, A. G. (2009). Skaniruyushchaya elektronnaya mikroskopiya i rentgenospektralnyy mikroanaliz [Scanning electron microscopy and X-ray microanalysis]. Moscow: Tekhnosfera. 166 p. [in Russian].

10. Мигляченко А. Ф. Определение параметров пористой структуры кожи. *Кожевенно-обувная промышленность*. 1972. № 2. С. 31.

11. Павлин А. В. Микроструктура и соотношение макро- и микропор в коже. *Известия вузов. Технология легкой промышленности*. 1979. № 5. С. 49–54.

12. Криштал М. М., Ясников И. С., Полунин В. И., Филатов А. М., Ульяненок А. Г. Сканирующая электронная микроскопия и рентгеноспектральный микроанализ. Москва: Техносфера, 2009. 166 с.

BORSHCHEVSKA NATALIA

Assistant, Department of Design and Technologies of Leather Products, Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-3242-0419>
E-mail: borshoes@gmail.com

PERVAIA NATALIYA

Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Design and Technologies of Leather Products, Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-5086-3926>
Scopus Author ID: 57208470971
E-mail: nataliapervaia@gmail.com

БОРЩЕВСКАЯ Н. Н., ПЕРВАЯ Н. В.

Киевский национальный университет технологий и дизайна, Украина

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ЛАЗЕРНОЙ ГРАВИРОВКИ
НА ГИГИЕНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НАТУРАЛЬНОЙ КОЖИ
ДЛЯ ВЕРХА ОБУВИ И КОЖГАЛАНТЕРЕЙНЫХ ИЗДЕЛИЙ**

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

Методика. Для реализации поставленной цели использован метод сканирующей электронной микроскопии (СЭМ). Исследование гигиенических свойств кож Краст, «Флотар» и «Наппа» проводилось согласно ISO 14268: 2008 путем определения их паропрооницаемости.

Результат. Исследования воздействия лазерной обработки на гигиенические свойства натуральных кож для верха обуви и кожгалантерейных изделий определили характер изменений микро- и макроструктуры дермы под действием лазерного гравирования, а также допустимые предельные значения глубины и площади лазерной абляции. С увеличением глубины абляции до 0,7 мм (50% от общей толщины образца) относительная паропрооницаемость увеличивается во всех образцах исследуемых кож, при этом для кожи Краст увеличилась на 5%, «Флотара» на 13,5% и на 9,5% для «Наппы». Оптимальное значение глубины лазерной абляции, которое не ухудшает эксплуатационные и гигиенические характеристики изделий, составляет 25-30% от толщины кожи. На лицевой поверхности кож выявлены особенности, характерные только для участка прямого действия лазерного луча, а именно образцы кож «Флотар» и «Наппа» имеют явные признаки сваривания коллагеновых волокон. В зоне лазерной абляции также было выявлено увеличение межструктурных расстояний между пучками волокон коллагена, что стало следствием теплофизических процессов действия лазерного излучения.

Научная новизна. Определены эффект влияния глубины и площади лазерной абляции на морфологическую структуру дермы и гигиенические свойства натуральных кож для верха обуви и кожгалантерейных изделий.

Практическая значимость. Определена паропроницаемость натуральных кож для верха обуви и кожгалантерейных изделий под действием лазерного излучения. Установлены значения глубины и площади лазерной абляции для отделки изделий из натуральной кожи с учетом влияния на гигиенических свойства изделий в целом.

Ключевые слова: лазерная гравировка; изделия из кожи; глубина и площадь абляции; паропроницаемость; электронная сканирующая микроскопия; гигиенические свойства кожи.

BORSHCHEVSKA N. M., PERVAIA N. V.

Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine

DETERMINATION OF THE INFLUENCE OF LASER ENGRAVING ON THE HYGIENIC PROPERTIES OF NATURAL LEATHER FOR SHOE UPPERS AND LEATHER GOODS

Purpose. Investigation of the effect of laser engraving on the hygienic properties of nature leather for uppers and leather goods, namely leather Krast, Flotar and Nappa.

Methodology. To achieve this goal, the method of scanning electron microscopy (SEM) was used. Hygienic properties of Krast, Flotar and Nappa hides was studied in accordance with ISO 14268: 2008 by determining vapor permeability.

Findings. According to the results of the study of the effect of laser radiation on the hygienic properties of nature leather for uppers and leather goods, the nature of changes in the micro- and macrostructure of the dermis under laser engraving and allowable depth and area of laser ablation that do not impair the hygienic properties of these skins and products. With increasing ablation depth to 0,7 mm (50% of the total thickness of the sample), the relative vapor permeability increases in all samples of the studied skins, while the relative vapor permeability for the skin of Krast increased by 5%, Flotar by 13,5% and 9,5% for Nappa. The optimal value of the depth of laser ablation, which does not impair the operational and hygienic characteristics of the products is 25–30% of the skin thickness. On the front surface revealed features of the structure, which are characteristic only for the area of direct action of the laser beam, namely the skin samples Flotar and Nappa have obvious signs of welding collagen fibers. In the area of laser ablation, an increase in the interstructural distances between the bundles of collagen fibers was also detected, which was the result of thermophysical processes of laser radiation.

Originality. The determined effect affects the depths and flat laser ablations on the morphological structure of the dermis and the hygienic properties of natural leather for shoe uppers and leather goods.

Practical value. The vapor permeability of genuine leather for the uppers of shoes and leather goods under the action of laser radiation was determined. The value of the depth and area of laser ablation for finishing leather products, taking into account the impact on the hygienic properties of products in general.

Keywords: laser engraving; leather products; depth and area of ablation; vapor permeability; hygienic properties of leather; method of scanning electron microscopy.

УДК 677.075:
[620.17:
658.662]

ЄЛІНА Т. В., ГАЛАВСЬКА Л. Є.

Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

ЕРГОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ТРИКОТАЖУ ТА ЇХ ЗВ'ЯЗОК З ГЕОМЕТРИЧНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

Мета. Метою даного дослідження є аналіз ергономічних показників якості трикотажу, що формують відчуття термофізіологічного комфорту людини, та встановлення їх зв'язку з геометричними характеристиками будови трикотажу для вивчення можливості прогнозування комфортності за допомогою систем автоматизованого проектування.

Методика. У процесі дослідження використано методи теоретичного аналізу, основні положення теорії в'язання, теорії тонких пружних оболонок, базові поняття механіки та основ гідродинаміки.

Результати. Проведено теоретичний аналіз наукових робіт та нормативно-технічної документації, присвячених різним аспектам визначення та забезпечення на необхідному рівні ергономічних показників якості трикотажу, що характеризують рівень його зручності та комфортності. З'ясовано, що більшість науковців вважають найбільш важливими для формування відчуття комфорту показники повітропроникності, паропроникності, теплопроводності, гігроскопічності, електричного опору, а також показники жорсткості та розтяжності, адже вони забезпечують здатність трикотажу зберігати форму та відповідати розмірам тіла людини.

У ході аналізу встановлено, що показники ергономічності трикотажу, які формують термофізіологічний комфорт виробів з нього, залежать від таких характеристик як діаметр нитки; довжина нитки в петлі; петельний крок; висота петельного ряду; товщина та інші. Теоретичні моделі механічних та фізичних властивостей трикотажу є функціями геометричних характеристик його будови, тому від якості тривимірної геометричної моделі нитки, пров'язаної у трикотаж, залежить якість прогнозування властивостей трикотажу як текстильного матеріалу з використанням сучасних програмно-аналітичних комплексів.

Наукова новизна. У результаті аналітичного огляду наукових публікацій та нормативно-технічної документації визначено показники ергономічності трикотажу, що формують відчуття термофізіологічного комфорту та встановлено їх зв'язок з геометричними характеристиками будови трикотажу.

Практична значимість. Проаналізовано оприлюднені у наукових публікаціях теоретичні моделі повітропроникності, теплопроводності та розтяжності з точки зору можливості їх використання у якості основи математичного забезпечення системи автоматизованого проектування трикотажних виробів.

Ключові слова: трикотаж; ергономічні показники; термофізіологічний комфорт; геометричні характеристики будови; повітропроникність; теплопровідність; фактура поверхні; розтяжність.

Вступ. Показники ергономічності об'єднують групу показників, які характеризують вплив текстильних матеріалів, зокрема трикотажу, на самопочуття та працездатність людини, зручність при експлуатації виробів. Сюди відносять показники, які свідчать про гігієнічність полотен та комфортність виробів з них (гігроскопічність, капілярність, водопоглинання, повітро- і паропроникність, теплопровідність, жорсткість, товщина, розтяжність тощо). При цьому розрізняють загальні, обов'язкові для всіх груп полотен, та спеціальні (додаткові) показники, що використовуються лише для окремих груп полотен залежно від їх призначення. За визначенням, наведеним у ДСТУ 3998-2000 [1], показники ергономічності включають гігієнічні, антропометричні, фізіологічні та психологічні показники. При цьому гігієнічні показники характеризують взаємодію матеріалів або виробів з пароподібною чи рідкою вологою, здатність матеріалів до генерації чи накопичення зарядів статичної електрики,

проникність матеріалів або виробів для повітря, пари, тепла тощо. До антропометричних показників відносять показники, що характеризують відповідність конструкції виробу формі та розмірам тіла людини.

Відповідно до [2], показники ергономічності текстильних матеріалів, що характеризують зручність виробу та комфортність його експлуатації, включають дві підгрупи: гігієнічні показники (визначають відповідність матеріалів гігієнічним умовам життєдіяльності людини) та показники комфортності (визначають ступінь відповідності матеріалів фізіологічним та психологічним особливостям людини).

Виробники сучасних текстильних матеріалів широко використовують нові види сировини та оригінальні технологічні рішення для того, щоб задовольнити найрізноманітніші вимоги споживачів, що поступово зміщуються у бік забезпечення максимальної комфортності та функціональності. Комфорт зазвичай описується сотнями параметрів. Однак основними аспектами комфорту є психологічний, термофізіологічний та нейрофізіологічний [3]. Оскільки оцінка рівня психологічного комфорту головним чином спирається на суб'єктивні відчуття людини, дослідження комфортності текстильних матеріалів та виробів стосуються більшою мірою питань забезпечення комфорту термофізіологічного та нейрофізіологічного (який у інших дослідженнях називають тактильним або сенсорним [4]). Сенсорний комфорт характеризується тим, що відчуває людина внаслідок взаємодії одягу та шкіри у певних атмосферних умовах. На відчуття нейрофізіологічного комфорту впливають фактура матеріалів, шорсткість поверхні, здатність до зминання та створення заломів [5, 6]. З посиланням на роботу А. Iggo (1988) [7] автори дослідження [4] відзначають наявність трьох основних подразників шкіри: механічний контакт з зовнішніми об'єктами, температурні зміни, викликані тепловими потоками, хімічні впливи. У відповідь на різноманітні подразнення рецептори шкіри можуть продукувати відчуття тепла, холоду, дотику чи болю. На нейрофізіологічний аспект [4] комфортності текстильного матеріалу одягу також впливають такі характеристики як: колючість (prickliness) та (scratchiness), жорсткість (stiffness), м'якість (softness), гладкість (smoothness), шорсткість (roughness), тертя (friction), схильність матеріалу викликати зуд (itchiness), а також тактильні властивості: теплий чи прохолодний матеріал на дотик, чи викликає він відчуття сирості (dampness sensations). Колючість пов'язана з наявністю жорстких ворсинок, які піднімаються над поверхнею матеріалу. Вологе прилипання відбувається у наслідок потовиділення. На ступінь прилипання матеріалу найбільше впливають такі характеристики як опорна поверхня, змочуваність та площа контакту матеріалу зі шкірою. Тепло на дотик відчувається, коли одяг вперше беруть в руки або вдягають. У дослідженні С. Кавабати [8] жорсткість текстильних матеріалів розглядається як показник, що може бути визначений як об'єктивно (інструментально), так і суб'єктивно. Відчуття шорсткості залежить як від геометрії поверхні полотна, так і від площі контакту одягу зі шкірою та силової взаємодії між ними.

Прогнозування показників ергономічності трикотажних полотен та виробів з них пов'язано з визначенням їх механічних властивостей та так званих «транспортних» властивостей [4], які характеризують здатність матеріалу пропускати повітря, вбирати та відводити вологу та водяну пару. Зазвичай зручність трикотажного одягу пояснюється підвищеними показниками розтяжності та повітропроникності, які, у свою чергу, залежать від виду переплетення, параметрів технологічних режимів виготовлення й оздоблення та властивостей ниток. Завдяки прояву пружних властивостей спрощується конструкція трикотажного одягу, а зональне градування ступеню розтягу у певних межах дозволяє виробам прилеглого силуету повторювати форму тіла людини. Однак, відхилення значень тиску одягу на тіло людини у бік збільшення можуть викликати відчуття скутості рухів, перешкоджати нормальному кровообігу або натирати шкіру. З іншого боку, недостатня

пружність трикотажу може зіпсувати зовнішній вигляд, не забезпечувати потрібне утримання виробу в процесі експлуатації, викликати інші незручності. Такі показники як еластичність та розтяжність трикотажу належать до групи ергономічних показників, що забезпечують антропометричну відповідність виробів. Встановлення зв'язку між показниками будови та властивостями трикотажу є ключовою науково-технічною проблемою на шляху розробки методів проектування трикотажу з прогнозованими властивостями.

Постановка завдання. З точки зору виробника, вирішення питання формування комфортності трикотажних виробів – це частина роботи із забезпечення належної якості, адже у багатьох випадках її рівень є визначальним для споживача під час прийняття рішення щодо придбання виробу. Якість при цьому залежить від обраних методик проектування та технологій виготовлення й оздоблення [9]. Існують різні підходи до визначення показників якості трикотажних полотен та виробів та методи їх оцінювання. Так, у роботах [10–13] та ін. розрізняють чотири групи показників якості: показники призначення, експлуатаційні, гігієнічні та естетичні. При цьому механічні властивості матеріалу, такі як розривальне навантаження, жорсткість, розтяжність, відносяться до експлуатаційних, а показники, що забезпечують термофізіологічний комфорт, – до гігієнічних показників якості. У роботі [14] ергономічні показники класифікують за такими групами: показники, що характеризують проникність матеріалу для повітря, пари, тепла, світла, пилу та ін.; показники, що характеризують взаємодію матеріалу з вологою; показники, що характеризують електричні властивості та ті, що визначають здатність до забруднення та очищення від забруднень. У роботі [14] до показників ергономічності відносять також показники антропометричної відповідності виробу формі та розмірам тіла людини. За іншою класифікацією, наведеною у роботах [2, 16], саме показники ергономічності забезпечують відповідність вимогам споживача за двома підгрупами показників, такими як: гігієнічні, що визначають відповідність матеріалів гігієнічним умовам життєдіяльності людини (гігроскопічність, повітропроникність, паропроникність, теплозахисні характеристики та ін.), та показники комфортності, що визначають ступінь відповідності матеріалів та виробів, виготовлених з нього, фізіологічним особливостям та антропометричним характеристикам людини (товщина, жорсткість, поверхнева щільність та ін.). У роботі О.Б. Демократової [12] наведено перелік найбільш значущих гігієнічних показників якості, сформований на підставі аналітичного огляду двадцяти чотирьох робіт наукового та нормативно-технічного характеру, опублікованих в період з 1968 по 2002 роки. До таких показників автор відносить: повітропроникність, жорсткість, паропроникність, гігроскопічність, швидкість висихання, вологовіддачу, водовбиральність, водомісткість, вологопоглинання поверхнею, капілярність, вологопровідність, схильність до прилипання, теплопровідність, сумарний тепловий опір, електризуємість, пиломісткість та забруднюваність, матеріаломісткість, зміну лінійних розмірів після мокрих оброблень, стійкість до механічних впливів, стійкість до мокрих оброблень, стійкість пофарбування, водотривкість. Номенклатура та вагомість окремих показників залежить від призначення трикотажу, але найчастіше [12] до найбільш вагомих показників якості трикотажу відносять повітро- та паропроникність, гігроскопічність, а також питомий поверхневий електричний опір.

Встановлення математичних залежностей між геометричними характеристиками будови трикотажу та його ергономічними показниками є складною багатофакторною задачею, а її вирішення є ключовим етапом створення математичного забезпечення для сучасних засобів проектування трикотажу з прогнозованими властивостями.

Результати досліджень. Ергономічні властивості трикотажних полотен забезпечують зручність і комфорт при експлуатації виробів з нього. Номенклатура обов'язкових ергономічних показників якості трикотажних полотен та виробів залежить від асортиментної

групи та їх призначення. До показників ергономічності, що формують термофізіологічний комфорт належать гігроскопічність, капілярність, водопоглинання, повітро- та паропроникність, теплопровідність, фактура внутрішньої поверхні та розтяжність тощо. Такі показники гігієнічних властивостей трикотажних полотен як гігроскопічність, паропроникність, капілярність та водопоглинання обумовлені у першу чергу сировинним складом пряжі чи ниток, з яких їх вироблено. При цьому повітропроникність, теплопровідність, фактура внутрішньої поверхні та розтяжність трикотажу як показники, що впливають на відчуття комфорту залежать від характеристик будови трикотажу. Визначення та прогнозування зазначених показників якості трикотажних полотен є надзвичайно важливою науковою задачею в контексті забезпечення необхідної функціональності трикотажних виробів різного призначення.

Трикотаж утворюється послідовним згинанням нитки (ниток) у петлі, які закріплюються у полотні за рахунок переплетення з іншими петлями у системі петельних рядів та петельних стовпчиків. Крім петель, в залежності від переплетення, структура трикотажу може містити різні види накидів, протяжок та відрізків ниток, не пров'язаних у петлі (утокові нитки). Якщо розглядати трикотаж як матеріальний об'єкт, який у тривимірному просторі характеризується такими геометричними розмірами як довжина, ширина та висота (товщина), можна сказати, що властивості такого об'єкту напряду залежать від того, яка частка цього об'єму зайнята матеріалом нитки, який це матеріал, та як саме нитка розташована всередині даного об'єму. Розрізняють такі групи властивостей трикотажу [17]: геометричні (щільність по вертикалі та по горизонталі, довжина нитки в петлі, товщина та ін); механічні (розтяжність, пружність, розпусальність, закручуваність та ін.); зміна лінійних розмірів після мокрих обробок, а також у процесі виготовлення й експлуатації (зносостійкість); фізичні (теплозахисні, гігроскопічні).

Геометричні характеристики, обумовлені особливостями розташування нитки в об'ємі трикотажного полотна, називають характеристиками будови. До таких характеристик відносять розрахунковий d_p , умовний d_y та середній d_c діаметри нитки, мм; довжину нитки в петлі ℓ , мм; петельний крок A , мм; висоту петельного ряду B , мм; товщину трикотажу M , мм; модуль петлі σ , телескопічний захід петель та ін. Крім цього використовують також показники будови трикотажу, що визначають відношення площі чи об'єму нитки, пров'язаної в петлю до площі чи об'єму, що припадає на одну петлю як елементарний об'єм трикотажного полотна (що у термінах механіки можна умовно назвати гнучкою пластиною або оболонкою). Це такі відомі показники [18] як поверхневий модуль петлі, що визначається за (1), та об'ємний модуль петлі (2).

$$\sigma_n = \frac{A \cdot B}{\ell \cdot d_y} \quad (1)$$

$$\sigma_o = \frac{4 \cdot A \cdot B \cdot M}{\pi \cdot \ell \cdot d_y^2} \quad (2)$$

Оцінку заповнення об'єму трикотажу матеріалом ниток можна виконати за показниками об'ємності (рихлості) (3) та коефіцієнтом поверхневого (4) заповнення трикотажу.

$$P_T = \frac{V_T}{V_B} \quad (3)$$

де P_T – рихлості трикотажу; V_T – об'єм трикотажу, мм^3 ; V_B – об'єм волокон, мм^3 ;

$$E = \frac{100 \cdot \ell \cdot d_c}{A \cdot B} \quad (4)$$

Повітропроникність. Повітропроникність – один з гігієнічних показників ергономічності, що залежить від багатьох чинників, найважливішими з яких є структура переплетення, параметри режиму в'язання, умови експлуатації, способи обробки, вид сировини та ін. Здатність текстильних матеріалів, що використовуються у виробництві одягу, пропускати повітря суттєво впливає на відчуття комфорту людини. У відповідності до ДСТУ ISO 9237:2003 повітропроникність визначають як здатність матеріалу пропускати повітря. Коефіцієнт повітропроникності характеризує кількість повітря (дм³), що проходить крізь 1 м² трикотажу, тканини чи нетканого полотна в одну секунду при певній різниці тиску по дві сторони матеріалу. Показник повітропроникності є важливою характеристикою пористих матеріалів. Зазвичай у структурі тканин та трикотажу розрізняють наскрізні пори (міжниткові проміжки) та повітряні канали, що містяться у структурі ниток. Опису теоретичних залежностей між показниками повітропроникності та геометричними характеристиками тканин та трикотажних полотен присвячено багато робіт [19–23]. Головним чином, показники повітропроникності визначаються розміром та формою наскрізних пор. Показники заповнення матеріалом нитки об'єму трикотажу, наведені вище (вирази 1–4), можна використовувати для приблизної оцінки проникності трикотажу, але важливо також враховувати й інші фактори. Так, у роботі [21] автор робить важливе спостереження, що текстильні матеріали з однаковим заповненням можуть мати різну повітропроникність через різні розміри пор. Тканини з тонких ниток з маленькими порами мають меншу повітропроникність, ніж тканини, виготовлені з ниток великих діаметрів з крупними порами. У теоретичних моделях повітропроникності [19, 24] міжниткові проміжки в структурі тканин та трикотажу розглядають як трубки малого діаметру та малої довжини, крізь які проходить повітря. Із законів фізики відомо, що швидкість потоку збільшується від стінок до центру трубки. Тому, чим більша довжина стінок, що припадає на одиницю площі перерізу трубки, тим менша середня швидкість проходження потоку, і, відповідно, об'ємні витрати повітря.

А.В. Куліченко [19] з посиланням на роботу К. Шпершнайдера [22] підкреслює, що на показники повітропроникності текстильних матеріалів суттєво впливає аеродинамічне тертя на поверхні волокон та ниток, тому для коректної оцінки швидкості фільтрації повітря необхідно враховувати також площу поверхні ниток. Збільшення площі поверхні може відбуватись за рахунок використання комплексних ниток, багатофіламентних ниток, ниток з підвищеною ворсистістю, ниток з профільованим перерізом та ін. Використання платированих, плюшевих, футерованих переплетень також призводить до збільшення площі поверхні ниток, оскільки елементи структури утворюються з більш ніж однієї нитки. За рівних інших умов структура, утворена нитками з більшою площею поверхні, характеризується зниженням швидкості фільтрації (повітропроникності).

У дослідженнях, присвячених повітропроникності тканин полотен, зроблено важливі висновки [23] щодо різниці у значеннях повітропроникності тканин, які характеризуються однаковими показниками поверхневого заповнення. При однакових показниках поверхневого заповнення, тканини, що характеризуються більшою довжиною перекриття, мають більші показники повітропроникності. Найбільш відомі ткацькі переплетення з однаковим поверхневим заповненням можна розташувати у порядку зростання повітропроникності наступним чином: полотняне, саржеве, атласне, вафельне. Збільшення відстані між точками фіксації окремого сегменту пряжі у полотні збільшує вірогідність того, що під дією потоку повітря, вона може бути зміщена відносно положення, що займає у вільному стані, та відкрити шлях повітрю крізь міжниткові проміжки, що знаходились під нею.

Таким чином, можна сформулювати найбільш важливі геометричні характеристики структури трикотажу, які слід враховувати у ході теоретичного визначення повітропроникності – це поверхневе заповнення, розмір пор, шорсткість та площа поверхні ниток, довжина ділянок ниток між найближчими точками їх фіксації у полотні.

Теплопровідність. Здатність трикотажного одягу зберігати тепло та підтримувати термофізіологічний комфорт людини є важливою ергономічною характеристикою трикотажу. Теоретичні моделі теплопровідності трикотажу базуються на загальних законах термодинаміки та теорії тепло-масообміну, де розглядаються питання перенесення тепла та речовини у вологому матеріалі та поблизу його поверхні. Трикотаж можна розглядати як трьохфазну систему, що складається з остова-скелету (сукупність волокон пряжі), розділених між собою газом та вологою [25]. Такі системи відносять до дисперсних об'єктів, які є підмножиною гетерогенних об'єктів. Опис теоретичної моделі такої системи є складною науковою задачею. Часто у моделях оперують поняттям ефективної теплопровідності. Ефективна теплопровідність – це адекватна теплопровідність однорідного тіла, крізь яке за тих самих граничних умов та розмірів проходить той самий тепловий потік.

Серед основних факторів, що впливають на теплопровідність текстильних матеріалів та виробів з них, відмічають [24, 26] наступні фактори: теплофізичні – теплопровідність твердої речовини волокон і повітря, конвекція, теплове випромінювання; кліматичні – температура та відносна вологість повітря, швидкість руху повітря та тиск; структурні – сировинний склад матеріалу, його щільність, пористість, повітропроникність, товщина, рельєфність поверхні, форма поперечного перерізу волокон, просторова орієнтація волокон у матеріалі; конструктивні – тип і конструкція виробу, ступінь прилягання до фігури людини; статичний стан шарів пакета одягу (умови спокою людини), динамічний стан шарів пакета одягу (умови руху людини);

Фактура поверхні. Фактура текстильного матеріалу визначається особливостями геометрії його поверхні. Якщо з естетичної точки зору важливою є гарна фактура лицьової сторони трикотажного виробу, для комфортності виробів певних асортиментних груп набагато важливішим показником є рельєфність виворотної. Від того, які елементи структури трикотажу контактують з тілом людини (голкові та платинні дуги чи палички остовів), який розмір мають виступаючі ділянки нитки та яка її жорсткість, залежить наявність або відсутність подразнення шкіри під дією стискаючих зусиль, що чинить виріб у разі тривалого контакту. Фактуру поверхні слід віднести до ергономічних показників психофізіологічних властивостей текстильного матеріалу. Однак даний показник сенсорного комфорту пов'язаний з геометричними характеристиками будови трикотажу. Його необхідно брати до уваги як показник, що враховує фізіологічні потреби людини при проектуванні білизняних, панчішно-шкарпеткових, дитячих виробів різного призначення, шапок, а також шпитальних виробів та виробів для людей, що змушені тривалий час знаходитись без зміни положення тіла. Певне уявлення про комфортність фактури поверхні матеріалу можна скласти за допомогою таких показників як коефіцієнт тертя та коефіцієнт тангенційного опору, але вони не враховують, яке саме напруження витримує шкіра людини під дією шорсткої трикотажної поверхні з заданим рельєфом при тривалому знаходженні у фіксованому положенні за умови заданого рівня нормального тиску. Прикладом виробу, що не задовольняє вимогу щодо тактильного комфорту за фактурою внутрішньої поверхні може бути сукня, виготовлена з трикотажу переплетення гладь. Як відомо, структура гладі характеризується тим, що з виворітної сторони голкові та платинні дуги перекривають палички петель. Зі збільшенням діаметра нитки та її жорсткості зростає рельєфність внутрішньої поверхні трикотажного виробу. При тривалому сидінні на шкірі можуть залишитись досить чітко виражені відбитки рельєфної поверхні трикотажу. Таке подразнення шкіри рожевого кольору з часом проходить, але є небезпечним

для людей з порушенням опорно-рухового апарату. Аналогічним чином на лобі споживача можуть залишитись рожеві сліди від внутрішньої поверхні шапки чи підшоломника, якщо їх фактура є рельєфною, а розтяжність недостатня.

Тому фактура виворітної сторони трикотажного виробу є важливою характеристикою, що безпосередньо залежить від геометричних характеристик нитки, пров'язаної у трикотаж, та структури переплетення.

Розтяжність трикотажу та тиск трикотажного виробу на тіло людини. Розтяжність відноситься до групи показників ергономічності у розділі спеціалізованих показників якості для трикотажних та швейних виробів. Розтяжність трикотажного виробу характеризується величиною видовження окремих його ділянок під час розтягнення заданим зусиллям, меншим за розривальне [1]. Надзвичайно важливим є значення даного показника для забезпечення зручності та комфортності суцільнов'язаних виробів, окремі ділянки яких при вдяганні та зніманні підлягають деформації розтягу до двох і більше разів (наприклад, борт шкарпеток, горловина светра та ін.). Основи теорії деформування трикотажу закладено у роботах О.І. Далідовича [29], О.І. Коблякова [30], В.Н. Гарбарука [31], І.І. Шалова та Л.О. Кудрявіна [32], та ін. Розтяжність – це здатність еластичного виробу змінювати розміри під дією зовнішніх навантажень [33], після зняття яких виріб може повернутися до своїх початкових геометричних розмірів. Розтяжність характеризується значенням показника видовження у відсотках та визначається за ГОСТ 19712-89, причому значення розтяжності по вертикалі та горизонталі суттєво відрізняються. Це один з ключових ергономічних показників фізіологічного комфорту трикотажних виробів, який залежить від виду переплетення, параметрів режиму в'язання та властивостей ниток. У табл. 1 наведено показники розтяжності при розриві стрічкою для деяких видів кулірних переплетень, за даними роботи [17].

Таблиця 1

Показники розтяжності трикотажу деяких видів кулірних переплетень

Вид переплетення	Вид сировини, лінійна густина	Розтяжність полотна, %	
		по довжині	по ширині
гладь	пряжа бавовняна, 18,3 текс×2	76,0	165,0
інтерлок	пряжа бавовняна, 15,2 текс	81,6	228,4
лаастик	пряжа бовняна, 31,2 текс×2	106,8	385,8

Джерело: [17].

Питанням вивчення розтяжності трикотажу неповних подвійних кулірних переплетень, присвячено роботи [34; 35]. Здатність зберігати та відновлювати розміри та форму після деформування також відноситься до найбільш важливих показників якості та комфортності трикотажного одягу [17]. Для одягу, що щільно прилягає до тіла людини, актуальним є питання забезпечення оптимального рівня тиску одягу на тіло людини, який, з одного боку, повинен бути достатньо пружним, щоб не утворювати зморшок та заломів, а з іншого, не заважати свободі рухів та нормальному кровообігу.

Величина тиску трикотажного виробу прилеглої силуетної форми чи суцільнов'язаного заданої форми залежить від різниці між лінійними розмірами виробу і тіла та від пружних властивостей самого трикотажу. Так, трикотажні вироби з вмістом еластомерних ниток, що подаються як текстильні оболонки, забезпечують певний рівень тиску на тіло людини. У роботах В.Н. Філатова [36] розглянуто питання виготовлення еластичних трикотажних виробів, де тиск пружної текстильної оболонки на тіло людини враховано як розподілене зусилля, що залежить як від пружних властивостей матеріалу, так і від геометрії поверхні ділянки тіла. О.А. Вігеліна у роботі [13] зазначає, що багато споживачів стикаються з проблемою надлишкового тиску ділянки борту шкарпетки на тіло, що призводить до

порушення кровообігу та може викликати складні наслідки, у тому числі варикозну хворобу. За даними експертної оцінки, проведеної у роботі [13], найбільш вагомими показниками якості чоловічих шкарпеток є розтяжність ділянки борту, тиск ділянки борту на ногу, стійкість до стирання, сировинний склад. У залежності від тиску, який створює виріб на тіло людини у роботі [36] розрізняють 5 груп виробів з еластомерними нитками: комфортні (тиск від 666,5 до 1333 Па), профілактичні (1333–3332 Па), компенсаційні (3332–6665 Па), компресійні (6665–13330 Па) та спеціальні, значення тиску яких на ногу може перевищувати 13330 Па. Значення тиску, що не перевищують 10 мм. рт. ст. не впливають на циркуляцію крові, а підвищення тиску до 15–20 мм. рт. ст. викликає помітні порушення кровообігу у кінцівках [13]. О.Г. Андреева [34] із посиланням на роботи В.Н. Філатова підкреслює, що зазвичай для забезпечення комфортності одягу обирають еластичні полотна, розтяжність яких коливається у межах 15–30%. Оскільки тиск еластичного виробу на тіло залежить не тільки від властивостей матеріалу, але й від форми, або конфігурації поверхні тіла, автор називає сили, що виникають під дією текстильної оболонки, конфігураційними силами. У роботі Г.П. Старкової [38], присвяченій розробці методологічних основ проектування спортивного одягу з високоеластичних матеріалів, зазначено, що для проектування спортивного одягу з трикотажу найкращі результати дає метод І.І. Шалова [32], що передбачає визначення розмірів деталей шляхом перерахунку розмірних ознак фігури людини з урахуванням їх зміни під час динамічної зміни положення тіла та параметрів структури трикотажу у деформованому стані. У роботі [38] проведено дослідження зміни параметрів структури трикотажу з використанням морфологічного аналізу цифрових зображень, отриманих з деформованих структур. Максимальне експлуатаційне навантаження приймали не більше $\delta = 0,7$ мН/текс. При цьому визначено, що експлуатаційне навантаження знаходиться у межах 12–19 Н. У роботі встановлено норми розтяжності трикотажу з вмістом еластанових волокон для окремих груп розтяжності. До першої групи відносять полотна з вмістом еластанових волокон, розтяжність яких складає від 40 до 80%, до другої – від 80 до 130, а третю групу складають полотна, розтяжність яких перевищує значення у 130%. Автор також звертає увагу на те [38], що під час інтенсивних занять спортом підвищується потовиділення та одяг починає вбирати вологу. Це впливає на деформаційні властивості трикотажу, адже різниця розтяжності у сухому та вологому стані становить 20–30%. Інформаційна база підсистеми розробки конструкції спортивного одягу, запропонована у роботі Г.П. Старкової [38], визначає вміст вихідної інформації, що включає наступні показники: тиск на тіло, відомості про геометричні прирости, геометричні та фізико-механічні властивості матеріалів. Н.В. Дроботун у роботі [39, с. 9] зазначає, що еластомерні нитки мають широкі межі швидкооборотної частки деформації розтягу, малий початковий модуль пружності – 0,2 МПа, розривальне видовження кілька сотень відсотків. Механізм деформування трикотажу внаслідок прикладання розтягуючих зусиль розглядається як процес порушення внутрішньої рівноваги системи петель, що об'єднує зміну внутрішньої конфігурації нитки, зігнутої у петлю, зміну орієнтації нитки, зміщення точок контакту ниток та видовження самої нитки. Навантаження, прикладене до трикотажу, розподіляється між окремими елементами структури нерівномірно. Ділянки нитки, більш орієнтовані у напрямку розтягу, сприймають більше навантаження, ніж інші.

Величина тиску виробу на певній ділянці, вкритій текстильною оболонкою, визначається, перш за все, двома ключовими факторами: жорсткістю матеріалу оболонки та ступенем деформації (різницею між периметром виробу на відповідній ділянці та периметром самої ділянки). Для теоретичного розрахунку тиску, що створює панчоха на ділянку тіла, апроксимовану елементарною циліндричною поверхнею, у роботі [39] запропоновано вираз (6), що описує тиск виробу на тіло, P як функцію від пружних властивостей цієї оболонки та радіусами оболонки та тіла.

$$P = G \cdot \left(\frac{1}{R_{st}} - \frac{1}{R_f} \right), \quad (6)$$

де R_{st} – радіус панчохи; R_f – радіус ноги; G – коефіцієнт пружності тангенційної деформації оболонки, що може бути знайдено як (7).

$$G = E \cdot h, \quad (7)$$

де E – модуль пружності матеріалу панчохи, а h – товщина трикотажу.

І.О. Шеромова [40] розглядає 5 груп розтяжності високоеластичних матеріалів та надає значення усереднених базових границь звуження (табл. 2). У роботі запропоновано метод визначення розтяжності трикотажних полотен при навантаженнях менших за розривні, головною відмінністю якого є можливість визначення розтяжності при фіксованій ширині зразка, що відповідає умовам деформування еластичних виробів у процесі експлуатації. Навантаження на одиницю ширини зразка зберігається (1,2 Н/см). Але ширина зразка збільшується до 150 мм та вимірювання величини звуження виконується у середній зоні зразка.

Таблиця 2

Класифікація високоеластичних матеріалів за групами розтяжності та величини рекомендованих (усереднених) базових границь звуження за І.О. Шеромовою

Група розтяжності	Розтяжність полотна ϵ , %	Інтервал базових границь звуження K , %
1	до 20	12-14
2	понад 20 до 30	20-22
3	понад 30 до 45	27-29
4	понад 45 до 60	34-36
5	понад 60	40

Джерело: [40].

У процесі розтягування відбуваються такі трансформації внутрішньої будови трикотажу як розпрямлення ділянок нитки, орієнтованих у напрямку прикладання зусиль, перерозподіл нитки всередині елементів структури (перетягування ниток з одних ділянок у інші), зменшення закручуваності, зменшення телескопічного заходу, зменшення або ліквідація взаємного заходу суміжних петель різних шарів (для подвійних переплетень), зминання ниток у місцях їх переплетення (зменшення діаметрів), розтяг самої нитки. Для окремих видів трикотажу цей порядок може відрізнятися. Так, якщо трикотаж містить високорозтяжні нитки, то початок розтягу нитки співпадає з початком самого процесу розтягування. Трансформації, які відбуваються до початку перерозподілу ниток у елементах структури залежать від початкової кривизни ділянок нитки. Вони пов'язані з швидкооборотними деформаціями трикотажу, які в процесі експлуатації відбуваються найчастіше. Чим більша жорсткість нитки на згин, тим більшою буде її кривизна на ділянках між точками переплетення з іншими ділянками нитки. Для характеристики співвідношення між довжиною нитки в петлі та геометричними розмірами самої петлі використовують коефіцієнти уробляння по вертикалі U_V та горизонталі U_H .

$$U_H = \ell/A, \quad U_V = \ell/B,$$

де ℓ – довжина нитки в петлі, мм;
 A – петельний крок, мм;
 B – висота петельного ряду, мм.

Збільшення цих показників зазвичай свідчить про збільшення запасу розтяжності, для трансформації геометрії нитки в петлі шляхом розпрямлення її окремих ділянок та зменшення телескопічного заходу.

Висновок. Аналіз наукових публікацій та нормативно-технічної документації показує, що серед великої кількості ергономічних показників якості на зручність та комфортність трикотажних виробів найбільш впливають властивості самого текстильного матеріалу, що забезпечують термофізіологічний та сенсорний (тактильний) комфорт, які можна віднести до гігієнічних та антропометричних показників. Геометричні характеристики внутрішньої будови трикотажу впливають на більшість ергономічних показників якості, що формують термофізіологічний комфорт трикотажних виробів з нього. Так, показники повітропроникності та теплопровідності залежать від того, яка частка об'єму матеріалу приходить на об'єм нитки, а яку частку займає повітря. Фактура внутрішньої поверхні трикотажу формується ділянками нитки, що виходять на виворотну сторону виробу, їх розташуванням, формою та розмірами. На розтяжність трикотажу у процесі експлуатації найбільше впливає величина розпрямлення окремих ділянок нитки, що залежить від структури переплетення, а саме кривизни нитки до початку деформування. Тому забезпечення точного геометричного опису конфігурації нитки в структурі трикотажу є одним з ключових моментів розробки програмних засобів, придатних для проектування трикотажних полотен та виробів з прогнозованими ергономічними властивостями, що забезпечують відчуття зручності, комфортності та найбільш повне задоволення антропометричних, психологічних та психофізіологічних потреб споживача.

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.

References

1. DSTU 3998-2000 (2001). Materialy ta vyroby tekstylni, trykotazhni, shveini ta shkiriani. Terminy ta vyznachennia [Textile, knitted, sewing and leather materials and products. Terms and definitions]. Kyiv: Derzhstandart Ukrainy [in Ukrainian].
2. Suprun, N. P., Orlenko, L. V., Dregulyas, E. P., Volinets, T. O. (2008). Konfektsiyuvannya materialiv dlya odyagu [Confection of clothing materials: a textbook]. 2nd ed., rev. and suppl. Kyiv: Znannya. 246 p. [in Ukrainian].
3. Kilinc-Balci, F. S. (2011). Testing, analyzing and predicting the comfort properties of textiles. *Improving Comfort in Clothing*, P. 138–162. <https://doi.org/10.1533/9780857090645.1.138>.
4. Das, A., Alagirusamy, R. (2011). Improving tactile comfort in fabrics and clothing. *Improving Comfort in Clothing*. P. 216–244. <https://doi.org/10.1533/9780857090645.2.216>.
5. Strilets, A. S. (2018). Doslidzhennia vplyvu osoblyvostej struktury tekstylnykh materialiv na komfortnist vyrobiv [Research of influence of features of structure of textile materials on comfort of products]. Supervisor N. P. Suprun. Naukovi rozrobky molodi na suchasnomu etapi: tezy dopovidej XVII Vseukrains'koi naukovoї konferentsii molodykh vchenykh ta studentiv [Scientific developments of youth at the present stage: abstracts of the XVII All-Ukrainian

Література

1. ДСТУ 3998-2000. Матеріали та вироби текстильні, трикотажні, швейні та шкіряні. Терміни та визначення. К.: Держстандарт України, 2001.
2. Супрун Н. П., Орленко Л. В., Дрегulyас Е. П., Волинець Т. О. Конфeкцiювання матерiалiв для одягу: навч. посiб. 2-е вид., переробл. i доповн. К.: Знання, 2008. 246 с.
3. Kilinc-Balci F. S. Testing, analyzing and predicting the comfort properties of textiles. *Improving Comfort in Clothing*. 2011. P. 138–162. <https://doi.org/10.1533/9780857090645.1.138>.
4. Das A., Alagirusamy R. Improving tactile comfort in fabrics and clothing. *Improving Comfort in Clothing*. 2011. P. 216–244. <https://doi.org/10.1533/9780857090645.2.216>.
5. Стрiлець А. С. Дослiдження впливу особливостей структури текстильних матерiалiв на комфортнiсть виробiв. Наук. кер. Н. П. Супрун. Науковi розробки молодi на сучасному етапi: тези доповiдей XVII Всеукраїнської наукової конференції молодих вчених та студентiв (26–27 квітня 2018 р., Київ). Київ: КНУТД, 2018. Т. 1. С. 280–281.

- scientific conference of young scientists and students (April 26–27, 2018, Kyiv)]. Kyiv: KNUTD. Vol. 1. P. 280–281 [in Ukrainian].
6. Arabuli, S. I., Suprun, N. P., Ocheretna, L., Arabuli, A. T. (2020). Doslidzhennia pokaznykiv sensornoho komfortu tekstylnykh materialiv dlia likarnianoї postilnoi bilyzny [Research of indicators of sensory comfort of textile materials for hospital bed linen]. Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnolohij ta dyzajnu. Seriya Tekhnichni nauky, No. 1 (142), P. 38–49 [in Ukrainian].
 7. Iggo, A. (1988). Sensory receptors, cutaneous. In: Sensory System II: Senses other than Vision, Pro Scientia Viva, Boston, USA, P. 109–110.
 8. Kawabata, S., Niwa, M. (1989). Fabric performance in clothing and clothing manufacture. *J. Text. Inst.*, 80, 19.
 9. Dianich, M. M., Semak, B. D. (1983). Assortiment trikotazhnykh izdeliy iz smesi volokon [Assortment of knitwear made from fiber blend]. Kyiv: Tekhnika. 144 p. [in Russian].
 10. Karpova, L. A. (2000). Optimizatsiya parametrov tekhnologicheskogo protsessa polucheniya trikotazha dlya odezhdy, otvachayushchego trebovaniyam komfortnosti v zadannykh usloviyakh [Optimization of the parameters of the technological process of obtaining knitwear for clothing that meets the requirements of comfort in the given conditions: dissertation of the candidate of technical sciences]. St. Petersburg [in Russian].
 11. Rovinskaya, L. P. (1995). Metodika otsenki kachestva i prognozirovaniya svoystv trikotazhnykh poloten i izdeliy [Methodology for assessing the quality and predicting the properties of knitted fabrics and products: guidelines for students]. St. Petersburg: SPGUTD [in Russian].
 12. Demokratova, E. B. (2006). Razrabotka metoda kompleksnoy otsenki i issledovanie gigienicheskikh pokazateley kachestva trikotazhnykh poloten [Development of a comprehensive assessment method and study of hygienic indicators of the quality of knitted fabrics: dissertation of the candidate of technical sciences]. Moscow. 224 p. [in Russian].
 13. Vigelina, O. A. (2014). Povyshenie effektivnosti tekhnologii izgotovleniya chulochno-nosochnykh izdeliy s elastomernymi nityami [Improving the efficiency of technology for manufacturing hosiery with elastomeric threads: dissertation of the candidate of technical sciences]. St. Petersburg: SPbUTD. 140 p. [in Russian].
 14. Kiryukhin, S. M., Dodonkin, Yu. V. (1986). Kachestvo tkaney [Quality of fabrics]. Moscow: Legprombyt-izdat. 160 p. [in Russian].
 15. Chaykovskaya, A. E., Polishchuk, L. V., Galyk, I. S. et al. (1989). Kompleksnaya otsenka kachestva tekstilnykh materialov [Comprehensive assessment of the quality of textile materials]. Kyiv: Tekhnika. 254 p. [in Russian].
 16. Gavrilova, N. I., Orlenko, L. V. (2002). Konfeksionirovanie materialov dlya odezhdy [Configuring Clothing Materials: A Tutorial]. Moscow [in Russian].
 6. Арабулі С. І., Супрун Н. П., Очеретна Л., Арабулі А. Т. Дослідження показників сенсорного комфорту текстильних матеріалів для лікарняної постільної білизни. *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Серія Технічні науки*. 2020. № 1 (142). С. 38–49.
 7. Iggo A. Sensory receptors, cutaneous. In: Sensory System II: Senses other than Vision, Pro Scientia Viva, Boston, USA. 1988. P. 109–110.
 8. Kawabata S., Niwa M. Fabric performance in clothing and clothing manufacture. *J. Text. Inst.* 1989. 80. 19.
 9. Дианич М. М., Семак Б. Д. Ассортимент трикотажных изделий из смеси волокон. К.: Техника, 1983. 144 с.
 10. Карпова Л.А. Оптимизация параметров технологического процесса получения трикотажа для одежды, отвечающего требованиям комфортности в заданных условиях: дисс. ... к.т.н. СПб., 2000.
 11. Ровинская Л. П. Методика оценки качества и прогнозирования свойств трикотажных полотен и изделий: методические указания для студентов. СПб: СПГУТД, 1995.
 12. Демократова Е. Б. Разработка метода комплексной оценки и исследование гигиенических показателей качества трикотажных полотен: дисс. ... к.т.н. М., 2006. 224 с.
 13. Вигелина О. А. Повышение эффективности технологии изготовления чулочно-носочных изделий с эластомерными нитями: дисс... канд. техн. наук. СПбУТД. СПб., 2014. 140 с.
 14. Кирюхин С. М., Додонкин Ю. В. Качество тканей. М.: Легпромбыт-издат, 1986. 160 с.
 15. Чайковская А. Е., Полищук Л. В., Галык И. С. и др. Комплексная оценка качества текстильных материалов. К.: Техника, 1989. 254 с.
 16. Гаврилова Н. И., Орленко Л. В. Конфекционирование материалов для одежды: учебное пособие. М., 2002.

17. Bazhenov, V. I., Babinets, S. V. (1971). Materialovedenie trikotazhno-shveyynogo proizvodstva [Materials science of knitting and sewing production]. Moscow: Legkaya industriya. 304 p. [in Russian].
18. Kudryavin, L. A., Shalov, I. I. (1991). Osnovy tekhnologii trikotazhnoogo proizvodstva [Fundamentals of knitwear production technology: a textbook for universities]. Moscow: Legprombytizdat. 496 p. [in Russian].
19. Kulichenko, A. V. (2005). Razrabotka modeley i eksperimentalnykh metodov izucheniya vozdukhopronitsaemosti tekstilnykh materialov [Development of models and experimental methods for studying the air permeability of textile materials: dissertation of Doctor of Technical Sciences]. St. Petersburg: SPGUTD. 439 p. [in Russian].
20. Arkhangel'skiy, N. A. (1960). Vozdukhopronitsaemost tkaney. Ekspluatatsionnye svoystva tkaney i sovremennyye metody ikh issledovaniya [Air permeability of fabrics. Operational properties of fabrics and modern methods of their research]. Moscow: Rostekhzdat. P. 376–413 [in Russian].
21. Vershinina, K. I. (1964). Issledovanie novykh fil'truyushchikh materialov dlya ochistki vozdukhа ot voloknistoy pyli v ustanovkakh konditsionirovaniya osnovnykh tekstilnykh proizvodstv [Investigation of new filter materials for air purification from fibrous dust in air conditioning units of the main textile industries: dissertation of the candidate of technical sciences]. Moscow: MTI [in Russian].
22. Sperschneider, K. (1973). Einsatzmoglichkeiten bekleidungshygienisch wichtiger textilephysikalischer Prüfverfahren im Industriezweig Trikotagen und Strumpfer. *Bekleidung und Maschenware*, Bd. 12, № 5, S. 199–205.
23. Kukin, G. N., Solovyev, A. N. (1967). Tekstilnoe materialovedenie [Textile materials science]. Moscow: Legkaya industriya. Part 3. 226 p. [in Russian].
24. Buzanov, G. B., Sukharev, M. I. (1974). K voprosu issledovaniya teplozashchitnykh svoystv tekstilnykh materialov i paketov iz nikh [On the study of the heat-shielding properties of textile materials and bags made of them]. *Izvestiya vuzov. Tekhnologiya tekstilnoy promyshlennosti*, Moscow: MTI, No. 4, P. 11–13 [in Russian].
25. Broyko, A. P. (2003). Razrabotka metoda prognozirovaniya teploprovodnosti trikotazhnykh poloten na osnove chislennogo modelirovaniya teploperedachi [Development of a method for predicting the thermal conductivity of knitted fabrics based on numerical simulation of heat transfer: dissertation of a candidate of technical sciences]. St. Petersburg. 331 p. [in Russian].
26. Buzanov, G. B., Sukharev, M. I. (1974). K voprosu issledovaniya teplozashchitnykh svoystv tekstilnykh materialov i paketov iz nikh [On the study of the heat-shielding properties of textile materials and bags made of them]. *Izvestiya vuzov. Tekhnologiya tekstilnoy*
17. Баженов В. И., Бабинец С. В. Материаловедение трикотажно-швейного производства. М.: Лёгкая индустрия, 1971. 304 с.
18. Кудрявин Л. А., Шалов И. И. Основы технологии трикотажного производства: учеб. пособие для вузов. М.: Легпромбытиздат, 1991. 496 с.
19. Куличенко А. В. Разработка моделей и экспериментальных методов изучения воздухопроницаемости текстильных материалов: дис... докт. техн. наук. СПб.: СПГУТД, 2005. 439 с.
20. Архангельский Н.А. Воздухопроницаемость тканей. Эксплуатационные свойства тканей и современные методы их исследования. М.: Ростехиздат. 1960. С. 376-413.
21. Вершинина К. И. Исследование новых фильтрующих материалов для очистки воздуха от волокнистой пыли в установках кондиционирования основных текстильных производств: дис... к.т.н. М.: МТИ, 1964.
22. Sperschneider K. Einsatzmoglichkeiten bekleidungshygienisch wichtiger textilephysikalischer Prüfverfahren im Industriezweig Trikotagen und Strumpfer. *Bekleidung und Maschenware*. 1973. Bd. 12. № 5. S. 199–205.
23. Кукин Г. Н., Соловьёв А. Н. Текстильное материаловедение. М.: Лёгкая индустрия, 1967. Ч. 3. 226 с.
24. Бузанов Г. Б., Сухарев М. И. К вопросу исследования теплозащитных свойств текстильных материалов и пакетов из них. *Известия вузов. Технология текстильной промышленности*. М.: МТИ, 1974. № 4. С. 11–13.
25. Бройко А. П. Разработка метода прогнозирования теплопроводности трикотажных полотен на основе численного моделирования теплопередачи: дисс... к.т.н. СПб., 2003. 331 с.
26. Бузанов Г. Б., Сухарев М. И. К вопросу исследования теплозащитных свойств текстильных материалов и пакетов из них. *Известия вузов. Технология текстильной*

- Izvestiya vuzov. Tekhnologiya tekstilnoy promyshlennosti.* Moscow: MTI. No. 5. P. 9–12 [in Russian].
27. Skrypnyk, Yu. O., Suprun, N. P., Shevchenko, K. L., Vahanov, O. A. (2009). Chastotno-polova otsinka komfortnosti odiahu [Frequency-field assessment of clothing comfort]. *Bulletin of the Kyiv National University of Technologies and Design.* № 2 (46). С. 131–136 [in Ukrainian].
28. Xiao, X., Zeng, X., Long, A., Lin, H., Clifford, M., Saldaeva, E. (2012). An Analytical model for through-thickness permeability of woven fabric. *Textile Research Journal*, 82(5), P. 492–501.
29. Dalidovich, A. S. (1970). *Osnovy teorii vyazaniya* [Knitting Theory Basics]. Moscow: Legkaya industriya. 432 p. [in Russian].
30. Koblyakov, A. I. (1943). *Struktura i mekhanicheskie svoystva trikotazha* [Structure and mechanical properties of knitwear]. Moscow: Legkaya industriya. 240 p. [in Russian].
31. Garbaruk, V. N. (1977) *Modelirovanie deformatsionnykh svoystv trikotazha: uchebnoe posobie* [Modeling the deformation properties of knitwear: a tutorial]. Leningrad: Leningradskiy tekhnologicheskii institut imeni Lensoвета. 128 p. [in Russian].
32. Shalov, I. I., Kudryavin, L. A. (1989). *Osnovy proektirovaniya trikotazhnogo proizvodstva s elementami SAPR* [Fundamentals of designing knitwear production with CAD elements: a textbook for universities]. 2nd ed., rev. and suppl. Moscow: Legprombytizdat. 288 p. [in Russian].
33. Torkunova, Z. A. (1985). *Ispytaniya trikotazha* [Knitwear tests]. 2nd ed., rev. Moscow: Legprombytizdat. 200 p. [in Russian].
34. Halavska, L. Ye. (2015). *Teoretychni aspekty vyznachennia roztyazhnosti ta zakruchuvanosti podviinoho nepovnoho trykotazhu* [Theoretical aspects of determining the stretch and twist of double incomplete knitwear]. *Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences*, No. 2, P. 107–110 [in Ukrainian].
35. Halavska, L. Ye. (2015). *Doslidzhennia roztyazhnosti ta zakruchuvanosti podviinoho nepovnoho trykotazhu* [Study of stretch and twist of double incomplete knitwear]. *Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences*. No. 3. P. 80–85 [in Ukrainian].
36. Filatov, V. N. (1987). *Uprugie tekstilnye obolochki: monografiya* [Elastic textile casings: monograph]. Moscow: Legprombytizdat. 248 p. [in Russian].
37. Andreeva, E. G. (1997). *Metodologicheskie osnovy proektirovaniya odezhdy iz elastichnykh poloten* [Methodological foundations for designing clothes from elastic fabrics: dissertation of doctor of technical sciences]. Moscow. 473 p. [in Russian].
38. Starkova, G. P. (2004). *Metodologicheskie osnovy proektirovaniya sportivnoy odezhdy iz vysokoelastichnykh materialov* [Methodological foundations for designing sportswear from highly elastic materials: abstract of the промышленности. М.: МТИ, 1974. № 5. С. 9–12.
27. Скрипник Ю. О., Супрун Н. П., Шевченко К. Л., Ваганов О. А. Частотно-польова оцінка комфортності одягу. *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну*. 2009. № 2 (46). С. 131–136.
28. Xiao X., Zeng X., Long A., Lin H., Clifford M., Saldaeva E. An Analytical model for through-thickness permeability of woven fabric. *Textile Research Journal*. 2012. No. 82 (5). P. 492–501.
29. Далидович А. С. Основы теории вязания. М.: Легкая индустрия. 1970. 432 с.
30. Кобляков А. И. Структура и механические свойства трикотажа. М.: Легкая индустрия, 1973. 240 с.
31. Гарбарук В. Н. Моделирование деформационных свойств трикотажа: учебное пособие. Ленинград: Ленинградский технологический институт имени Ленсовета, 1977. 128 с.
32. 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.
33. Торкунова З. А. Испытания трикотажа. 2-е изд., перераб. М.: Легпромбытиздат, 1985. 200 с.
34. Галавська Л. Є. Теоретичні аспекти визначення розтяжності та закручуваності подвійного неповного трикотажу. *Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки*. 2015. № 2. С. 107–110.
35. Галавська Л. Є. Дослідження розтяжності та закручуваності подвійного неповного трикотажу. *Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки*. 2015. № 3. С. 80–85.
36. Филатов В. Н. Упругие текстильные оболочки: монография. М.: Легпромбытиздат, 1987. 248 с.
37. Андреева Е. Г. Методологические основы проектирования одежды из эластичных полотен: дисс... докт. техн. наук: 05.19.04. М., 1997. 473 с.
38. Старкова Г. П. Методологические основы проектирования спортивной одежды из высокоэластичных материалов: автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.19.04. М., 2004. 52 с.

dissertation of doctor of technical sciences]. Moscow. 52 p. [in Russian].

39. Drobotun, N. V. (2009). Razrabotka metodov otsenki uprugorelaksatsionnykh svoystv vysokorastyazhimogo trikotazha i proektirovaniya meditsinskih izdeliy kompressionnogo naznacheniya [Development of methods for assessing the elastic-relaxation properties of highly stretchable knitwear and designing medical devices for compression purposes: dissertation of a candidate of technical sciences]. St. Petersburg. 132 p. [in Russian].

40. Sheromova, I. A. (2009). Metodologicheskie osnovy optimizatsii podgotovki proizvodstva odezhdy iz legkodeformiruemyykh tekstilnykh materialov [Methodological foundations for optimizing the preparation of production of clothes from easily deformable textile materials: abstract of the dissertation of doctor of technical sciences]. Moscow. 51 p. [in Russian].

39. Дроботун Н. В. Разработка методов оценки упруго-релаксационных свойств высокоэластичного трикотажа и проектирования медицинских изделий компрессионного назначения: дисс... канд. техн. наук: 05.19.01. СПб., 2009. 132 с.

40. Шеромова И. А. Методологические основы оптимизации подготовки производства одежды из легкодеформируемых текстильных материалов: автореф. дис... докт. техн. наук. М., 2009. 51 с.

YELINA TETIANA

Candidate of Technical Science, Associate Professor
Department of Textile Technology and Design,
Kyiv National University of Technologies
and Design, Ukraine

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

Scopus Author ID: 57203861122

E-mail: yelina.tv@knuutd.edu.ua

HALAVSKA LIUDMYLA

Doctor of Technical Science, Professor
Department of Textile Technology and Design,
Kyiv National University of Technologies
and Design, Ukraine

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

Scopus Author ID: 57191413261

ResearcherID: O-1750-2018

E-mail: galavska.ly@knuutd.edu.ua

ЕЛИНА Т. В., ГАЛАВСКАЯ Л. Е.

Киевский национальный университет технологий и дизайна, Украина

**ЭРГОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ТРИКОТАЖА И ИХ СВЯЗЬ
С ГЕОМЕТРИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ**

Цель. Целью данного исследования является анализ эргономических показателей качества трикотажа, формирующих ощущение термофизиологического комфорта человека и установление их связи с геометрическими характеристиками строения трикотажа для изучения возможностей прогнозирования комфортности с помощью систем автоматизированного проектирования.

Методика. В процессе исследования использовались методы теоретического анализа, основные положения теории вязания, теории тонких упругих оболочек, основные понятия механики и основы гидродинамики.

Результаты. Проведен теоретический анализ научных работ и нормативно-технической документации, посвященных различным аспектам определения и обеспечения на требуемом уровне эргономических показателей качества трикотажа, характеризующих уровень его удобства и комфорта. Выявлено, что большинство исследователей считают наиболее значимыми показателями воздухопроницаемости, паропроницаемости, термостойкости, гигроскопичности, электрического сопротивления, а также показателями жесткости и растяжимости, так как они больше всего влияют на способность трикотажа сохранять форму и соответствовать размерам человеческого тела.

В ходе анализа установлено, что показатели эргономичности трикотажа, которые формируют термофизиологический комфорт изделий из него, зависят от таких характеристик как диаметр нити; длина нити в петле; петельный шаг; высота петельного ряда; толщина трикотажа и другие. Теоретические модели механических и физических свойств трикотажа являются функциями

геометрических характеристик его структуры, поэтому от качества трехмерной геометрической модели нити, провязанной в трикотаж, зависит качество прогнозирования свойств трикотажа как текстильного материала с использованием современных программно-аналитических комплексов.

Научная новизна. В результате аналитического обзора научных публикаций и нормативно-технической документации определены показатели эргономичности трикотажа, которые формируют ощущение термофизиологического комфорта, и установлена их связь с геометрическими характеристиками строения трикотажа.

Практическая значимость. Проанализированы теоретические модели воздухопроницаемости, теплопроводности и растяжимости, опубликованные в научных изданиях, с точки зрения возможности их использования в качестве основы математического обеспечения системы автоматизированного проектирования трикотажной одежды.

Ключевые слова: трикотаж; эргономические показатели; термофизиологический комфорт; геометрические характеристики строения; воздухопроницаемость; теплопроводность; фактура поверхности; растяжимость.

YELINA T. V., HALAVSKA L. YE

Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine
**ERGONOMIC CHARACTERISTICS OF KNITWEAR
DEPENDENT ON IT'S GEOMETRY**

Purpose. The purpose of this study is to analyze the ergonomic properties of knitwear, that form sense of thermophysiological comfort of a person and their connection with the geometric characteristics of the knitted structure to study the prospects of comfort predicting using computer-aided design systems.

Methodology. During the research methods of theoretical analysis, basics of the theory of knitting, theories of thin elastic shell, basic concepts of mechanics and the basics of hydrodynamics were used.

Findings. In the course of the work a theoretical analysis of scientific works and normative and technical documentation on various aspects of the definition and provision at the required level of ergonomic properties of knitwear that characterize the level of its convenience and comfort has been carried out. It was found that many researchers refer as most influencing the sense of comfort such properties as: air permeability, water vapour permeability, thermal resistance, hygroscopicity, electrical resistance, as well as stiffness and stretchability, that most affect the ability of knitwear to keep shape and fit the size of the human body.

It was found that all abovementioned knitwear properties depend on the geometric characteristics of the knitted structure, such as yarn diameter; the loop length; wale spacing; course spacing; the thickness of the knit and others. Theoretical models of mechanical and physical properties of knitwear are functions of the geometrical characteristics of its structure, therefore the quality prediction of physical behaviour of knitwear depends on the quality of the 3D geometric model of the yarn, knitted in the knit.

Scientific novelty. As a result of an analytical review of scientific publications and normative and technical documentation, the ergonomics of knitwear that form a feeling of thermophysiological comfort were determined, and their connection with the geometric characteristics of the knitwear structure was established.

Practical value. Theoretical models of air permeability, thermal conductivity and stretchability, published in scientific journals, from the point of view of the possibility of their use as the basis for mathematical support of the computer-aided design system of knitted clothing are analyzed.

Keywords: knitwear; ergonomic properties; thermophysiological comfort; geometric characteristics of the structure; air permeability; thermal conductivity; surface texture; stretchability.

УДК 678.7:
661.1:615.4

¹ВАХІТОВА Л. М., ²ПЛАВАН В. П., ¹ШОЛОГОН В. І.,
²КАЛАФАТ К. В., ¹ТАРАН Н. А., ²БЕССАРАБОВ В. І.

¹ Інститут фізико-органічної хімії та вуглехімії ім. Л. М. Литвиненка НАН
України

² Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

ПІДВИЩЕННЯ ВОГНЕЗАХИСНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ІНТУМЕСЦЕНТНИХ ЕПОКСИДНИХ ПОКРИТТІВ СПОЛУКАМИ ІНТЕРКАЛЬОВАНОГО ГРАФІТУ

Мета. Дослідження впливу нітрату оксиду графіту на параметри коксового шару, отриманого із системи поліфосфат амонію / меламін / пентаеритрит / епоксидна смола під впливом температур 200–800 °С.

Методика. Модельною інтумесцентною системою обрано вогнезахисну суміш поліфосфат амонію / меламін / пентаеритрит. Як полімерну складову використовували епоксидну смолу бісфенолів А/Ф разом з поліамідоамінним затверджувачем. Нітрат оксиду графіту отримували окисленням природного лускатого графіту димлячою азотною кислотою. Методом термогравіметрії визначали вплив домішок нітрату оксиду графіту на коефіцієнт спучення інтумесцентних композицій та масу коксового залишку інтумесцентних композицій в інтервалі температур 200–800 °С.

Результати. Досліджено вплив нітрату оксиду графіту на характеристики коксового шару епоксидної інтумесцентної системи поліфосфат амонію / меламін / пентаеритрит / епоксидна смола. Проведено вивчення термоокислювальної деструкції інтумесцентних композицій в інтервалі температур 200–800 °С. Показано, що інтеркальовані сполуки графіту підвищують термічну стабільність утвореного коксового шару при температурах > 600 °С. Визначено коефіцієнти спучення та проведено термогравіметричний аналіз інтумесцентних систем, модифікованих нітратом оксиду графіту з різним ступенем інтеркалювання, в умовах 200–800 °С. Встановлено, що оптимальні параметри коксового шару за значенням об'ємного коефіцієнта спучення та маси коксового залишку забезпечують графіти, які містять у своєму складі 15–25% інтеркаланта. Отримані результати дозволяють визначити нітрат оксиду графіту як перспективний модифікатор епоксидної інтумесцентної системи для підвищення її вогнезахисної ефективності.

Наукова новизна. Вперше вивчено вплив ступеню інтеркаляції нітрату оксиду графіту на характеристики коксового шару епоксидної інтумесцентної системи.

Практична значимість. Встановлено оптимальний вміст інтеркалантау в нітраті оксиду графіту для розробки рецептур інтумесцентних епоксидних покриттів з підвищеними вогнезахисними властивостями.

Ключові слова: вогнезахист, епоксидна смола; інтумесцентне покриття; нітрат оксиду графіту; сполуки інтеркальованого графіту.

Вступ. Традиційна інтумесцентна система (ІС), яка є основою вогнезахисних покриттів для металевих конструкцій, складається з трьох основних складових [1, 2]: донор кислоти – фосфати, поліфосфати амонію (АРР); карбонізуючий агент – поліспирти, як правило, пентаеритрит (РЕ) або його аналоги; газоутворювач – похідні меламіну (МА), диціандіаміду, сечовини. Якщо ІС використовується у вигляді полімерного покриття, то вона додатково містить полімерне зв'язуюче, наповнювачі та реологічні домішки [3].

Найбільш поширеною у практиці вогнезахисту та вивченою теоретично є ІС складу АРР/МА/РЕ. Ця система є досить ефективною для забезпечення межі вогнестійкості сталевих конструкцій на рівні R30 – R120 в умовах целюлозної пожежі, але демонструє недостатньо високу протидію вуглеводневим пожежам [4]: утворений коксовий шар при температурі 1000–1100 °С та під тиском пожежного навантаження руйнується за кілька хвилин. Тому удосконалення рецептур інтумесцентного покриття для жорстких умов вуглеводневої пожежі

полягає, перш за все, у виборі полімерної матриці та антипіренових домішок у ІС, які б сприяли побудові міцного термостійкого коксу [5].

За даними аналізу світового ринку вогнезахисних матеріалів [6] та інформацією з наукових джерел [7, 8] майже безальтернативною полімерною складовою інтумесцентних покриттів, що призначені для використання в умовах вуглеводневих пожеж, є епоксидні смоли (ЕС) [9]. Проте, епоксидні полімери не мають достатньої термічної стійкості й потребують додаткової модифікації для умов теплового впливу вуглеводневої пожежі. Одним із напрямків підвищення термостійких властивостей ЕС в рецептурах вогнезахисних покриттів є їх використання у вигляді наноккомпозитів (НК) з наноструктурними вуглецевими матеріалами: сполуками інтеркалювання графіту (СІГ), нанотрубками, графенами тощо [7–9]. Інформація про наукові дослідження цього типу нанодомішок у вогнезахисні покриття для будівельних конструкцій є поодинокую та обмеженою [10, 11]. Це, швидше за все, пов'язано з вартістю цих речовин та відсутністю їх масштабного виробництва.

Оригінальний підхід до синтезу наноккомпозитів за участю нанотрубок представлено в роботі [12]. Гібридний композит отримували з поліпропілену (PP), наноглини (10 мас. %) та нанотрубок (2 мас. %). рHRR отриманого продукту зменшується з 1933 кВт/м² (для PP) до 355 кВт/м² (НК PP). Аналогічні дослідження вогнетривких полімерних композитів на основі PP були проведені Hofmann і співав. [13], де як нанодомішки було використано розширений графіт, наномасштабований технічний вуглець, нанотрубки та графен. Найбільше зниження рHRR (-76%) демонструє графен. Детальний опис з горючості функціоналізованих НК на основі графену представлено в огляді Wang et al. [14]. Показано, що графен у чистому вигляді або модифікований графен є ефективними антипіренами для пригнічення швидкості виділення тепла при горінні полімеру. Проте більшість цих композитів не покращують показники вертикального горіння LOI і рейтинг UL-94. З цієї причини графен рекомендовано застосовувати у поєднанні з традиційними антипіренами для створення синергізму.

Постановка завдання. Результати досліджень щодо впливу наноматеріалів на ефективність протипожежного захисту дозволяють виділити загальні особливості ефекту наночастинок в умовах високих температур: посилення міцності коксового шару шляхом його структурування; зниження викидів токсичних газів, збільшення термічної стабільності полімеру покриття внаслідок утворення НК, зниження вмісту кисню в зоні горіння тощо [15]. Незважаючи на позитивний прогнозований ефект від застосування вуглецевих наноречовин для підвищення вогнезахисної ефективності інтумесцентних покриттів, в літературі практично відсутня систематизована наукова інформація з цього питання. Особливо це стосується сполук інтеркалювання графіту, зокрема такого класу цих сполук, як нітрати оксиду графіту (NOG).

Метою дослідження є вивчення впливу нітрату оксиду графіту на параметри коксового шару, отриманого із системи поліфосфат амонію/меламін/пентаеритрит/епоксидна смола під впливом температур 200–800 °С.

Результати дослідження. В дослідженні використовували епоксидну смолу Araldite GY 783 виробництва фірми Huntsman Advanced Materials (Швейцарія), поліфосфат амонію типу II CF-APP 201 (APP) виробництва Shifang Changfeng Chemical Co., Ltd., Китай, пентаеритрит мікронізований (PE) марки RN-P40, меламін RN-M40 (MA) від Roshal Group, РФ, графіт EG-250 (Beijing Great Wall Co., Ltd., Китай). Як затверджувач інтумесцентної композиції застосовували поліамідоамінний аддукт Aradur 3745 (Huntsman Advanced Materials, Швейцарія).

Нітрат оксиду графіту (NOG) отримували окисленням природного лускатого графіту марки ГСМ-1 Завалівського родовища (Україна) з фракціонованим лінійним розміром частинок 0,315–0,200 мм. Зразки NOG (№ 1-9) отримували у дві стадії:

- окислення природного лускатого графіту марки ГСМ-1 Завалівського родовища (Україна) димлячою азотною кислотою при варіюванні температури, часу синтезу та співвідношення реагент/субстрат;

- ізотермічна витримка до досягнення постійної ваги твердого продукту.

Приготування інтумесцентної композиції з епоксидною смолою. В лабораторний дисольвер поміщали епоксидну смолу та компоненти інтумесцентної системи у необхідних співвідношеннях. Суміш перемішували протягом 30 хв. До отриманої пасти додавали розчин епоксидної смоли з нітратом оксиду графіту. Суміш перемішували 30 хв. і отримували відповідну інтумесцентну композицію (ІК). Для затвердження ІК додавали затверджувач Aradur 3745. Суміш інтенсивно перемішували до утворення гомогенної субстанції та витримували при кімнатній температурі протягом 10 діб до повного формування вогнезахисного покриття.

Визначення об'ємного коефіцієнта спучення інтумесцентних композицій K_v . Для визначення коефіцієнта спучення та маси коксового залишку 3 г інтумесцентної композиції поміщали до фарфорового тиглю та висушували протягом 10 діб до постійної ваги. Підготовлені таким чином зразки вносили до муфельної шафи, нагрітої до необхідної температури. Зразок витримували у шафі 10 хв та визначали об'єм і масу коксового залишку зважуванням на аналітичних вагах.

Об'ємний коефіцієнт спучування K_v ($\text{см}^3/\text{г}$) розраховували за формулою:

$$K_v = V/m_o,$$

де V – об'єм спученого шару;

m_o – маса зразка, що спучується.

Візуалізація експерименту представлена на рис. 1.



Рис. 1. Інтумесцентні композиції зі сполуками інтеркалювання графіту при температурі 800 °С

В табл. 1 наведено дані із вмісту інтеркаланта в отриманих зразках NOG. За результатами рентгенофазового, термогравіметричного аналізу та ІЧ-спектроскопії слід констатувати, що шляхом окиснення графіту азотною кислотою з подальшою ізотермічною витримкою утворюється нова комплексна сполука – нітрат оксиду графіту. Структурні фрагменти NOG складаються із суміші фаз оксиду графіту від шостої – п'ятої до другої – третьої ступенів інтеркаляції, які містять графенові ґратки, що функціоналізовані кисневовмісними групами та заповненні інтеркалантом – молекулами HNO_3 з включеннями

одностінних вуглецевих нанотрубок. При цьому співвідношення структур вищі: нижчі ступені інтеркалювання зростає зі збільшенням часу окиснення та вагового співвідношення HNO_3 : графіт.

Таблиця 1

Вміст інтеркаланту в NOG

№ зразку	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Вміст інтеркаланту в NOG, %	2,3	5,2	11,9	20,2	21,5	23,2	25,0	29,5	29,6

В табл. 2 наведено фізико-хімічні характеристики отриманих NOG - об'ємні коефіцієнти спучування (K_v) та значення втрати маси при спучуванні (m_i) в умовах теплового удару при 500 та 900 °C.

За методиками, що описані в експериментальній частині, були виготовлені епоксидні інтумесцентні композиції (IC-1 – IC-9), які містять NOG (відповідні № 1-9, табл. 1), та IC-10, що не містить сполук графіту.

Таблиця 2

Фізико-хімічні характеристики отриманих NOG

№ зразку	Вміст інтеркаланту в NOG,	K_v , см ³ /г	m_i , % мас.	K_v , см ³ /г	m_i , % мас.
		500 °C		900 °C	
1	2,3	10	1,16	32	4,08
2	5,22	30	5,13	140	6,38
3	11,88	69	12,33	263	15,38
4	20,18	124	15,25	287	20,00
5	21,52	155	20,69	285	23,08
6	23,19	182	19,30	251	26,92
7	25,01	186	19,23	313	25,49
8	29,47	173	20,75	350	25,49
9	29,62	212	20,75	313	27,54

Склад IC наведено у табл. 3. З інтумесцентних композицій виготовляли зразки інтумесцентних покриттів, які висушували протягом 7–10 діб, та використовували для термогравіметричних досліджень.

Таблиця 3

Склад інтумесцентних композицій

Назва IC	Компонент, г						
	Araldite GY 783	APP	MA	PE	TiO ₂	NOG № 1-9	Aradur 3745
IC-1 – IC-9	12	12	4	4	3	3	7
IC-10	12	12	4	4	3	-	7

В дослідженні застосовано поетапне вивчення характеристик коксового шару IC, яке полягає у витримці при певній температурі від 200 до 800 °C виготовлених зразків з подальшим визначенням фізико-механічних властивостей утвореного коксу: рівень спучення (об'ємний коефіцієнт спучення, K , см³/г), температура руйнування, адгезія до субстрату (візуальні спостереження), втрата маси (гравіметричний аналіз). Саме ці характеристики є важливими для забезпечення умов синхронізації послідовності хімічних процесів, що відбуваються в інтумесцентній системі APP/PE/MA в залежності від температурного режиму (T , °C):

а) $T = 150\text{--}215$ °C: з джерела кислоти APP вивільняється поліфосфорна кислота та аміак.

б) $T = 215\text{--}280\text{ }^{\circ}\text{C}$: відбувається реакція етерифікації джерела вуглецю (РЕ) поліфосфорною кислотою, яка приводить до формування структур майбутнього фосфор-вуглецевого каркасу.

в) $T = 280\text{--}350\text{ }^{\circ}\text{C}$: починається перегрупування поліфосфорних ефірів з утворенням коксових структур.

г) $T > 300\text{ }^{\circ}\text{C}$: газоутворюючий агент МА починає розкладатися і виділяти газ (NH_3 , CO_2 , H_2O , NO_2), які спінують розплавлений коксовий шар і організують пористу структуру спученого покриття.

д) $T = 550\text{--}600\text{ }^{\circ}\text{C}$: спостерігається ствердіння розплавленого коксового шару за рахунок утворення тугоплавких сполук.

При більш високих температурах відбувається термічний розклад покриття з окисленням утвореного коксового шару.

Необхідно відзначити, що представлена послідовність стадій (а – д) є досить загальною. Тим не менш запропонований механізм хімічних перетворень в ІС дозволяє прогнозувати напрямки впливу домішок NOG на формування вогнезахисного коксового шару.

На рис. 2 представлені залежності значення K інтумесцентних композицій складу ІС-1 та ІС-6 – ІС-10, рецептури яких наведені у табл. 2. Характер зміни значення K для досліджених систем в інтервалі температур $200\text{--}800\text{ }^{\circ}\text{C}$ демонструє, що перш за все, незважаючи на очікування, наявність NOG в ІС призводить до зниження значень об'ємного коефіцієнта спучення (пор. ІС-10 з іншими ІС, рис. 2).

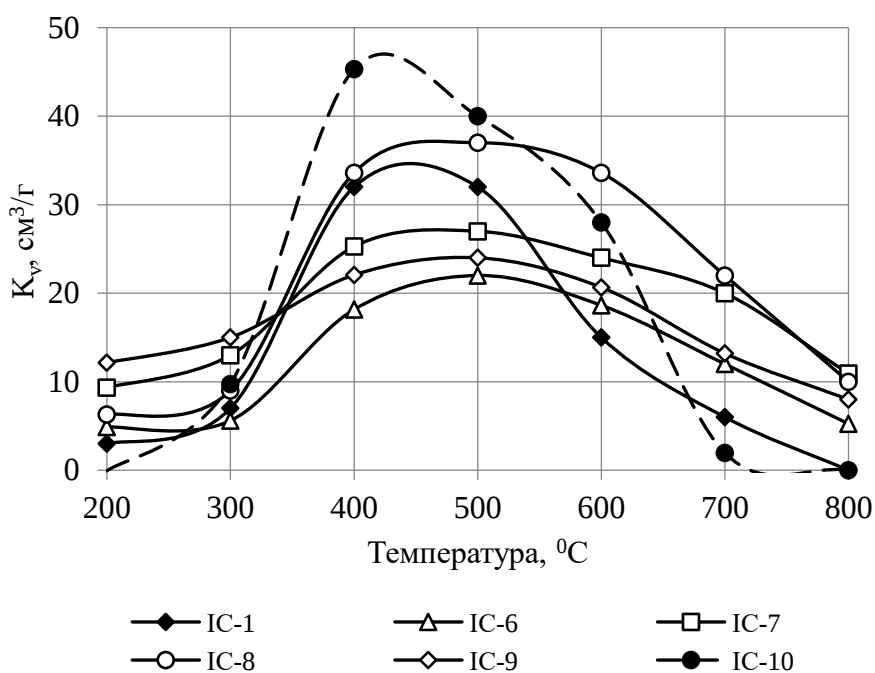


Рис. 2. Залежність коефіцієнта спучення K ($\text{см}^3/\text{г}$) інтумесцентних композицій при варіюванні нанодомішки від температури T ($^{\circ}\text{C}$)

У загальному випадку домішки NOG впливають на такі параметри процесу коксоутворення:

- знижують температуру початка спучення мінімум на $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ – з $250\text{ }^{\circ}\text{C}$ для ІС-10 до $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ для ІС-1 з NOG, яка містить мінімальну кількість інтеркаланта (2.3 %, № 1, табл. 1);

- для ІС-6 – ІС-9, в яких присутні NOG із вмістом інтеркаланта $> 20\%$, характерне збільшення довжини стабілізаційної ділянки – температурного інтервалу, протягом якого відбуваються мінімальні зміни значення K ;

- термічна деструкція коксу для ІС з NOG середніх ступенів інтеркаляції (ІС-6 – ІС-7) відбувається значно повільніше, ніж термодеструкція ІС, в яких відсутні домішки графіту (ІС-10), або ступінь його інтеркаляції є незначним (ІС-1).

На жаль, в умовах проведеного експерименту не вдалось отримати чітких кореляцій між здатністю систем до спучення та вмістом інтеркаланта в NOG. Порівняння характеру спучення та значень параметру К для досліджених ІС дозволяє зробити висновок, що найперспективнішими серед досліджених NOG мають бути сполуки із вмістом інтеркалantu на рівні 20–25%.

Ці результати підтверджуються даними з термогравіметричних досліджень ІС-1 – ІС-10 в інтервалі температур 200–800 °С. На рис. 3 представлена зміна маси коксових залишків (m, %) в процесі збільшення температури нагрівання зразків ІС.

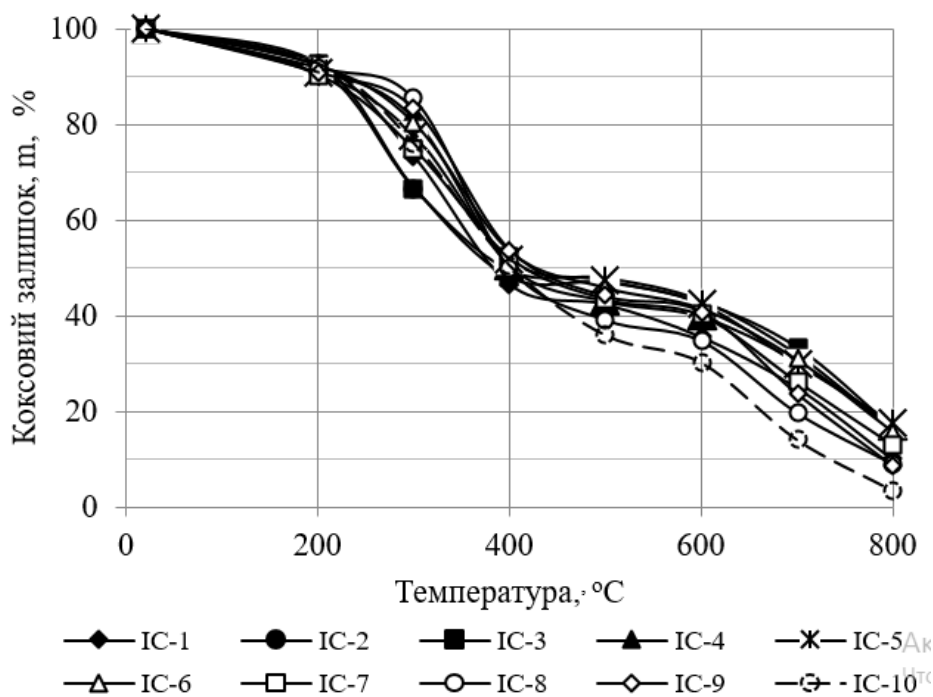


Рис. 3. Залежність маси коксового залишку (m, %) інтумесцентних композицій від температури T (°C)

Максимальні значення m при 800 °С спостерігаються для епоксидних композицій ІС-2 – ІС-7, що містять NOG із вмістом інтеркалantu 5–25%. На рис. 4 наведені результати впливу вмісту інтеркалantu в NOG на масу коксового залишку інтумесцентного покриття при 800 °С. З цих даних походить, що присутність NOG у складі інтумесцентного покриття обумовлює зростання маси коксового залишку при 800 °С майже у 3,5 рази. При цьому оптимальна кількість інтеркалantu у графіті має відповідати інтервалу 5–22%.

Питання щодо впливу нанографіту чи інших вуглецевих наноматеріалів на механізм термічної деградації інтумесцентних систем АРР/МА/РЕ є відкритим. В ряді досліджень [12; 13] присутня лише констатація факту підвищення термічних властивостей полімерних гібридних органо-неорганічних матеріалів з участю наноструктурних графітів, графенів, вуглецевих трубок. Є також інформація, що графіти є досить інертними сполуками й не впливають на хімічні процеси, пов'язані з термічною деградацією полімерів [14].

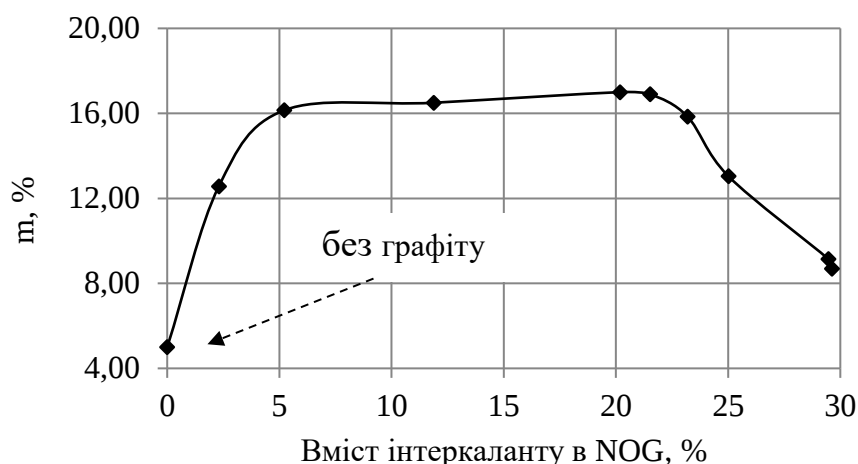


Рис. 4. Залежність маси коксових залишків епоксидного покриття при 800 °С від вмісту інтеркаланту в NOG

Відомо, що чистий епоксид термічно розкладається в три етапи [16]. Перший крок відбувається у температурному інтервалі 197–290 °С, другий в діапазоні 290–520 °С, а третій крок при температурах 520–600 °С. Перша стадія деградації затверджених амінами епоксидів починається з дегідратації вторинних спиртових груп ($-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{OH})-\text{CH}_2-$), що приводить до утворення вуглець-вуглецевих подвійних зв'язків. Другий етап зазвичай пов'язаний з високою втратою ваги і більш тривалою деградацією, що вказує на розкладання і вивільнення різних сполук: горючих газів, амінів, газоподібних ароматичних сполук. Третій етап характеризується деградацією залишкових матеріалів та утворенням коксового шару. Найбільш вірогідним поясненням збільшення термостабільності ІС з домішками NOG є утворення нанокомпозиту ЕС/NOG, окислювальна термодеградація якого відрізняється від нативної ЕС.

Так термогравіметричними дослідженнями ЕС та її НК з бісульфатом графіту (ЕС/EG) встановлено, що присутність EG зсуває окислювальне розкладання ЕС у більш високотемпературну область (табл. 4). Окислювальну термічну деградацію нанокомпозиту ЕС/EG та ЕС досліджували з використанням TG-аналізатора «Thermoscan-2» в атмосферних умовах. Результати термогравіметричного аналізу наведені табл. 4: $T_{\text{пр}}$ – температура початку термічної деструкції полімеру чи нанокомпозиту, а $T_{20\%}$, $T_{50\%}$, $T_{80\%}$ відповідають втраті маси зразку – 20, 50 та 80% відповідно.

Таблиця 4

Термогравіметричний аналіз полімеру та нанокомпозиту

№	Речовина	$T_{\text{пр}}$, °С	$T_{20\%}$, °С	$T_{50\%}$, °С	$T_{80\%}$, °С	% m, 700 °С
1	EP	197	301	394	561	10
2	EP-EG	190	312	412	581	16

За даними табл. 4 для нанокомпозиту (№2, табл. 4) спостерігається зсув основних ендотермічних процесів у більш високотемпературну область (на 10–20 °С), обумовлений наявністю нанографіту.

Взагалі можна виділити основні напрямки пригнічення процесів терморозкладання епоксидних полімерів в присутності нанографітів:

- уповільнення радикальних процесів шляхом утворення пасток радикалів, які утворюються при дегідруванні і розриві полімерних ланцюгів;
- утворення бар'єрних екранів плоскими наночастинками нанографіту, що перешкоджають надходженню кисню в зону горіння;

– формування жорстких коксових залишків за рахунок здатності досліджених нанододмішок до вуглеутворення.

Графіт EG має шарувату кристалічну структуру, що складається з графенових листів, які показують різку рентгенівську дифракцію (пік при $2\theta = 26,5^\circ$) з міжшаровою відстанню 3,37 нм між шарами графену. Завдяки цьому мономері або полімери можуть бути легко вбудовані в галерею EG для створення ефективних нанокомпозитів. Крім того, EG може використовуватися в якості ефективного вогнезахисного матеріалу завдяки характерному для нього хімічному механізму спучення і фізичному бар'єрному ефекту, які мають синергічно інгібувати горіння.

Звичайно для теоретичного обґрунтування впливу NOG на термічну деструкцію епоксидного полімеру у складі ІС треба послідовне та достеменно вивчення впливу нанододмішок на механізм хімічних перетворень протягом всього інтервалу підвищення температур. Але отримані результати дозволяють визначити NOG із вмістом інтеркаланту 15–25%, як перспективний модифікатор епоксидної інтумесцентної системи.

Висновки. Досліджено вплив нітрата оксиду графіту на характеристики коксового шару інтумесцентної системи поліфосфат амонію/меламін/пентаеритрит/епоксидна смола в інтервалі температур 200–800 °С.

Встановлено, що інтеркальовані сполуки графіту підвищують термічну стабільність утвореного коксового шару при температурах $> 600^\circ\text{C}$. При цьому оптимальні параметри утвореного коксу за значеннями коефіцієнта спучення та маси коксового залишку забезпечують графіти, які містять у своєму складі 15–25% інтеркаланту.

Отримані результати дозволяють визначити нітрат оксиду графіта як перспективний модифікатор епоксидної інтумесцентної системи для підвищення її вогнезахисної ефективності. Подальші дослідження з питань удосконалення вогнезахисних властивостей епоксидних інтумесцентних систем будуть спрямовані на вивчення механізмів високотемпературних перетворень компонентів інтумесцентної системи у присутності сполук інтеркальованого графіту.

References

1. Yasir, M., Ahmad, F., Yusoff, P. S. M. M., Ullah, S., Jimenez, M. (2019). Latest trends for structural steel protection by using intumescent fire protective coatings: a review. *Sur. Eng.*, Vol. 36, P. 334–363.
2. Puri, R. G., Khanna, A. S. (2016). Intumescent coatings: A review on recent progress. *J. Coat. Technol. Res.*, Vol. 14, P. 1–20.
3. Mariappan, T. (2016). Recent developments of intumescent fire protection coatings for structural steel: A review. *J. Fire Sci.*, No. 34 (2), P. 120–163.
4. Petukhovskaia, I. (2018). Passive fire protection methods of load-bearing structures in case of hydrocarbon fire: Thesis. *Saimaa University of Applied Sciences*. 36 p.
5. Ravindra, G. P., Khanna, A. S. (2016). Intumescent coatings: A review on recent progress. *J. Coat Technol Res.*, Vol. 8, P. 1–20.
6. Passive Fire Protection Market Size, Share & Trends Analysis Report. By Product (Intumescent Coatings, Cementitious Materials), By Application (Construction, Warehousing), And Segment

Література

1. Yasir M., Ahmad F., Yusoff P. S. M. M., Ullah S., Jimenez M. Latest trends for structural steel protection by using intumescent fire protective coatings: a review. *Sur. Eng.* 2019. Vol. 36. P. 334–363.
2. Puri, R. G., Khanna A. S. Intumescent coatings: A review on recent progress. *J. Coat. Technol. Res.* 2016. Vol. 14. P. 1–20.
3. Mariappan T. Recent developments of intumescent fire protection coatings for structural steel: A review. *J. Fire Sci.* 2016. No. 34 (2). P. 120–163.
4. Petukhovskaia I. Passive fire protection methods of load-bearing structures in case of hydrocarbon fire: Thesis. *Saimaa University of Applied Sciences*. 2018. 36 p.
5. Ravindra G. P., Khanna A. S. Intumescent coatings: A review on recent progress. *J. Coat Technol Res.* 2016. Vol. 8. P. 1–20.
6. Passive Fire Protection Market Size, Share & Trends Analysis Report. By Product (Intumescent Coatings, Cementitious Materials), By Application (Construction, Warehousing), And Segment

- Forecasts, 2020–2027. Market Analiz Report. 2020. 115 p.
7. Asante, J., Modiba, F., Mwakikunga, B. (2016). Thermal Measurements on Polymeric Epoxy-Expandable Graphite Material. *International Journal of Polymer Science*, Vol. 2016, 12 p.
8. Gantayat, S., Prusty, G., Rout, D. R., Swain, S. K. (2015). Expanded graphite as a filler for epoxy matrix composites to improve their thermal, mechanical and electrical properties. *New Carbon Materials*, Vol. 30 (5), P. 432–437.
9. Eremina, T. Yu., Gravit, M. V., Dmitrieva, Yu. N. (2012). Naznachenie ognезashchitnykh vspuchivaiushchikhsia kompozitsii na osnove epoksidnykh smol i preimushchestva ikh ispolzovaniia [Purpose of fire retardant intumescent compositions based on epoxy resins and the advantages of their use]. *Pozharovzryvobezopasnost – Fire and explosion safety*, No. 8, P. 42–46 [in Russian].
10. Laachachi, A., Burger, N., Apaydin, K., Sonnier, R., Ferriol, M. (2015). Is expanded graphite acting as flame retardant in epoxy resin? *Polymer Degradation and Stability*, Vol. 117, P. 22–29.
11. Ullah, S., Ahmad, F., Shariff, A. M., Raza, M. R., Massetd, P. J. (2017). The role of multi-wall carbon nanotubes in char strength of epoxy based intumescent fire retardant coating. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, Vol. 124, P. 149–160.
12. Hapuarachchi, T. D., Peijs, T., Bilotti, E. (2013). Thermal degradation and flammability behavior of polypropylene/clay/carbon nanotube composite systems. *Polymers For Advanced Technologies*, Vol. 24, Is. 3, P. 331–338.
13. Hofmann, D., Wartig, K.A., Thomann, R., Dittrich, B., Schartel, B., Mülhaupt, R. (2013). Functionalized graphene and carbon materials as additives for melt-extruded flame retardant polypropylene. *Macromolecular Materials and Engineering*, Vol. 298, P. 1322–1334.
14. Wang, X., Kalaliand, E. N., Wang, D.-Y. (2016). Two-Dimensional Inorganic Nanomaterials: A Solution to Flame Retardant Polymers. *Nanoscale Advances*, Vol. 1, P. 1–16.
15. Vakhitova, L., Bessarabov, V., Taran, N., Redko, A., Anishchenko, V., Zagoriy, G., Popov, A. (2019). Definition of the thermal and fire-protective properties of ethylene-vinylacetate copolymer nanocomposites. *Eastern-European Journal of Enterprise technologies*, Vol. 1, No. 6 (97), P. 13–20.
16. Liu, W., Varley, R. J., Simon, J. P. (2006). Phosphorus-containing diamine for flame retardancy of high functionality epoxy resins. Part II. The thermal and
- Forecasts, 2020–2027. Market Analiz Report. 2020. 115 p.
7. Asante J., Modiba F., Mwakikunga B. Thermal Measurements on Polymeric Epoxy-Expandable Graphite Material. *International Journal of Polymer Science*. 2016. Vol. 2016. 12 p.
8. Gantayat S., Prusty G., Rout D. R., Swain S. K. Expanded graphite as a filler for epoxy matrix composites to improve their thermal, mechanical and electrical properties. *New Carbon Materials*. 2015. Vol. 30 (5). P. 432–437.
9. Еремина Т. Ю., Гравит М. В., Дмитриева Ю. Н. Назначение огнезащитных вспучивающихся композиций на основе эпоксидных смол и преимущества их использования. *Пожаровзрывобезопасность*. 2012. № 8. С. 42–46.
10. Laachachi A., Burger N., Apaydin K., Sonnier R., Ferriol M. Is expanded graphite acting as flame retardant in epoxy resin? *Polymer Degradation and Stability*. 2015. Vol. 117. P. 22–29.
11. Ullah S., Ahmad F., Shariff A. M., Raza M. R., Massetd P. J. The role of multi-wall carbon nanotubes in char strength of epoxy based intumescent fire retardant coating. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. 2017. Vol. 124. P. 149–160.
12. Hapuarachchi T. D., Peijs T., Bilotti E. Thermal degradation and flammability behavior of polypropylene/clay/carbon nanotube composite systems. *Polymers For Advanced Technologies*. 2013. Vol. 24, Is. 3. P. 331–338.
13. Hofmann D., Wartig K.A., Thomann R., Dittrich B., Schartel B., Mülhaupt R. Functionalized graphene and carbon materials as additives for melt-extruded flame retardant polypropylene. *Macromolecular Materials and Engineering*. 2013. Vol. 298. P. 1322–1334.
14. Wang X., Kalaliand E. N., Wang D.-Y. Two-Dimensional Inorganic Nanomaterials: A Solution to Flame Retardant Polymers. *Nanoscale Advances*. 2016. Vol. 1. P. 1–16.
15. Vakhitova L., Bessarabov V., Taran N., Redko A., Anishchenko V., Zagoriy G., Popov A. Definition of the thermal and fire-protective properties of ethylene-vinylacetate copolymer nanocomposites. *Eastern-European Journal of Enterprise technologies*. 2019. Vol. 1. No. 6 (97). P. 13–20.
16. Liu W., Varley R. J., Simon J. P. Phosphorus-containing diamine for flame retardancy of high functionality epoxy resins. Part II. The thermal and

and mechanical properties of mixed amine systems. *J. Polym.*, Vol. 47, No. 6, P. 2091–2098.

mechanical properties of mixed amine systems. *J. Polym.* 2006. Vol. 47. No. 6. P. 2091–2098.

VAKHITOVA LIUBOV

PhD, Senior Researcher

Department of Nucleophilic Reactions Research
L. M. Litvinenko Institute of Physical-Organic
and Coal Chemistry of the National
Academy of Sciences of Ukraine

<https://orcid.org/0000-0003-1923-7895>

Scopus Author ID: 8443383300

Researcher ID: J-9402-2016;

E-mail: L.M.Vakhitova@nas.gov.ua

PLAVAN VIKTORIIA

Doctor of Technical Sciences, Professor

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

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

Scopus Author ID: 6603130130

E-mail: plavan.vp@knuutd.edu.ua

SHOLOGON VIKTOR

PhD, Researcher

Department of Nucleophilic Reactions Research
L. M. Litvinenko Institute of Physical-Organic
and Coal Chemistry of the National
Academy of Sciences of Ukraine

<http://orcid.org/0000-0002-6249-5390>

Scopus Author ID: 6507045182;

E-mail: Shologon@nas.gov.ua

KALAFAT KONSTANTIN

Junior Researcher

Department of Nucleophilic Reactions Research
L. M. Litvinenko Institute of Physical-Organic
and Coal Chemistry of the National
Academy of Sciences of Ukraine

<https://orcid.org/0000-0001-6165-0005>

Scopus Author ID: 5719302971

E-mail: kalafat@nas.gov.ua

TARAN NADIYA

PhD, Senior Researcher

Department of Nucleophilic Reactions Research
L. M. Litvinenko Institute of Physical-Organic
and Coal Chemistry of the National
Academy of Sciences of Ukraine

<https://orcid.org/0000-0003-1043-5596>

Scopus Author ID: 15119449100

E-mail: N.A.Taran@nas.gov.ua

BESSARABOV VOLODYMYR

PhD, Associate Professor

Department of Industrial Pharmacy
Kyiv National University of Technologies
and Design, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0003-0637-1729>

Scopus Author ID: 36917184700

Researcher ID: D-3425-2017

E-mail: y.bessarabov@kyivpharma.eu

¹ВАХИТОВА Л. М., ²ПЛАВАН В. П., ¹ШОЛОГОН В. И.,

²КАЛАФАТ К. В., ¹ТАРАН Н. А., ²БЕССАРАБОВ В. И.

¹ Інститут фізико-органічної хімії та вуглехімії ім. Л. Литвіненка НАН України

² Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

**ПОВЫШЕНИЕ ОГНЕЗАЩИТНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ИНТУМЕСЦЕНТНЫХ ЭПОКСИДНЫХ ПОКРЫТИЙ
СОЕДИНЕНИЯМИ ИНТЕРКАЛИРОВАННОГО ГРАФИТА**

Цель. Исследование влияния нитрата окиси графита на параметры коксового слоя, полученного из системы полифосфат аммония / меламина / пентаэритрит / эпоксидная смола под воздействием температур 200–800 °С.

Методика. Модельной интумесцентной системой избран огнезащитную смесь полифосфат аммония / меламина / пентаэритрита. Как полимерную составляющую использовали эпоксидную смолу бисфенолов А / F вместе с полиамидаминным отвердителем. Нитрат окиси графита получали окислением природного чешуйчатого графита дымящейся азотной кислотой. Методом термогравиметрии определяли влияние примесей нитрата окиси графита на коэффициент вспучивания интумесцентных композиций и массу коксового остатка интумесцентных композиций в интервале температур 200–800 °С.

Результаты. Исследовано влияние нитрата оксида графита на характеристики коксового слоя эпоксидной интумесцентной системы полифосфат аммония / меламина / пентаэритрит / эпоксидная смола. Проведено изучение термоокислительной деструкции интумесцентных композиций в интервале температур 200–800 °С. Показано, что интеркальованного соединения графита повышают термическую стабильность образованного коксового слоя при температурах > 600 °С. Определены коэффициенты вспучивания и проведения термогравиметрический анализ интумесцентных систем, модифицированных нитратом оксида графита с разной степенью интеркалювания, в условиях 200–800 °С. Установлено, что оптимальные параметры коксового слоя по значению объемного коэффициента вспучивания и массы коксового остатка обеспечивают графиты, которые содержат в своем составе 15–25% интеркаланта. Полученные результаты позволяют определить нитрат оксида графита как перспективный модификатор эпоксидной интумесцентной системы для повышения ее огнезащитной эффективности.

Научная новизна. Впервые изучено влияние степени интеркаляции нитрата оксида графита на характеристики коксового слоя эпоксидной интумесцентной системы.

Практическая значимость. Установлено оптимальное содержание интеркаланта в нитрат оксида графита для разработки рецептур интумесцентных эпоксидных покрытий с повышенными огнезащитными свойствами.

Ключевые слова: огнезащита; эпоксидная смола; интумесцентное покрытие; нитрат оксида графита; соединения интеркалированного графита.

¹VAKHITOVA L. M., ²PLAVAN V. P., ¹SHOLOGON V. I.,

²KALAFAT K. V., ¹TARAN N. A., ²BESSARABOV V. I.

¹L. M. Litvinenko Institute of Physical-Organic and Coal Chemistry
of the National Academy of Sciences of Ukraine

²Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine

INCREASE OF THE FIRE RETARDANT EFFICIENCY OF INTUMESCENT EPOXY COATINGS BY INTERCALVED GRAPHITE COMPOUNDS

Purpose. Investigation of the effect of nitrate oxide graphite on the parameters of char layer, obtained from the system of ammonium polyphosphate / melamine / pentaerythritol / epoxy resin under the influence of temperatures of 200–800 °C.

Methodology. A fire retardant mixture was chosen as a model intumescent system ammonium polyphosphate / melamine / pentaerythritol. As a polymer component was used bisphenols A / F epoxy resin together with a polyamidoamine hardener. Nitrate oxide graphite was obtained by oxidation of natural scaly graphite with fuming nitrogen acid. The effect of impurities of nitrate oxide graphite was determined by thermogravimetry on the intumescence coefficient of intumescent compositions and the mass of the char residue intumescent compositions in temperature range of 200–800 °C.

Findings. The influence of nitrate oxide graphite on the characteristics was studied of char layer of epoxy intumescent system ammonium polyphosphate / melamine / pentaerythritol / epoxy resin. The study of thermal oxidative degradation was carried out intumescent compositions in the temperature range 200–800 °C. It was shown that intercalated graphite compounds increase the thermal stability of the formed char layer at temperatures > 600 °C. Determined intumescence coefficients and thermogravimetric analysis of modified intumescent systems was performed nitrate oxide graphite with different degrees of intercalation, in the conditions of 200–800 °C. It was established that the optimal parameters of the char layer are in terms of volume intumescence coefficient and mass of the char residue are provided by graphites, which contain 15–25% of intercalant in its composition. But the results obtained allow us to determine nitrate oxide graphite as a promising modifier of epoxy intumescent systems to increase its fire protection efficiency.

Originality. The influence of degree of intercalation of nitrate oxide graphite was studied on the characteristics of char layer of epoxy intumescent system for the first time.

Practical value. The optimal content of intercalant in nitrate oxide graphite was established for the development of formulations of intumescent epoxy coatings with increased fire retardant properties.

Keywords: fire protection, epoxy resin; intumescent coating; nitrate oxide graphite; intercalated graphite compounds.