

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

# ВІСНИК

КИЇВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ  
ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ

Серія «Технічні науки»

**№ 3 (122), 2018**

DOI:10.30857/1813-6796.2018.3

Наукове фахове видання

Періодичність виходу: 6 разів на рік

Дата заснування: грудень 1999 р.

*Київ 2018*

**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)

**№3 (122)  
2018**

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

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

**Журнал входить до переліку наукових фахових видань України.** Наказ МОН України від 13.07.2015 № 747 (додаток 17, рішення щодо подовження) – фаховість із технічних наук.

---

**ISSN 1813-6796**

Журнал зареєстровано в Міжнародному центрі періодичних видань (ISSN International Centre, Париж, Франція) 22.12.2004 р.

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

---

**Засновник і видавець:**

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

---

**Головний редактор:**

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

**Заступник**

**головного редактора:**

**Каплун В. В.**, д.т.н., професор

---

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

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

**АДРЕСА РЕДАКЦІЇ:**

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

тел./факс: +38 (044) 256-29-86

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

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

---

**Рекомендовано до друку Вченою радою Київського національного університету технологій та дизайну, протокол № 10 від 26.06.2018 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**

Technical Science Series

**№3 (122), 2018**

DOI:10.30857/1813-6796.2018.3

Scientific Specialized Edition

Issued: 6 times a year

Founded: December, 1999

*Kyiv 2018*

**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)

**№3 (122)  
2018**                      The state registration of print media is KB № 19330-9130 ПП, originating date 08.08.2012

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

The journal is listed & reregistered in Higher Attestation Commission of Ukraine:  
- № 747, originating date 13.07.2015. Fields: technological.

---

**ISSN 1813-6796**                      The journal is registered in ISSN International Centre, Paris, originating date is 22.12.2004

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

---

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

---

**Editor-in- Chief:**                      **Ivan M. Gryshchenko** - Dr., professor, Member of NAPS of Ukraine

---

**Deputy Editor:**                      **Viktor V. Kaplun** - Dr., professor

---

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

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

**EDITORIAL OFFICE:**

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

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

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

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

---

**Recommendations from Science Council of Kyiv National University of Technologies and Design, Protocol № 10, originating date 26.06.2018.**

---

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. **ДВОРЖАК В. М.** Аналітичне дослідження динаміки типових кулісних механізмів технологічних машин легкої промисловості 9

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

2. **АСАУЛЮК Т. С., СЕМЕШКО О. Я., САРІБЄКОВА Ю. Г.** Вплив хімічної будови зшиваючих агентів на фізичні властивості полімерних плівок на основі крохмалю 19

### ХІМІЧНІ ТА БІОФАРМАЦЕВТИЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ

3. **КАТАШИНСЬКИЙ А. С., ХОМЕНКО В. Г., БАРСУКОВ В. З., ЧЕРНИШ О. В.** Адсорбційні властивості композиту поліпірол - шпінель  $\text{NiCo}_2\text{O}_4$  25
4. **СОВА Н. В., САВЧЕНКО Б. М., ХОМЕНКО В. Г., ТАЛАЛАЙ О. В.** Дослідження особливостей прискороного розкладу вторинних поліолефінів 32
5. **КИСЛОВА О. В.** Перспективи застосування іонних рідин в електрохімії 38
6. **КОСТЮК І. М., СОВА Н. В., САВЧЕНКО Б. М., ІСКАНДАРОВ Р. Ш., САВЧУК Б. П.** Полімер-полімерний композит отриманий шляхом переробки відходів ПВХ лінолеуму 45

УДК 687.053.64,  
687.053.668

**ДВОРЖАК В. М.**

Київський національний університет технологій та дизайну

## **АНАЛІТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ ТИПОВИХ КУЛІСНИХ МЕХАНІЗМІВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ МАШИН ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ**

**Мета.** Вдосконалення методів проектування цільових механізмів технологічних машин легкої промисловості із застосуванням прикладних САД-програм.

**Методика.** Використані аналітичний метод векторного перетворення координат для розрахунку типових механізмів технологічних машин та чисельний метод розв'язку диференціальних рівнянь.

**Результати.** Отримані математичні моделі, що описують функції положення рухомих ланок та характерних точок багатоланкового кулісного механізму ниткопритягача для швейної машини та динаміку його роботи. Виконано схематехнічне моделювання механізму в програмі Mathcad. Побудовані графіки залежності кутових швидкості та прискорення від часу та від кута повороту ведучого кривошипа механізму.

**Наукова новизна.** Запропонований алгоритм чисельно-аналітичного дослідження динаміки роботи плоского шестиланкового шарнірно-важільного механізму ниткопритягача швейної машини на основі чисельного розв'язку диференціального рівняння руху механізму та проведено комп'ютерне моделювання механізму в програмі Mathcad.

**Практична значимість** роботи полягає у використанні одержаних результатів при динамічному дослідженні цільових механізмів швейних машин.

**Ключові слова:** динаміка механізмів, кулісний механізм ниткопритягача, швейна машина.

**Вступ.** Системний підхід при проектуванні об'єктів різного ступеня складності механіко-технологічної системи реалізується в автоматизованому режимі і базується на математичному моделюванні процесів функціонування як окремих складових елементів, так і всієї системи в цілому. Застосування математичних моделей дозволяє в певній мірі відмовитися від виготовлення макетів і дослідних зразків, а також істотно скоротити обсяг робіт з доведення виробу і його натурних випробувань [1]. Функціональні математичні моделі посідають центральне місце в новій інформаційній технології проектування функціонально-досконалих механізмів машин легкої промисловості [2].

Ця робота є продовженням досліджень оберненого шестиланкового кулісного механізму ниткопритягача швейної машин, метричний синтез якого розглядався в роботах [3, 4, 5]. Обов'язковим компонентом математичної моделі при дослідженні динаміки є аналітичні вирази основних кінематичних характеристик механізму. Тому метою цієї роботи є розробка математичної моделі динаміки багатоланкового кулісного механізму ниткопритягача швейної машини, а також визначення законів руху механізму в узагальнених координатах та розв'язку частинних задач при різних початкових умовах.

Інструментом для дослідження кінематики та динаміки плоских механізмів може бути аналітичний метод векторного перетворення координат, на базі якого виконується приведення диференціального рівняння руху механізму до системи диференціальних рівнянь з початковими умовами та чисельним розв'язком задачі Коші методом Рунге-Кутти [3] з використанням прикладних комп'ютерних програм.

**Постановка завдання.** Завданням цього дослідження є створення математичних

моделей, які описують динаміку роботи плоского шестиланкового кулісного механізму ниткопритягача швейної машини, на основі векторних рівнянь кінематики та диференціальних рівнянь динаміки методом Рунге-Кутти; створення програмного коду на основі вказаних математичних залежностей; проведення схмотехнічного моделювання механізму з побудовою графіків візуалізації та анімації в прикладній програмі Mathcad.

**Результати дослідження.** Дослідження механізму проводиться в правій декартовій системі координат (далі ПСК) з початком в точці  $P_1$  (рис. 1); механізм розташовується у вертикальній площині  $XOY$ . Структуру механізму приймемо отриману в роботі [4, 5]. Механізм представимо в довільному положенні з прикладеними до його ланок силами ваги  $G_i$  ( $i=1,2..5$ ), у відповідних точках центрів мас ланок  $S_i$  ( $i=1,2..5$ ), прикладеним до ведучої ланки рушійним моментом  $M_1$  та прикладеними активними силами:  $F_1$  – корисного опору, що діє на голку в точці  $P_3$ , та  $F_2$  – корисного опору, що діє на ниткопритягач в точці  $P_7$ . Механізм за класифікацією Ассура [7] є механізмом 2-го класу з однією ведучою ланкою у вигляді механізму 1-го класу 1-го виду. Таким чином, механізм розглядається як механічна система з одним ступенем вільності з узагальненою координатою – кутом повороту ведучого кривошипа  $q_1 = \varphi_1$ .

Кінематичний розрахунок механізму проводиться векторним методом перетворення координат [3, 4], у результаті якого отримуються математичні моделі, що описують функції положення та передаточні функції рухомих ланок та характерних точок механізму.

Динамічний розрахунок проводиться за такою послідовністю [6]: складання виразів для визначення приведенного моменту інерції  $J_\Sigma$  та узагальненої сили  $Q_1$  механізму; складання та чисельний розв'язок диференціального рівняння руху механізму методом Рунге-Кутти; представлення результатів у вигляді схмотехнічного моделювання та візуалізації кінематичної схеми механізму в Mathcad, графіків закону руху кривошипа  $\varphi_1(t)$ , його кутових швидкості  $\omega_1(t)$  та прискорення  $\varepsilon_1(t)$ .

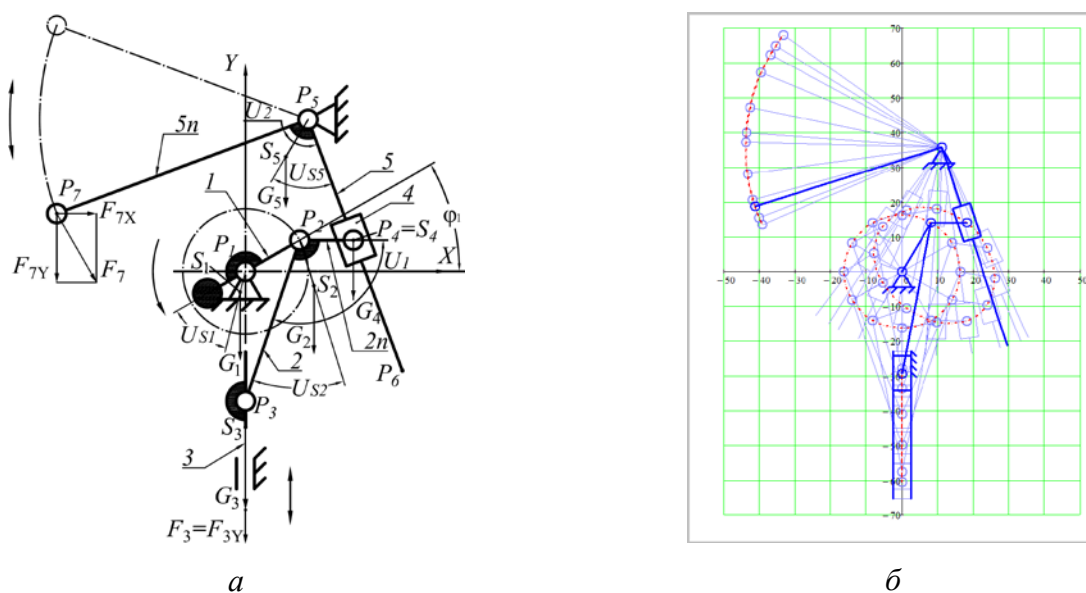


Рис. 1. Схеми шестиланкового кулісного механізму ниткопритягача швейної машини: *a* – розрахункова; *б* – 2D візуалізації в Mathcad, суміщена з 12 положеннями механізму

Визначимо радіуси-вектори характерних точок механізму – центрів обертальних кінематичних пар ланок  $P_2, P_3, P_4$ , робочої точки ниткопритягача  $P_7$  та центрів мас ланок  $S_1, S_2, S_3, S_4, S_5$  в проекціях на осі ПСК залежно від кута повороту ведучого кривошипа  $\varphi_1$ . Відомими є такі параметри: довжини ланок  $l_i$ , координати стояків  $P_1 := (P_{1X} \ P_{1Y} \ 0)^T$ ,  $P_5 := (P_{5X} \ P_{5Y} \ 0)^T$ , відстані до центрів мас ланок  $l_{Si}$ , кути, що визначають положення центрів мас ланок  $U_{Si}$ , та кути, які характеризують конструктивне виконання шатуна 2 – кут  $U_2$  та куліси 5 – кут  $U_5$ .

$$P_{2X}(\varphi_1) := P_{1X} + l_1 \cdot \cos(\varphi_1); \quad P_{2Y}(\varphi_1) := P_{1Y} + l_1 \cdot \sin(\varphi_1); \quad (1)$$

$$P_{3X}(\varphi_1) := P_{1X}; \quad P_{3Y}(\varphi_1) := P_{1Y} + l_1 \cdot \sin(\varphi_1) - l_2 \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{l_1 \cdot \cos(\varphi_1)}{l_2}\right)^2}. \quad (2)$$

$$P_{4X}(\varphi_1) := P_{2X}(\varphi_1) + [P_{2_{-3X}}(\varphi_1) \cdot \cos(U_1) - P_{2_{-3Y}}(\varphi_1) \cdot \sin(U_1)] \cdot \frac{l_{2n}}{l_2}; \quad (3)$$

$$P_{4Y}(\varphi_1) := P_{2Y} + [P_{2_{-3X}}(\varphi_1) \cdot \sin(U_1) + P_{2_{-3Y}}(\varphi_1) \cdot \cos(U_1)] \cdot \frac{l_{2n}}{l_2}. \quad (4)$$

$$l_{5_{-4}}(\varphi_1) := \sqrt{(P_{4X}(\varphi_1) - P_{5X})^2 + (P_{4Y}(\varphi_1) - P_{5Y})^2}. \quad (5)$$

$$P_{7X}(\varphi_1) := P_{5X} + P_{5_{-4X}}(\varphi_1) \cdot \frac{l_{5n}}{l_{5_{-4}}(\varphi_1)}; \quad P_{7Y}(\varphi_1) := P_{5Y} + P_{5_{-4Y}}(\varphi_1) \cdot \frac{l_{5n}}{l_{5_{-4}}(\varphi_1)}. \quad (6)$$

$$P_{2_{-3X}}(\varphi_1) := P_{3X}(\varphi_1) - P_{2X}(\varphi_1); \quad P_{2_{-3Y}}(\varphi_1) := P_{3Y}(\varphi_1) - P_{2Y}(\varphi_1); \quad (7)$$

$$P_{5_{-4X}}(\varphi_1) := P_{4X}(\varphi_1) - P_{5X}; \quad P_{5_{-4Y}}(\varphi_1) := P_{4Y}(\varphi_1) - P_{5Y}. \quad (8)$$

$$S_{1X}(\varphi_1) := P_{1X} + l_{S1} \cdot \cos(\varphi_1 + U_{S1}); \quad S_{1Y}(\varphi_1) := P_{1Y} + l_{S1} \cdot \sin(\varphi_1 + U_{S1}); \quad (9)$$

$$S_{2X}(\varphi_1) := P_{2X}(\varphi_1) + [P_{2_{-3X}}(\varphi_1) \cdot \cos(U_{S2}) - P_{2_{-3Y}}(\varphi_1) \cdot \sin(U_{S2})] \cdot \frac{l_{S2}}{l_2}; \quad (10)$$

$$S_{2Y}(\varphi_1) := P_{2Y}(\varphi_1) + [P_{2_{-3X}}(\varphi_1) \cdot \sin(U_{S2}) + P_{2_{-3Y}}(\varphi_1) \cdot \cos(U_{S2})] \cdot \frac{l_{S2}}{l_2}; \quad (11)$$

$$S_{3X}(\varphi_1) := P_{3X}(\varphi_1) - l_{S3} \cdot \sin(U_{S3}); \quad S_{3Y}(\varphi_1) := P_{3Y}(\varphi_1) + l_{S3} \cdot \cos(U_{S3}). \quad (12)$$

$$S_{4X}(\varphi_1) := P_{2X}(\varphi_1) + [P_{2_{-4X}}(\varphi_1) \cdot \cos(U_{S4}) - P_{2_{-4Y}}(\varphi_1) \cdot \sin(U_{S4})] \cdot \frac{l_{S4}}{l_{2n}}; \quad (13)$$

$$S_{4Y}(\varphi_1) := P_{2Y}(\varphi_1) + [P_{2_{-4X}}(\varphi_1) \cdot \sin(U_{S4}) + P_{2_{-4Y}}(\varphi_1) \cdot \cos(U_{S4})] \cdot \frac{l_{S4}}{l_{2n}}. \quad (14)$$

$$S_{5X}(\varphi_1) := P_{5X} + [P_{5_{-4X}}(\varphi_1) \cdot \cos(U_{S5}) - P_{5_{-4Y}}(\varphi_1) \cdot \sin(U_{S5})] \cdot \frac{l_{S5}}{l_{5_{-4}}(\varphi_1)}; \quad (15)$$

$$S_{5Y}(\varphi_1) := P_{5Y}(\varphi_1) + [P_{5_{-4X}}(\varphi_1) \cdot \sin(U_{S5}) + P_{5_{-4Y}}(\varphi_1) \cdot \cos(U_{S5})] \cdot \frac{l_{S5}}{l_{5_{-4}}(\varphi_1)}. \quad (16)$$

Диференціальне рівняння руху механізму з одним ступенем вільності запишемо у формі рівняння Лагранжа II роду [2, 8]:

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_1} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_1} = Q_1; \quad q_1 = \varphi_1. \quad (17)$$

Кінетична енергія  $T$  механізму з ведучим кривошипом в якості ланки приведення записується у вигляді [2, 8]:

$$T = \frac{1}{2} \cdot J_{\Sigma} \cdot \dot{\varphi}_1^2; \quad (18)$$

де  $J_{\Sigma}$  – приведений момент інерції механізму;  $\dot{\varphi}_1$  – кутова швидкість ланки приведення;  $Q_1$  – узагальнена сила механізму.

Приведений момент інерції механізму  $J_{\Sigma}$  визначається за виразом [6]:

$$J_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n \left[ J_{S_i} \cdot (\varphi_i')^2 + m_i \cdot (S_i')^2 \right]; \quad (19)$$

де  $J_{S_i}$  – моменти інерції ланок відносно осей, які походять через точки центрів мас ланок перпендикулярно до площини їхнього руху;  $m_i$  – маси ланок;  $|\varphi_i'|$  та  $|S_i'|$  і  $|\varphi_i''|$  та  $|S_i''|$  – модулі векторів перших та других передаточних функцій, які визначаються як перші та другі похідні від функцій кутів положення ланок  $\varphi_i$  та функцій радіус-векторів точок центрів мас ланок  $S_i$  по куту  $\varphi_1$ ; прийmemo, якщо в позначені імені функції використовується штрих у верхньому індексі, то це означатиме диференціювання по куту  $\varphi_1$ , якщо крапка над іменем функції – диференціювання по часу  $t$ , тобто:

$$\varphi_i' = \frac{d\varphi_i}{d\varphi_1}; \quad \varphi_i'' = \frac{d^2\varphi_i}{d\varphi_1^2}; \quad S_i' = \frac{dS_i}{d\varphi_1}; \quad S_i'' = \frac{d^2S_i}{d\varphi_1^2}; \quad \dot{\varphi}_1 = \frac{d\varphi_1}{dt}; \quad \ddot{\varphi}_1 = \frac{d\dot{\varphi}_1}{dt}. \quad (20)$$

З урахуванням виразів (18) та (19) вираз (17) можна представити у вигляді:

$$\sum_{i=1}^n \left[ \left( J_{S_i} \cdot (\varphi_i')^2 + m_i \cdot (S_i')^2 \right) \cdot \ddot{\varphi}_1 + \left( J_{S_i} \cdot \varphi_i' \cdot \varphi_i'' + m_i \cdot S_i' \cdot S_i'' \right) \cdot \dot{\varphi}_1^2 \right] = Q_1, \quad (21)$$

Позначимо:  $k_1 = \sum_{i=1}^n \left( J_{S_i} \cdot (\varphi_i')^2 + m_i \cdot (S_i')^2 \right), \quad k_2 = \sum_{i=1}^n \left( J_{S_i} \cdot \varphi_i' \cdot \varphi_i'' + m_i \cdot S_i' \cdot S_i'' \right)$

Тоді вираз (21) можна переписати таким чином:

$$k_1 \cdot \ddot{\varphi}_1 + k_2 \cdot \dot{\varphi}_1^2 = Q_1, \quad (22)$$

Для визначення узагальненої сили  $Q_1$  користуватимемось виразом [3, 7]:

$$Q_1 = \sum_{j=1}^f (F_j \cdot P_j') + \sum_{k=1}^m (M_k \cdot \varphi_k'); \quad (23)$$

де  $F_j$  – вектори сил, що діють на ланки механізму;  $P_j'$  – вектори перших передаточних функцій радіус-векторів точок прикладання сил;  $M_k$  – вектори моментів, що діють на ланки механізму;  $\varphi_k'$  – вектори перших передаточних функцій кутів повороту ланок механізму.

Для механізму, що досліджується, запишемо вираз узагальненої сили згідно з виразом (23):

$$Q_1(\varphi_1) := G_{1Y} \cdot S'_{1Y}(\varphi_1) + G_{2Y} \cdot S'_{2Y}(\varphi_1) + G_{3Y} \cdot S'_{3Y}(\varphi_1) + G_{4Y} \cdot S'_{4Y}(\varphi_1) + \dots ; \quad (24)$$

$$\dots + G_{5Y} \cdot S'_{5Y}(\varphi_1) + F_{1Y}(\varphi_1) \cdot P'_{3Y}(\varphi_1) + F_{2X}(\varphi_1) \cdot P'_{7X}(\varphi_1) + F_{2Y}(\varphi_1) \cdot P'_{7Y}(\varphi_1) + M_{1Z}$$

Оскільки складова активної сили  $F_{2Z}(\varphi_1)$  не виконує роботи у площині руху механізму, то у вираз (24) вона не включена.

Для визначення похідних від функцій по куту  $\varphi_1$  в Mathcad будемо користуватися функцією користувача для чисельного диференціювання:

$$r'(r, \varphi_1, \Delta) := \frac{r(\varphi_1 + \Delta) - r(\varphi_1)}{\Delta}; \quad (25)$$

де  $r$  – будь-яка вектор-функція;  $\Delta$  – заданий приріст аргументу вектор-функції  $r$ , наприклад  $\Delta = 10^{-6}$  рад.

Вектор перших передаточних функцій кутів повороту ланок по куту  $\varphi_1$  визначатимемо в Mathcad з використанням функції користувача (26):

$$\varphi'(r, r') := \frac{r \times r'}{|r|^2}. \quad (26)$$

З використанням виразів (25) та (26) визначаємо складові виразу для розрахунку узагальненої сили (24):

$$\varphi'_Z(\varphi_1) = \begin{pmatrix} \varphi'_{1Z}(\varphi_1) \\ \varphi'_{2Z}(\varphi_1) \\ \varphi'_{3Z}(\varphi_1) \\ \varphi'_{4Z}(\varphi_1) \\ \varphi'_{5Z}(\varphi_1) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{[P_{2\_3X}(\varphi_1) \cdot r'(P_{2\_3Y}, \varphi_1, \Delta) - P_{2\_3Y}(\varphi_1) \cdot r'(P_{2\_3X}, \varphi_1, \Delta)]}{l_2^2} \\ 0 \\ \frac{[P_{2\_3X}(\varphi_1) \cdot r'(P_{2\_3Y}, \varphi_1, \Delta) - P_{2\_3Y}(\varphi_1) \cdot r'(P_{2\_3X}, \varphi_1, \Delta)]}{l_2^2} \\ \frac{[P_{5\_4X}(\varphi_1) \cdot r'(P_{5\_4Y}, \varphi_1, \Delta) - P_{5\_4Y}(\varphi_1) \cdot r'(P_{5\_4X}, \varphi_1, \Delta)]}{(l_{5\_4}(\varphi_1))^2} \end{pmatrix}; \quad (27)$$

$$\varphi''_{iZ}(\varphi_1) = r''(\varphi'_{iZ}, \varphi_1, \Delta); \quad (28)$$

$$S'_{iX}(\varphi_1) = r'(S_{iX}, \varphi_1, \Delta); S'_{iY}(\varphi_1) := r'(S_{iY}, \varphi_1, \Delta); S'_i(\varphi_1) := \sqrt{S'_{iX}(\varphi_1)^2 + S'_{iY}(\varphi_1)^2}; \quad (29)$$

$$S''_{iX}(\varphi_1) = r'(S'_{iX}, \varphi_1, \Delta); S''_{iY}(\varphi_1) := r'(S'_{iY}, \varphi_1, \Delta); S''_i(\varphi_1) := \sqrt{S''_{iX}(\varphi_1)^2 + S''_{iY}(\varphi_1)^2}; \quad (30)$$

$$P'_{iX}(\varphi_1) := r'(P_{iX}, \varphi_1, \Delta); P'_{iY}(\varphi_1) := r'(P_{iY}, \varphi_1, \Delta); P'_i(\varphi_1) := \sqrt{P'_{iX}(\varphi_1)^2 + P'_{iY}(\varphi_1)^2}; \quad (31)$$

У виразах (28)-(30) індекс  $i$  вказує на номер точки прикладання сил  $S_i$ , у виразах (31) – на номер точки прикладання активних сил.

Для врахування дисипативної складової до рівняння (22) введемо доданок, який враховує вплив непружних сил на механічну систему (наприклад, моменту сил тертя в кінематичних парах) та дорівнює добутку коефіцієнта дисипації  $b$  на кутову швидкість ланки приведення  $\dot{\varphi}_1$  [9]:

$$k_1 \cdot \ddot{\varphi}_1 + k_2 \cdot \dot{\varphi}_1^2 + b \cdot \dot{\varphi}_1 = Q_1. \quad (32)$$

Для розв'язку в Mathcad диференціального рівняння другого порядку (32) скористаємося чисельним методом Рунге-Кутти [10], застосовуючи вбудовану до Mathcad функцію «rkfixed» [10]. Для цього понизимо порядок диференціального рівняння (32), виконавши заміну параметрів відповідно до виразів (33), і з використанням нових параметрів

запишемо систему з двох диференціальних рівнянь першого порядку (34):

$$Y_1 = \varphi_1; \quad Y_2 = \dot{Y}_1; \quad (33)$$

$$\begin{cases} \dot{Y}_1 = Y_2 \\ k_1 \cdot \dot{Y}_2 + k_2 \cdot Y_2^2 + b \cdot Y_2 = Q_1 \end{cases}; \quad (34)$$

З урахуванням семантики Mathcad функція «rkfixed» вимагає введення аргументів, якими виступають [10]: вектор початкових значень параметрів системи диференціальних рівнянь  $I$ , а саме кута  $\varphi_1 = f_0$  та його похідної по часу  $\dot{\varphi}_1 = df_0$  (35); початкові та кінцеві значення інтервалу розрахунку відповідно  $t_0$  та  $t_{\max}$ ; кількість кроків розрахунку  $n_{\max}$  (36); вектор  $D(t, Y)$  перших похідних  $\dot{Y}_1$  та  $\dot{Y}_2$  (35). Значення початкового кута  $f_0$  вибиралося таким чином, щоб воно відповідало положенню «рівноваги» механізму, тобто такому положенню, коли на рухомі ланки механізму діяли б тільки сили ваги  $G_1, G_2, G_3$ , прикладені у відповідних точках центрів мас ланок  $S_1, S_2, S_3$ .

Запишемо обчислювальний блок в Mathcad для розв'язку диференціального рівняння руху (32):

$$I := \begin{pmatrix} f_0 \\ df_0 \end{pmatrix}; \quad D(t, Y) := \begin{pmatrix} Y_2 \\ \frac{1}{k_1(Y_1)} \cdot [Q_1(Y_1) - (k_2(Y_1) \cdot Y_2^2 + b \cdot Y_2)] \end{pmatrix} \quad (35)$$

$$t_0 := 0; \quad t_{\max} := 10; \quad n_{\max} := 10^3; \quad (36)$$

$$B := \text{rkfixed}(I, t_0, t_{\max}, n_{\max}, D). \quad (37)$$

Результатом обчислення функції  $B$  у Mathcad [10] за виразом (37) є матриця значень розміром  $(n_{\max} + 1 \times 3)$ , першим стовпчиком якої є значення часу  $t$ , другим – кут  $\varphi_1(t)$ , третім – кутова швидкість  $\omega_1(t)$ . Для визначення кутового прискорення  $\varepsilon_1(t)$  та представлення результатів дослідження у вигляді графіків введемо в розгляд дискретну змінну  $i$ , початкове значення якої дорівнюватиме одиниці, а кінцеве значення – номеру останнього рядка таблиці результатів  $B$ .

$$i := 1..rows(B). \quad (38)$$

За допомогою дискретної змінної  $i$  сформуємо в Mathcad таблиці значень часу  $t_i$ , кута  $f_{1i}$ , кутової швидкості  $\omega_{1i}$ :

$$t_i := (B^{(1)})_i; \quad f_{1i} := (B^{(2)})_i; \quad \omega_{1i} := (B^{(3)})_i. \quad (39)$$

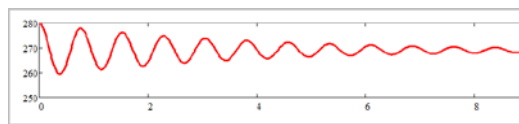
З рівняння (32) з використанням (39) визначаємо кутове прискорення  $\varepsilon_{1i}$ :

$$\varepsilon_{1i} := \frac{1}{k_1(f_{1i})} \cdot [Q_1(f_{1i}) - (k_2(f_{1i}) \cdot (\omega_{1i})^2 + b \cdot \omega_{1i})]. \quad (40)$$

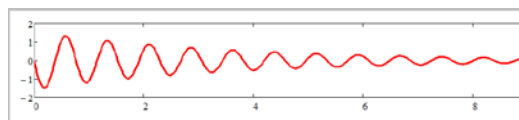
За результатами розрахунку були побудовані графіки кута повороту, кутових швидкості та прискорення ведучої ланки при вільних коливаннях від положення рівноваги механізму (рис. 2, а-в) та при дії зовнішнього моменту (рис. 3, а-в).

Аналізуючи отримані результати, можна зробити висновок, що з часом при синтезованих в роботі [3, 4] метричних та прийнятих маса-інерційних параметрах, механізм

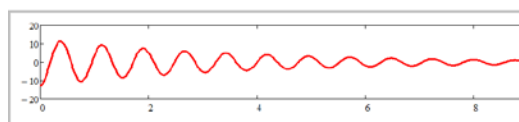
виходить в режим усталеного нерівномірного обертання кривошипа, амплітуди коливання кутової швидкості кривошипа досягають значних величин, період коливань зменшується.



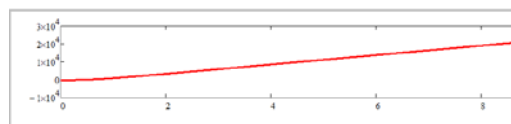
*a*



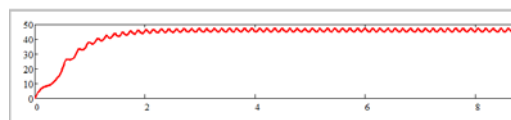
*б*



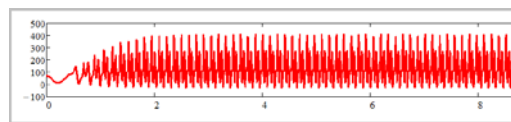
*в*



*a*



*б*



*в*

Рис. 2. Графіки залежності від часу *t*:  
*a* – кута кривошипа; *б* – кутової швидкості кривошипа; *в* – кутового прискорення кривошипа (вільні згасаючі коливання)

Рис. 3. Графіки залежності від часу *t*:  
*a* – кута кривошипа; *б* – кутової швидкості кривошипа; *в* – кутового прискорення кривошипа (режим під дією зовнішнього моменту  $M_1$ )

Для дослідження були прийняті такі геометричні параметри механізму (в мм): координати стояків  $P_1 := (0 \ 0 \ 0)^T$ ;  $P_5 := (11,7 \ 35,69 \ 0)^T$ ; довжини ланок (в мм):  $l_1 := 16,3$ ;  $l_2 := 44,2$ ;  $l_{2n} := 10$ ;  $l_5 := 60$ ;  $l_{5n} := 55$ ; відстані до центрів мас (в мм):  $l_{s1} := 5$ ;  $l_{s2} := 10$ ;  $l_{s3} := 10$ ;  $l_{s4} := 0$ ;  $l_{s5} := 15$ ; кутові параметри (в град.):  $U_1 := 100,37$ ;  $U_2 := -90$ ;  $U_{s1} := 180$ ;  $U_{s2} := 30$ ;  $U_{s3} := 0$ ;  $U_{s4} := 0$ ;  $U_{s5} := 45$ ; моменти інерції ланок (в кг·м<sup>2</sup>):  $J_{s1} := 325 \times 10^{-6}$ ;  $J_{s2} := 70 \times 10^{-6}$ ;  $J_{s3} := 0$ ;  $J_{s4} := 25 \times 10^{-6}$ ;  $J_{s5} := 50 \times 10^{-6}$ ; маси ланок (в г):  $m_1 := 200$ ;  $m_2 := 55$ ;  $m_3 := 100$ ;  $m_4 := 20$ ;  $m_5 := 60$ ; рушійний момент (в Н·м):  $M_1 := 0,025$ ; коефіцієнт опору (в Н·м·с):  $b := 2 \times 10^{-4}$ ; початковий кут кривошипа (в град.):  $\varphi_0 := 269,18$  – відповідає положенню рівноваги при дослідженні руху механізму під дією зовнішнього моменту  $M_1$ ;  $\varphi_0 := 280$  – при дослідженні вільних згасаючих коливань.

Зміна величини зовнішнього моменту та маса-інерційних параметрів механізму викликають зміну амплітуди кутової швидкості ведучого кривошипа та градієнта його кутового прискорення. Таким чином, зміною конструктивних та масових параметрів механізму можна досягти зменшення нерівномірності усталеного руху механізму. Подальші дослідження будуть спрямовані на отримання раціональної конструкції обернених шестиланкових механізмів кулісного ниткопритягача з використанням отриманих

динамічних моделей в програмі Matcad.

**Висновки.** Отримані математичні вирази за методом векторного перетворення координат, що в явному вигляді виражають функції кутів повороту рухомих ланок та функції положення характерних точок оберненого шестиланкового механізму ниткопритягача через узагальнену координату  $\varphi_1$ . Складено диференціальне рівняння руху, розв'язок якого виконаний чисельним методом Рунге-Кутти із застосуванням програми Mathcad. Побудовані графіки залежності кутового прискорення кривошипа від часу  $\varepsilon_1(t)$  та від кута повороту  $\varepsilon_1(\varphi_1)$ , за допомогою яких можна зробити висновок про характер зміни амплітуд кутових швидкості та прискорення кривошипа та дослідити нерівномірність усталеного руху механізму при синтезованих геометричних та прийнятих конструктивних параметрах механізму. Результати можуть використовуватись для дослідження динаміки подібних механізмів в САД-програмах.

#### Література

1. Попов В. Б. Моделирование и многокритериальная оптимизация гидронавесных систем с/х мобильных машин: Дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук. – Минск, 1994. – 212 с.
2. Sherban V. Yu. Software components of the system for the kinematic and dynamic analysis of machines for sewing, textile and shoe industries / V. Yu. Sherban // Мехатронні системи: інновації та інжиніринг : тези доповідей Міжнародної науково-практичної конференції, 15 червня 2017 р. – Київ : КНУТД, 2017. – С. 28-29.
3. Орловський Б. В. Метричний синтез оберненого кулісного механізму ниткопритягача швейної машини. Повідомлення 1 [електронний ресурс] / Б. В. Орловський, В. М. Дворжак, Є. С. Радченко // Технології та дизайн. – 2011. – № 1. – Режим доступу до журн.: [http://www.nbu.gov.ua/e-journals/td/2011\\_1/2011-1.html](http://www.nbu.gov.ua/e-journals/td/2011_1/2011-1.html).
4. Орловський Б. В. Метричний синтез оберненого кулісного механізму ниткопритягача швейної машини. Повідомлення 2 [електронний ресурс] / Б. В. Орловський, В. М. Дворжак, Є. С. Радченко // Технології та дизайн. – 2012. – № 1. – Режим доступу до журн.: [http://www.nbu.gov.ua/e-journals/td/2012\\_1/2012-1.html](http://www.nbu.gov.ua/e-journals/td/2012_1/2012-1.html).
5. Пищиков В. О. Проективання швейних машин / В. О. Пищиков, Б. В. Орловський – К.: Видавничо-поліграфічний дім «Формат», 2007. – 320 с.
6. Дворжак В. М. Аналітичне дослідження

#### References

1. Popov V. B. (1994) *Modelirovaniye i mnogokriterialnaya optimizatsiya gidronavesnykh sistem s/kh mobilnykh mashin [Modeling and multicriteria optimization of hydraulic systems for agricultural mobile machines]*. – Minsk: [in Russian].
2. Sherban, V. Yu. (2017). *Software components of the system for the kinematic and dynamic analysis of machines for sewing, textile and shoe industries*. Mechatronic Systems: Innovation and Engineering: Abstracts of the International Scientific and Practical Conference (June 15, 2017, pp. 28-29). Kyiv: KNUTD.
3. Orlovskyy, B. V., Dvorzhak, V. M. & Radchenko, Ye. S. (2011). *Metrychnyy syntez obrnenoho kulisnoho mekhanizmu nytkoprytyahuvacha shveyanoi mashyny. Povidomlennya 1 [Metric synthesis is wrapped in a wedge-shaped manner to the mechanism of the sewing machine. Priority 1]*. Kyiv: Tekhnolohiyi ta dyzayn, 1. Retrieved from: [http://www.nbu.gov.ua/e-journals/td/2011\\_1/2011-1.html](http://www.nbu.gov.ua/e-journals/td/2011_1/2011-1.html) [in Ukrainian].
4. Orlovskyy, B. V., Dvorzhak, V. M. & Radchenko, Ye. S. (2011). *Metrychnyy syntez obrnenoho kulisnoho mekhanizmu nytkoprytyahuvacha shveyanoi mashyny. Povidomlennya 2 [Metric synthesis is wrapped in a wedge-shaped manner to the mechanism of the sewing machine. Priority 2]*. Kyiv: Tekhnolohiyi ta dyzayn, 1. Retrieved from: [http://www.nbu.gov.ua/e-journals/td/2012\\_1/2012-1.html](http://www.nbu.gov.ua/e-journals/td/2012_1/2012-1.html) [in Ukrainian].
5. Pyshchikov V. O., Orlovskiy B. V. (2007). *Proektuvannia shveinykh mashyn [Designing sewing machines]*. – Kyiv: Format [in Ukrainian].
6. Dvorzhak V. M. (2017). *Analychne doslidzhennia dynamiky typovykh dvokryvoshypanykh mekhanizmiv*

динаміки типових двокривошипних механізмів технологічних машин легкої промисловості / В. М. Дворжак // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Технічні науки. – 2017. – № 5. – С. 54-64.

7. Артоболевский И. И. Теория механизмов и машин / И. И. Артоболевский – М. : Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988. – 640 с.

8. Смирнов Д. А. Исследование динамики кулисного механизма с одной степенью свободы с неподвижными вращательными кинематическими парами // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 11-4. – С. 793-798; URL:<http://www.fundamental-research.ru/article/view?id=35634>.

9. Левитский Н. И. Теория механизмов и машин / Н. И. Левитский – М. : Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1979. – 576 с.

10. Макаров Е. Г. Инженерные расчеты в MathCAD. / Е. Г. Макаров – СПб. : Питер, 2005. – 448 с.

*tekhnologichnykh mashyn lehkoi promyslovosti [Analytical study of dynamics of typical two-crank mechanisms of technological light industry machines].* Kyiv: Bulletin of the KNUTD [in Ukrainian].

7. Artobolevskiy, I. I. (1988). *Teoriya mehanizmov i mashin [Theory of mechanisms and machines]*. Moscow: Nauka [in Russian].

8. Smirnov D. A. (2014). *Issledovaniye dinamiki kulisnogo mekhanizma s odnoy stepenyu svobody s nepodvizhnymi vrashchatelnymi kinematcheskimi parami [Investigation of the dynamics of a rocking mechanism with one degree of freedom with stationary rotational kinematic pairs].* *Fundamentalnyye issledovaniya:* URL: <http://www.fundamental-research.ru/ru/article/view?id=35634>. [in Russian].

9. Levitskiy, N. I. (1979). *Teoriya mehanizmov i mashin [Theory mechanisms and machines]*. Moscow: Nauka [in Russian].

10. Makarov, E. G. (2005). *Inzhenernye raschety v MathCAD. [Engineering calculations in MathCAD]*. St. Petersburg: Piter [in Russian].

**DVORZHAK VOLODYMYR**

*v\_dvorjak@ukr.net*

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1693-9106>

Researcher ID: P-5907-2018

*Kiev National University of Technologies & Design*

## АНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ТИПОВЫХ КУЛИСНЫХ МЕХАНИЗМОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ ДВОРЖАК В. М.

*Київський національний університет технологій та дизайну*

**Цель.** Совершенствование методов проектирования целевых механизмов технологических машин легкой промышленности с применением прикладных САД-программ.

**Методика.** Используются аналитический метод векторного преобразования координат для расчета типовых механизмов технологических машин и численный метод решения дифференциальных уравнений.

**Результаты.** Получены математические модели, описывающие функции положения подвижных звеньев и характерных точек многозвенного кулисного механизма нитепротягивателя для швейной машины и динамику его работы. Выполнено схемотехническое моделирование механизма в программе Mathcad. Построены графики зависимости угловых скорости и ускорения от времени и от угла поворота ведущего кривошипа механизма.

**Научная новизна.** Предложен алгоритм численно-аналитического исследования динамики работы плоского шестизвенного шарнирно-рычажного механизма кулисного нитепротягивателя швейной машины на основе численного решения дифференциального уравнения движения механизма и проведено компьютерное моделирование механизма в программе Mathcad.

**Практическая значимость** работы заключается в использовании полученных результатов при динамическом исследовании целевых механизмов швейных машин.

**Ключевые слова:** динамика механизмов, кулисный механизм нитепротягивателя, швейная машина.

**ANALYTICAL STUDY OF THE DYNAMICS OF TYPICAL MILLING MECHANISMS  
OF TECHNOLOGICAL MACHINES OF LIGHT INDUSTRY**

DVORZHAK V. M.

*Kyiv National University of Technologies and Design*

**Purpose.** *Improving methods of designing technological machines mechanisms of light industry in CAD-programs.*

**Methodology.** *The analytical method of vector transformation of coordinates for calculation of typical mechanisms of technological machines and a numerical method for solving differential equations are used.*

**Findings.** *Mathematical models describing the functions of the position of the moving links and the characteristic points of the multi-link mechanism of the thread take-up mechanism for the sewing machine and the dynamics of its operation are obtained. Schematic modeling of the mechanism in the Mathcad program was performed. The graphs of the dependence of the angular velocity and acceleration on time and on the angle of rotation of the crank mechanism.*

**Originality.** *The algorithm of numerical and analytical investigation of the dynamics of the flat six-link articulated mechanism of the thread take-up of the sewing machine is proposed on the basis of the numerical solution of the differential equation of motion of the mechanism and a computer simulation of the mechanism in the program Mathcad.*

**Practical Value** *is to use the results of research in kinematic and dynamic study of the target sewing machine mechanisms.*

**Keywords:** *dynamics of mechanisms, rocker mechanism of thread take-up, sewing machine.*

УДК 677.047.65

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

Херсонський національний технічний університет

## ВПЛИВ ХІМІЧНОЇ БУДОВИ ЗШИВАЮЧИХ АГЕНТІВ НА ФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПОЛІМЕРНИХ ПЛІВОК НА ОСНОВІ КРОХМАЛЮ

**Мета.** Дослідити вплив активних функціональних груп зшиваючих агентів на фізичні властивості крохмальних полімерних плівок.

**Методика.** Використані стандартизовані методики дослідження показників фізичних властивостей полімерних плівок.

**Результати.** В роботі наведені результати дослідження впливу зшиваючих агентів різної хімічної будови на фізико-механічні властивості, відношення до дії атмосферної вологи та стійкість до мокрих обробок крохмальних полімерних плівок. Встановлено покращення досліджуваних показників плівок при застосуванні L-винної кислоти.

**Наукова новизна.** Доведено, що застосування L-винної кислоти в якості зшиваючого агенту дозволяє поліпшити фізичні властивості полімерних плівок на основі крохмалю.

**Практична значимість.** Отримані результати експерименту мають практичне значення для розробки нових екологічно безпечних полімерних матеріалів.

**Ключові слова:** полімерні плівки, крохмаль, зшиваючі агенти, фізичні властивості.

**Вступ.** На сьогоднішній день спостерігається підвищення інтересу до текстильних матеріалів, що мають комплекс спеціальних властивостей. Надання спеціальних властивостей текстильним матеріалам досягається за рахунок створення на поверхні тканин полімерних покриттів різного призначення [1–2].

Зростаючий попит на високу хімічну стійкість і механічну міцність, а також обмеження, що пов'язані з викидами летких органічних сполук, призвели до необхідності розробки нових полімерних композицій для текстильної промисловості. У зв'язку з цим дослідження, направлені на створення екологічно безпечних полімерних захисних систем є актуальними.

Перспективним є застосування полімерних композицій на основі природних полімерів [3–9]. В якості природних плівкоутворюючих речовин широке застосування мають полісахариди, зокрема крохмаль. Крохмаль є доступною поновлюваною і екологічно безпечною сировиною. Недоліком індивідуальних крохмальних полімерних плівок є недостатня механічна міцність, жорсткість, гідролітична нестабільність. У зв'язку з цим до складу полімерної композиції на основі крохмалю окрім пластифікатору вводять зшиваючі агенти, які повинні забезпечити хімічну взаємодію між пластифікатором і крохмалем за допомогою ковалентного зв'язку.

**Постановка завдання.** В якості екологічно безпечних зшиваючих агентів відомо застосування багатоосновних карбонових кислот та їх похідних. Авторами [10, 11] запропоновано використання лимонної кислоти в складі крохмальних полімерних композицій з метою утворення просторово зшитих трьохвимірних структур. Слід зазначити, що лимонна кислота за хімічною будовою є трьохосновною карбоною гідроксікислотою. Наявність трьох карбоксильних груп, а також гідроксигрупи може бути причиною меншої

конфірмаційної рухливості лимонної кислоти в процесі формування просторово зшитої структури з пластифікатором і крохмалем.

Враховуючи вище викладене, основним завданням є дослідження впливу активних функціональних груп зшиваючих агентів на зміну фізичних властивостей полімерних плівок на основі крохмалю.

**Результати дослідження.** У дослідженні в якості плівкоутворюючої речовини використовується картопляний крохмаль, в якості пластифікатору – гліцерин. В якості зшиваючих агентів обрані янтарна кислота, янтарний ангідрид, L-винна кислота (діоксіянтарна кислота). Для порівняння результатів проведено дослідження з використанням лимонної кислоти.

Полімерні плівки виготовляються з водного розчину. Зшиваючий агент вводиться у кількості 1% від маси композиції. Розварювання розчину проводиться при 85–90°C протягом 30 хв. Сформовані плівки висушуються при 60°C з наступною термообробкою при 150°C.

На першому етапі роботи було визначено вплив обраних зшиваючих агентів на зміну таких фізичних властивостей крохмальних плівок, як товщина, поверхнева щільність і зовнішній вигляд. Результати випробувань наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

**Вплив хімічної будови зшиваючих агентів на фізичні властивості крохмальних плівок**

Зшиваючий агент	Товщина, мкм	Поверхнева щільність, г/м <sup>2</sup>	Зовнішній вигляд
Без зшиваючого агента	190	190	прозора, жорстка
Лимонна кислота	130	130	мутна, еластична
Янтарна кислота	120	158	білувата, еластична
Янтарний ангідрид	110	158	білувата, еластична
L-винна кислота	110	160	прозора, еластична

Аналіз результатів експерименту (табл. 1) свідчить про зниження товщини і поверхневої щільності зразків плівок зі зшиваючими агентами порівняно з крохмальною плівкою без зшиваючого агента. Найменше значення поверхневої щільності спостерігається при введенні до складу композиції лимонної кислоти. Всі досліджувані зшиваючі агенти сприяють підвищенню еластичності крохмальних полімерних плівок. Однак при використанні янтарної кислоти і янтарного ангідриду полімерна плівка має білуватий колір, що можна пояснити утворенням на її поверхні кристалів янтарної кислоти під час сушіння та термообробки. Введення у композицію L-винної кислоти дозволяє отримувати прозору, еластичну крохмальну плівку, на відміну від білуватих полімерних матеріалів зі вмістом янтарної кислоти та янтарного ангідриду. При цьому товщина та поверхнева щільність змінюються в незначній мірі.

Важливими характеристиками крохмальних полімерних покриттів є відношення до дії атмосферної вологи та стійкість до мокрих обробок. У зв'язку з цим на наступному етапі роботи було визначено вплив зшиваючих агентів на показники гігроскопічності, водопоглинання і гідролітичної стабільності. Результати експерименту представлені на рис. 1, 2.

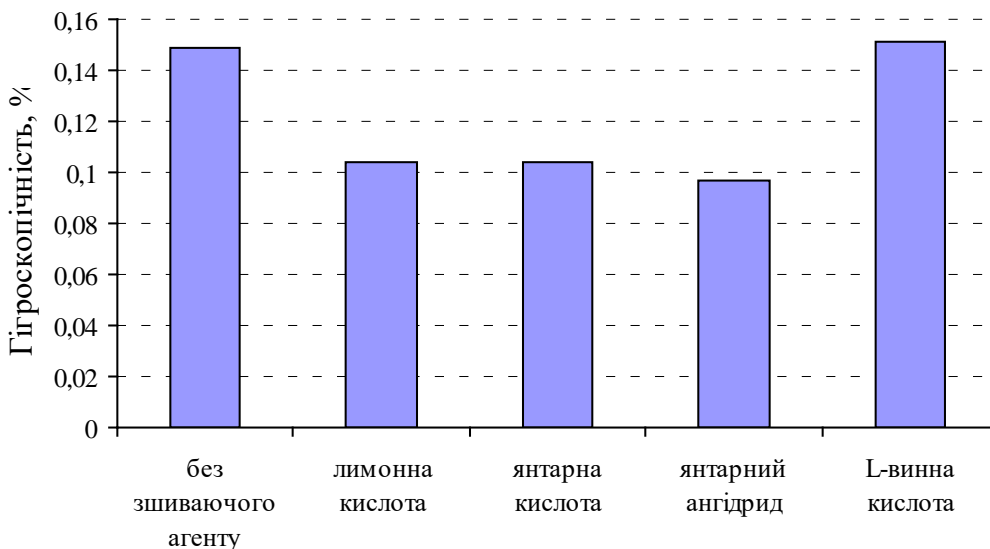


Рис. 1. Вплив зшиваючих агентів на гігроскопічність крохмальних плівок

Коливання атмосферної вологи може призводити до зміни вмісту вологи у крохмальних плівках, що позначається на їх технологічних властивостях. Отримані результати експерименту (рис. 1) показують, що при атмосферній вологості 100% гігроскопічність крохмальних плівок, що містять лимонну і янтарну кислоту, знижується на 30% у порівнянні з крохмальною плівкою без зшиваючого агенту. При застосуванні янтарного ангідриду спостерігається зменшення гігроскопічності крохмальної плівки на 35%. Введення до складу композиції L-винної кислоти призводить до незначної зміни досліджуваного показника крохмальної плівки.

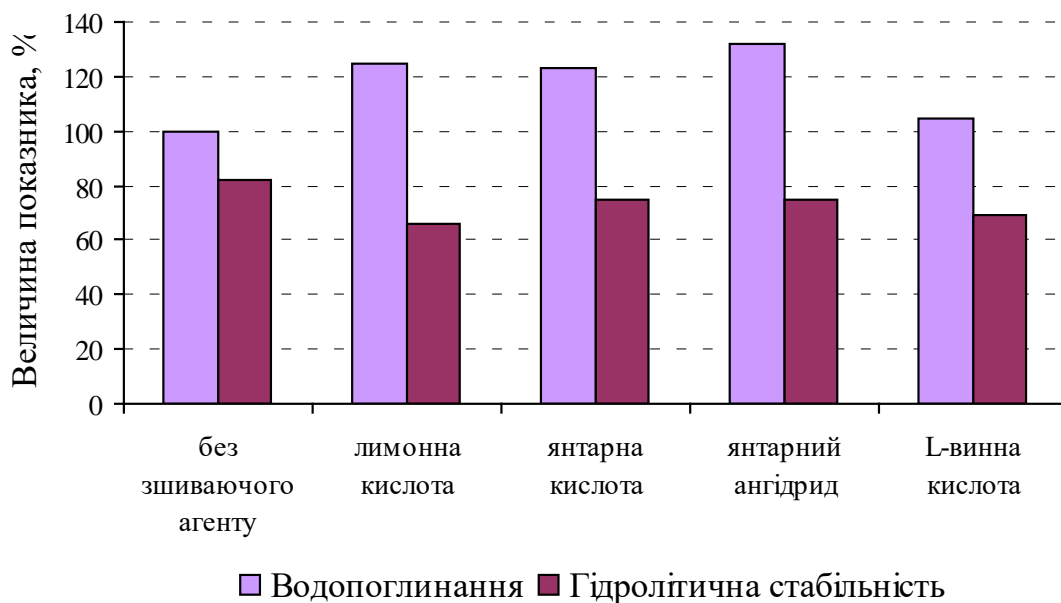


Рис. 2. Вплив зшиваючих агентів на відношення крохмальних плівок до мокрих обробок

Дані, представлені на рис. 2, свідчать про підвищення водопоглинання крохмальних плівок при введенні до їх складу лимонної кислоти, янтарної кислоти і янтарного ангідриду на 25%, 23% і 32% відповідно. Використання в якості зшиваючого агенту L-винної кислоти призводить до підвищення досліджуваного показника на 5%.

Гідролітична стабільність характеризує ступінь стійкості полімерної плівки до дії води. Отримані результати експерименту (рис. 2) показують, що використання досліджуваних зшиваючих агентів у складі полімерної композиції спричиняє зниження стійкості крохмальних плівок до гідролітичної деструкції на 7,3–15,6%. Слід зазначити, що найнижчий ступінь стійкості до гідролітичної деструкції має крохмальна плівка зі вмістом лимонної кислоти – 15,6%.

Порівняльний аналіз отриманих результатів проведеного експерименту показав, що використання в якості зшиваючого агенту янтарного ангідриду призводить до аналогічних змін властивостей крохмальної плівки як і при використанні відповідної карбонової кислоти. Застосування L-винної кислоти у складі полімерної композиції призводить до незначного підвищення гігроскопічності та водопоглинання полімерного матеріалу в порівнянні з індивідуальною крохмальною плівкою, при цьому гідролітична стабільність знижується на 12,4%. Зниження показника гідролітичної стабільності в порівнянні з використанням янтарної кислоти та відповідного ангідриду може бути пов'язане з наявністю двох гідроксигруп у складі L-винної кислоти, оскільки аналогічна тенденція спостерігається у випадку лимонної кислоти, яка також містить гідроксигрупу.

**Висновки.** Таким чином, результати проведеного дослідження доводять, що застосування в складі крохмальної полімерної композиції в якості зшиваючого агенту L-винної кислоти дозволяє отримати прозорі еластичні крохмальні плівки, які характеризуються меншим водопоглинанням та більшою гідролітичною стабільністю в порівнянні з крохмальними плівками, що містять лимонну кислоту. Подальші дослідження будуть спрямовані на визначення синергічного впливу зшиваючих агентів на властивості крохмальних полімерних матеріалів.

#### Література

1. Onar N. Development of water-, oil-repellent and flame-retardant cotton fabrics by organic-inorganic hybrid materials [Text] / N. Onar, G. Mete // Journal of the Textile Institute. – 2016. – Vol. 107, Issue 11, P. 1463–1477. DOI: 10.1080/00405000.2015.1128208
2. Camlibel N.O. Antibacterial, UV protection, flame retardancy and coloration properties of cotton fabrics coated with polyacrylate polymer containing various iron ores [Text] / N.O. Camlibel, B. Arik, O. Avinc // Journal of the Textile Institute. – 2018. DOI: 10.1080/00405000.2018.1423937
3. Pan H. Layer-by-layer assembled thin films based on fully biobased polysaccharides: Chitosan and phosphorylated cellulose for flame-retardant cotton fabric [Text] / H. Pan, L. Song, L. Ma, Y. Hu // Cellulose. – 2014. – Vol. 21, Issue 4. – P. 2995–3006. DOI: 10.1007/s10570-014-0276-5

#### References

1. Onar, N., Mete, G. (2016). Development of water-, oil-repellent and flame-retardant cotton fabrics by organic-inorganic hybrid materials. Journal of the Textile Institute. 107, 11, 1463–1477. DOI: 10.1080/00405000.2015.1128208
2. Camlibel, N.O., Arik, B., Avinc, O. (2018). Antibacterial, UV protection, flame retardancy and coloration properties of cotton fabrics coated with polyacrylate polymer containing various iron ores. Journal of the Textile Institute. DOI: 10.1080/00405000.2018.1423937
3. Pan, H., Song, L., Ma, L., Hu, Y. (2014). Layer-by-layer assembled thin films based on fully biobased polysaccharides: Chitosan and phosphorylated cellulose for flame-retardant cotton fabric. Cellulose, 21, 4, 2995–3006. DOI: 10.1007/s10570-014-0276-5

4. Jimenez M. Microintumescent mechanism of flame-retardant water-based chitosan-ammonium polyphosphate multilayer nanocoating on cotton fabric [Text] / M. Jimenez, T. Guin, S. Bellayer, J.C. Grunlan // Journal of Applied Polymer Science. – 2016. – Vol. 133, Issue 32. DOI: 10.1002/app.43783
5. Su C.H. Preparation of Cotton Fabric Using Sodium Alginate-Coated Nanoparticles to Protect Against Nosocomial Pathogens [Text] / C.H. Su, V. Kumar, S. Adhikary, P. Anbu, P. Velusamy, P. Kannaiyan // Biochemical Engineering Journal. – 2016. – Vol. 117. – P. 28–36. DOI: 10.1016/j.bej.2016.10.020
6. Scacchetti F.A.P. Thermal and antimicrobial evaluation of cotton functionalized with a chitosan–zeolite composite and microcapsules of phase-change materials [Text] / F.A.P. Scacchetti, E. Pinto, G.M.B. Soares // Journal of Applied Polymer Science. – 2017. – Vol. 135, Issue 15. – P. 46135. DOI: 10.1002/app.46135
7. Arza C.R. New biobased non-ionic hyperbranched polymers as environmentally friendly antibacterial additives for biopolymers [Text] / C.R. Arza, S. İlk, D. Demircan, B. Zhang // Green Chemistry. – 2018. – Vol. 20, Issue 6. – P. 1238–1249. DOI: 10.1039/C7GC03401F
8. Muzaffar S. Synthesis and Characterization of Aqueous Chitosan-polyurethanes Dispersion for Textile Applications with Multipurpose Performance Profile [Text] / S. Muzaffar, I. Ahmad, M. Zuber, M. Shahid, H. Bhatti // Fibers and Polymers. – 2018. – Vol. 19, Issue 3. – P. 587–598. DOI: 10.1007/s12221-018-7896-6
9. Arshad N. Synthesis, characterization of novel chitosan based water dispersible polyurethanes and their potential deployment as antibacterial textile finish [Text] / N. Arshad, K.M. Zia, F. Jabeen, M.N. Anjum, N. Akram, M. Zuber // International Journal of Biological Macromolecules. – 2018. – Vol. 111. – P. 485–492. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2018.01.032
10. Шубина Е.В., Никифоров А.Л., Мельников Б.Н. Новая технология малосминаемой отделки текстильных материалов [Текст] / Е.В. Шубина, А.Л. Никифоров, Б.Н. Мельников // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2003. – №1(270). – С. 73–76.
11. Scacchetti F.A.P. Preparation and characterization of cotton fabrics with antimicrobial properties through the application of chitosan/silver-zeolite film [Text] / F.A.P. Scacchetti, E. Pinto, G.M.B. Soares // Procedia Engineering. – 2017. – Vol. 200. – P. 276–282. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.07.039
4. Jimenez, M., Guin, T., Bellayer, S., Grunlan, J.C. (2016). Microintumescent mechanism of flame-retardant water-based chitosan-ammonium polyphosphate multilayer nanocoating on cotton fabric. Journal of Applied Polymer Science, 133, 32. DOI: 10.1002/app.43783
5. Su, C.H., Kumar, V., Adhikary, S., Anbu, P., Velusamy, P., Kannaiyan, P. (2016). Preparation of Cotton Fabric Using Sodium Alginate-Coated Nanoparticles to Protect Against Nosocomial Pathogens. Biochemical Engineering Journal, 117, 28–36. DOI: 10.1016/j.bej.2016.10.020
6. Scacchetti, F.A.P., Pinto E., Soares, G.M.B. (2017). Thermal and antimicrobial evaluation of cotton functionalized with a chitosan–zeolite composite and microcapsules of phase-change materials. Journal of Applied Polymer Science, 135, 15, 46135. DOI: 10.1002/app.46135
7. Arza, C.R., İlk, S., Demircan, D., Zhang, B. (2018). New biobased non-ionic hyperbranched polymers as environmentally friendly antibacterial additives for biopolymers. Green Chemistry, 20, 6, 1238–1249. DOI: 10.1039/C7GC03401F
8. Muzaffar, S., Ahmad, I., Zuber M., Shahid, M., Bhatti H. (2018). Synthesis and Characterization of Aqueous Chitosan-polyurethanes Dispersion for Textile Applications with Multipurpose Performance Profile. Fibers and Polymers, 19, 3, 587–598. DOI: 10.1007/s12221-018-7896-6
9. Arshad, N., Zia, K.M, Jabeen, F., Anjum, M.N., Akram, N., Zuber, M. (2018). Synthesis, characterization of novel chitosan based water dispersible polyurethanes and their potential deployment as antibacterial textile finish. International Journal of Biological Macromolecules, 111, 485–492. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2018.01.032
10. Shubina, E.V., Nikiforov, A.L., Melnikov, B.N. (2003) Novaya tekhnologiya malosminayemoy otdelki tekstil'nykh materialov [The new technology of antcrease finish of textile materials]. Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti, 1(270), 73–76.
11. Scacchetti, F.A.P., Pinto E., Soares, G.M.B. (2017). Preparation and characterization of cotton fabrics with antimicrobial properties through the application of chitosan/silver-zeolite film. Procedia Engineering, 200, 276–282. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.07.039

ASAULYUK TATYANA

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5961-6895>  
tatisevna@gmail.com

SEMESHKO OLGA

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8309-5273>  
solgaya@gmail.com  
Kherson National Technical University

SARIBYEKOVA YULIA

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6430-6509>  
ysaribyekova@gmail.com  
Kherson National Technical University

**ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ СШИВАЮЩИХ АГЕНТОВ НА  
ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНЫХ ПЛЕНОК НА ОСНОВЕ КРАХМАЛА  
АСАУЛЮК Т. С., СЕМЕШКО О. Я., САРИБЕКОВА Ю. Г.**

*Херсонский национальный технический университет*

**Цель.** Исследовать влияние активных функциональных групп сшивающих агентов на физические свойства крахмальных полимерных пленок.

**Методика.** Применены стандартизированные методики исследования показателей физических свойств полимерных пленок.

**Результаты.** В работе приведены результаты исследования влияния сшивающих агентов разного химического строения на физико-механические свойства, отношение к действию атмосферной влаги и устойчивость к мокрым обработкам крахмальных полимерных пленок. Установлено улучшение исследуемых показателей пленок при использовании L-винной кислоты.

**Научная новизна.** Доказано, что применение L-винной кислоты в качестве сшивающего агента позволяет улучшить физические свойства полимерных пленок на основе крахмала.

**Практическая значимость.** Полученные результаты эксперимента имеют практическое значение для разработки новых экологически безопасных полимерных материалов.

**Ключевые слова:** полимерные пленки, крахмал, сшивающие агенты, физические свойства.

**EFFECT OF THE CHEMICAL STRUCTURE OF CROSSLINKING AGENTS ON THE  
PHYSICAL PROPERTIES OF POLYMER FILMS BASED ON STARCH**

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

*Kherson National Technical University*

**Purpose.** To study the effect of active functional groups of cross-linking agents on the physical properties of starch polymer films.

**Methodology.** Standardized methods for studying the indicators of physical properties of polymer films have been applied.

**Findings.** The paper presents the results of the study of the effect of crosslinking agents of different chemical structure on the physico-mechanical properties, the influence of atmospheric moisture and the resistance to wet treatments of starch polymer films. An improvement in studied parameters of the films with the use of L-tartaric acid was established.

**Originality.** It has been proved that the use of L-tartaric acid as a crosslinking agent makes it possible to improve the physical properties of polymer films based on starch.

**Practical value.** The obtained experimental results are of practical importance for the development of new environmentally friendly polymer materials.

**Keywords.** polymer films, starch, crosslinking agents, physical properties.

УДК 544.4+544.7

КАТАШИНСЬКИЙ А. С., ХОМЕНКО В. Г., БАРСУКОВ В. З.,  
ЧЕРНИШ О. В.

Київський національний університет технологій та дизайну

АДСОРБЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ КОМПОЗИТУ ПОЛІПІРОЛ -  
ШПІНЕЛЬ  $NiCo_2O_4$

**Мета.** На основі результатів квантово-хімічних розрахунків пояснити експериментально установлений факт відновлення молекулярного кисню на ділянці поверхні поліпірола композиту поліпірол - шпінель  $NiCo_2O_4$ .

**Методика.** Методами прикладної квантової хімії виконані *ab initio* розрахунки електронної структури і рівноважних структурних параметрів молекулярного кластера композиту поліпірол-шпінель  $NiCo_2O_4$  і адсорбційних комплексів.

**Результати.** Розраховані повні енергії молекулярного кластера складу  $Ni_2Co_4O_{22}C_8N_2H_{28}$  і адсорбційних комплексів  $Ni_2Co_4O_{22}C_8N_2H_{28} - O_2$ ,  $Ni_2Co_4O_{22}C_{12}N_2H_{28} - O_2H$ ,  $Ni_2Co_4O_{22}C_{12}N_2H_{28} - 2OH$ ,  $Ni_2Co_4O_{22}C_{12}N_2H_{28} - H_2O_2H_2$ , розподіл електронної густини між силовими центрами, зв'язками і атомними орбіталями. Крім того, розраховані рівноважні довжини адсорбційних зв'язків і енергії адсорбції.

**Наукова новизна.** Вперше показано, що на поверхні композиту поліпірол - шпінель  $NiCo_2O_4$  на ділянці поліпірола кисень може відновлюватися по 4 – х електронному механізму.

**Практична значимість.** Отримані результати можуть бути використані при проведенні експериментальних досліджень по удосконаленню каталізаторів відновлення кисню на поверхні композиту поліпірол - шпінель  $NiCo_2O_4$  та інших композитних матеріалів на основі оксидів перехідних металів і електропровідних полімерів.

**Ключові слова:** адсорбція, метод теорії функціонала густини, композит, поляризація.

**Вступ.** Значимість отриманих експериментальних результатів значною мірою залежить від їх успішної теоретичної інтерпретації. Квантово-хімічні розрахунки можуть забезпечити більш повну інформацію про особливості електронної структури речовини, в порівнянні з експериментальними методами.

Аналіз квантово-хімічних кластерних моделей корисний як для пояснення властивостей існуючих матеріалів, так і для прогнозування адсорбційних і каталітичних властивостей нових сполук.

Основою більшості квантово-хімічних методів розрахунків є одноелектронне наближення, яке називають методом молекулярних орбіталей (МО). При цьому кожному електрону системи приписують певну одноелектронну хвильову функцію, спін – орбіталь,  $\phi$ , просторову частину якої (частину, яка залежить від координат електрона),  $\psi$ , називають МО. Повна багатоелектронна функція будується із окремих МО з урахуванням вимог антисиметрії відносно перестановок сукупності просторових і спінових координат довільно вибраної пари електронів (принцип Паулі).

Простий спосіб задовільнити принцип Паулі - це побудувати повну хвильову функцію досліджуваної системи у вигляді слейтеровського детермінанта  $\Psi$ , тобто антисиметризованого добутку спін – орбіталей. Молекулярні орбіталі визначають із варіаційного принципу мінімуму повної енергії системи:

$$\hat{H}\Psi = E\Psi,$$

де  $\hat{H}$  – оператор повної енергії системи (оператор Гамільтона),  $E$  - повна енергія системи,  $\Psi$  - хвильова функція.

Варіаційний принцип приводить до рівнянь для МО - рівнянням самоузгодженого поля (СУП). Практично для знаходження МО використовують ще одне наближення, записуючи МО у вигляді лінійної комбінації атомних орбіталей (ЛКАО) [1].

В розглянутому однодетермінантному наближенні не враховується динамічна кореляція електронів, яка обумовлена кулонівським відштовхуванням між електронами.

До методів, які враховують ефекти електронної кореляції відноситься також метод теорії функціонала густини. Ключовим постулатом теорії функціонала густини є відмова від інтерпритації властивостей квантово - механічної системи мовою хвильової функції, яку неможливо спостерігати експериментально, і перехід до поняття про електронну густину, яка має чітко виражений фізичний зміст [2].

В [3] експериментальними дослідженнями було встановлено, що на поверхні композита поліпірол - шпінель  $NiCo_2O_4$  може відбуватися відновлення молекулярного оксигену. Тому встановлення механізму перебігу каталітичної реакції відновлення оксигену на поверхні композита поліпірол - шпінель  $NiCo_2O_4$  є актуальною задачею.

**Постановка завдання.** Для пояснення експериментально встановленого факту відновлення молекулярного оксигену на поверхні композитного каталізатора поліпірол - шпінель  $NiCo_2O_4$  був вибраний кластер складу  $Ni_2Co_4O_{22}C_8N_2H_{28}$  (K66).

При побудові розрахункового молекулярного кластера використано два фрагменти шпінелі  $NiCo_2O_4$  і два фрагменти поліпіролу. Як і в експериментальних дослідженнях [3], фрагмент поліпірола розміщувався між кластерами шпінелі  $NiCo_2O_4$  таким чином, щоб поверхневі атоми шпінелі і атоми поліпірола локалізувалися в одній площині.

Квантово-хімічні *ab initio* розрахунки структурних параметрів і розподіл електронної густини в кластері і адсорбційних комплексах (АК) виконані з використанням комплексу програм [2]. В якості адсорбційних центрів  $Z$  вибрані дві пари атомів карбону  $C_{28}$ ,  $C_{29}$  і  $C_{27}$ ,  $C_{34}$  фрагмента поліпірола (рис.1.).

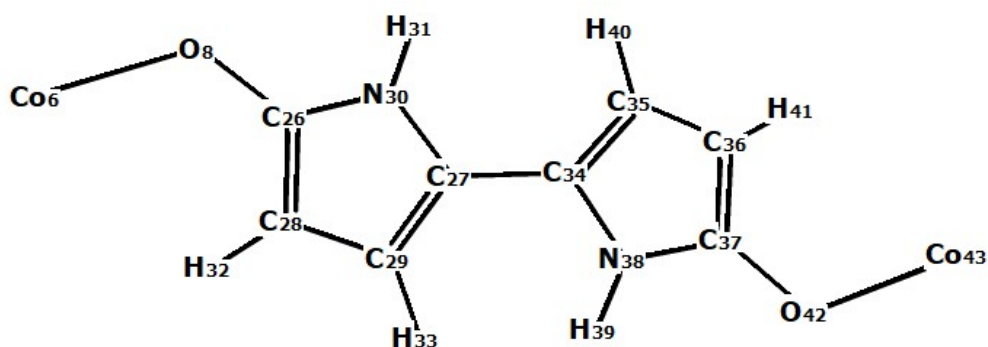
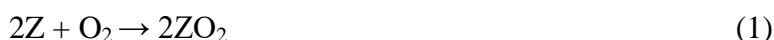


Рис.1. Фрагмент молекулярного кластера складу  $Ni_2Co_4O_{22}C_8N_2H_{28}$  композиту шпінель  $NiCo_2O_4$  - поліпірол

Досліджувана реакція відновлення оксигену є складною каталітичною реакцією, яка складається із стадії утворення АК K66 -  $O_2$  і проміжних стадій, що є наслідком включення до складу АК K66 -  $O_2$  електронів і протонів.

Для обчислення ширини забороненої зони був використаний метод теорії функціонала густини [5, 6] з функціоналом B3LYP [7, 8], який враховує кореляцію електронів. Із результатів розрахунків слідує, що ширина забороненої зони в досліджуваному композиті  $E_g = 1.959$  eV.

**Механізм відновлення кисню.** В АК К66 - O<sub>2</sub>, який утворюється в процесі першої стадії каталітичної реакції відновлення оксисену



між атомами кисню молекули O<sub>2адс</sub> і адсорбційними центрами (АЦ) C<sub>27</sub>, C<sub>34</sub> і C<sub>28</sub>, C<sub>29</sub> утворюються поляризовані адсорбційні зв'язки: форма адсорбції – двохцентрова місткова (див. табл.1., рис.2 а.).

Із результатів наведених в табл. 2 видно, що в АК К66 - O<sub>2</sub> поверхня композита є донором електронної густини по відношенню до адсорбованого оксисену, в результаті чого на O<sub>2адс</sub> зміщується понад 0.5 е електронного заряду.

Під впливом електричного поля композита в адсорбованому оксигені відбуваються структурні зміни в зовнішніх молекулярних орбіталях: із двох наполовину заповнених граничних антизв'язувальних ВЗМО утворюється дві граничні 2p<sub>π</sub> – МО\* різної енергії: одна вільна НВМО і одна ВЗМО заповнена двома електронами зі спареними спінами. Отже, під впливом електростатичного поля поверхні композиту виродження знімається, і хемосорбований кисень переходить із основного триплетного в збуджений синглетний стан.

Зміщена з поверхні кластера електронна густина Δq(O<sub>2</sub>) розподіляється на вільній антизв'язувальній молекулярній орбіталі 2p<sub>π</sub>-МО\*, що є основною причиною активації молекули O<sub>2адс</sub>. Кількісно активація проявляється у видовженні зв'язку O<sub>67</sub> – O<sub>68</sub> в O<sub>2адс</sub> і зменшенні порядку зв'язку (див. табл. 1.).

Таблиця 1

**Рівноважні довжини зв'язків R(A-B), Å і відповідні їм порядки зв'язків p(A-B) в АК К66- O<sub>2</sub>, К66-O<sub>2</sub>H, К66- 2ОН**

Адсорбційні центри C <sub>28</sub> , C <sub>29</sub>						
	Зв'язок O <sub>67</sub> – O <sub>68</sub>		Зв'язок C <sub>28</sub> – O <sub>67</sub>		Зв'язок C <sub>29</sub> – O <sub>68</sub>	
Комплекси	r(O <sub>67</sub> – O <sub>68</sub> )	p(O <sub>67</sub> – O <sub>68</sub> )	r(C <sub>28</sub> – O <sub>67</sub> )	p(C <sub>28</sub> – O <sub>67</sub> )	r(C <sub>28</sub> – O <sub>67</sub> )	p(C <sub>28</sub> – O <sub>67</sub> )
К66-O <sub>2</sub>	1,499	0,913	1,485	0,801	1,483	0,832
К66-O <sub>2</sub> H	2,470	-	1,402	1,048	1,420	0,904
К66-2ОН	2,606	-	1,383	0,903	1,381	0,883
Адсорбційні центри C <sub>27</sub> , C <sub>34</sub>						
	Зв'язок O <sub>67</sub> – O <sub>68</sub>		Зв'язок C <sub>27</sub> – O <sub>67</sub>		Зв'язок C <sub>34</sub> – O <sub>68</sub>	
Комплекси	r(O <sub>67</sub> – O <sub>68</sub> )	p(O <sub>67</sub> – O <sub>68</sub> )	r(C <sub>27</sub> – O <sub>67</sub> )	p(C <sub>27</sub> – O <sub>67</sub> )	r(C <sub>34</sub> – O <sub>68</sub> )	p(C <sub>34</sub> – O <sub>68</sub> )

Продовження таблиці 1

K66-O <sub>2</sub>	1,500	0,916	1,469	0,769	1,470	0,767
K66-O <sub>2</sub> H	2,489	-	1,275	1,048	1,370	0,904
K66-2OH	2,631	-	1,428	0,868	1,417	0,895

Таблиця 2

**Ефективні заряди на атомах кластера K66 і АК K66 - O<sub>2</sub>, K66 - O<sub>2</sub>H<sup>-</sup> композита поліпірол-шпінель NiCo<sub>2</sub>O<sub>4</sub>**

Атоми	Кластер K66	Центри адсорбції C <sub>28</sub> , C <sub>29</sub>		Центри адсорбції C <sub>27</sub> , C <sub>34</sub>	
		K66-O <sub>2</sub>	K66-O <sub>2</sub> H <sup>-</sup>	K66-O <sub>2</sub>	K66-O <sub>2</sub> H <sup>-</sup>
Co <sub>1</sub>	+1,804	+1,793	+1,781	+1,815	+1,794
Co <sub>6</sub>	+1,842	+1,843	+1,791	+1,863	+1,823
Ni <sub>18</sub>	+1,245	+1,256	+1,201	+1,240	+1,280
C <sub>27</sub>	+0,275	+0,288	+0,288	+0,534	+0,556
C <sub>28</sub>	-0,201	+0,111	+0,284	-0,153	-0,229
C <sub>29</sub>	-0,092	+0,143	+0,209	-0,111	-0,099
C <sub>34</sub>	+0,284	+0,288	+0,222	+0,531	+0,481
O <sub>67</sub>	-	-0,293	-0,864	-0,372	-0,846
O <sub>68</sub>	-	-0,346	-0,721	-0,368	-0,678
H <sub>69</sub>	-	-	+0,403	-	+0,347
Δq(O <sub>2</sub> )	-	-0,609	-1,585	-0,740	-1,524

Середні значення рівноважних відстаней між центрами адсорбції поліпірола відповідно дорівнюють  $R(C_{27} - C_{34}) = 1.340 \text{ \AA}$  і  $R(C_{28} - C_{29}) = 1.540 \text{ \AA}$ . Наведені значення міжцентрових відстаней близькі до значень довжин зв'язків O – O молекули O<sub>2</sub> основному і збудженому станах.

Отже, в досліджуваній каталітичній реакції виконується один із принципів мультиплетної теорії А. Баландіна – принцип структурної відповідності.

В результаті перебігу другої стадії реакції:



утворюється адсорбований на кластері аніон O<sub>2</sub>H<sup>-</sup>, в якому електронна густина добавлених в комплекс двох електронів переважно розподіляється між атомами оксигену O<sub>67</sub>, O<sub>68</sub> молекули O<sub>2адс</sub>.

В адсорбційних комплексах внаслідок часткового зміщення електронної густини на адсорбати збільшуються позитивні заряди на активних центрах (АЦ) (C<sub>27</sub>, C<sub>34</sub> і C<sub>28</sub>, C<sub>29</sub>), що є причиною зростання іонності і енергії адсорбційних зв'язків (табл. 2, 3).

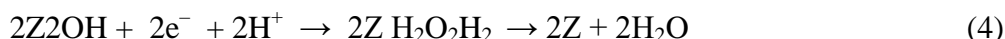
В АК K66 - O<sub>2адс</sub>H<sup>-</sup> внаслідок збільшення негативних зарядів на атомах O<sub>67</sub>, O<sub>68</sub> відповідно зростає і електростатичне відштовхування між ними, тому міжцентрова відстань R(O<sub>67</sub>-O<sub>68</sub>) збільшується (табл.1.), що є причиною розриву зв'язку O<sub>67</sub>-O<sub>68</sub> і розпаду аніона O<sub>2адс</sub>H<sup>-</sup> на атомарний оксиген і OH - групу (табл. 1, 2.).

В результаті перебігу 3 - ї стадії реакції каталітичного відновлення окисену:



на поверхні каталізатора утворюються дві OH – групи, які адсорбовані на різних АЦ (рис. 2б). Отже, в зв'язку із сильною активацією зв'язку O<sub>67</sub>-O<sub>68</sub> в O<sub>2</sub>адсН<sup>-</sup> і його дисоціацією відсутня стадія утворення пероксиду гідрогену H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

Процес відновлення окисену закінчується на стадії утворення комплексу K66-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>H<sub>2</sub>:



Утворені молекули води десорбуються і локалізуються на відстані 2.240 Å від поверхні; енергія зв'язку з кластером ΔE<sub>адс</sub> = 0,773 еВ. Таким чином, із наведених результатів квантово-хімічних розрахунків слідує, що процес відновлення окисену на каталізаторі шпінель NiCo<sub>2</sub>O<sub>4</sub> – поліпірол може відбутися по 4-х електронному механізму в відповідності до рівняння:



Відмітимо, що енергія адсорбції адсорбатів -O<sub>2</sub>, -O<sub>2</sub>H<sup>-</sup> на АЦ C<sub>27</sub>, C<sub>34</sub> помітно перевищує енергію адсорбції на АЦ C<sub>28</sub>, C<sub>29</sub> ( табл. 3).

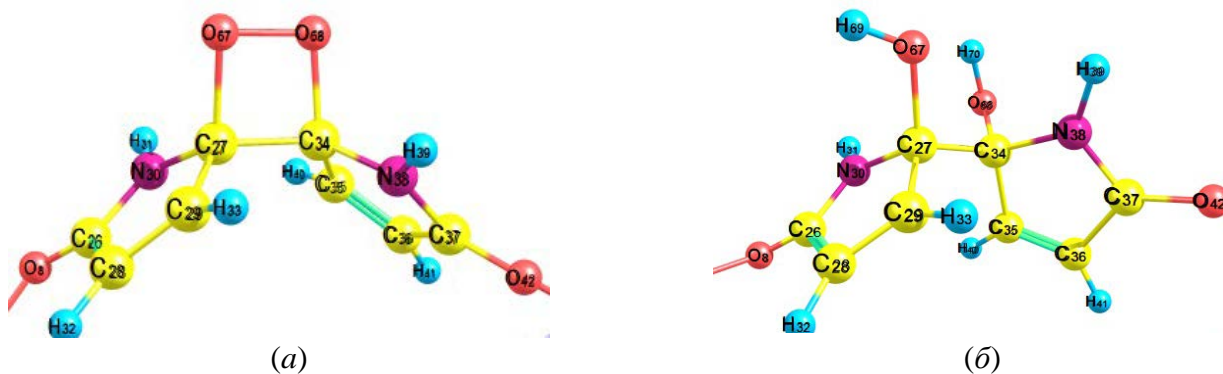


Рис.2. (а) – двохцентрова місткова форма адсорбції окисену; (б) - фрагмент оптимізованого комплексу K66-2OH

Таблиця 3

Енергії адсорбції ΔE<sub>адс</sub>, еВ в АК K66-O<sub>2</sub>, K66-O<sub>2</sub>H<sup>-</sup>, K66-2H<sub>2</sub>O

Енергія адсорбції	Центри адсорбції C <sub>28</sub> , C <sub>29</sub>			Центри адсорбції C <sub>27</sub> , C <sub>34</sub>			
	-O <sub>2</sub>	-O <sub>2</sub> H <sup>-</sup>	-2ОН	-O <sub>2</sub>	-O <sub>2</sub> H <sup>-</sup>	-2ОН	-2H <sub>2</sub> O
ΔE <sub>адс</sub>	5,714	13,061	14,647	7,547	17,681	14,312	0,773

**Висновки.** Каталітична активність композиту шпінель NiCo<sub>2</sub>O<sub>4</sub> – поліпірол у випадку адсорбції окисену на адсорбційних центрах поліпірола визначається ступенем його

поляризації електричним полем шпінелі, і структурною відповідністю між геометричними параметрами композиту і кисню. Показано, що при адсорбції кисню на активних центрах кластера  $\text{Ni}_2\text{Co}_4\text{O}_{22}\text{C}_8\text{N}_2\text{H}_{28}$  відновлення кисню може відбуватися по 4-х електронному механізму. В зв'язку із сильною активацією зв'язку  $\text{O}_{67}\text{-O}_{68}$  в  $\text{O}_{2\text{адс}}\text{H}$  і його дисоціацією відсутня стадія утворення пероксиду гідрогену  $\text{H}_2\text{O}_2$ .

### Література

1. Минкин В. И. Теория строения молекул (оболочки)/Минкин В. И., Симкин Б. Я., Миняев Р. М. М. : – 1979. – 407 С.
2. Иванов В. В. Квантовая химия/ Иванов В. В., Слета Л. А. Харьков. Фолио. – 2007. – 443 с.
3. Khomenko V.G. Oxygen reduction at the surface of polymer/carbon and polymer/carbon/spinel catalysts in aqueous solutions / V.G. Khomenko, K.V. Lykhnytskyi, V.Z. Barsukov // *Electrochim. Acta*. – 2013. – V. 104 – p. 391–399.
4. Schmidt M. W. General atomic and molecular electronic structure system / M. W. Schmidt, K. K. Baldrige, J. A. Boatz [et al.] // *J. Comput. Chem.* – 1993. – Vol. 14, N 11. – P. 1347–1363.
5. Baerends E. J. A quantum chemical view of density functional theory / E. J. Baerends, O. V. Gritsenko // *J. Phys. Chem. A*. – 1997. – Vol. 101, N 30. – P. 5383–5403.
6. Baerends E. J. A quantum chemical view of density functional theory / E. J. Baerends, O. V. Gritsenko // *J. Phys. Chem. A*. – 1997. – Vol. 101, N 30. – P. 5383–5403.
7. Арбузников А. В. Гибридные обменно-корреляционные функционалы и потенциалы: развитие концепции / А. В. Арбузников // *Журн. структ. химии*. – 2007. – Т. 48, Приложение. – С. S5–S38.
8. Becke A. D. Density functional thermochemistry. The role of exact exchange / A. D. Becke // *J. Chem. Phys.* – 1993. – Vol. 98, N 7. – P. 5648–5653.
9. Lee C. Development of the Colle-Salvetti correlation-energy formula into a functional of the electron density / C. Lee, W. Yang, R. G. Parr // *Phys. Rev. B*. – 1988. – Vol. 37, N 2. – P. 785–789.

**BARSUKOV VIACHESLAV**

barsukov.vz@knuud.com.ua

[ResearcherID: O-6308-2017](https://orcid.org/0000-0002-3041-2474)

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3041-2474>

Kiev National University of Technologies & Design

**KATASHYNSKYI A.**

katashynskiy.as@knuud.edu.ua

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8784-8690>

Scopus Author ID: 8590937900

Kiev National University of Technologies & Design

### References

1. Minkin V. I, Simkin B. Ya., Minyaev R. M. (1979). *Teoriya stroeniya molekul (obolochki)*. [The theory of the structure of molecules (shells)]. -M. [in Russian].
2. Ivanov V. V., Sleta L. A. (2007). *Kvantovaya himiya*. [Quantum Chemistry]. Harkov. Folio. [in Russian].
3. Khomenko V. G., Lykhnytskyi K. V., Barsukov V. Z. (2013). Oxygen reduction at the surface of polymer/carbon and polymer/carbon/spinel catalysts in aqueous solutions. *Electrochim. Acta*. № 104. 391-399. [in English].
4. Schmidt M. W., Baldrige K. K., Boatz J. A. (1993). General atomic and molecular electronic structure system. *Comput. Chem.* №11(14). 1347–1363. [in English].
5. Baerends E. J., Gritsenko O. V. (1997). A quantum chemical view of density functional theory. *J. Phys. Chem.* №30(101). 5383-5403. [in English].
6. Arbuznikov A. V. (2007). *Gibridnye obmenno-korrelyatsionnye funktsionaly i potentsialy: razvitie kontseptsii*. [Hybrid exchange-correlation functionals and potentials: concept development]. *Zhurn. strukt. khimii*. № 48, Prilozhenie. 5-38. [in Russian].
7. Becke A. D. (1993). Density functional thermochemistry. The role of exact exchange. *J. Chem. Phys.* №7 (98). 5648-5653. [in English].
8. Lee C., Yang W., Parr R. G. (1988). Development of the Colle-Salvetti correlation-energy formula into a functional of the electron density. №2 (37). 785-789. [in English].

**KHOMENKO VOLODYMYR**

v.khomenko@i.ua

[Scopus Author ID: 7004402598](https://orcid.org/0000-0003-0013-8010)

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0013-8010>

Kiev National University of Technologies & Design

**CHERNYSH OKSANA**

chernish.ov@knuud.edu.ua

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9402-1595>

Scopus Author ID: 56818919300

Kiev National University of Technologies & Design

АДСОРБЦИОННЫЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИТОВ  
ПОЛИПИРОЛ - ШПИНЕЛЬ  $\text{NiCo}_2\text{O}_4$

КАТАШИНСЬКИЙ А. С., ХОМЕНКО В. Г., БАРСУКОВ В. З., ЧЕРНЫШ О.В.

Киевский национальный университет технологий и дизайна

**Цель.** На основе результатов квантовохимических расчетов объяснить экспериментально установленный факт восстановления молекулярного кислорода на участке поверхности полипиррола композита полипиррол -шпинель  $\text{NiCo}_2\text{O}_4$ .

**Методика.** Методами прикладной квантовой химии выполнены *ab initio* расчеты электронной структуры и равновесные структурные параметры молекулярного кластера композита полипиррол -шпинель  $\text{NiCo}_2\text{O}_4$  и адсорбционных комплексов.

**Результаты.** Рассчитаны полные энергии молекулярного кластера состава  $\text{Ni}_2\text{Co}_4\text{O}_{22}\text{C}_8\text{N}_2\text{H}_{28}$  и адсорбционных комплексов  $\text{Ni}_2\text{Co}_4\text{O}_{22}\text{C}_8\text{N}_2\text{H}_{28}-\text{O}_2$ ,  $\text{Ni}_2\text{Co}_4\text{O}_{22}\text{C}_{12}\text{N}_2\text{H}_{28} - \text{O}_2\text{H}-$ ,  $\text{Ni}_2\text{Co}_4\text{O}_{22}\text{C}_{12}\text{N}_2\text{H}_{28} - 2\text{OH}$ ,  $\text{Ni}_2\text{Co}_4\text{O}_{22}\text{C}_{12}\text{N}_2\text{H}_{28} - \text{H}_2\text{O}_2\text{H}_2$ , распределение электронной плотности между силовыми центрами, связями и атомными орбиталями. Кроме того, рассчитаны равновесные длины адсорбционных связей и энергии адсорбции.

**Научная новизна.** Впервые показано, что на поверхности в композите полипиррол - шпинель  $\text{NiCo}_2\text{O}_4$  на участке полипиррола кислород может восстанавливаться по 4 - х электронному механизму.

**Практическая значимость.** Полученные результаты могут быть использованы при проведении экспериментальных исследований по усовершенствованию катализаторов восстановления кислорода на поверхности композита полипиррол - шпинель  $\text{NiCo}_2\text{O}_4$  и других композитных материалов на основе оксидов переходных металлов и электропроводящих полимеров.

**Ключевые слова:** адсорбция, теория функционала плотности, композит, поляризация.

ADSORPTION PROPERTIES COMPOSITES OF POLYPYRROL-SPINEL  
 $\text{NiCo}_2\text{O}_4$

KATASHYNSKYI A. S, KHOMENKO V. G., BARSUKOV V. Z., CHERNYSH O. V.

Kyiv National University of Technologies and Design

**Objectives.** To interpret the experimentally established fact of the reduction of molecular oxygen on the surface of the multilayered polypyrrole/spinel ( $\text{NiCo}_2\text{O}_4$ ) composite using quantum chemical calculations.

**Methodology.** The adsorption of oxygen molecules on surfaces of polypyrrole/spinel ( $\text{NiCo}_2\text{O}_4$ ) composite is studied using *ab initio* embedded cluster calculations.

**Results.** The total energies of the molecular cluster of the composition  $\text{Ni}_2\text{Co}_4\text{O}_{22}\text{C}_8\text{N}_2\text{H}_{28}$  and the adsorption complexes  $\text{Ni}_2\text{Co}_4\text{O}_{22}\text{C}_8\text{N}_2\text{H}_{28}-\text{O}_2$ ,  $\text{Ni}_2\text{Co}_4\text{O}_{22}\text{C}_{12}\text{N}_2\text{H}_{28}-\text{O}_2\text{H}-$ ,  $\text{Ni}_2\text{Co}_4\text{O}_{22}\text{C}_{12}\text{N}_2\text{H}_{28}-2\text{OH}$ ,  $\text{Ni}_2\text{Co}_4\text{O}_{22}\text{C}_{12}\text{N}_2\text{H}_{28}-\text{H}_2\text{O}_2\text{H}_2$  were calculated. The electron density distribution between the power centers, bonds and atomic orbitals were determinate. In addition, the equilibrium lengths of adsorption bonds and adsorption energy of oxygen were clarified.

**Originality.** It was shown for the first time that in polypyrrole/spinel ( $\text{NiCo}_2\text{O}_4$ ) composite oxygen can be reduced by four electronic mechanisms.

**Practical significance.** Practical significance. The obtained results can be used in experimental studies of catalytic activity of polypyrrole/spinel ( $\text{NiCo}_2\text{O}_4$ ) composite and other composite materials based on transition metal oxides and electrically conductive polymers.

**Key words:** adsorption, electron density, composite, polarization.

УДК 678.06:621

СОВА Н. В., САВЧЕНКО Б. М., ХОМЕНКО В. Г.,  
ТАЛАЛАЙ О. В.

Київський національний університет технологій та дизайну

### ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ПРИСКОРЕНОГО РОЗКЛАДУ ВТОРИННИХ ПОЛІОЛЕФІНІВ

**Мета.** Дослідження особливостей та умов прискореного розкладу плівок на основі вторинного ПЕ для створення та розвитку ефективної технології утилізації гнучкої поліолефінової упаковки.

**Методика.** Хімічний склад неорганічного залишку після випалювання вторинних полімерів визначали рентгенофлюорисцентним методом. Визначення ПТР ПЕ проводили згідно ISO 1133:1997 на капілярному віскозиметрі постійного тиску при температурі  $(190 \pm 0,5)^\circ\text{C}$  та масі вантажу 2,16 кг. Деформаційно-міцнісні показники – за ASTM D638. Вміст золи – за ISO 3451-2:1998 «Пластмассы. Определение содержания зола».

**Результати.** Встановлено здатність до прискореного розкладу вторинних поліолефінів в умовах навколишнього середовища. Досліджено зміни механічних властивостей ПЕ плівок різного складу в умовах штучного старіння. Виявлено здатність карбонату кальцію проявляти дію оксодобавки в ПЕ плівках в процесі старіння.

**Наукова новизна.** Вперше виявлено та досліджено особливості прискореного розкладу вторинних поліолефінів в умовах штучного старіння.

**Практична значимість.** Отримані вихідні дані для створення технології виробництва ПЕ плівок на основі вторинних поліолефінів, здатних до прискореного розкладу в умовах навколишнього середовища.

**Ключові слова:** поліетилен, вторинні поліолефіни, добавка прискореного розкладу, поліетиленовий віск, відносне видовження.

**Вступ.** Масове використання поліетиленової (ПЕ) упаковки створює проблему накопичення її відходів, які з кожним роком все більше забруднюють навколишнє середовище. Більшість країн шукають різні шляхи вирішення цієї проблеми, зокрема, повна відмова від використання поліетиленової упаковки та заміни її на біополімери. Україну також не обминула проблема накопичення відходів ПЕ, і з кожним роком ситуація в цьому напрямку загострюється. В останні роки є тенденція до заборони використання ПЕ упаковки на законодавчому рівні, але проста заборона не вирішить проблему, а тільки створить сприятливі умови до появи способів її обходу. Перехід на 100% використання паперової упаковки приведе до значного знищення лісів, накопичення побічного продукту целюлозної промисловості - лігніну, що негативно відіб'ється на екологічній ситуації для країни в цілому. Використання біополімерів, таких як полімолочна кислота, полікапролактон, та ін., є для України на сьогоднішній день ще дуже дорого і економічно не вигідно [1]. Тому для комплексного та ефективного вирішення проблеми накопичення ПЕ упаковки, враховуючи особливості української економіки, для перехідного етапу можна використати поширені у світі технології, які базуються на застосуванні вторинної полімерної сировини та добавок для прискореного розкладу.

**Постановка завдання.** Дослідження особливостей прискореного розкладу вторинних поліолефінів та плівок на їх основі дозволить отримати вихідні дані для розробки ефективної технології утилізації поліолефінових відходів.

**Результати дослідження.** Основною проблемою українського ринку вторинної полімерної сировини є надзвичайно низький рівень організованого збору полімерних

відходів. Внаслідок цього вторинна сировина є сильно забрудненою та змішаною, що часто суттєво ускладнює або унеможлиблює її переробку традиційним способом – подрібненням та миттям. Законодавче стимулювання організованого збору може забезпечити ємке джерело полімерної сировини, на котру в країні існує стійкий попит. З точки зору кінцевої переробки, вторинна сировина – ПЕ гранулят вирізняється низькою якістю за органолептичними показниками [2]. Колір, запах та наявність гель-фракції – основні недоліки ПЕ грануляту, пов’язані з забрудненістю вихідної сировини. (рис.1.).

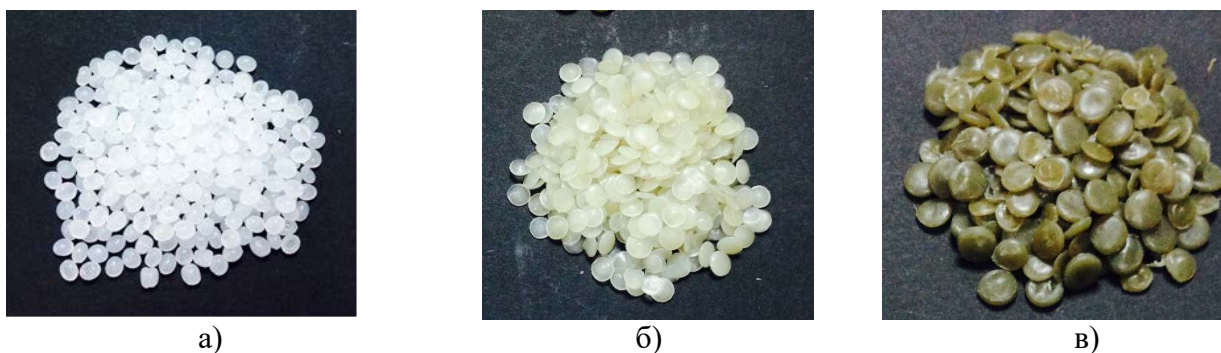


Рис.1. Зовнішній вигляд: а - первинного ПЕ; б - вторинного ПЕ організованого збору; в - вторинного ПЕ неорганізованого збору

Забрудненість вторинної сировини може бути ефективно усунута при застосуванні миття з хімічними реагентами, але такий спосіб апаратно складний, вимагає замкнутої системи водопостачання та поки що мало поширений в країні. Запах та леткі органічні сполуки у вторинній сировині є наслідком контакту з жирами та іншими компонентами, котрі, потрапляючи у сировину, мігрують і висихають на поверхні та не можуть бути видалені класичними прийомами. Звичайно вторинна полімерна сировина поступається первинному полімеру за кольором (рис.1.), проте придатна для застосування при виготовленні забарвлених виробів. Вторинна сировина, яка виготовлена з відходів організованого збору (рис. 1.б), має близькі до первинної візуальні показники.

В ході досліджень, здійснених авторами, встановлено, що плівкові вироби, виготовлені з вторинної сировини, перебуваючи у навколишньому середовищі, піддаються прискореному розкладу на відміну від виробів з первинної сировини. Причиною цього є наявність забруднень, а особливо солей металів. Дані рентгенофлуорисцентного аналізу для зразків ПЕ грануляту основних вітчизняних виробників наведено у табл. 1.

Таблиця 1.

**Результати рентгенофлуорисцентного аналізу різних видів поліетилену**

Хімічні складові неорганічного наповнювача	Зразок первинного ПЕ	Зразки вторинного ПЕ*					
		Зразок 1	Зразок 2	Зразок 3	Зразок 4	Зразок 5	Зразок 6
Na <sub>2</sub> O	0,006	0,021	0,021	0,066	0,022	0,006	0,006
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,004	0,008	0,009	0,081	0,009	0,003	0,003
SiO <sub>2</sub>	-	0,195	0,184	0,516	0,172	0,081	0,085
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-	0,056	0,059	0,134	0,057	0,028	0,031
SO <sub>3</sub>	-	0,232	0,210	0,464	0,208	0,097	0,131

Продовження таблиці 1

Cl	-	0,044	0,064	0,090	0,026	0,010	0,013
K <sub>2</sub> O	-	0,002	0,001	0,001	0,001	-	-
CaO	-	0,332	0,331	6,084	0,443	0,107	0,040
TiO <sub>2</sub>	-	0,057	0,040	2,958	0,016	0,053	0,082
MnO <sub>2</sub>	-	-	0,003	0,006	0,003	0,001	0,002
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	0,040	0,023	0,069	0,026	0,006	0,003
CoO	-	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	-
ZnO	-	0,020	0,044	0,030	0,035	0,005	0,004

Таблиця 2.

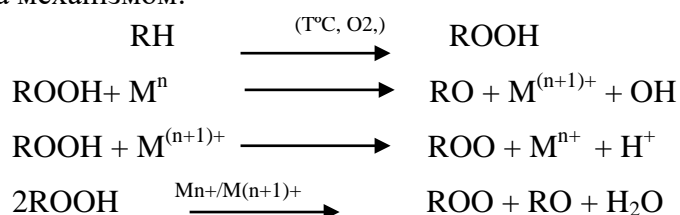
### Властивості різних видів ПЕ

Властивості	Зразок первинного ПЕ	Зразки вторинного ПЕ*					
		Зразок 1	Зразок 2	Зразок 3	Зразок 4	Зразок 5	Зразок 6
ПТР, г/10 хв	2,0±0,1	0,32±0,01	0,17±0,01	0,57±0,01	0,32±0,01	0,17±0,01	0,57±0,01
Вміст золи, %	0,1±0,1	0,6±0,01	1,5±0,01	1,1±0,01	0,4±0,01	1,2±0,01	0,1±0,01

\*зразки вторинного ПЕ отримані на ТОВ «Спецтехмонтаж», м. Бровари; ТОВ «НВП Укркомпаунд», м. Полтава; ТОВ «Lion Recycling Ukraine», м. Дніпро.

ПТР – показник текучості розплаву. В складі досліджених зразків виявлено залізо та сліди кобальту і марганцю, котрі є потужними прооксидантами для поліолефінів. В деяких зразках присутній високий вміст кальцію, що є ознакою наявності у вторинному ПЕ наповнювача – карбонату кальцію.

Автокаталітична дія солей металів перехідної валентності (Ca Zn Fe Co Ni) за участю кисню [3] відбувається за механізмом:



де, R= [-CH<sub>2</sub> – CH<sub>2</sub>-]

При цьому метал в цій реакції змінює свою валентність та не витрачається. Даний хімічний механізм є основою промислової технології прискореного розкладу поліолефінів (оксотехнологія), що передбачає введення в полімерний матеріал невеликої кількості добавок органічних солей металів перехідної валентності.

Основними чинниками процесу прискореного розкладу ПЕ є наявність кисню повітря та температура середовища. Наявність ультрафіолетового випромінювання є інтенсифікуючим фактором, але не є обов'язковим для проходження реакції. В результаті реакції у модифікованого полімеру поступово знижується молекулярна маса та знижуються механічні характеристики. В кінцевому випадку утворюється поліолефіновий віск, нешкідливий продукт для живих мікроорганізмів. Крім того, ПЕ віск є учасником метаболічних процесів багатьох мікроорганізмів [4]. При потраплянні на полігони така ПЕ упаковка дуже швидко втрачає відносно видовження і не розноситься вітром на значні

відстані, а при потраплянні в ґрунт відбувається її інфільтрація. ПЕ упаковку з добавками для прискореного розкладу також можна повторно переробляти, застосовуючи деактиватор металу. Дана технологія працює для поліпропілену, поліетилену та поліетилетерефталату – основних полімерів, що найчастіше використовуються для виготовлення полімерної упаковки, проста у промисловому виконанні та не вимагає спеціального устаткування.

Для контролю присутності добавок для прискореного розкладу в пакувальних матеріалах існують портативні рентгенофлуорисцентні спектрометри. За допомогою таких пристроїв можна легко контролювати наявність металів в полімерних плівках, а отже, і точно визначати вид полімерної сировини – вторинна чи первинна. В первинних полімерах відсутні будь які метали.

Присутній в поліетиленовій плівці стеарат кальцію діє аналогічно оксодобавкам. Особливість карбонату кальцію українського виробництва в тому, що в ньому присутні домішки заліза, які надають продукту жовтуватого, не зовсім привабливого кольору, але, з іншої сторони, саме завдяки присутності заліза вітчизняний карбонат кальцію дуже добре працює як оксодобавка.

В табл.3 наведені дані про випробовування зразків ПЕ плівки різного складу в різних умовах штучного старіння.

Таблиця 3.

**Властивості ПЕ плівок**

Зразки плівки	Властивості в залежності від умов старіння				
		1*	2**	3***	4****
Зразок А - плівка на основі LDPE158	ПТР, г/10хв	2,0	2,0	2,0	2,0
	Міцність при розтягу, МПа	14,0	14,1	10,4	13,8
	Відносне видовження, %	200,0	205	100	195
Зразок В - плівка на основі LDPE158+ добавка для прискореного розкладу	ПТР, г/10хв	2,4	2,5	150,6	2,6
	Міцність при розтягу, МПа	14,0	8,6	2-3	6,9
	Відносне видовження, %	200,0	40	0	40
Зразок С - плівка на основі LDPE158+5мас.% крейдового концентрату	ПТР, г/10хв	1,8	1,8	1,9	2,1
	Міцність при розтягу, МПа	13,8	11,0	8,6	12,6
	Відносне видовження, %	160,0	155	15	120
Зразок D - плівка на основі LDPE158+50мас.% вторинного LDPE	ПТР, г/10хв	1,9	1,9	1,9	2,1
	Міцність при розтягу, МПа	13,2	10,4	6,5	11,5
	Відносне видовження, %	180	82	40	105
Зразок Е - плівка на основі вторинного LDPE	ПТР, г/10хв	1,8	1,8	3,6	3,8
	Міцність при розтягу, МПа	12,2	7,2	4,0	10,0
	Відносне видовження, %	170	20	10	80

\*без старіння; \*\*старіння на протязі 1 року в кімнатних умовах при температурі 18-20°C без дії сонячного випромінювання; \*\*\*старіння на протязі 1 року в умовах навколишнього середовища і дії сонячного випромінювання (м. Київ, 2016-2017р.); \*\*\*\*старіння на протязі 1 місяця влітку на сонці.

Найчутливішим показником, що ілюструє старіння є відносне видовження при розриві полімерного зразка (табл.3). Як показують результати проведених досліджень, вторинна сировина у виробках в умовах оточуючого середовища здатна інтенсивно розкладатись навіть без застосування будь-яких інших добавок (зразок Е). Повністю втрачає відносне видовження зразок В, що містить добавку прискороного розкладу. Близькі значення відносного видовження спостерігаються для зразка С, що містить 5,0% крейдового концентрату. Ще одним вагомим технологічним показником є показник текучості розплаву (ПТР) полімеру. Для деструктованих полімерних матеріалів значення ПТР сильно зростає.

**Висновки.** Отже, використання вторинної полімерної сировини та добавок прискороного розкладу дозволяє частково вирішити проблему утилізації ПЕ упаковки і є ефективним рішенням для перехідного етапу на шляху до створення екологічно безпечної полімерної упаковки в Україні.

### Література

1. Режим доступу: <http://www.eco-live.com.ua/content/blogs/biodegraduucha-upakovka-tendentsii-ta-perspektivi>
2. Сова Н. В., Савченко Б. М., Плавач В. П., Білошенко В. О. Способи створення екологічно безпечної полімерної упаковки в Україні. // Упаковка. – 2017. - №4. – С. 31-34.
3. Islam N. Degradant Additive on Photo-Oxidative Aging of Polypropylene Film./ N. Othman, Z. Ahmad, H. Ismail. Effect of Pro- // Sains Malaysiana. 2011. - № 40(7).- p. 803–808.
4. Kawai F. Comparative study on biodegradability of polyethylene wax by bacteria and fungi. / F. Kawai, M. Watanabe, M. Shibata, S. Yokoyama, Y. Sudate, S. Hayashi. //Polymer Degradation and Stability. - 2004. - №86. - pp.105-114.

### References

1. Ukr.net: <http://www.eco-live.com.ua/content/blogs/biodegraduucha-upakovka-tendentsii-ta-perspektivi>
2. Sova N. V., Savchenko B. M., Plavan V. P., Biloshenko V. O. (2017) *Sposoby stvorennia ekolohichno bezpechnoi polimernoї upakovky v Ukraini*. [Some ways to create environmentally safe polymer packaging in Ukraine] // *Upakovka. – Packaging* . 4, 31-34. [in Ukraine].
3. Islam N. Degradant Additive on Photo-Oxidative Aging of Polypropylene Film./ N. Othman, Z. Ahmad, H. Ismail. Effect of Pro- // *Sains Malaysiana*. 2011. - № 40(7).- p. 803–808.
4. Kawai F. Comparative study on biodegradability of polyethylene wax by bacteria and fungi. / F. Kawai, M. Watanabe, M. Shibata, S. Yokoyama, Y. Sudate, S. Hayashi. // *Polymer Degradation and Stability*. - 2004. - №86. - pp.105-114.

**SAVCHENKO BOHDAN**

*1079@ukr.net*

*ResearcherID: 56685269800*

*ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8636-5734>*

*Department of Applied Ecology,*

*technology of polymers and chemical fibers*

*Kiev National University of Technologies & Design*

**KHOMENKO VOLODIMIR**

*v.khomenko@i.ua*

*ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0013-8010>*

*Scopus Author ID: 7004402598*

*Kiev National University of Technologies & Design*

**SOVA NADIYA**

*djanc@ukr.net*

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

*Department of Applied Ecology,*

*technology of polymers and chemical fibers*

*Kiev National University of Technologies & Design*

**TALALAY OKSANA**

*ocsicc777@gmail.com*

*Kiev National University of Technologies & Design*

## ИССЛЕДОВАНИЯ ОСОБЕННОСТЕЙ УСКОРЕННОГО РАЗЛОЖЕНИЯ ВТОРИЧНЫХ ПОЛИОЛЕФИНОВ

СОВА Н. В., САВЧЕНКО Б. М., ХОМЕНКО В. Г., ТАЛАЛАЙ О. В.

*Киевский национальный университет технологий и дизайна*

**Цель.** Исследование особенностей и условий ускоренного разложения пленок на основе вторичного ПЭ для создания и развития эффективной технологии утилизации гибкой полиолефиновой упаковки.

**Методика.** Химический состав неорганического остатка после обжига вторичных полимеров определяли рентгенофлуорисцентным методом. Определение ПТР ПЭ проводили согласно ISO 1133: 1997 на капиллярном вискозиметре постоянного давления при температуре  $(190 \pm 0,5)^\circ\text{C}$  и массе груза 2,16 кг. Деформационно-прочностные показатели - по ASTM D638. Содержание золы - по ISO 3451-2: 1998 «Пластмассы. Определение содержания золы».

**Результаты.** Установлена способность к ускоренному распаду вторичных полиолефинов в условиях окружающей среды. Исследованы изменения механических свойств ПЭ пленок различного состава в условиях искусственного старения. Обнаружена способность карбоната кальция проявлять действие оксодобавки в ПЭ пленках в процессе старения.

**Научная новизна.** Впервые обнаружены и исследованы особенности ускоренного разложения вторичных полиолефинов в условиях искусственного старения.

**Практическая значимость.** Полученные исходные данные для создания технологии производства ПЭ пленок на основе вторичных полиолефинов, способных к ускоренному разложению в условиях окружающей среды.

**Ключевые слова:** полиэтилен, вторичные полиолефины, добавка ускоренного разложения, полиэтиленовый воск, относительное удлинение.

## INVESTIGATION OF THE FEATURES OF THE ACCELERATED DEGRADATION OF POLYOLEFINE WASTES

SOVA N. V., SAVCHENKO B. M., HOMENKO V. G., TALALAY O. V.

*Kiev National University of Technologies and Design*

**Purpose.** Investigation of the features and conditions of accelerated degradation of films based on PE wastes to create and develop an efficient technology for the utilization of flexible polyolefin packaging.

**Methodology.** The chemical composition of the inorganic residue after the burning of polymers wastes was determined by X-ray fluorescence method. The determination of the MFI of PE was carried out in accordance with ISO 1133: 1997 on a capillary viscometer of constant pressure at a temperature  $(190 \pm 0.5)^\circ\text{C}$  and a weight of 2,16 kg. Deformation-strength properties - according to ASTM D638. Ash content - according to ISO 3451-2: 1998 «Plastics. Determination of ash content».

**Findings.** The ability to accelerate the degradation of polyolefine wastes in an environment was established. The changes of mechanical properties of PE films of different composition in conditions of artificial aging were investigated. The ability of calcium carbonate to exhibit the effect of oxide additives in PE films during the aging process was revealed.

**Originality.** The features of accelerated degradation of polyolefine wastes in artificial aging conditions were first discovered and investigated.

**Practical value.** Obtained initial data for the production of PE film technology based on polyolefine wastes, then capable of accelerated degradation under environmental conditions.

**Key words:** polyethylene, polyolefine wastes, accelerated degradation additive, polyethylene wax, relative elongation.

УДК 544.6.018

**КИСЛОВА О. В.**

Київський національний університет технологій та дизайну

## **ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ ІОННИХ РІДИН В ЕЛЕКТРОХІМІЇ**

***Мета.** Узагальнення інформації щодо зв'язку між будовою іонних рідин та їх електрохімічними властивостями, розширення можливостей використання іонних рідин для проведення електрохімічних процесів.*

***Методика.** Аналітичні методи порівняння особливостей будови іонних рідин різного складу, впливу хімічної будови рідин на їх властивості та подальше застосування.*

***Результати.** Проведені дослідження узагальнили комплекс властивостей іонних рідин, які дозволяють розширити можливості проведення різних електрохімічних процесів та функціонування приладів. Існування залежності між будовою іонних рідин та їх властивостями дає змогу спрямовано вибирати оптимальну іонну рідину з заданими властивостями.*

***Наукова новизна.** На основі дослідження залежності властивостей іонних рідин від їх будови зазначено можливі напрямки раціонального вибору іонних рідин, подальшої їх модифікації, оптимізації умов електрохімічних процесів із застосуванням іонних рідин.*

***Практична значимість.** Узагальнено чинники, необхідні для вдосконалення та розширення спектру електрохімічних методів досліджень з застосуванням іонних рідин, показано їх переваги та недоліки, перспективи синтезу іонних рідин з заздальгідь заданими властивостями.*

***Ключові слова:** іонні рідини, електрохімічні властивості, іонна провідність, ширина електрохімічного вікна.*

**Вступ.** Перспективними матеріалами для розвитку сучасних електрохімічних досліджень є іонні рідини - солі, які знаходяться в рідкому стані при невисоких температурах (в багатьох випадках навіть нижче кімнатної температури). Несиметрична будова та просторова ізольованість зарядів, невелика енергія зв'язку іонних рідин перешкоджають утворенню їх кристалічної структури. Іонні рідини мають переваги щодо класичних електролітів, оскільки характеризуються широким вікном електрохімічної стабільності, достатньо високою іонною провідністю, низькою летючістю, є нетоксичними. Іонні рідини залишаються в рідкому стані в широкому інтервалі температур, вибухобезпечні, термічно стійкі, негорючі, є зручними для проведення в них різних електрохімічних процесів [1,2].

Електрохімічні властивості іонних рідин можна змінювати в широких межах шляхом відповідного вибору і комбінації катіонів та аніонів. Природа катіона визначає фізичні властивості іонних рідин, такі як температура плавлення, в'язкість, густина. Природа аніона значно впливає на хімічну поведінку і стабільність іонної рідини [2,3]. Завдяки можливості комбінування складових компонентів синтезують іонні рідини з певним набором властивостей (електропровідність, в'язкість, ширина вікна електрохімічної стійкості), що дозволяє проводити дослідження в оптимальних умовах та цілеспрямовано отримувати необхідний кінцевий результат.

**Постановка завдання.** Узагальнити комплекс електрохімічних властивостей іонних рідин, які відіграють провідну роль для подальшого застосування в електрохімії, та охарактеризувати залежність електрохімічних властивостей іонних рідин від їх будови.

**Результати дослідження.** Застосування іонних рідин відкриває нові можливості для розвитку електрохімії. Переважно до складу іонних рідин входять об'ємні органічні катіони з позитивно зарядженим гетероатомом (Нітроген, Сульфур, Фосфор та ін.) та неполярним карбоновим ланцюгом різної довжини та розгалуженості. Аніони можуть бути як неорганічними, так і органічними: галогенід-іони, гексафторофосфат ( $\text{PF}_6^-$ ), тетрафтороборат ( $\text{BF}_4^-$ ), ацетат ( $\text{CH}_3\text{COO}^-$ ), метилсульфат ( $\text{MeSO}_4^-$ ), біс(трифторометилсульфоніл)амід ( $(\text{CF}_3\text{SO}_2)_2\text{N}^-$ ), трифторметансульфонат (або фталат  $\text{CF}_3\text{SO}_3^-$ ) та інші. Головними особливостями будови іонних рідин є асиметричність молекули (переважно завдяки катіону), конформаційна рухливість іонів та розподіл електростатичного заряду в об'ємі великої групи атомів [2,4].

Для проведення електрохімічних досліджень особливо важливими характеристиками іонних рідин є іонна провідність (понад  $10^{-4} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ ), широкий інтервал напруги розкладання ( $> 4 \text{ В}$ ), значна в'язкість, гідрофобність і велика ширина електрохімічного вікна (типове значення становить 4,5-5 В).

Електропровідність розчинів електролітів пропорційна числу заряджених частинок і обернено пропорційна в'язкості. На в'язкість іонних рідин суттєво впливає природа катіона. Для будь-яких типів катіонів збільшення довжини алкільного замісника призводить до збільшення в'язкості через посилення сил Ван-дер-Ваальсової взаємодії між катіонами [1]. Для зниження в'язкості і підвищення рухливості іонів застосовують органічні розчинники, що дозволяє збільшити електропровідність іонних рідин в 2-10 разів [3].

В формуванні струмопровідної здатності іонних рідин головну роль також відіграють катіони, які мають вищі коефіцієнти дифузії порівняно з аніонами. Так, досить високою провідністю (близько  $10 \text{ мСм/см}$ ) володіють імідазолієві іонні рідини. Іонні рідини на основі четвертинного амонію характеризуються більш низькою провідністю. Одні з найвищих значень провідності (до  $36 \text{ мСм/см}$ ) мають іонні рідини, що містять аніони триціанометанід  $[\text{C}(\text{CN})_3]^-$  і диціанамід  $[\text{N}(\text{CN})_2]^-$ . Але ці значення значно нижчі, ніж у концентрованих водних розчинах електролітів (наприклад, провідність 29,4%-го водного розчину КОН, що застосовується в лужних акумуляторах, становить  $540 \text{ мСм/см}$ ) [3,4].

Недостатньо високі значення провідності для іонних рідин можна пояснити також існуванням відносно стабільних нейтральних асоціатів, оскільки іони протилежних знаків розташовані достатньо близько. На відміну від звичайних розчинів електролітів, де іони розділені молекулами розчинника і утворення іонних асоціатів малоімовірно, властивості цих розчинів визначаються взаємодіями іон-іон, іон-розчинник, розчинник-розчинник. Відмінною рисою іонних рідин є те, що ці речовини є одночасно і електролітом, і розчинником. Тому властивості іонних рідин визначаються іон-іонними та дисперсійними взаємодіями. В окремих випадках можуть утворюватися водневі зв'язки [4]. Можливість комбінувати іони дозволяє регулювати наведені властивості іонних рідин та проводити спрямований синтез іонних рідин з певним комплексом електрохімічних властивостей.

Ширина електрохімічного вікна визначає діапазон потенціалів для проведення електрохімічних перетворень, що не впливають на розчинник. Чим більшим є діапазон, тим універсальнішою є іонна рідина. Під електрохімічним вікном розуміють область електрохімічної інертності електроліту, яка є різницею катодного і анодного потенціалів окисно-відновного процесу фонового електроліту [3]. Відомі іонні рідини з електрохімічним

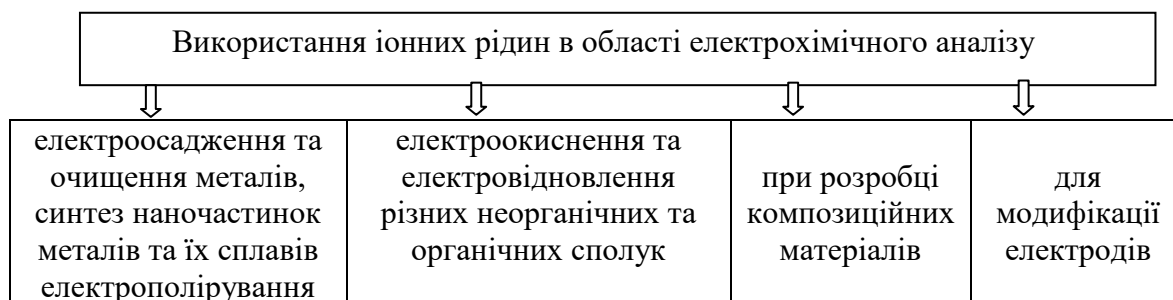
вікном 5-9 В, які можна використовувати декілька разів без руйнування структури та втрати властивостей. В цілому, діапазон електрохімічного вікна іонних рідин трохи ширший, ніж для звичайних органічних електролітів, і значно перевищує область допустимих потенціалів у водних електролітах.

На електрохімічні характеристики іонних рідин суттєво впливає їх чистота. Наявність домішок значно обмежує діапазон граничних потенціалів іонних рідин, які використовують в електрохімічних методах аналізу. Домішки галогенідів - побічні продукти синтезу іонних рідин - знижують їх електрохімічну стабільність, оскільки легко окиснюються порівнянно з органічними аніонами [2,4]. Вплив домішки води на властивості іонних рідин різний. З одного боку, зменшення в'язкості струмопровідного середовища викликає збільшення коефіцієнтів дифузії розчинених сполук і, як наслідок, покращує чутливість визначення. З іншого боку, домішка води призводить до звуження електрохімічного вікна і ускладнює вольтамперограми, на яких з'являються додаткові піки, що значно обмежує діапазон поляризації і аналітичні можливості іонних рідин. Тому при виборі відповідної іонної рідини потрібно оцінювати можливість протікання подібних перетворень і залежно від цього враховувати природу складових іонів.

Значною перевагою іонних рідин є невисока шкідливість для навколишнього середовища. Введення функціональних полярних груп в алкільний ланцюг знижує токсичність іонних рідин та збільшує ефективність біологічного розкладу [5].

Таким чином, наведені електрохімічні властивості іонних рідин дозволяють здійснювати в їх середовищі різні електрохімічні процеси, реалізувати які в звичайних розчинниках малоімовірно.

Найбільш перспективними є наступні напрямки застосування іонних рідин:



Іонні рідини застосовують як компоненти електролітів або мембран для різних електрохімічних пристроїв (в літєвих акумуляторах, конденсаторах, сонячних батареях, паливних елементах) [6,7]. Зокрема, результати випробувань літій-іонних акумуляторів на основі іонних рідин продемонстрували їх високу продуктивність, підвищений термін дії та безпеку [6].

Електрохімічні методи обробки металів в іонних рідинах набувають все більшого значення внаслідок легкості їх реалізації, а також можливості оптимізації умов отримання поверхонь необхідної якості. Досить легко відбувається осадження металу з іонних рідин, що містять цей метал в складі катіона. Електрохімічне полірування металів в середовищі іонних рідин призводить до зменшення шорсткості поверхні і появи дзеркального блиску. В

результаті полірування якість поверхні металів поліпшується, підвищується відбивна здатність та корозійна стійкість [2,4].

В середовищі іонних рідин можна здійснювати електроосадження як лужних і лужноземельних металів, так і важких металів. При цьому слід урахувати стандартні окисно-відновні потенціали металів і зіставляти їх з граничними потенціалами катодного відновлення іонних рідин, які застосовуються. Наприклад, актиноїди - одні з найбільш електропозитивних елементів - не можуть бути відновлені в середовищі іонних рідин на основі катіонів імідазолу через їх електровідновлення на катоді. Стійкішими до катодного відновлення є похідні амонію [8].

Основною перевагою використання іонних рідин – електролітів гальванічних виробництв в порівнянні з водними розчинами є відсутність виділення водню при електроосадженні покриттів. Тому можливим є утворення корозійностійких покриттів без тріщин. Композиційні матеріали (струмопровідні полімери, напівпроникні мембрани, електроактивні гелі) можуть бути використані в електрохімічних сенсорах, хімічних джерелах струму [3]. Як іонні рідини, так і матеріалами на їх основі використовують для модифікації електродів [9,10].

За допомогою іонних рідин можна вивчати електрохімічні процеси, які в звичайних розчинниках протікають важко. Іонні рідини застосовуються також як середовище для вивчення механізму електрохімічних перетворень при проходженні окисно-відновних процесів, розподілу гідрофільних іонів між водою і іонною рідиною, транспорту заряду і вимірювання рівноважних потенціалів редокс-пар, а також для дослідження механізмів процесів електровідновлення [4].

Широкого застосування іонні рідини набули в електрохімічних методах аналізу. Для створення електрохімічних сенсорів надзвичайно важливі такі властивості іонних рідин, як гідрофобність, можливість поляризації електродів різної природи в їх середовищі, екстракційні і пластифікуючі властивості [9]. Легкоплавкі іонні рідини зручно використовувати для нанесення покриттів на поверхню чутливих елементів хімічних сенсорів. Затверділий на поверхні розплав може бути як іон-чутливим шаром, так і матрицею для імобілізації реагентів [10].

Комплекс перерахованих вище властивостей іонних рідин відкриває широкі можливості використання їх як компоненти мембран іоноселективних електродів або як додатковий компонент пластифікованої полімерної мембрани електроду (іоногенна добавка, що збільшує діелектричну проникність пластифікованої мембрани і частково нівелює різницю полярності мембрани і водної фази). Проте введення іонообмінників (в даному випадку іонної рідини) в мембранну композицію, яка містить нейтральний переносник, як правило, знижує селективність мембрани [10].

Перевагами іоноселективних електродів на основі полімерних мембран, пластифікованих іонними рідинами, є висока стабільність і відтворюваність потенціалу в широкому інтервалі рН (рН = 3-10) і малий час відгуку - не більше 20 с навіть у випадку аналізу розбавлених розчинів. Показана можливість використання іонних рідин як активних компонентів мембран (іонообмінників) з традиційними пластифікаторами. Уже з'явилося кілька робіт, присвячених створенню електрохімічних сенсорів з використанням гелів на основі іонних рідин та вуглецевих нанотрубок [10,11].

Актуальними є дослідження, спрямовані на вивчення можливості розробки актуаторів і трансд'юсерів електрохімічних сенсорів, що використовують унікальні властивості струмопровідних систем «іонна рідина-полімер». Наприклад, добре відомо, що мембрани на основі нафіона здатні функціонувати як електромеханічні сенсори і актуатори [3]. Принцип перетворення сигналу в подібних трансд'юсерах заснований на перерозподілі рухомих зарядів в матеріалі, розчинником для якого до недавнього часу була електрохімічно малостійка вода, яка істотно знижувала продуктивність трансд'юсера. Заміна водних розчинів на електрохімічно стабільні іонні рідини (наприклад, на основі катіонів диалкілімідазолію) призводить до значного поліпшення характеристик відповідних трансд'юсерів за рахунок можливості використання високих робочих потенціалів, непридатних у водних розчинах. Недоліком таких систем може бути збільшення часу відгуку сенсора [12].

Також іонні рідини можна використовувати для створення твердоконтактних іоноселективних електродів. Робоча поверхня такого електрода модифікується гелями - структурованими густими розчинами всіх компонентів полімерних мембран в легкому розчиннику. Після повного випаровування розчинника електроди кондиціонують протягом певного проміжку часу в розчинах потенціалвизначаючих іонів. В залежності від умов кондиціонування твердоконтактні іоноселективні електроди чутливі як до катіонів, так і до аніонів. Проте виявлено деяке зниження селективності подібних електродів і збільшення часу відгуку щодо електродів, які використовують внутрішній розчин порівняння. Перевагами твердоконтактних сенсорів є простота конструкції, мініатюрність, транспортабельність, можливість працювати з малими об'ємами аналізованих проб і низьким вмістом потенціалвизначаючих іонів [12].

**Висновок.** Іонні рідини є перспективними матеріалами для застосування в електрохімії. Комплекс електрохімічних властивостей іонних рідин визначається їх хімічною будовою і значно розширює можливості сучасної електрохімії. Стеричні фактори, які ускладнюють процеси кристалізації, обумовлюють низькі температури плавлення цих речовин. Іонний характер рідкої фази обумовлює наступні специфічні фізико-хімічні властивості цих рідин: низьку температуру плавлення, високу полярність, практично повну відсутність тиску насичених парів, негорючість, здатність розчиняти значну кількість полярних сполук, електрохімічну стійкість і електропровідність. Найбільш важливими властивостями іонних рідин є широкий температурний діапазон їх існування в рідкому стані; здатність розчиняти неорганічні, органічні та полімерні матеріали; вони одночасно є і розчинниками, і середовищем для протікання електрохімічних процесів. Перевагами іонних рідин є можливість спрямованого синтезу цих речовин з необхідним набором електрохімічних властивостей, які забезпечують ефективне проходження електрохімічних процесів. Основними недоліками іонних рідин є їх дещо нижча електропровідність і висока в'язкість, яка значно зростає при зниженні температури. Подальше дослідження іонних рідин відкриває нові можливості для розвитку електрохімії.

### Література

1. Torriero A., Shiddiky M. Electrochemical Properties and Applications of Ionic Liquids. Chemistry research and applications series /A.Torriero, M.Shiddiky. – Nova Science Publishers, 2011. – 373 p.
2. Silvester D. Electrochemistry in Room Temperature Ionic Liquids: A Review and Some Possible Applications / D. Silvester, R. Compton. // Z. Phys. Chem. – 2006. – Vol.220. – P. 1247–1274.
3. Мамуня Є.П. Електроактивні полімерні матеріали / Є.П.Мамуня, М.В.Юрженко, Є.В.Лебедев, В.В.Левченко та ін. – К.: Альфа Реклама, 2013. – 402 с.
4. Armand M. Ionic-liquid materials for the electrochemical of the future / M.Armand, F.Endres, D.MacFarlane et al. // Nature Materials. – 2009. – Vol.8. – P. 621–629.
5. Rehman A. Ionic liquids as green solvents and electrolytes for robust chemical sensor development / A.Rehman, X.Zeng // Acc Chem Res. – 2012.– Vol.45. – P.1667–1677.
6. Balducci A. Development of safe, green and high performance ionic liquids-based batteries (ILLIBATT project) / A. Balducci, S. Jeong, G.Kim et al. // J.Power Sources. – 2011. – Vol. 196, № 22. – P.9719–9730.
7. Tsai W. Outstanding performance of activated graphene based supercapacitors in ionic liquid electrolyte from –50 to 80°C / W.Tsai, R.Lin, S.Murali et al.// Nano Energy. – 2013. – Vol. 2. – P. 403–411.
8. Visser E. Room-temperature ionic liquids : New solvents for f-element separations and associated solution chemistry/ E.Visser , R.Rogers // J. Solid State Chem. – 2003. – Vol.171(1–2). – P.109–113.
9. Shiddiky M. Application of ionic liquids in electrochemical sensing systems / M.Shiddiky, A.Torriero// Biosensors and Bioelectronics. – 2011. – Vol. 26(5). – P. 1775–1787.
10. Chaudhary G. Applications of surface modified ionic liquid/nanomaterial composite in electrochemical sensors and biosensors / G.Chaudhary, S.Bansal, P.Saharan et al.// BioNanoSci. – 2013. – Vol.3. – P.241–253.
11. Wardak C. Solid contact cadmium ion-selective electrode based on ionic liquid and carbon nanotubes / C.Wardak // Sens. Actuators B. – 2015. – Vol. 209. – P.131–137.
12. Bahramzadeh Y. A Review of Ionic Polymeric Soft Actuators and Sensors / Y.Bahramzadeh, M.Shahinpoor // Soft Robotics – 2013. – Vol.1, No.1. – P.38 – 52.

### References

- 1.Torriero A.,& Shiddiky, M. (2011). Electrochemical Properties and Applications of Ionic Liquids. Chemistry research and applications series. Nova Science Publishers.
- 2.Silvester D., Compton R. (2006). Electrochemistry in Room Temperature Ionic Liquids: A Review and Some Possible Applications. Z. Phys. Chem. 220, 1247–1274.
- 3.Mamunia, Ye.P., Yurzhenko, M.V., Lebediev, Ye.V. & Levchenko, V.V. et al. (2013). Elektroaktyvni polimerni materialy [Electroactive polymer materials] – K.: Alfa Reklama [in Ukrainian].
- 4.Armand M., Endres F., MacFarlane D., Ohno H., Scrosati B. (2009). Ionic-liquid materials for the electrochemical challenges of the future. Nature Materials. Vol.8, 621–629.
- 5.Rehman A, Zeng X (2012). Ionic liquids as green solvents and electrolytes for robust chemical sensor development. Acc Chem Res 45, 1667-1677.
- 6.Balducci A., Jeong S., Kim G. et al. (2011). Development of safe, green and high performance ionic liquids-based batteries (ILLIBATT project). J.Power Sources.,196, № 22, 9719–9730.
- 7.Tsai W., Lin R., Murali S. et al. (2013) Outstanding performance of activated graphene based supercapacitors in ionic liquid electrolyte from –50 to 80°C. Nano Energy 2, 403–411.
8. Visser E., Rogers R.(2003). Room-temperature ionic liquids : New solvents for f-element separations and associated solution chemistry. J. Solid State Chem.,Vol.171 (1–2),109–113.
- 9.Shiddiky M., Torriero A. (2011). Application of ionic liquids in electrochemical sensing systems. Biosensors and Bioelectronics. Vol. 26 (5), 1775 – 1787.
- 10.Chaudhary G., Bansal S., Saharan P. et al. (2013). Applications of surface modified ionic liquid/nanomaterial composite in electrochemical sensors and biosensors. BioNanoSci. 3, 241–253.
- 11.Wardak C. (2015). Solid contact cadmium ion-selective electrode based on ionic liquid and carbon nanotubes. Sens Actuators B, 209, 131–137.
12. Bahramzadeh Y., Shahinpoor M.(2013). A Review of Ionic Polymeric Soft Actuators and Sensors. Soft Robotics Vol. 1, No. 1, 38 –52.

**KYSLOVA OLGA**

*kievkislova@gmail.com*

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

*Kiev National University of Technologies & Design*

---

---

## ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИОННЫХ ЖИДКОСТЕЙ В ЭЛЕКТРОХИМИИ КИСЛОВА О. В.

*Киевский национальный университет технологий и дизайна*

**Цель.** *Обобщить информацию о связи между строением ионных жидкостей и их электрохимическими свойствами, расширени возможности использования ионных жидкостей для проведения электрохимических процессов.*

**Методика.** *Аналитические методы сравнения особенностей строения ионных жидкостей различного состава, влияния химического строения жидкостей на их свойства и дальнейшее применение.*

**Результаты.** *Проведенные исследования позволили обобщить комплекс свойств ионных жидкостей, которые расширяют возможности различных электрохимических процессов и функционирования приборов. Существование зависимости между строением ионных жидкостей и их свойствами позволяет направленно выбирать оптимальную ионную жидкость с заданными свойствами.*

**Научная новизна.** *На основе исследования зависимости свойств ионных жидкостей от их строения указано возможные направления рационального выбора ионных жидкостей, последующей их модификации, оптимизации условий электрохимических процессов с использованием ионных жидкостей.*

**Практическая значимость.** *Обобщены факторы, необходимые для усовершенствования и расширения спектра электрохимических методов исследований с применением ионных жидкостей, показано их преимущества и недостатки, возможность синтеза ионных жидкостей с заранее заданными свойствами.*

**Ключевые слова:** *ионные жидкости, электрохимические свойства, ионная проводимость, ширина электрохимического окна.*

## PERSPECTIVES OF IONIC LIQUIDS USING IN ELECTROCHEMISTRY KYSLOVA O. V.

*Kyiv National University of Technologies and Design*

**Purpose.** *Summarize information about the relationship between the ionic liquids structure and their electrochemical properties, expand the possibilities of ionic liquids using for electrochemical processes.*

**Methodology.** *Analytical methods for comparing the features of the different composition ionic liquids structure, the influence of the chemical structure of liquids on their properties and their further application.*

**Findings.** *The carried out researches have allowed to generalize a complex of ionic liquids properties which expand possibilities of various electrochemical processes and devices functioning. The existence of a relationship between the ionic liquids structure and their properties makes it possible to selectively target the optimal ionic liquid with certain properties.*

**Originality.** *Based on the study of the ionic liquids properties dependence on their structure, possible directions for the ionic liquids rational choice, their subsequent modification, optimization of the electrochemical processes conditions using ionic liquids are indicated.*

**Practical value.** *The factors necessary for the improvement and expansion of electrochemical research methods using ionic liquids are generalized, their advantages and disadvantages, perspectives for the ionic liquids synthesis with certain properties are shown.*

**Keywords:** *ionic liquids, electrochemical properties, ionic conductivity, width of potential window.*

УДК 544.6.018

**КОСТИЮК І. М., СОВА Н. В., САВЧЕНКО Б. М., ІСКАНДАРОВ Р. Ш., САВЧУК Б. П.**

Київський національний університет технологій та дизайну

**ПОЛІМЕР-ПОЛІМЕРНИЙ КОМПОЗИТ ОТРИМАНИЙ ШЛЯХОМ ПЕРЕРОБКИ ВІДХОДІВ ПВХ ЛІНОЛЕУМУ**

***Мета.** Розробка технології переробки технологічних змішаних відходів ПВХ лінолеуму шляхом їх сумісного подрібнення та пластикації.*

***Методика.** Визначення ПТР проводили згідно ISO 1133:1997 на капілярному віскозиметрі постійного тиску при температурі  $(190 \pm 0,5)^\circ\text{C}$  та масі вантажу 2,16 кг. Термостабільність та температура плавлення були визначені на пластографі Hipro RM 200C. Механічні властивості визначали на розривній машині за ASTM D638. Твердість – з використанням твердоміру зі шкалою Шор Д, густину методом гідростатичного зважування на аналітичних вагах RADWAG AS-X2.*

***Результати.** Підібрано устаткування та технологічні режими для подрібнення та пластикації суміші відходів ПВХ/ПЕТФ. Якісне подрібнення змішаних відходів досягається з використанням низькошвидкісного роторного ножового подрібнювача з частотою обертання ротору 300об/хв. Визначено властивості одержаної ПВХ плівки армованої ПЕТФ волокнами. Міцність даної плівки в порівнянні з класичною рецептурою нижча, але при використанні таких матеріалів в композиції можна одержати матеріал з високими фізико-механічними властивостями і, звичайно, добитися максимально безвідходного виробництва, що також позитивно позначиться на економіці підприємства.*

***Наукова новизна.** Вперше розроблено технологію сумісної переробки змішаних відходів ПВХ лінолеуму. Встановлено особливості армування ПЕТФ волокнами матриці з ПВХ при отриманні плівок зі змішаних відходів ПВХ лінолеуму.*

***Практичне значення.** Розроблена технологія дозволяє забезпечити безвідходне виробництво лінолеуму на підприємствах.*

***Ключові слова.** Полівінілхлорид, поліетилентерефталат, змішані відходи, подрібнення, ПВХ плівка.*

**Вступ.** Підосновою для багатьох видів ПВХ лінолеуму є неткане полотно, отримане з ПЕТФ штапельного волокна методом начісування та склеювання, а також жорсткі (VCT - vinyl composition tile) та спінені підоснови. Повторна переробка технологічних відходів такого комбінованого полімерного матеріалу створює ряд труднощів, пов'язаних з великою різницею у температурних діапазонах переробки ПЕТФ та ПВХ та трудоемністю процесів їх розділення.

В світовій практиці для переробки такого типу відходів використовують метод електростатичного розділення [1]. Даний метод розділення суміші ПВХ/ПЕТФ заснований на відмінності їх за поверхневою провідністю, з використанням високовольтного електростатичного сепаратора.

Інший метод - ручне розділення за допомогою пристрою, побудованого за принципом роботи двоїльної машини для шкіри [2].

Селективна пінна флотація ПВХ/ПЕТФ сумішей (selective froth flotation for PVC/PET mixtures) - метод який також розглядався для переробки змішаних відходів виробництва лінолеуму. Це двоступеневий процес - лужної обробки та пінної флотації і вимагає подрібнення полімерного матеріалу до менш ніж 10 мм для підвищення ефективності розділення [3]. Описані методи не дозволяють повністю якісно розділити полімерні шари,

так як при виробництві ПВХ лінолеуму полівінілхлоридна паста при желатинізації міцно з'єднується з нетканим полотном за рахунок великої адгезії пластизолу та проникнення його в шари нетканого полотна. Також дані методи є економічно неефективними та потребують багато часу для розділення.

**Постановка завдання.** Мета роботи полягає у розробці технології переробки змішаних відходів лінолеуму на нетканій основі. Дослідження фізико-механічних властивостей полімер-полімерного композиту (ППК) на основі змішаних відходів ПВХ/ПЕТФ.

**Результати дослідження.** За класичною технологією подрібнення волокна піддаються агломерації. Було розроблено метод переробки змішаних відходів ПВХ лінолеуму, який полягає у сумісній переробці подрібнених відходів без їх розділення. Дослідним шляхом встановлено оптимальні технологічні режими переробки та устаткування.

Першою та найважливішою стадією розробленої технології є подрібнення змішаних відходів з використанням двохроторного шредера та ножового низькошвидкісного роторного подрібнювача "Tria spure grinder 20-15 VL-T" з прямим різом та мінімальною відстанню між ножами – 150 мкм. Подрібнювач оснащений редуктором, двигуном з частотним перетворювачем, сітками 2 та 6 мм [4]. Швидкість обертання ротора 300 об/хв.

За розробленою технологією на першій стадії подрібнення одержуються частинки розміром 6-8 мм, а на другій – 1-2 мм. Довжина ПЕТФ волокон у подрібненій суміші складає до 2 мм. Отримана подрібнена суміш без агломератів ПЕТФ волокон, володіє хорошою сипучістю, яка забезпечується розволокненням матеріалу під час дробіння. Вміст ПЕТФ волокна – 15 % мас. Масу волокнистого наповнювача в суміші визначено методом розчинення ПВХ з суміші в циклогексаноні з подальшим фільтруванням.

Подрібнену суміш дозують в завантажувальний бункер одношнекового екструдера з пазованою зоною завантаження. Для покращення подачі матеріалу використовувався шнековий живильник оснащений частотним перетворювачем для регулювання подачі ПВХ/ПЕТФ суміші [5]. Температурні режими переробки визначено за допомогою пластографа – 170-180°C, з графіку часу гомогенізації та динамічної термостабільності ППК ПВХ/ПЕТФ та класичної композицій (рис.1 та 2) видно, що ППК має вище пікове значення в порівнянні з класичною композицією та довший час плавлення, що ймовірно пов'язано з наявністю ПЕТФ волокон [6].

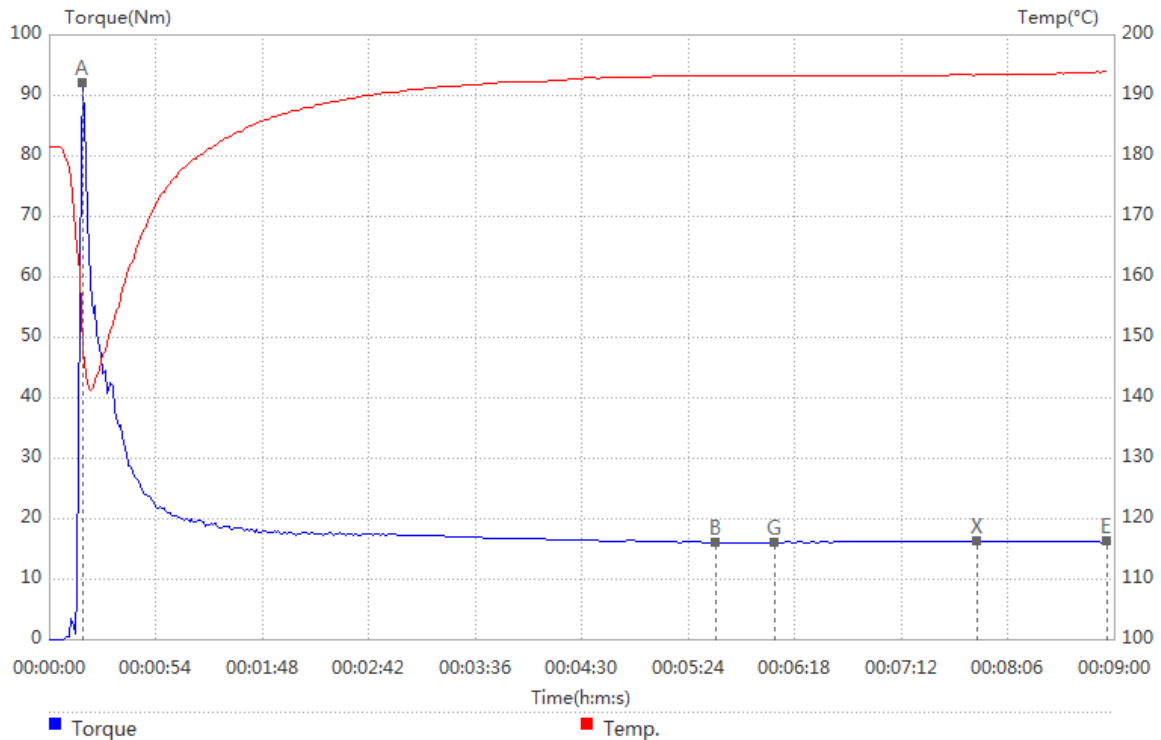


Рис.1. Залежність часу гомогенізації та динамічної термостабільності ПВХ/ПЕТФ композиції: А – пік навантаження; В – мінімальне навантаження; G – точка перегину; X – максимальне навантаження; Е – кінець випробування

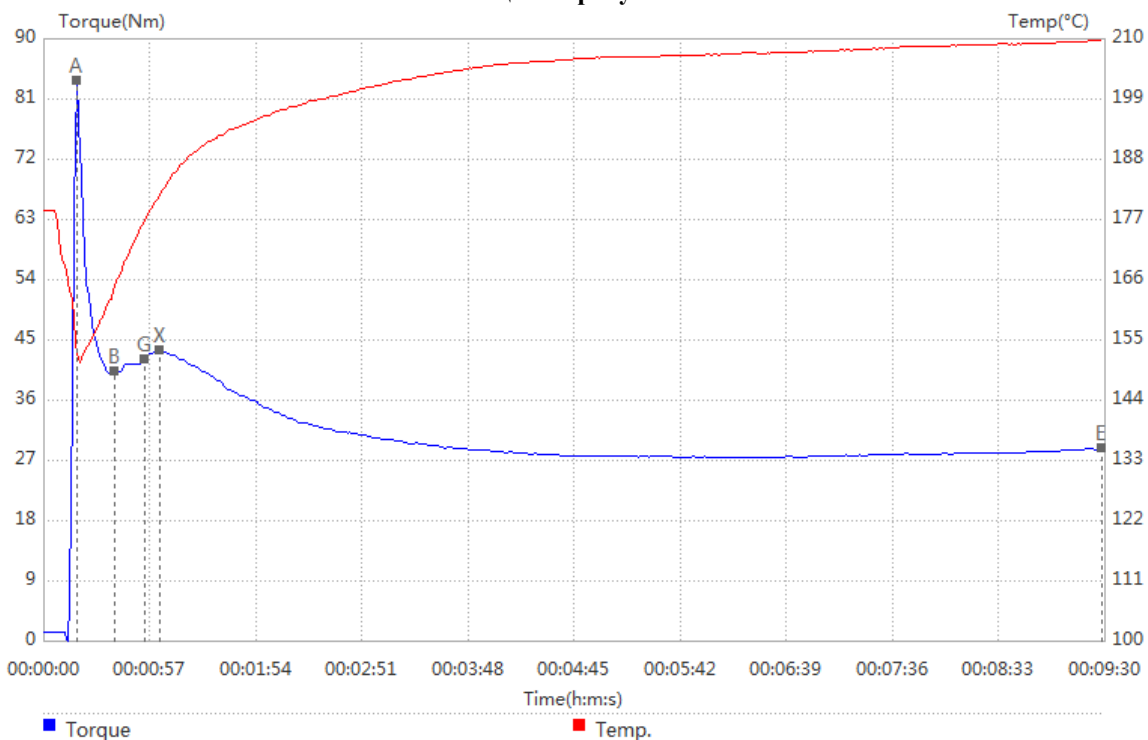


Рис.2. Залежність часу гомогенізації та динамічної термостабільності класичної композиції при: А – пік навантаження; В – мінімальне навантаження; G – точка перегину; X – максимальне навантаження; Е – кінець випробування

Швидкість обертів шнека при переробці композиції складала - 30-40 об/хв. на виході з головки екструдера за допомогою витягувального пристрою отримують ПВХ плівку

товщиною 0,8мм, армовану ПЕТФ волокнами (рис. 3). Властивості одержаної плівки наведені в табл.1, параметри переробки полімер-полімерної композиції ПВХ/ПЕТФ – табл. 2, структура – рис.4.

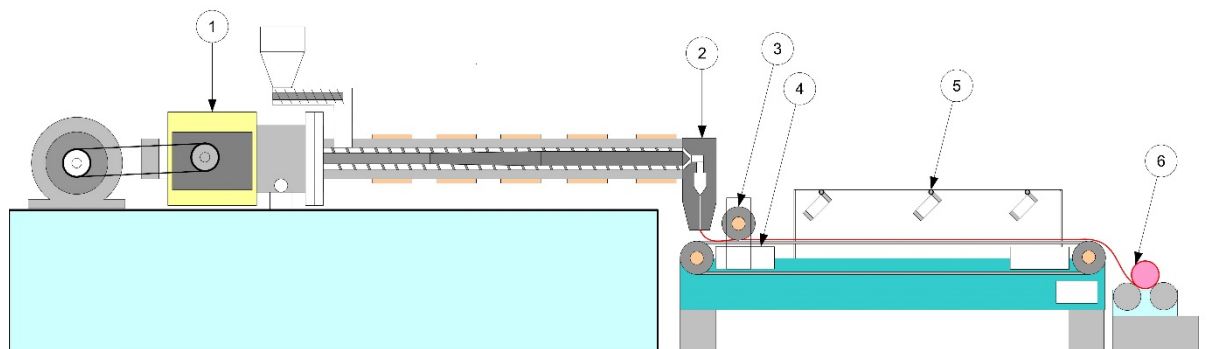


Рис.3. Технологічна схема одержання плівки на основі змішаних відходів ПВХ лінолеуму: 1 – екструдер; 2 – формуюча голівка; 3 – прикатний валок; 4 – транспортувальна стрічка; 5 – зона охолодження; 6 – намотуючий пристрій

Таблиця 1.

**Фізико-механічні властивості одержаної плівки на основі змішаних відходів ПВХ лінолеуму**

№п/п	Властивості	Значення	
		Класична композиція ПВХ	Композиція ПВХ/ПЕТФ
1	ПТР, г/10хв	32,4	0,69
2	Міцність при розриві, МПа	20,27	10,49
3	Відносне видовження, %	22	14
4	Твердість, од по Шор D	38	68
5	Густина, кг/м <sup>3</sup>	1,35	1,41

Таблиця 2.

**Параметри переробки полімер-полімерної композиції ПВХ/ПЕТФ**

№п/п	Назва	Значення
1	2	3
I	Дроблення	
1	Швидкість обертів ротора, об/хв	300
2	Проміжок між ножами, мкм	150-170
3	Сітка дробарки, d мм	2-6
4	Кут загострення ножів, град.	55+70
II	Екструзія	
1	Діаметр шнека, мм	25
2	Довжина шнека, мм	16
3	Зони нагріву	4
4	Пазована зона завантаження	-
5	Примусове завантаження, об/хв	20-40
6	Швидкість шнека, об/хв	30-40

Продовження таблиці 2.

7	Голівка плоскощільова, мм	80x1			
8	Температури зон нагріву екструдера, °С	I	II	III	IV
		120	180	175	180
9	Тиск розплаву, бар	60-80			
10	Температура розплаву, °С	170-175			

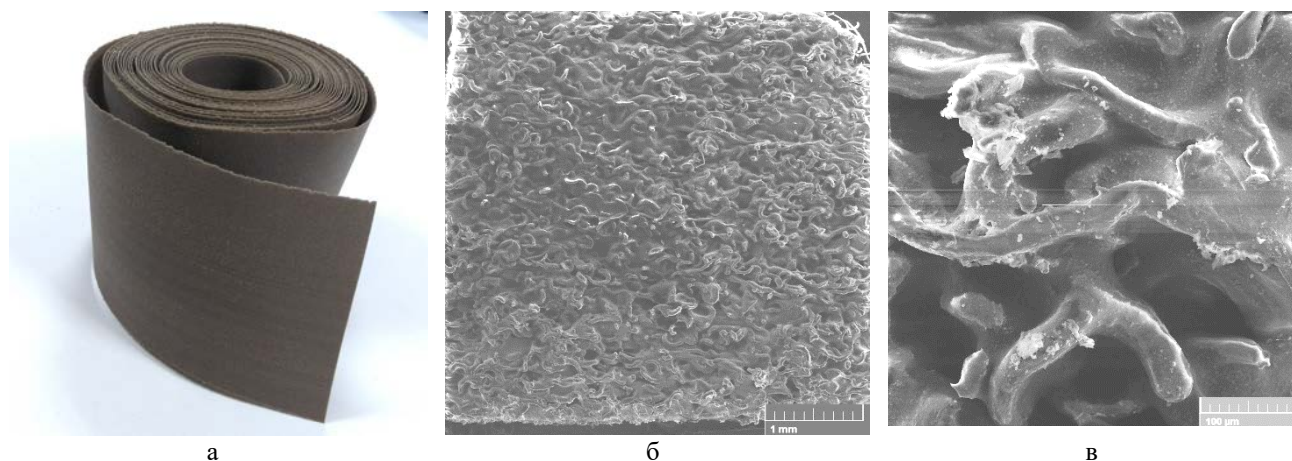


Рис.4. Структура одержаної плівки на основі змішаних відходів ПВХ лінолеуму: а – зовнішній вигляд; б – SEM зі збільшенням 50 раз; в – SEM зі збільшенням 500 раз

За даними результатів дослідження можна відзначити високу твердість та підвищену густину матеріалу в порівнянні з класичною композицією, що пов'язано з наявністю ПЕТФ складової, що має щільність  $1,44 \text{ г/см}^3$ , незважаючи на орієнтацію волокон поліетилентерафталату, міцність матеріалу є нижчою, можливо, через погану адгезію волокон до полімерної матриці, показник текучості розплаву є значно нижчим, але оптимальним для екструзії, показник динамічної термостабільності є значно вищим. Також після процесу пластикації спостерігається хороша якість поверхні з легкою шершавістю, що є перевагою для виготовлення саме поверхонь для технічного застосування.

Одержані плівки можуть застосовуватися як для виготовлення технічного, так і побутового (VCT) покрівельного матеріалу для підлоги, а також для виготовлення багатощарових ПВХ листів.

**Висновки.** Підбрано устаткування для подрібнення та пластикації суміші відходів ПВХ/ПЕТФ. Якісне подрібнення змішаних відходів досягається з використанням низькошвидкісного роторного ножового подрібнювача з частотою обертання ротору 300об/хв. Визначено властивості одержаної ПВХ плівки армованої ПЕТФ волокнами. Міцність даної плівки в порівнянні з класичною рецептурою нижча, але при використанні таких матеріалів в композиції можна одержати матеріал з високими фізико-механічними властивостями і, звичайно, добитися максимально безвідходного виробництва, що також позитивно позначиться на економіці підприємства.

Література

1. Gordan G. Electrostatic separation of pet/pvc mixture / G. Gordan, S. Branko, S. Ivan. // Tehnicki vjesnik. – 2011. – №2. – С. 261–266.
2. Островская А.В. Основы технологии переработки кожи и меха : учеб. Пособие / Г.Г.Лутфуллина, И.Ш. Абдуллин, Казан. нац. иссл. технол. ун-т, А.В. Островская. — Казань :КНИТУ, 2012.-164 с.
3. Plastics – Recycling. 2. Sustainable development. I. Emsley, Alan. II. Hamerton, Ian. III. Title.
4. Шварц О. Переработка пластмасс / изд. Профессия., 2005. – 315 с.
5. Grossman R. Handbook of Vinyl Formulating / Richard Grossman., 2009. – 608 p.
6. Отримання нетканних матеріалів на основі полімерних біосумісних волокон / [О. В. Ішенко, В. П. Плаван, І. О. Ляшок та ін.]. // Вісник КНУТД. – 2017. – №112. – С. 155–161.

References

1. Gordan G. Electrostatic separation of pet/pvc mixture / G. Gordan, S. Branko, S. Ivan. // Tehnicki vjesnik. – 2011. – №2. P. 261–266. [in English]
2. Ostrovskaia A. V. Fundamentals of leather and fur processing technology [*Osnovy tekhnolohyy pererabotky kozhy y mekha : ucheb. Posobyе*] H. H. Lutfullyna, Y. Sh. Abdullyn, Kazan. nats. yssled. tekhnol. un-t, A.V. Ostrovskaia. Kazan :KNYU, 2012.-164 p. [in Russian]
3. Plastics – Recycling. 2. Sustainable development. I. Emsley, Alan. II. Hamerton, Ian. III. Title. [in English]
4. Shvarts O. Pererabotka plastmass / yzd. Professyia. [Plastic processing] 2005. – 315 p.
5. Grossman R. Handbook of Vinyl Formulating / Richard Grossman., 2009. – 608 p. [in English]
6. Ishenko O. V., Plavan V. P., Liashok I. O. Receiving nonwoven materials based on biocompatible polymer fibers [*Otrymannia netkanykh materialiv na osnovi polimernykh biosumisnykh volokon*] [ta in.]. Visnyk KNUU. – 2017. № 112. P. 155–161. [in Ukrainian]

SAVCHENKO BOHDAN

1079@ukr.net

ResearcherID: 56685269800

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8636-5734>

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

SOVA NADIYA

djanc@ukr.net

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

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

ISKANDAROV RUSLAN

Iskandarov.r.sh@gmail.com

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

## ПОЛИМЕР-ПОЛИМЕРНЫЙ КОМПОЗИТ ПОЛУЧЕННЫЙ ПУТЕМ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ ПВХ ЛИНОЛЕУМА

КОСТЮК И. М., СОВА Н. В., САВЧЕНКО Б. М., ИСКАНДАРОВ Р. Ш., САВЧУК Б. П.

Киевский национальный университет технологий и дизайна

**Цель.** Разработка технологии переработки технологических смешанных отходов ПВХ линолеума путем их совместного измельчения и пластикации.

**Методика.** Определение ПТР проводили согласно ISO 1133: 1997 на капиллярном вискозиметре постоянного давления при температуре  $(190 \pm 0,5)^\circ \text{C}$  и массе груза 2,16 кг. Термостабильность и температура плавления были определены на пластографе Hipro RM 200C. Механические свойства определяли на разрывной машине по ASTM D638. Твердость - с использованием твердомера по шкале Шор Д, плотность методом гидростатического взвешивания на аналитических весах RADWAG AS-X2.

**Результаты.** Подобрано оборудование для измельчения и пластикации смеси отходов ПВХ / ПЭТФ. Качественное измельчение смешанных отходов достигается с использованием низкоскоростного роторного ножевого измельчителя с частотой вращения ротора 300 об/мин. Определены свойства полученной ПВХ пленки армированной ПЭТФ волокнами. Прочность данной пленки по сравнению с классической рецептурой ниже, но при использовании таких материалов в

композиции можно получить материал с высокими физико-механическими свойствами и, конечно, добиться максимально безотходного производства, что также положительно скажется на экономике предприятия.

**Научная новизна.** Впервые разработана технология совместной переработки смешанных отходов ПВХ линолеума. Установлены особенности армирования ПЭТФ волокнами матрицы из ПВХ при получении пленок из смешанных отходов ПВХ линолеума.

**Практическое значение.** Разработанная технология позволяет обеспечить безотходное производство линолеума на предприятиях.

**Ключевые слова.** Поливинилхлорид, полиэтилентерефталат, смешанные отходы, измельчение, ПВХ пленка.

## POLYMER-POLYMER COMPOSITE OBTAINED BY RECYCLING OF VINYL FLOORING MATERIALS

KOSTYUK I. M., SOVA N. V., SAVCHENKO B. M., ISKANDAROV R. SH.,  
SAVCHUK B. P.

*Kiev National University of Technologies and Design*

**Purpose.** Development of technology for the processing of mixed waste of vinyl flooring by their joint milling and plasticization.

**Method.** The determination of the MFI was carried out according to ISO 1133: 1997 on a capillary viscometer with a constant pressure and temperature ( $190 \pm 0.5$ ) ° C and a weight of 2.16 kg. The thermostability and melting temperature were determined on the Hipro RM 200C plastograph. Mechanical properties were determined on a breaking machine according to ASTM D638. Hardness - using a Shore D durometer, hydrostatic weighing density on an analytical balance RADWAG AS-X2.

**Results.** Equipment for milling and plasticization of a mixture of PVC / PET waste was selected. Qualitative milling of mixed waste is achieved by using a low speed rotary knife grinder with rotor speed of 300 rpm. The properties of the reinforced PVC were obtained. The strength of this film compared with the classic recipe is lower but when by using such materials in the composition it is possible to obtain a material with high physical and mechanical properties and achieve maximum non-waste production which will also have a positive effect on the economy of the enterprise.

**Scientific novelty.** The technology for joint processing of mixed vinyl flooring waste was developed for the first time. The features of reinforcing PVC matrix with fibers of a PET was obtained at the receipt of films from mixed vinyl flooring waste.

**Practical significance.** The developed technology allows to provide non-waste production of vinyl flooring at enterprises.

**Keywords.** Polyvinyl chloride, polyethylene terephthalate, mixed waste, milling, PVC film.