

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ВІСНИК

**КИЇВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ**

№ 6 (128), 2018

Частина 2 (серія «Технічні науки»)

DOI:10.30857/1813-6796.2018.6

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)

№6 (128), 2018

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

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

Журнал входить до переліку наукових фахових видань України. Наказ МОН України від 18.12.2018 № 1412 (додаток 10, рішення щодо подовження) – фаховість із технічних наук (категорія Б).

ISSN 1813-6796 print
ISSN 2617-9105 online

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

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

Засновник і видавець:

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

Головний редактор:

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

Заступник

головного редактора:

Каплун В. В., д.т.н., професор

**Відповідальний
секретар:**

Василенко В. М., к.т.н.

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

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

АДРЕСА РЕДАКЦІЇ:

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

тел./факс: +38 (044) 256-29-86

e-mail: vistnuk@knutd.edu.ua

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

Рекомендовано до друку Вченою радою Київського національного університету технологій та дизайну, протокол № 5 від 19.12.2018 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**

**Issue 6 (128), 2018 Part 2.
Technical Science Series**

DOI:10.30857/1813-6796.2018.6

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)

№6 (128), 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:
- № 1412, originating date 18.12.2015. Fields: technological.

ISSN 1813-6796 print The journal is registered in ISSN International Centre, Paris.
ISSN 2617-9105 online

The journal is abstracted and indexed by Ulrich's Periodicals Directory, EBSCOhost, WorldCat, РИИЛ, 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

Executive secretary: **Viktoria M. Vasilenko** - PhD

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

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

Recommendations from Science Council of Kyiv National University of Technologies and Design, Protocol № 5, originating date 19.12.2018.

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. **БОБРОВНИК В. М., КАПЛУН В. В., АРТЕМЕНКО М. Ю.** Методика розрахунку енергозберігаючого ефекту від застосування паралельного активного фільтра в трифазній чотирипровідній системі електроживлення з урахуванням його власних втрат 9
2. **ДЕНИСЮК С. П., ОПРИШКО В. П.** Аналіз можливостей оптимізації добового графіку споживання електричної енергії 20
3. **ЯГАНОВ П. О., РЕДЬКО І. В.** Персептронний класифікатор теплового комфорту 29

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО ІНДУСТРІЇ МОДИ, ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОБНИЦТВА ТЕКСТИЛЮ, ОДЯГУ ТА ВЗУТТЯ

4. **АСАУЛЮК Т. С., СЕМЕШКО О. Я., СКАЛОЗУБОВА Н. С., САРІБСЬКОВА Ю. Г.** Дослідження властивостей стирол-акрилової полімерної матриці для створення покриття на бавовняному трикотажі 39
5. **КУЛІКОВА І. О., МІЩЕНКО Г. В., МІЩЕНКО О. В., ВЕНГЕР О. О., ПОПОВИЧ Т. А.** Надання підвищеної зносостійкості тканинам для захисного одягу 47
6. **БОБРОВА С. Ю., ГАЛАВСЬКА Л. Є., КУЛИК А. А.** Деформаційні характеристики трикотажу підвищеної міцності 56

ХІМІЧНІ ТА БІОФАРМАЦЕВТИЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ

7. **САВЧУК Б. П., САВЧЕНКО Б. М., СОВА Н. В., КОСТЮК І. М.** Полімер-полімерний композит на основі відходів зшитого етиленвінілацетату 64
8. **НИРКОВА Л. І., ЛАБУР Т. М., РЯБИКО О. М., БОРИСЕНКО Ю. В.** Кореляція між електрохімічними властивостями зварного з'єднання алюмінієвого сплаву системи Al-Mg-Cu-Si та його стійкістю проти локальної корозії 71
9. **БЕССАРАБОВ В. І., ВАХІТОВА Л. М., КУЗЬМІНА Г. І., ВАСИЛЕНКО В. Ю.** Дослідження методу очищення технологічного обладнання фармацевтичних та хімічних виробництв з використанням міцелярної системи дезактивації 78
10. **ІЩЕНКО О. В., БЕССАРАБОВ В. І., ПЛАВАН В. П., БАУЛА О. П., РЕСНИЦЬКИЙ І. В., ЧЕРКАС С. С.** Дослідження кінетики вивільнення антимікробного препарату декаметоксину в полімерних плівках медичного призначення 86

УДК 621.314

БОБРОВНИК В. М., КАПЛУН В. В., АРТЕМЕНКО М. Ю.
Київський національний університет технологій та дизайну

**МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧОГО
ЕФЕКТУ ВІД ЗАСТОСУВАННЯ ПАРАЛЕЛЬНОГО
АКТИВНОГО ФІЛЬТРА В ТРИФАЗНІЙ ЧОТИРИПРОВІДНІЙ
СИСТЕМІ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ З УРАХУВАННЯМ ЙОГО
ВЛАСНИХ ВТРАТ**

Мета. Виведення розрахункових співвідношень і розробка методики розрахунку енергозберігаючого ефекту від застосування паралельного активного фільтра в трифазній чотирипровідній системі електропостачання та її апробація на прикладі моніторингу параметрів споживання електроенергії гуртожитку №7 КНУТД.

Методика. На основі символічного методу розрахунку трифазних кіл обґрунтовуються формули обчислення електричних опорів фазних та нейтрального проводів трифазної чотирипровідної системи на основі вимірів напруг еталонних навантажень, здійснюваних АСКОВЕ КНУТД. Енергозберігаючий ефект від застосування паралельного активного фільтра в трифазній чотирипровідній системі електроживлення встановлюється з урахуванням його власних втрат, що визначаються на основі моніторингу параметрів споживання електроенергії та обчислених значень опорів проводів.

Результати. У роботі обґрунтована методика розрахунку енергозберігаючого ефекту від застосування паралельного активного фільтра в трифазній чотирипровідній системі електропостачання з урахуванням його власних втрат та на прикладі моніторингу параметрів споживання електроенергії гуртожитку №7 КНУТД продемонстрована можливість зменшення на 10-20% втрат енергії в лінії електропередачі при використанні сучасних паралельних активних фільтрів.

Наукова новизна. Встановлені нові аналітичні залежності діючих напруг еталонних навантажень від електричних опорів фазних та нейтрального проводів трифазної чотирипровідної системи електропостачання, що використовуються для розрахунку значень зазначених опорів за результатами вимірювання фазних напруг.

Практична значимість. Сформульована нова методика розрахунку енергозберігаючого ефекту від застосування паралельного активного фільтра в трифазній чотирипровідній системі електропостачання, яка дозволяє оцінити доцільність застосування паралельних активних силових фільтрів та сформулювати вимоги до їх параметрів з метою отримання бажаного ефекту для конкретного об'єкту електроспоживання.

Ключові слова: потужність втрат, паралельний активний фільтр, трифазна чотирипровідна система електропостачання.

Вступ. Застосування активних силових фільтрів в трифазних системах електропостачання забезпечує відновлення якості електроенергії на клеммах потужних споживачів та є одним із перспективних технічних напрямів енергозбереження шляхом зниження теплових втрат в лінії передачі [1-5]. Найбільшого поширення набули паралельні активні фільтри (ПАФ) з можливістю формування оптимальних вхідних струмів в умовах нестабільності, нелінійності та асиметрії навантаження. Незважаючи на наявність окремих публікацій [6-8], недостатня увага приділена врахуванню власних втрат ПАФ та розрахунку електричних опорів фазних та нейтрального проводів у випадку, коли період зміни навантаження значно перевищує період напруги електромережі. Існуюча методика [7] визначення електричних опорів фазних та нейтрального проводів трифазної чотирипровідної

системи базується на аналітичних розрахунках з використанням паспортних параметрів силового кабелю та його довжини, що можуть бути недоступні чи не відповідати дійсності в реальних умовах експлуатації.

Постановка завдання. Метою даної роботи є виведення формул обчислення електричних опорів фазних та нейтрального проводів трифазної чотирипровідної системи на основі вимірів напруг еталонних навантажень, розробка методики розрахунку енергозберігаючого ефекту від застосування паралельного активного фільтра в трифазній чотирипровідній системі електропостачання та її апробація на прикладі моніторингу параметрів споживання електроенергії гуртожитку №7 КНУТД.

Результати дослідження. Теоретичні засади дослідження втрат енергії в трифазній чотирипровідній системі електроживлення з резистивною моделлю лінії передачі та паралельним активним фільтром (ПАФ) з урахуванням його власних втрат розроблені в [8]. Умовою доцільності застосування ПАФ для економії енергії при періодично змінюваному навантаженні є нерівність:

$$k_F < k_F^{TP}, \quad (1)$$

де $k_F = 1 - \eta_F$ – фактор втрат фільтра; η_F – коефіцієнт корисної дії ПАФ; граничне значення фактора втрат фільтра для періодично змінюваного навантаження визначається виразом:

$$k_F^{TP} = \sum_{n=1}^N P_n^2 (\lambda_n^{-2} - 1) \div \sum_{n=1}^N P_n (P_{0n} + P_n) \sqrt{\lambda_n^{-2} - 1}. \quad (2)$$

В формулі (2) N – кількість інтервалів спостереження на періоді зміни навантаження; P_{0n}, P_n, λ_n – потужність короткого замикання системи електропостачання; активна потужність навантаження та коефіцієнт потужності на n -му інтервалі спостереження ($n=1 \dots N$). За умови дії синусоїдного симетричного джерела значення квадрата коефіцієнта потужності на n -му інтервалі спостереження розраховують за формулою:

$$\lambda_n^2 = P_n^2 / 3U_{\Phi n}^2 (I_{An}^2 + I_{Bn}^2 + I_{Cn}^2 + I_{Nn}^2 r_N / r), \quad (3)$$

де $U_{\Phi n}, I_{An}, I_{Bn}, I_{Cn}, I_{Nn}$ – відповідно, діючі значення фазної напруги, лінійних струмів та струму нейтралі та n -му інтервалі спостереження; r – опір кожного фазного проводу; r_N – опір нейтрального проводу. Потужність короткого замикання системи електропостачання з синусоїдним симетричним джерелом визначається виразом:

$$P_{0n} = 3U_{\Phi n}^2 / r. \quad (4)$$

Якщо умова (1) виконується, коефіцієнт виграшу за енергією втрат, який показує, у скільки разів енергія втрат трифазної чотирипровідної системи без фільтра перевищує енергію втрат за наявності ПАФ, розраховують за формулою:

$$k_W = \sum_{n=1}^N P_n^2 \lambda_n^{-2} \div \sum_{n=1}^N P_n \left[P_n + k_F (P_{0n} + P_n) \sqrt{\lambda_n^{-2} - 1} \right]. \quad (5)$$

Таким чином, для можливості знаходження граничного значення фактора втрат фільтра (2) експериментальним шляхом в конкретній системі електропостачання необхідно розробити методику визначення опорів r та r_N . Оскільки для безпосереднього вимірювання ці опори недоступні, пропонується їх розрахувати на основі вимірів напруг при застосуванні еталонних навантажень. При цьому слід мати на увазі, що падіння напруг на цих опорах значно менші за фазні напруги, а вимірюваними величинами є діючі значення напруг, тобто модулі відповідних комплексних величин, що додаються геометрично [9]. Виведемо співвідношення для зміни модуля комплексної величини $\dot{C} = A + jB = Ce^{j\varphi} = C \cos \varphi + j \sin \varphi$ при геометричному додаванні до неї малої комплексної величини $\dot{\gamma} = \alpha + j\beta$. Запишемо спрощений вираз для модуля алгебраїчної суми зазначених величин за правилами оперування з нескінченно малими:

$$\begin{aligned} |\dot{C} + \dot{\gamma}| &= \sqrt{(A + \alpha)^2 + (B + \beta)^2} \approx \sqrt{A^2 + 2A\alpha + B^2 + 2B\beta} = \\ &= \sqrt{A^2 + B^2} \times \sqrt{1 + 2 \frac{A\alpha + B\beta}{A^2 + B^2}} \approx C \times \left(1 + \frac{A\alpha + B\beta}{C^2} \right) = \\ &= C \times \left(1 + \frac{\alpha \cos \varphi + \beta \sin \varphi}{C} \right) = C + \alpha \cos \varphi + \beta \sin \varphi. \end{aligned} \quad (6)$$

На рис. 1 представлена трифазна чотирипровідна мережа з резистивною моделлю лінії передачі та векторними діаграмами напруг при потрібному навантаженні однієї фази A еталонними опорами $R_H = 1/G$.

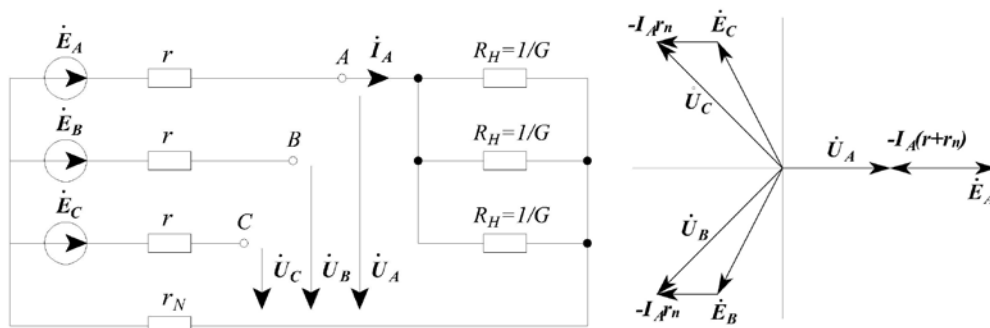


Рис. 1. Схема трифазної чотирипровідної мережі з векторними діаграмами напруг при несиметричному навантаженні

Вектор комплексів діючих значень напруг навантаження за умов симетричного синусоїдного трифазного джерела визначається виразом:

$$\bar{\mathbf{u}}_1 = \begin{bmatrix} \dot{U}_A \\ \dot{U}_B \\ \dot{U}_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{E}_A - \dot{I}_A(r + r_N) \\ \dot{E}_B - \dot{I}_A r_N \\ \dot{E}_C - \dot{I}_A r_N \end{bmatrix} \approx \begin{bmatrix} E - 3EG(r + r_N) \\ \dot{E}_B - 3EGr_N \\ \dot{E}_C - 3EGr_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E - 3EG(r + r_N) \\ Ee^{-j2\pi/3} - 3EGr_N \\ Ee^{j2\pi/3} - 3EGr_N \end{bmatrix},$$

де E – діюче значення ЕРС симетричного трифазного джерела. Відповідно до формули (6) модулі (діючі значення) напруг навантаження визначаються виразами:

$$\mathbf{u}_1 = \begin{Bmatrix} U_A \\ U_B \\ U_C \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} |E - 3EG(r + r_N)| \\ |Ee^{-j2\pi/3} - 3EGr_N| \\ |Ee^{j2\pi/3} - 3EGr_N| \end{Bmatrix} \approx \begin{Bmatrix} E - 3EG(r + r_N) \\ E - 3EGr_N \cos(-2\pi/3) \\ E - 3EGr_N \cos(2\pi/3) \end{Bmatrix} = E \begin{Bmatrix} 1 - 3(r + r_N)G \\ 1 + 1.5r_N G \\ 1 + 1.5r_N G \end{Bmatrix}.$$

Для вимірювання величини ЕРС E необхідно виконати дослід розриву, тобто виміряти величини фазних напруг за відсутності навантаження. У зв'язку з можливим невеликим розкидом величин фазних ЕРС результати вимірювань доречно осереднити за формулою:

$$E = (E_A + E_B + E_C) / 3.$$

За результатами вимірювання напруг U_A, U_B, U_C та ЕРС E_A, E_B, E_C шукані значення опорів фазного та нейтрального проводів визначаються виразами:

$$r = \frac{3E - (U_A + U_B + U_C)}{3EG} = \left(1 - \frac{U_A + U_B + U_C}{E_A + E_B + E_C}\right) R_H; \quad (7)$$

$$r_N = \frac{U_B + U_C - 2E}{3GE} = \left(\frac{U_B + U_C}{E_A + E_B + E_C} - \frac{2}{3}\right) R_H. \quad (8)$$

Для контролю результатів пропонується проаналізувати схему (рис. 2) трифазної чотирипровідної мережі з симетричним навантаженням фаз еталонними опорами та представленими векторними діаграмами напруг.

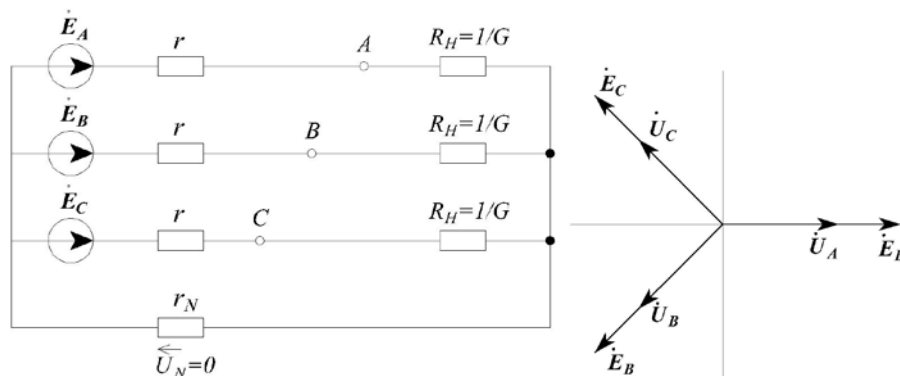


Рис. 2 Схема трифазної чотирипровідної мережі з векторними діаграмами напруг при симетричному навантаженні

Оскільки напруга нейтралі в цьому випадку дорівнює нулю [6],

$$\bar{\mathbf{u}}_2 = \begin{Bmatrix} \dot{E}_A - \dot{I}_A r \\ \dot{E}_B - \dot{I}_B r \\ \dot{E}_C - \dot{I}_C r \end{Bmatrix} \approx \begin{Bmatrix} \dot{E}_A - \dot{E}_A Gr \\ \dot{E}_B - \dot{E}_B Gr \\ \dot{E}_C - \dot{E}_C Gr \end{Bmatrix} = (1 - rG) \begin{Bmatrix} \dot{E}_A \\ \dot{E}_B \\ \dot{E}_C \end{Bmatrix}; \mathbf{u}_2 = \begin{Bmatrix} U_A \\ U_B \\ U_C \end{Bmatrix} = (1 - rG) E \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{Bmatrix},$$

і формула розрахунку опору фазного проводу в цьому досліді збігається з формулою (7).

Формула (3) для визначення поточного значення коефіцієнта потужності містить діюче значення струму нейтралі, що відповідає визначенню повної потужності в стандарті IEEE [10]. Але встановлена в КНУТД автоматизована система комерційного обліку

електроенергії (АСКОЕ) не передбачає можливості вимірювання струму нейтралі. Тому для забезпечення вимірювання параметрів системи електропостачання в повному обсязі використовувався аналізатор С.А 8335 QUALISTAR PLUS виробництва компанії Chauvin-Arnoux Group (Франція) в режимі «Trend», схема підключення якого до системи електропостачання гуртожитку №7 КНУТД наведена на рис. 3.

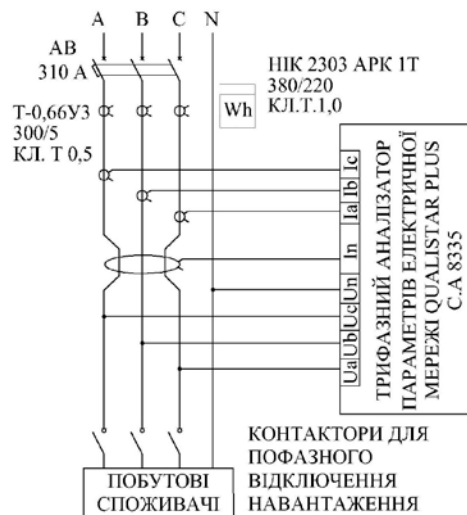


Рис. 3. Схема підключення аналізатора параметрів електричної мережі

Оскільки нейтраль в даній системі є заземленою, а фізичний принцип вимірювання струму базується на використанні поясу Роговського, що охоплює провідник з досліджуванним струмом, то струм нейтралі вимірювався шляхом обробки даних давача, що охоплював усі три фазні проводи, штучно відтворюючи суму миттєвих значень струмів цих проводів. Моніторинг проводився з інтервалом фіксації параметрів 16 хв., що забезпечило $N = 24 \times 60 / 16 = 90$ відліків на добу таких параметрів, як діючі значення фазних струмів та напруг, струму нейтралі, що записувались в оперативну пам'ять приладу. Наприклад, на рис. 4 представлений графік зміни активної потужності (у кВт) гуртожитку №7 КНУТД протягом робочого тижня.

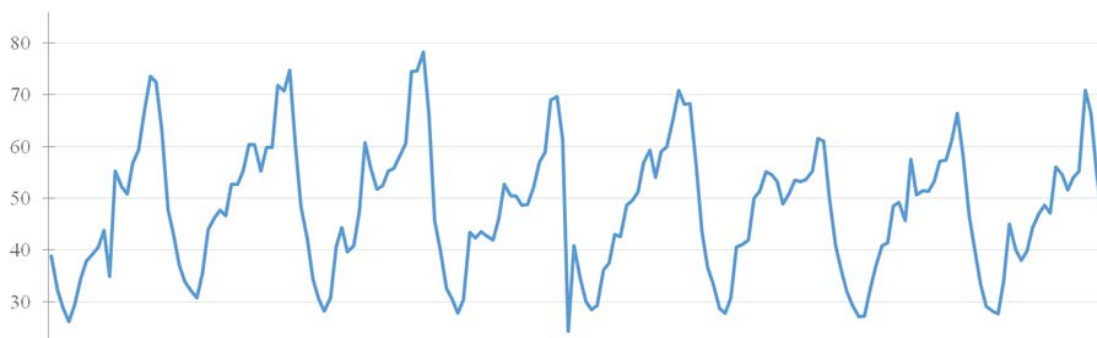


Рис. 4. Графік зміни активної потужності протягом робочого тижня у гуртожитку №7 КНУТД

Спираючись на дані аналізатора, сформулюємо та проілюструємо методику розрахунку енергозберігаючого ефекту від застосування паралельного активного фільтра в трифазній чотирипровідній системі електроживлення з урахуванням його власних втрат.

1. За результатами попередньо проведеного дослідження асиметричного навантаження системи електропостачання еталонними опорами (схема на рис. 1 та дані вимірювання напруг в табл. 1) за формулами (7) та (8) розраховуємо величини опорів фазного та нейтрального проводів. В якості еталонних навантажень використовувались нагрівачі UFO 30 U/26 (напруга живлення 220 В встановлена потужність 2.6 кВт), з'єднані по 2 штуки в паралель, що забезпечило осереднене значення опору навантаження $R_H=9.47$ Ом.

Таблиця 1.

Навантаження	E_A , В	E_B , В	E_C , В	U_A , В	U_B , В	U_C , В
симетричне	215.4	221.9	216.9	210.1	218.7	213.9
несиметричне	214.0	219.1	215.9	196.5	221.6	218.2

За результатами дослідження симетричного навантаження знаходимо значення опору фазного проводу:

$$r_1 = \left(1 - \frac{U_A + U_B + U_C}{E_A + E_B + E_C}\right) R_H = \left(1 - \frac{210,1 + 218,7 + 213,9}{215,4 + 221,9 + 216,9}\right) \times 9,47 = 0,1664 \text{ Ом.}$$

За результатами дослідження асиметричного навантаження розраховуємо

$$r_2 = \left(1 - \frac{U_A + U_B + U_C}{E_A + E_B + E_C}\right) R_H = \left(1 - \frac{196,5 + 221,6 + 218,2}{214 + 219,1 + 215,9}\right) \times 9,47 = 0,1853 \text{ Ом;}$$

$$r_N = \left(\frac{U_B + U_C}{E_A + E_B + E_C} - \frac{2}{3}\right) R_H = \left(\frac{221,6 + 218,2}{214 + 219,1 + 215,9} - \frac{2}{3}\right) \times 9,47 = 0,1041 \text{ Ом.}$$

Для подальших розрахунків приймаємо

$$r = (r_1 + r_2) / 2 = (0.1664 + 0.1853) / 2 = 0.1759 \text{ Ом;}$$

$$r_N / r = 0.1041 / 0.1759 = 0.5918 \text{ Ом.}$$

2. За результатами добового моніторингу параметрів системи електропостачання (90 відліків для кожної доби), частина яких наведена в табл. 2, за формулою (3) розраховуємо поточні значення квадратів коефіцієнта потужності, за формулою (4) поточні значення потужності короткого замикання та заповнюємо останні два стовпці табл. 2.

Таблиця 2.

Дата	n	P_n, Bm	$U_{\phi n} = \frac{U_{An} + U_{Bn} + U_{Cn}}{3}, B$	I_{An}, A	I_{Bn}, A	I_{Cn}, A	I_{Nn}, A	λ_n^2	$P_{0n}, \kappa Bm$
20.06.2017	1	48293,03	233,6	75,7	76,6	92,3	24,2	0,6961	930734,4
	2	45759,32	233,4	67,2	76,7	86,3	20,7	0,7078	929141,4
	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	90	50938,46	232,7	88	85,2	93	15,4	0,6713	923576,5

3. За формулою (2) розраховуємо граничне значення фактора втрат фільтра для даної доби:

$$k_F^{TP} = \sum_{n=1}^{90} P_n^2 (\lambda_n^{-2} - 1) \div \sum_{n=1}^{90} P_n (P_{0n} + P_n) \sqrt{\lambda_n^{-2} - 1} = 0,0318.$$

4. За формулою (5) розраховуємо коефіцієнт виграшу за енергією втрат для даної доби при $k_F = 0.02; 0.01; 0$:

$$k_w(0.02) = \sum_{n=1}^{90} P_n^2 \lambda_n^{-2} \div \sum_{n=1}^{90} P_n \left[P_n + k_F (P_{0n} + P_n) \sqrt{\lambda_n^{-2} - 1} \right] = 1,1009;$$

$$k_w(0.01) = 1,2035; k_w(0) = 1,3272.$$

5. Отримані в п.п. 3,4 дані вносимо до підсумкової табл. 3 в стовпчик, що відповідає даті вимірювання.

6. Розрахунки за п.п. 2-5 повторюємо для усіх днів тижневого моніторингу та заповнюємо усі стовпці табл. 3.

Таблиця 3.

Дата	20.06.2017.	21.06.2017	22.06.2017	23.06.2017	24.06.2017	25.06.2017	26.06.2017
k_F^{TP}	0,0318	0,0314	0,0295	0,0298	0,0295	0,0310	0,0313
$k_w(0.02)$	1,1009	1,0954	1,0858	1,0831	1,0885	1,1076	1,0974
$k_w(0.01)$	1,2035	1,1951	1,1936	1,1828	1,1991	1,2275	1,2136
$k_w(0)$	1,3272	1,3148	1,3251	1,3028	1,3347	1,3764	1,3573

Аналіз даних табл. 3 свідчить, що при використанні сучасних паралельних активних фільтрів з $k_F = 0.02$, що відповідає заявленому ККД фільтра 98% в новій серії фірми Danfoss, втрати енергії в лінії електропередачі гуртожитку №7 КНУТД можуть бути зменшені на 8-10%. В найближчій перспективі при підвищенні ККД фільтра до 99% ($k_F = 0.01$) економія втрат може досягати 20%.

Останній рядок табл. 3 може бути використаний для оцінки осередненого за потужністю та часом спостереження значення коефіцієнта потужності певного споживача (в

даному випадку гуртожитку №7 КНУТД). Якщо позначити середньодобовий коефіцієнт потужності i -ої доби $\bar{\lambda}_i$, то з рівності (5) при $k_F = 0$ випливає, що

$$\bar{\lambda}_i^{-2} = \sum_{n=1}^N P_n^2 \lambda_n^{-2} \div \sum_{n=1}^N P_n^2 = k_{wi}(0).$$

Осереднений протягом усього часу моніторингу, що триває m діб, коефіцієнт потужності $\bar{\lambda}$ визначається з виразу

$$\bar{\lambda}^{-2} = \sum_{i=1}^m \bar{\lambda}_i^{-2} / m = \sum_{i=1}^m k_{wi}(0) / m$$

у вигляді:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{m / \sum_{i=1}^m k_{wi}(0)}.$$

За даними останнього рядка табл. 3 при тривалості моніторингу 7 діб:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{7 / \sum_{i=1}^7 k_{wi}(0)} = 0.86.$$

Отримане значення дещо менше середніх значень вимірних коефіцієнтів потужностей окремих фаз $\lambda_\phi = 0.9 - 0.95$ внаслідок врахування в запропонованій методиці струму нейтралі, викликаного несиметрією навантаження, та кінцевого значення опору нейтралі. Для адекватного відображення можливостей енергозбереження шляхом застосування ПАФ пропонується доповнити АСКОЕ КНУТД функцією періодичного вимірювання діючого значення струму нейтралі.

Висновки. Запропоновані формули розрахунку електричних опорів фазних та нейтрального проводів трифазної чотирипровідної системи електропостачання на основі вимірів напруг еталонних навантажень, здійснюваних АСКОЕ КНУТД.

Розроблена методика розрахунку енергозберігаючого ефекту від застосування паралельного активного фільтра в трифазній чотирипровідній системі електроживлення з урахуванням його власних втрат. Застосування методики проілюстровано розрахунком енергозберігаючого ефекту за результатами тижневого моніторингу споживання електроенергії гуртожитку №7 КНУТД. При використанні сучасних паралельних активних фільтрів втрати енергії в лінії електропередачі гуртожитку №7 КНУТД можуть бути зменшені на 10-20%.

Обґрунтована необхідність доповнити АСКОЕ КНУТД функцією періодичного вимірювання діючого значення струму нейтралі для адекватного відображення можливостей енергозбереження шляхом застосування ПАФ.

Література

1. Akagi H., Watanabe E. H., Aredes M. Instantaneous power theory and applications to power conditioning. – Piscataway, NJ: IEEE Press. – 2007. – 379 p. ISBN:978-0-470-10761-4.
2. Patricio Salmerón Revuelta, Salvador Pérez Litrán, Jaime Prieto Thomas. Active Power Line Conditioners Design, Simulation and Implementation for Improving Power Quality. –

References

1. Akagi H., Watanabe E. H., Aredes M. (2007) Instantaneous power theory and applications to power conditioning, Piscataway, NJ: IEEE Press, p. 379. ISBN: 978-0-470-10761-4.
2. Patricio S. R., Jaime P. T., Salvador P. L. (2016) Active power line conditioners: design, simulation and implementation for improving power quality, London; San Diego: Academic Press. p. 436.

Elsevier Inc., Academic Press. – 2016. – 436 p. ISBN:978-0128032169.

3. Benysek G., Pasko M. Power Theories for Improved Power Quality. Springer. – 2012. – 214 p. ISBN: 978-1-4471-2785-7.

4. Артеменко М. Ю. Потужність систем електроживлення та енергоефективність силових фільтрів [Монографія]. – Київ : Аверс, 2016. – 216 с. ISBN: 978-966-8777-09-7.

5. Артеменко М. Ю. Енергоефективність паралельних активних силових фільтрів трифазних систем електроживлення/ Артеменко М. Ю., Каплун В. В. // «Вісник Київського національного університету технологій та дизайну». – 2016. – № 5 (102). – С. 11 – 19.

6. Дрехслер Р. Измерение и оценка качества электроэнергии при несимметричной и нелинейной нагрузке: Пер. с чешск. А. Окина. / Дрехслер Р.//М.: Энергоатомиздат, 1985. – 112 с.

7. Жемеров Г. Г., Ильина Н. А., Ильина О. В., Ковальчук О. И., Сокол Е. И. КПД трехфазной четырехпроводной системы электроснабжения с асимметричной нагрузкой // Технічна електродинаміка, тем. випуск, «Силова електроніка та енергоефективність». – 2010. – Ч. 1. – С. 22–31.

8. Артеменко М. Ю. Застосування активних фільтрів для зменшення втрат енергії трифазних систем електропостачання / М. Ю. Артеменко, В. В. Каплун, В. М. Бобровник, С. Й. Поліщук // Технічна електродинаміка. – 2018. – № 4. С. 53 – 56. 241

9. Теоретичні основи електротехніки: Підручник у 3 т. / В. С. Бойко, В. В. Бойко, Ю. Ф. Видолоб та ін.; за заг. ред. І.М. Чиженка, В. С. Бойка. – К.: Видавництво «Політехніка», 2004. Т.1. Усталені режими лінійних електричних кіл із зосередженими параметрами. – 232 с.

10. IEEE Standard Definitions for the Measurement of Electric Power Quantities under Sinusoidal Nonsinusoidal, Balanced or Unbalanced Conditions. IEEE Standard 1459 – 2010, Sept.2010.doi: 10.1109/IEEESTD.2010.5439063.

ISBN: 978 – 0128032169

3. Benysek G., Pasko M. Power Theories for Improved Power Quality. Springer. – 2012. – 214 p. ISBN: 978-1-4471-2785-7.

4. Artemenko M. Yu. (2016) *Potuzhnist' system elektrozhivlennya ta enerhoefektyvnist' sylovykh fil'triv* [Power of supply systems and energy efficiency of power filters], Kyiv: Avers, p. 216. ISBN: 978-966-8777-09-7 [in Ukrainian].

5. Artemenko M. Yu., Kaplun V. V. (2016) *Enerhoefektyvnist' paralel'nykh aktyvnykh sylovykh fil'triv tryfaznykh system elektrozhivlennya*. : Kyiv National University of Technologies and Design «Technical Science Series» no. 5 (102). P. 11 – 19.

6. Dreksler R. (1985) *Yzmerenye y otsenka kachestva elektroenerhyy pry nesymmetrychnoy y nelyneynoy nahruzke* [Measurement and estimation of electric

power quality with asymmetric and nonlinear load] Per.s cheshsk. A. Okyna. Dreksler R. M.:Enerhoatomyzdat, 112 p.

7. Zhemerov H. H., Yl'yna N. A., Yl'yna O. V., Koval'chuk O. Y., Sokol E. Y. (2010) *KPD trekhfaznoj chetyrehprovodnoj systemy elektrosnabzheniya s asymmetrychnoy nahruzkoj* [Efficiency of a three-phase four-wire power supply system with asymmetric load]. Kiev: Tekhnichna elektrodynamika. [in Ukrainian].

8. M. Yu. Artemenko, V. V. Kaplun, V. M. Bobrovnyk, S. J. Polischuk (2018) *Zastosuvannia aktyvnykh fil'triv dlia zmeshennia vtrat enerhii tryfaznykh system elektropostachannia* [active filters application for energy losses reduction in three-phase power supply systems] Kiev: Tekhnichna elektrodynamika. [in Ukrainian].

9. Bojko V. S., Bojko V. V., Vydolob Yu. F. et al. (2004) *Teoretychni osnovy elektrotekhniky* [Theoretical foundations of electrical engineering]. I. M. Chyzhenka, V. S. Bojka (Ed); Kiev: Vydavnytstvo «Politehnika», T. 1. Ustaleni rezhymy linijnykh elektrychnykh kil iz zoseredzhenymy parametramy. (Vols. 1 – 3; Vol.1).

10. IEEE Standard Definitions for the Measurement of Electric Power Quantities under Sinusoidal Nonsinusoidal, Balanced or Unbalanced Conditions. IEEE Standard 1459-2010, Sept. 2010. doi: 10.1109/IEEESTD.2010.5439063.

KAPLUN VIKTOR
kaplun.v@knutd.edu.ua
ORCID: 0000-0001-7040-9344
Researcher ID: B-8704-2017
Pro-Rector for Research and Innovation,
Kiev National University of Technologies & Design

BOBROVNIK VLADIMIR
vge@knutd.com.ua
<http://orcid.org/0000-0003-1779-5375>
Kiev National University of Technologies & Design

ARTEMENKO MICHAEL
artemenko_m_ju@ukr.net
<http://orcid.org/0000-0001-9341-9238>
Kiev National University of Technologies & Design

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО ЭФФЕКТА ОТ ПРИМЕНЕНИЯ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО АКТИВНОГО ФИЛЬТРА В ТРЕХФАЗНОЙ ЧЕТЫРЕХПРОВОДНОЙ СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ С УЧЕТОМ ЕГО СОБСТВЕННЫХ ПОТЕРЬ

КАПЛУН В. В., БОБРОВНИК В. Н., АРТЕМЕНКО М. Е.

Киевский национальный университет технологий и дизайна

Цель. Вывод расчетных соотношений и разработка методики расчета энергосберегающего эффекта от применения параллельного активного фильтра в трехфазной четырехпроводной системе электроснабжения и ее апробация на примере мониторинга параметров потребления электроэнергии общежития №7 КНУТД.

Методика. На основе символического метода расчета трехфазных цепей обосновываются формулы вычисления электрических сопротивлений фазных и нейтрального проводов трехфазной четырехпроводной системы на основе измерений напряжений эталонных нагрузок, осуществляемых АСКУЭ КНУТД. Энергосберегающий эффект от применения параллельного активного фильтра в трехфазной четырехпроводной системе электропитания устанавливается с учетом его собственных потерь, определяемых на основе мониторинга параметров потребления электроэнергии и вычисленных значений сопротивлений проводов.

Результаты. В работе обоснована методика расчета энергосберегающего эффекта от применения параллельного активного фильтра в трехфазной четырехпроводной системе электроснабжения с учетом его собственных потерь и на примере мониторинга параметров потребления электроэнергии общежития №7 КНУТД продемонстрирована возможность уменьшения на 10-20% потерь энергии в линии электропередачи при использовании современных параллельных активных фильтров.

Научная новизна. Установлены новые аналитические зависимости действующих напряжений эталонных нагрузок от электрических сопротивлений фазных и нейтрального проводов трехфазной четырехпроводной системы электроснабжения, используемых для расчета значений указанных сопротивлений по результатам измерения фазных напряжений.

Практическая значимость. Сформулирована новая методика расчета энергосберегающего эффекта от применения параллельного активного фильтра в трехфазной четырехпроводной системе электроснабжения, которая позволяет оценить целесообразность применения параллельных активных силовых фильтров и сформулировать требования к их параметрам с целью получения желаемого эффекта для конкретного объекта электропотребления.

Ключевые слова: мощность потерь, параллельный активный фильтр, трехфазная четырехпроводная система электроснабжения.

THE METHOD OF CALCULATING THE ENERGY SAVING EFFECT FROM THE APPLICATION OF THE SHUNT ACTIVE FILTER IN THE THREE-PHASE FOUR-WIRE POWER SYSTEM WITH THE VIOLATION OF ITS OWN LOSSES

KAPLUN V. V., BOBROVNIK V. M., ARTEMENKO M. Yu.

Kyiv National University of Technologies and Design

Purpose. The deduction of settlement ratios and the development of a method for calculating the energy saving effect from the use of a shunt active filter in a three-phase four-wire power supply system and its testing on the example of monitoring the parameters of electricity consumption of the hostel number 7 KNUTD.

Methodology. Based on the symbolic method of calculating three-phase circles, the formulas for calculating the electrical resistances of phase and neutral wires of a three-phase four-wire system based on measurements of stresses of reference loads carried out by AEEAS KNUTD are grounded. The energy saving effect of using a shunt active filter in a three-phase four-wire system of power supply is established taking into account its own losses, which are determined on the basis of monitoring of parameters of electric energy consumption and calculated values of resistance of wires.

Findings. The work substantiates the methodology for calculating the energy saving effect from the use of a parallel active filter in the three-phase four-wire power supply system, taking into account its own losses, and on the example of monitoring the parameters of electricity consumption of the hostel number 7 KNUTD demonstrated the possibility of reducing by 10-20% energy losses in the transmission line with the use of modern shunt active filters.

Originality. The new analytical dependences of the operating voltages of the reference loads on the electrical resistances of phase and neutral wires of the three-phase four-wire power supply system used to calculate the values of the indicated resistances based on the results of phase voltage measurements are established.

Practical value. A new method of calculating the energy saving effect from the use of a shunt active filter in a three-phase four-wire power supply system is formulated, which makes it possible to assess the expediency of using shunt active power filters and formulate requirements for their parameters in order to obtain the desired effect for a particular object of power consumption.

Keywords: power losses, shunt active filter, three-phase four-wire power supply system.

УДК 621.31

ДЕНИСЮК С. П., ОПРИШКО В. П.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ ОПТИМІЗАЦІЇ ДОБОВОГО ГРАФІКУ СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

Мета. Дослідити можливості застосування програм з керування попиту на електричну енергію в електроенергетичних системах в умовах українських реалій. Розробити математичну модель оптимізації режиму електроспоживання на основі ключових показників оцінки графіку електроспоживання та коефіцієнтів гнучкості обладнання.

Методика. Доведено, що в результаті впровадження програм з керування попиту на електричну енергію вигоду отримують не лише споживачі та енергетичні компанії, але й суспільство в цілому. Класифіковано програми з керування попиту на електричну енергію за сферою дії. В статті розглянуто метод оптимізації добового графіка електроспоживання при впровадженні програм з керування попиту на електричну енергію.

Результати. Проаналізовано ефекти від впровадження програм з керування попиту та сформовано оптимізаційні задачі зменшення нерівномірності графіка споживання на основі коефіцієнта заповнення графіка та зменшення витрат на електричну енергію. Проведені дослідження варіантів впливу програм з керування попиту на можливості видозміни добового графіка споживання електричної енергії підтверджують наявність можливості підвищення ефективності функціонування електроенергетичних систем.

Наукова новизна. Отримані оптимізовані графіки електроспоживання на основі ключових показників для групи однотипних споживачів з врахуванням інтересів споживача, що дає змогу оцінити ефект від впровадження програм з керування попиту на електричну енергію. Особливості споживачів враховані коефіцієнтом гнучкості їх попиту k_p .

Практична значимість. Отриманий алгоритм оцінки можливості впровадження інноваційних програм керування попитом для оптимізації режимів електроспоживання. Встановлено, що побутові споживачі електричної енергії мають значний потенціал зниження пікового споживання шляхом використання програм з керування попиту на електричну енергію, спрямованих на зменшення витрат для споживачів та збільшення коефіцієнта заповнення для енергетичних компаній.

Ключові слова: Smart Grid, електропостачання, енергоефективність, керування попитом, DSM, нерівномірність добового графіка.

Вступ. Незважаючи на істотні відмінності у виробничо-організаційній структурі енергетики різних країн, методах контролю діяльності електропостачальних компаній та ціноутворення, механізми функціонування енергетичних систем мусять забезпечувати відповідний обсяг генерувальних потужностей на основі очікуваного споживчого попиту і режимних вимог до рівня резерву з впровадженням ринкового механізму ціноутворення для підтримання балансу та зниження втрат. Менеджмент попиту на енергію *energy demand management*, також відомий як керування попитом на енергію *demand-side management* (DSM) або реакція на попит *demand response* (DR) [1] спрямований на зміну попиту споживачів енергії шляхом використання різних методів, наприклад, фінансових стимулів чи ініціатив з енергоефективності [2].

Постановка завдання. Численні науково-дослідні роботи, експериментальні та пілотні проекти у провідних країнах світу виявили, що економічно ефективні програми керування попитом дають можливість знизити споживання електроенергії та піковий попит приблизно до 20% без використання централізованого контролю [3, 4, 5]. На сьогодні в

Україні відсутні діючі програми з керування попиту на електричну енергію. З метою поширення кращих світових практик залучення DSM в політику енергоефективності проаналізовано можливий ефект від впровадження таких програм на основі максимізації коефіцієнта заповнення графіка – як показника зменшення втрат та мінімізації витрат споживача – як показника зацікавленості.

Результати дослідження. В сучасних умовах конкуренції на лібералізованих ринках електроенергії розвинутих країн світу, в тому числі і України, споживач отримує право вільного вибору постачальника електроенергії, що сприяє посиленню конкуренції за надання кращих послуг та активізації впровадження інноваційних технологій.

В електроенергетичних системах DR відноситься, в основному, до тимчасового зниження обсягів електроспоживання, середня тривалість заходів складає 1–4 год та є відповіддю на цінові сигнали ринку електричної енергії чи оператора електричної мережі. Ефект від застосування вимірюється в кВт спожитої потужності (також відноситься до зменшення пікового споживання кВт·год) та зменшенні витрат [6, 7].

На відміну від DR, програми, пов'язані з DSM, спрямовані на довгострокову перспективу функціонування, і включають зменшення загального рівня енергоспоживання шляхом впровадження заходів з підвищення енергоефективності та енергозбереження. Ефект від застосування вимірюється в кВт·год. (також застосовується для оцінки зменшення пікового споживання в кВт) [9].

Результатом впровадження програм DSM вигоду отримують не лише домогосподарства, підприємства та комунальні структури, але й суспільство в цілому. За сферою дії програми DSM можна поділити на регіональні програми, локальні програми, програми для промислового району та одиничні програми які можуть впроваджуватись безпосередньо на підприємствах в рамках існуючих систем енергетичного менеджменту та планування енергоспоживання.

В табл. 1 наведені основні очікувані результати впровадження програм DSM для різних сфер: економічний ефект від впровадження, стимулювання ринкових перетворень та зростання конкурентоспроможності учасників програм, підвищення енергобезпеки, зменшення негативного впливу діяльності енергетичних систем та комплексів на навколишнє середовище.

Таблиця 1

Основні очікувані результати впровадження програм DSM

Сфера дії / рівень дії	Регіональний	Локальний	Промисловий район	Підприємство/ об'єднання	Технологія/ дільниця
Економічний ефект	Стимулювання економічного розвитку регіону	Стимулювання економічного розвитку на районному рівні	Стимулювання економічного розвитку на місцевому рівні	Зменшення рахунків за спожиту електроенергію	Скорочення витрат на технічне обслуговування
Ринкові перетворення	Стимулювання ринкових перетворень	Збільшення конкурентоспроможності місцевих підприємств	Підвищення кредитної привабливості	Стимулювання до управління режимами роботи	Скорочення витрат на заміну устаткування
Матеріальний ефект	Створювання довгострокових робочих місць	Зниження потреб в будівництві нових великих об'єктів.	Підвищення привабливості РГ та НВДЕ	Додаткові джерела отримання прибутку	Можливості для впровадження нових систем управління

Продовження таблиці 1

Екологічні переваги	Скорочення викидів національних та міжнародних екологічних проблеми	Зниження забруднення повітря на районному рівні	Підвищення комфорту на місцевому рівні	Створення сприятливих умов праці	Нормалізація мікроклімату
Енергобезпека	Підсилення національної безпеки шляхом ослаблення залежності від зовнішніх джерел енергії	Підвищення якості та надійності електрозабезпечення	Зростання кількості джерел РГ та ВДЕ	Зниження ризиків пов'язаних з аварійним відключенням	Загальне зменшення витрат

Очевидно, що при впровадженні механізмів DSM необхідним є проведення оцінювання ефективності керування попитом, яке зазвичай виконується за такими показниками як:

- коефіцієнт заповнення графіка навантаження k_3 ;
- сумарна вартість спожитої електричної енергії C_e .

Необхідно застосовувати два критерії, що представлені у вигляді цільових функцій (ЦФ) [10]. Перша ЦФ відповідає максимізації коефіцієнту заповнення графіка навантаження k_3 :

$$\text{Max } k_3 = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^J P_{(i,j)} t_j}{\sum_{j=1}^J t_j \sum_{i=1}^N P_{(i,j)}} \quad (1)$$

де оптимізаційними змінними вибрані значення споживаної потужності $P_{(i,j)}$ на інтервалі часу t_j (зазвичай часовий інтервал приймає значення 1-2 години) по групам споживачів i . Чисельник цільової функції представляє собою кількість спожитої електричної енергії. ЦФ є лінійною відносно оптимізаційних змінних. Розмірність задачі складає $N \times J$, де N – кількість груп споживачів а J – кількість інтервалів часу [9].

Друга ЦФ відповідає мінімізації витрат коштів на електричну енергію C_e :

$$\text{Min } C_e = \left[\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^J P_{(i,j)} \cdot t_{(j)} \cdot ce_{(i,j)} \right] + \left[\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^J P_{(i,j)} \cdot t_{(j)} \cdot cd_{(i,j)} \right], \quad (2)$$

де ЦФ за критерієм ce також є лінійною і представляє собою мінімізацію витрат коштів на спожиту електричну енергію. Оптимізаційними змінними вибрані: значення споживаної потужності $P_{(i,j)}$ на інтервалі часу t_j по групах споживачів i , тариф на електричну енергію ce , плата за встановлену потужність cd . Перший доданок представляє собою плату за обсяг спожитої енергії, другий доданок представляє плату за встановлену потужність.

Оптимізовані графіки добового споживання електричної енергії будуються з врахуванням обмежень:

$$P_{new}(i) = P_{old}(i) \forall t_o \rightarrow t_k, t_h \rightarrow T_D, \quad (3)$$

тобто загальний обсяг спожитої потужності P на інтервалі часу $(t_o; T_D)$ залишається незмінним та на кожному інтервалі має відповідати обмеженням:

$$P_{new}(i) \leq P_{(value1)} \forall t_k \rightarrow t_h, \quad (4)$$

$$P_{new}(i) \geq P_{(value2)} \forall t_k \rightarrow t_h, \quad (5)$$

проте пікове споживання з інтервалу часу $(t_k; t_h)$ рівномірно переноситься на інтервали часу $(t_o; t_k) \cup (t_h; T_D)$.

$$P_{(value2)} \leq P_{(value1)}, \quad (6)$$

де обмеження задачі стосуються необхідності збереження сумарної за розрахунковий період спожитої потужності: $P_{new}(i) = P_{old}(i)$, обмеження допустимих величин максимальної споживаної потужності: $P_{new}(i) < P_{max}$, що впливають з граничних можливостей мережі та електроенергетичної системи, як наприклад, обмежена потужність генеруючого устаткування локальних електроенергетичних систем, обмеження на пропускну здатність розподільної мережі, трансформаторів, тощо.

Наведене формулювання оптимізаційної задачі є дещо спрощеним і не враховує можливості споживача змінювати профілі споживання в автоматичному режимі для різних типів устаткування. Як приклад, споживачу групи домогосподарства набагато простіше змінити профіль споживання посудомийної машини ніж системи освітлення. Для врахування можливості споживачів змінювати рівень споживання власного обладнання, необхідно ввести третій критерій і сформулювати відповідну оптимізаційну задачу, яка характеризуватиме собою мінімізацію ступеня нерівномірності початкового графіка навантаження після застосування програм DSM – $\min F_{граф}$.

Особливості споживачів враховані коефіцієнтом гнучкості їх попиту $k_r \in (0;1]$, що може приймати значення від 0 до 1, де значення 0 відповідає найменшій гнучкості обладнання, 1 – максимальній гнучкості, тобто готовності споживача змінювати профіль споживання конкретного обладнання шляхом перенесення споживання на інші часові інтервали.

Нелінійна багатокритеріальна оптимізаційна задача для ЦФ $F_{граф}$:

$$\min F_{граф} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^T (P_{new}(i) - P_{old}(i))^2 \cdot \frac{1}{k_r(i)} \quad (7)$$

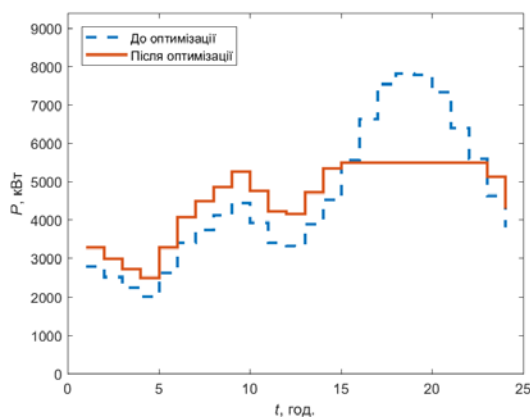
$$\min y = \begin{cases} C(P_{new}) \rightarrow \min \\ Cur(P_{new}) \rightarrow \min \\ E_{new} = E_{old} \\ P_{new}(i) \leq P_{max} \end{cases} \quad (8)$$

де $Cur(P_{new})$ – мінімізація нерівномірності форми графіка, $C(P_{new})$ – мінімізація витрат на спожиту електроенергію, при збереженні балансу енергій $E_{new} = E_{old}$ та з врахуванням обмеження на максимально можливу потужність $P_{new}(i) \leq P_{max}$.

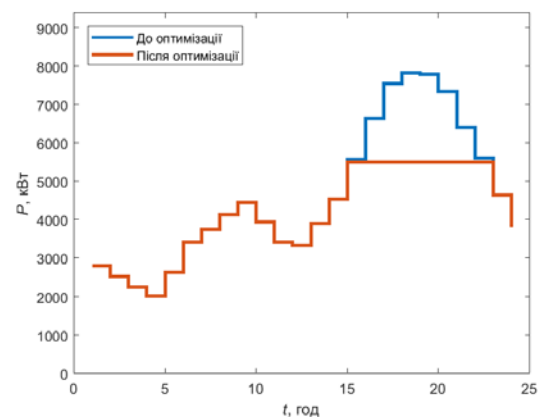
Пропонується окремо розглядати пари критеріїв, що відповідають цілям споживача та електропостачальної організації:

- 1) коефіцієнт завантаження та коефіцієнт нерівномірності графіка споживання;
- 2) зменшення вартості спожитої електроенергії та коефіцієнта нерівномірності графіка споживання.

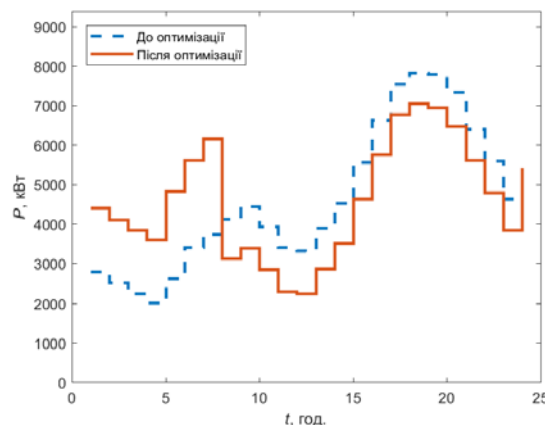
Для ілюстрації роботи результатів роботи оптимізаційної моделі вибрана група з однієї тисячі побутових домогосподарств, в яких вибрано основне обладнання у складі: пральні та посудомийні машини, опалення та кондиціонування, холодильники, освітлення, обладнання для приготування їжі та системи мультимедіа. Надалі розглядаються усереднені значення потужностей для типових устаткувань даного класу. Результати моделювання для групи споживачів «Домогосподарства» представлено на рис. 1. Необхідно зазначити, що в якості критерію зменшення витрат на спожиту електричну енергію вибраний діючий двозонний тариф, а коефіцієнти гнучкості обладнання обирались з власного досвіду низки експертів щодо користування побутовими приладами. Моделювання проводилось в програмному комплексі MatLab.



1.а Максимізація коефіцієнта заповнення зі збереження балансу



1.б Максимізація коефіцієнта заповнення без збереження балансу



1.в Мінімізація витрат зі збереженням балансу спожитої електроенергії

Рис. 1. Результати моделювання

За результатами моделювання отримані оптимізовані криві графіків споживання для трьох варіантів: рис. 1а – максимізація коефіцієнта заповнення зі збереженням балансу спожитої потужності, рис. 1б – максимізація коефіцієнта заповнення без збереження балансу, тобто теоретично можливе відключення приладів у години пікового споживання, рис. 1в – мінімізація витрат зі збереженням балансу спожитої електроенергії, де з врахуванням діючих тарифів та коефіцієнта гнучкості споживання в період 7:00 – 23:00 годин переноситься на нічну зону. Пропонується розглядати варіанти максимізації коефіцієнта заповнення з незмінним балансом спожитої електричної енергії та мінімізації витрат зі збереженням балансу спожитої електроенергії як такі, що можуть бути досягнуті при впровадженні програм з керування попиту. В табл. 2 наведені числові значення отриманих ЦФ по витраті коштів та коефіцієнта заповнення графіка до та після оптимізації, також наведена зміна величини їх числових значень.

Таблиця 2

Отримані результати

Значення цільової функції	До оптимізації	Після оптимізації	Зміна показника, %
Витрати коштів C_e тис. грн	189,6	174,8	7,8
Коефіцієнт заповнення k_z відносні одиниці	0,587	0,835	29,63

Для оцінки результатів оптимізації, пропонується використати не лише показники C_e та k_z , а також показник зменшення рівня втрат, на основі величини реактивної потужності Фризе Q_ϕ для миттєвих значень $Q_\phi^2 = S^2 - P^2$ [10], поширеної на добовий інтервал часу [8]. При цьому, розрахунок може бути спрощений при умові повністю активного споживання $\cos\phi = 1$ та розрахунку втрати напруги як:

$$\Delta U_{\%} = \frac{P \cdot R - Q \cdot X}{10U_n^2} = \frac{P \cdot R}{10U_n^2}; \quad (10)$$

Розрахункове значення показника для інтервалу часу розраховується як:

$$Q_{\phi,24}^2 = \left(U_0^2 + \sum_{j=1}^n \Delta U_j^2 \delta_j \right) \left(I_0^2 + \sum_{j=1}^n \Delta I_j^2 \delta_j \right) - U_0^2 I_0^2. \quad (11)$$

Зміна числових значень розрахункового показника $Q_{\phi,24}$ для добового інтервалу наведена в табл. 3.

Таблиця 3

Результати зміни показника $Q_{\phi,24}$

Зміна $Q_{\phi,24}$ при оптимізації за критеріями:	$Q_{\phi,24}$ (кВАр) до оптимізації	$Q_{\phi,24}$ (кВАр) після оптимізації	ΔQ_ϕ (%)
Витрати коштів, C_e	1817,2	1412,9	22,25
Коефіцієнт заповнення, k_z	1817,2	980,2	46,1

Висновки:

1. Проведені дослідження варіантів впливу програм з керування попиту на можливості видозміни добового графіка споживання електричної енергії підтверджують

наявність можливості підвищення ефективності функціонування електроенергетичних систем.

2. Класифіковано очікуванні ефекти від впровадження програм з керування попиту у відповідності до сфери дії програм та рівню їх впровадження.

3. Встановлено, що побутові споживачі електричної енергії мають значний потенціал зниження пікового споживання шляхом використання програм з керування попиту на електричну енергію, спрямованих на зменшення витрат для споживачів та збільшення коефіцієнта заповнення для енергетичних компаній. Результатом оптимізації споживання стала економія 8% витрат на електричну енергію, що становить 5,4 млн. грн. на рік.

4. Розроблені моделі споживання для побутових споживачів можуть бути перенесені на промислових споживачів за умови врахування реактивної складової споживання $\cos\phi \neq 1$.

5. Перспективи дослідження стосуються розширення можливостей застосування потужності Фризе Q_ϕ як показника впливу нерівномірності споживання електричної енергії на рівень витрат.

***Публікація містить результати досліджень, проведених за грантом Президента України за конкурсним проектом (Ф75/223-2018) Державного фонду фундаментальних досліджень.**

Література

1. Government of United Kingdom. "Electricity system flexibility". Ofgem. 7 September 2016.
2. Chiu, Wei-Yu; Sun, Hongjian; Poor, H. Vincent. "Energy Imbalance Management Using a Robust Pricing Scheme". IEEE Transactions on Smart Grid. 4 (2): 896904, 2013 doi:10.1109/TSG.2012.2216554
3. W.-Y. Chiu, H. Sun, H. Vincent, "Energy Imbalance Management Using a Robust Pricing Scheme". IEEE Transactions on Smart Grid. 4 (2): 896904, 2013.
4. C. W. Gellings, Deciding which demand-side management activity to pursue. Efficient use and conservation of energy. EOLSS, 2015.
5. Masood Parvania, Roohallah Khatami, "Continuous-time marginal pricing," of electricity Power & Energy society general meeting, 2017 IEEE, Chicago, IL, USA, 16-20 July 2017.
6. Konstantelos I. Giannelos S. Strbac G., Strategic Valuation of Smart Grid Technology Options in Distribution Networks. IEEE Transactions on Power Systems 32 (2), 2017
7. Денисюк С.П. Дослідження програм з керування попиту на електроенергію та аналіз ефективності їх використання [Текст] / С.П. Денисюк, В.П. Опришко // Technology Audit & Production Reserves. – 2016. – Том 3 (29) – С. 69 – 73. – ISSN 2226-3780
8. Опришко В.П. Регулювання режимів електропостачання в локальних системах microgrid [Текст] / В.П. Опришко // Техн.

References

1. Government of United Kingdom. "Electricity system flexibility". Ofgem. 7 September 2016.
2. Chiu, Wei-Yu; Sun, Hongjian; Poor, H. Vincent. "Energy Imbalance Management Using a Robust Pricing Scheme". IEEE Transactions on Smart Grid. 4 (2): 896904, 2013 doi:10.1109/TSG.2012.2216554
3. Chiu W.-Y., Sun H., Vincent H., "Energy Imbalance Management Using a Robust Pricing Scheme". IEEE Transactions on Smart Grid. 4 (2): 896904, 2013.
4. Gellings C. W., Deciding which demand-side management activity to pursue. Efficient use and conservation of energy. EOLSS, 2015.
5. Masood Parvania, Roohallah Khatami, "Continuous-time marginal pricing," of electricity Power & Energy society general meeting, 2017 IEEE, Chicago, IL, USA, 16-20 July 2017.
6. Konstantelos I. Giannelos S. Strbac G., Strategic Valuation of Smart Grid Technology Options in Distribution Networks. IEEE Transactions on Power Systems 32 (2), 2017.
7. Denysiuk S. P. Doslidzhennia prohram z keruvannia popytu na elektroenerhiu ta analiz efektyvnosti yikh vykorystannia [Tekst] / S.P. Denysiuk, V.P. Opryshko // Technology Audit & Production Reserves. – 2016. – tom 3 (29) – p. 69 – 73. – ISSN 2226-3780
8. Opryshko V. P. Rehuliuvannia rezhymiv elektropostachannia v lokalnykh systemakh microgrid [Tekst] / V.P. Opryshko // Tekhn.

електродинаміка. – 2016. – № 4. – С. 77–79. – ISSN 1607-7970.

9. Attia H.A. Mathematical formulation of the demand side management (DSM) problem and its optimal solution. In: 14th int middle east power syst conf; 2010. p. 953–959.

10. Жуйков В.Я., Денисюк С.П. Енергетичні процеси в електричних колах з ключовими елементами. – К.: Текст, 2010. – 264 с.

elektrodynamika. – 2016. – № 4. – p. 77–79. – ISSN 1607-7970.

9. Attia H.A. Mathematical formulation of the demand side management (DSM) problem and its optimal solution. In: 14th int middle east power syst conf; 2010. p. 953–959.

10. Zhuikov V.I., Denysiuk S.P. Enerhetychni protsesy v elektrychnykh kolakh z kliuchovymy elementamy. – K.: Tekst, 2010. – 264 p.

DENYSIUK S.

spdens@ukr.net

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6299-3680>

Researcher ID: C-2707-2019

Institute of energy sawings and management, Power supply department

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kiev Polytechnic Institute»

OPRYSHKO V.

opryshk@hotmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4963-2490>

Researcher ID: I-3724-2018

Institute of energy sawings and management, Power supply department

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kiev Polytechnic Institute»

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ОПТИМИЗАЦИИ СУТОЧНОГО ГРАФИКА ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ДЕНИСЮК С. П., ОПРЫШКО В. П.

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

Цель. Исследовать возможности применения программ по управлению спросом на электрическую энергию в украинских реалиях. Разработать математическую модель оптимизации режима электропотребления на основе ключевых показателей оценки графика электропотребления и коэффициентов гибкости оборудования.

Методика. Доказано, что в результате внедрения программ по управлению спросом на электрическую энергию выгоду получают не только потребители и энергетические компании, но и общество в целом. Классифицированы программы по управлению спросом на электрическую энергию по сфере действия. В статье рассмотрен метод оптимизации суточного графика электропотребления при внедрении программ по управлению спросом на электрическую энергию.

Результаты. Проанализированы эффекты внедрения программ по управлению спросом и сформированы оптимизационные задачи уменьшения неравномерности графика потребления на основе коэффициента заполнения графика и уменьшения затрат на электрическую энергию.

Научная новизна. Полученные оптимизированные графики электропотребления на основе ключевых показателей для группы однотипных потребителей, с учетом интересов потребителя, что позволяет оценить эффект от внедрения программ по управлению спросом на электрическую энергию. Особенности потребителей учтены коэффициентом гибкости их спроса k_g .

Практическая значимость. Разработанный механизм оценки возможности внедрения инновационных программ DSM для оптимизации режимов электропотребления. Установлено, что бытовые потребители электрической энергии имеют значительный потенциал снижения пикового потребления путем использования программ по управлению спросом на электрическую энергию, направленных на уменьшение расходов для потребителей и увеличения коэффициента заполнения графика для энергетических компаний.

Ключевые слова: Smart Grid, электроснабжение, энергоэффективность, управление спросом, DSM, неравномерность суточного графика.

ANALYSIS OF THE DAILY ELECTRICITY CONSUMPTION SCHEDULE OPTIMIZATION OPPORTUNITIES

DENYSIUK S., OPRYSHKO V.

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kiev Polytechnic Institute»

Purpose. Explore the possibilities of management programs usage to control electricity demand in Ukraine. To develop an optimization mathematical model of the power consumption regime based on key indicators of the consumption schedule estimation and equipment flexibility factors.

Methodology. Proved that as a result of demand side management programs for electricity are benefit of only for consumers and energy companies, but also for a whole society. Classification of demand-management programs for electricity according to spheres of action presented. The article deals with the method for electricity consumption daily schedule optimization while implementing electricity demand management programs.

Findings. The effects of demand management programs implementation and reducing consumption schedule unevenness problems based on optimization task with the schedule coefficient and the cost of electric energy reduction have been analyzed. The conducted variants research of demand side management programs influence on possibilities of electric energy consumption schedule modification confirmed the possibilities of increasing power systems functioning efficiency.

Originality. Optimized energy consumption graphs are obtained based on key indicators for a group of the same type consumers, considering consumer interests, which enables to assess the effect demand side management programs implementation. Consumers peculiarities are considered by coefficient of their demand flexibility k_d .

Practical value. The mechanism for the DSM innovation programs for optimizing power consumption regimes introduction possibility evaluation has been obtained. Established that domestic electric energy consumers have a significant potential for peak consumption reduction by usage of demand side management programs aimed at costs reduction for consumers and increasing the electrical consumption schedule filling ratio for energy companies.

Keywords: Smart grid, power supply, energy efficiency, demand management, DSM, daily graph unevenness.

УДК 004.032.26

ЯГАНОВ П. О., РЕДЬКО І. В.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ПЕРСЕПТРОННИЙ КЛАСИФІКАТОР ТЕПЛООВОГО КОМФОРТУ

Мета. Алгоритмізація управління автоматизованими системами тепловим комфортом людини для встановлення оптимального теплового комфорту з використанням класифікаційних та обчислювальних можливостей найпростішої одношарової нейронної мережі – перцептрону.

Методика. Класифікація гіперпростору станів системи теплового комфорту штучною нейронною мережею, математичний аналіз класифікаційних рівнянь гіперплощин, сформованих внутрішніми нейронами перцептрону, оптимізація стану теплового комфорту шляхом визначення координат проекції вектору-образу теплового комфорту на гіперплощину.

Результати. Розвиток методів і моделей нейронних мереж для формування алгоритму управління системою теплового комфорту людини. Досліджено використання класифікаційних та обчислювальних властивостей перцептрону як інструменту геометричної інтерпретації переходу від дійсного стану теплового комфорту до бажаного у багатовимірному гіперпросторі станів системи, що дозволило відмовитись від формулювання аналітичної оптимізаційної функції.

Наукова новизна. Розвинено і поширено на клас систем теплового комфорту класифікаційні властивості штучної нейронної мережі. Вперше для подальшої формалізації алгоритму зміни параметрів довкілля використано метод Качмажа.

Практична значущість. Енергоефективність складних багатофакторних динамічних технічних систем забезпечується не тільки досконалим сучасним обладнанням, але і раціональними моделями управління. Технології нейронних мереж дозволяють оптимально використати класифікаційні та обчислювальні можливості штучних нейронних мереж для формування команд управління виконавчим пристроям систем теплового комфорту.

Ключові слова: тепловий комфорт, нейронні мережі, перцептрон, гіперпростір станів, класифікаційні гіперплощини, проекція вектору-образу теплового комфорту на гіперплощину.

Вступ. Тепловий комфорт пов'язують із суб'єктивним відчуттям людини довкілля у її повсякденній життєдіяльності. Для об'єктивної оцінки ТК необхідні числові оцінки цього відчуття, на підставі яких можливе якісне проектування мікроклімату житлових приміщень, зон роботи і відпочинку, створення належних умов праці у замкнених просторах на зразок кабін і капсул літальних, надводних і підводних апаратів тощо.

Сутність теплового комфорту як функції багатьох змінних досліджена у багатьох наукових працях, в яких враховано фізіологічні особливості людського організму і його реакцію на зовнішні фактори, що формують відчуття теплового комфорту або дискомфорту [1 – 5]. Головними об'єктивними чинниками, які формують це відчуття, є температура навколишнього середовища, швидкість руху повітря, вологість, теплове випромінювання від навколишніх предметів, фізична активність (рівень метаболізму), термоізоляція одягу. Вони покладені в основу визначення теплового комфорту, яке закріплено у міжнародному стандарті та у національних стандартах країн [6 – 9]. Завдяки цьому створено передумови для розробки алгоритмів і команд виконавчим пристроям для автоматизованих систем життєзабезпечення з метою підтримки процесу оптимізації умов теплового комфорту.

Створення універсальної автоматизованої системи управління тепловим комфортом (АСУ ТК) з наперед визначеними параметрами регулювання є проблемною задачею, оскільки повністю задовольнити потреби усіх користувачів таких систем складно. Адже для деяких з них їх власні суб'єктивні уявлення про тепловий комфорт і бажання внести зміни до

усталених режимів функціонування АСУ ТК будуть тими чинниками збурень, які порушують детермінізм системи і потребуватимуть внесення змін до визначеної моделі.

Надати гнучкості і адаптивності існуючим системам на базі аналогової і цифрової схемотехніки може залучення технологій нейронних мереж для систем прийняття рішень у АСУ ТК. З їх допомогою здійснюють класифікацію та кластеризацію станів технічної системи, що забезпечує тепловий комфорт, формують команди управління для виконавчих пристроїв, керують режимами об'єктів зі складною і розгалуженою структурою, залучають до формування рішення динамічні зміни, що відбуваються з об'єктом управління. Вони здатні швидко реагувати на зміну умов функціонування у режимах реального часу, забезпечуючи необхідні адаптаційні властивості, притаманні системам зі штучним інтелектом, а у їх апаратно-програмній реалізації використовують програмовані логічні інтегральні схеми. В роботах [10, 11, 12] наведено приклади використання двошарових штучних нейронних мереж з нелінійними функціями активації як для обчислення індексів теплового комфорту, так і для класифікації температурних образів мікроклімату для агропромислового виробництва, де температура обрана основним параметром мікроклімату.

Метою даної роботи є використання класифікаційних та обчислювальних властивостей перцептронів як найпростішої одношарової нейронної мережі для алгоритмізації управління автоматизованими системами тепловим комфортом людини.

Розвиток можливостей методів і моделей штучних нейронних мереж досліджено на прикладі перцептронів для формування алгоритму управління тепловим комфортом і встановлення оптимального для користувача системи вектора-образа теплового комфорту. Для досягнення мети зважені вагові суми синаптичних коефіцієнтів вихідних нейронів перцептронів розглянуто як рівняння класифікаційних гіперплощин у гіперпросторі станів системи теплового комфорту, на поверхні яких знаходяться проекції векторів-образів бажаного теплового комфорту.

Основна частина. Дослідження з ергономіки теплового середовища свідчать про те, що навіть при ідеально підібраних параметрах доквілля, у якому прогнозована середня оцінка людьми теплового комфорту (параметр PMV, англ. «Predicted Mean Vote») є прийнятною, знайдеться не менше 5% людей, які оцінять його як дискомфортне. Для них уведено показник прогнозованого відсотка незадоволених (англ. PPD – Predicted Percentage Dissatisfied»), який розраховують за формулою:

$$PPD = 100 - 95 \cdot \exp(-0,03353 \cdot PMV^4 - 0,2179 \cdot PMV^2).$$

Показники PPD та PMV визначають межі теплового комфорту і дискомфорту. Ефективність АСУ ТК оцінюють за здатністю забезпечити потрібний режим будь-якому користувачу системи з мінімальними енерговитратами. Цю задачу можна вирішити, застосовуючи технології нейронних мереж.

Нейронні мережі є визнаним і апробованим інструментом класифікації і ідентифікації станів технічних систем і технологічних процесів. Моделі нейронних мереж реалізовані як програмно, так і апаратно. Серед програмних емуляторів нейронних мереж найбільш відомими є пакет прикладних програм Neural Network Toolbox (NNT) у складі системи комп'ютерної математики MATLAB, програмні пакети GeneHunter, NeuroShell Trader, NeuroShell Classifier та інші.

У даній роботі було використано обчислювальні можливості утіліти NNT. Для класифікації станів ТК створено одношаровий перцептрон з пороговою функцією активації. Кількість вхідних нейронів відповідає позиціям вхідного вектора-образу, сформованого головними змінними x_j , що визначають ТК згідно [6 – 9], а кількість вихідних нейронів – авторській класифікації на 10-ти рівнях, яка відображена у таблиці 1. За основу взято показник PMV. Запропонована у таблиці 1 класифікація не розглядається як остаточна, а є базовою. Вона може змінюватись у залежності від суб'єктивних уявлень про тепловий комфорт користувача системи. Він призначає «правильну» реакцію перцептрона на вхідний вектор-образ. Тоді синаптичні коефіцієнти перцептрону коригуються у процесі перенавчання нейронної мережі.

Таблиця 1

Класифікація діапазонів індексів теплового комфорту

№	Діапазон PMV	Клас
1	-1,0 ... -0,7	Помірно холодно
2	-0,7 ... -0,5	Прохолодно
3	-0,5 ... -0,3	Помірно прохолодно
4	-0,3 ... -0,2	Приємна прохолода
5	-0,2 ... 0,0	Комфортна прохолода
6	0,0 ... +0,2	Теплий комфорт
7	+0,2 ... +0,3	Приємно тепло
8	+0,2 ... +0,5	Помірно тепло
9	+0,5 ... + 0,7	Тепло
10	+0,7 ... +1,0	Помірно спекотно

Основні результати. Для проведення обчислень індексу PMV як функції основних змінних теплового комфорту доступні пакети прикладних програм як мовами високого рівня [13, 14], так і відносно прості алгоритми у табличному редакторі Microsoft Excel. Скориставшись ними, за допомогою генератора випадкових чисел у межах змін основних факторів (дивись таблицю 2) отримали понад 6000 значень індексу PMV за рівняннями (1) – (4) [9], а для навчаючої і тестової вибірки теплового комфорту залишили 1220 векторів-образів і 3000 векторів-образів відповідно:

$$PMV = [0,303 \cdot \exp(-0,036 \cdot M) + 0,028] \cdot \{(M - W) - 3,05 \cdot 10^{-3} \cdot [5733 - 6,99 \cdot (M - W) - p_a] - 0,42 \cdot [(M - W) - 58,15] - 1,7 \cdot 10^{-5} \cdot M \cdot (5867 - p_a) - 0,0014 \cdot M \cdot (34 - t_a) - 3,96 \cdot 10^{-8} \cdot f_{cl} \cdot [(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4] - f_{cl} \cdot h_c \cdot (t_{cl} - t_a)\},$$

$$\text{де } t_{cl} = 35,7 - 0,028 \cdot (M - W) - I_{cl} \cdot \{3,96 \cdot 10^{-8} \cdot f_{cl} \cdot [(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4] + f_{cl} \cdot h_c \cdot (t_{cl} - t_a)\},$$

$$h_c = \begin{cases} 2,38 \cdot |t_{cl} - t_a|^{0,25} & \text{при } 2,38 \cdot |t_{cl} - t_a|^{0,25} > 12,1 \cdot \sqrt{v_{ar}} \\ 12,1 \cdot \sqrt{v_{ar}} & \text{при } 2,38 \cdot |t_{cl} - t_a|^{0,25} < 12,1 \cdot \sqrt{v_{ar}} \end{cases}$$

$$f_{cl} = \begin{cases} 1,00 + 1,290 \cdot l_{cl} \text{ при } l_{cl} \leq 0,078 \frac{m^2 \cdot K}{Bm} \\ 1,05 + 0,645 \cdot l_{cl} \text{ при } l_{cl} > 0,078 \frac{m^2 \cdot K}{Bm} \end{cases}$$

M – рівень метаболізму, Вт/м²;
 W – ефективна механічна енергія, Вт/м²;
 I_{cl} – коефіцієнт теплоізоляції одягу, м² К/Вт;
 f_{cl} – фактор площі ізоляції одягу;
 t_a – температура повітря, °С;
 $\bar{t}_r$ – середня температура випромінювання, °С;
 v_{ar} – відносна швидкість руху повітря, м/с;
 p_a – тиск водної пари, Па;
 h_c – коефіцієнт конвекційного теплообміну, Вт/(м² К);
 t_{cl} – температура поверхні одягу, °С.
Параметри t_{cl} та h_c обчислюються ітераційно.

Таблиця 2

Діапазони змінних вектору-образу теплового комфорту

Змінна	x_1 $t_a, ^\circ\text{C}$	x_2 $\bar{t}_r, ^\circ\text{C}$	x_3 $v_{ar}, \text{м/с}$	x_4 RH, %	x_5 M, met	x_6 I_{cl}, clo	x_7 $PMV, \text{ум.од.}$
Макс.	30	40	1,0	60	4	2,0	+2
Мін.	10	10	0,01	40	0,8	0,002	-2

Вологість RH у межах 40 ... 60 % розрахована за парціального тиску водяної пари у повітрі p_a , що не перевищує 2700 Па. Одиниця метаболізму: $1 \text{ met} = 58 \frac{Bm}{m^2}$. Одиниця теплоізоляції одягу: $1 \text{ clo} = 0,155 \frac{^\circ\text{C} \cdot m^2}{Bm}$.

Синаптичні коефіцієнти w_{ij} навченої нейромережі формують рівняння класифікаційних гіперплощин H^i у семивимірному просторі станів ТК виду:

$$\sum_{j=0}^7 w_{ij} \cdot x_j = 0,$$

де i – номер класифікаційної гіперплощини;

j – номер синапсу,

$$x_0 = 1$$

Якщо стан теплового комфорту визначається вектором, що не належить класифікаційній гіперплощині, то $\sum_{j=0}^7 w_{ij} \cdot x_j \neq 0$. У персептроні функція активації порогова (hardlim) з нульовим порогом. Тому на вихідних нейронах буде генеруватись «1», якщо $\sum_{j=0}^7 w_{ij} \cdot x_j \geq 0$, або «0», якщо $\sum_{j=0}^7 w_{ij} \cdot x_j < 0$. На цих же нейронах формується також бінарний вектор, який вказує на певний стан теплового комфорту, у якому перебуває система. Його двійковий код використовують для формування керуючих сигналів управління виконавчими пристроями.

Для зміни стану теплового комфорту необхідно синтезувати керуючий сигнал виконавчим пристроям на встановлення нових параметрів температури навколишнього середовища, вентиляції, вологості тощо. Рівняння (1) – (4) розглядають ці параметри як змінні, від яких залежить функція (PMV). Але після класифікації станів потрібно мати алгоритм щодо встановлення цих змінних в залежності від класу теплового комфорту. За рівняннями (1) – (4) це зробити можна тільки, здійснюючи перебір параметрів до досягнення бажаного рівня PMV.

Альтернативою цьому може стати ітераційний перехід до потрібного стану, використовуючи результат класифікації станів теплового комфорту нейронною мережею. Якщо система перебуває у стані з координатами $\{x_{ij}^0\}$, то першим кроком буде визначення відстані до найближчої розділової гіперплощини H^k : $d_k = \frac{\sum_{j=0}^7 w_{kj} \cdot x_{ij}^0}{\sqrt{\sum_{j=1}^7 w_{kj}^2}}$. Врахуємо, що

$x_{i0}^0 = 1$. Знак d_k вкаже на розташування точки з координатами $\{x_{ij}^0\}$ і початку координат відносно цієї гіперплощини: якщо $d_k > 0$, це означатиме, що точка $\{x_{ij}^0\}$ і початок координат розташовані по різні боки від гіперплощини, а $d_k < 0$ – що вони розташовані по один бік від гіперплощини. Це допоможе зорієнтуватись перед виконанням наступного кроку, на якому визначають проекцію точки $\{x_{ij}^0\}$ на k -ту гіперплощину H^k , яка розташована у напрямку точки бажаного комфорту $\{x_{ij}^{opt}\}$. Ця проекція p_k з координатами $\{x_{kj}^{pk}\}$ далі проектується на наступну $(k + 1)$ -у гіперплощину H^{k+1} і так до тих пір, поки не буде досягнуто бажаного результату. Координати останньої проекції $\{x_{kj}^{pk}\}$ і точки $\{x_{ij}^{opt}\}$ можуть не співпадати. Можна або прийняти рішення, яке отримано внаслідок реалізації алгоритму, або здійснити ще одне корегування на останньому етапі. Після цього оцінюють шлях від початкової точки $\{x_{ij}^0\}$ до $\{x_{ij}^{opt}\}$. Подібну послідовність дій реалізують у методі Стефана Качмажа, відшукуючи відстань від точки у гіперпросторі станів до найближчої точки перетину усіх гіперплощин як спосіб розв'язку систем лінійних алгебраїчних рівнянь [15, 16].

Обґрунтування результатів. Проілюструємо цей перехід прикладом. Для спрощення звузимо простір станів системи теплового комфорту, яка перебуватиме в умовах постійної вологості (RH = 50 %), метаболізму (1 met), теплоізоляції одягу (1 clo), що є типовим для розслабленого стану офісного службовця, що сидить [9], до трьох змінних, а саме: температури повітря (t_a , °C), середньої температури випромінювання ($\bar{t}_r$, °C) та відносної швидкості руху повітря (v_{ar} , м/с). У результаті здійсненої класифікації оберемо дві розділові гіперплощини ($i = 1, 2$), загальні рівняння яких: $\sum_{j=0}^3 w_{ij} \cdot x_j = 0$, де $x_0 = 1$. У таблиці 3 наведено коефіцієнти рівнянь двох гіперплощин.

Таблиця 3

Коефіцієнти рівнянь класифікаційних гіперплощин

Коефіцієнти рівняння	Гіперплощини	
	H^1 (PMV = -1,0)	H^2 (PMV = 0,0)
w_{i0}	1,6456	1,6407
w_{i1}	-0,0648	-0,0475
w_{i2}	-0,0273	-0,0205
w_{i3}	0,5476	0,0659

Нехай у початковому стані система ТК перебуває у точці 1 з координатами $\{x_1, x_2, x_3\}$, що представлені у таблиці 4. Її відстань від гіперплощини H^1 (PMV = -1,0) $d = 0,453 > 0$ вказує на те, що між нею і початком координат розташовується гіперплощина H^1 .

Таблиця 4

Координати точок теплового комфорту у гіперпросторі станів системи теплового комфорту

Змінна	x_1	x_2	x_3	PMV, ум.од.
№	$t_a, ^\circ\text{C}$	$\bar{t}_r, ^\circ\text{C}$	$v_{ar}, \text{м/с}$	
1	12,83	36,57	0,79	-2
2	12,98	36,60	0,35	-0,99
3	15,0	37,47	-2,45	0,0
4	21,99	25,73	0,16	0,0
5	23,50	23,50	0,10	0,0
6	28,31	16,20	0,42	0,0
7	23,50	25,50	0,20	0,0

Проекцією точки 1 на гіперплощину H^1 (PMV = -1,0) буде точка з координатами у рядку 2, а проекція цієї точки на гіперплощину H^2 (PMV = 0,0) має координати, що наведені у рядку 3. Якщо ці координати не влаштовують користувача або є недосяжними, як у прикладі, що розглядається ($v_{ar} = -2,45 \text{ м/с}$), їх приймають як базові для коригування. Вони належать бажаній гіперплощині H^2 , кожна точка якої відповідає найвищому рівню ТК (PMV = 0,0). У таблиці 4 на позиціях 4 – 7 наведено координати чотирьох вибірових точок цієї гіперплощини. Остаточний вибір бажаного теплового режиму залишається за

користувачем системи на основі аналізу технічних характеристик виконавчих пристроїв АСУ ТК, енергетичної доцільності, швидкодії тощо.

Слід відзначити, що класифікатор на основі навченого персептрону генерує рівняння класифікаційних гіперплощин, які у різних класифікаторів можуть бути різними, залишаючись вірними по суті. Адже між лінійно розділними множинами можна провести багато (загалом безліч) розділових гіперплощин. Від того, по яких з них буде здійснено сходження від точки $\{x_{ij}^0\}$ до точки $\{x_{ij}^{onm}\}$, буде залежати довжина обраного шляху. Описаний спосіб досягнення результату не передбачає формулювання деякої функції $x_{ij}^{onm}(PMV)$ у явному вигляді для оптимізації траєкторії руху у просторі станів системи теплового комфорту.

Висновки. Штучну нейронну мережу розглянуто не тільки як інструмент класифікації станів теплового комфорту, але і як засіб побудови геометричної інтерпретації алгоритму управління виконавчими пристроями з метою досягнення бажаного для користувача стану теплового комфорту. Рух точки з координатами, що визначають тепловий комфорт у гіперпросторі станів технічної системи багатьох змінних, можна здійснювати за траєкторією, сформованою проєкціями точки на класифікаційні гіперплощини. Рівняннями класифікаційних гіперплощин є зважені вагові суми нейронів внутрішнього шару персептрону. Проєкція точки на гіперплощині відповідає певному вектору-образу теплового комфорту. Складові цього вектора є змінні, за допомогою яких встановлюють певний рівень теплового комфорту. Орієнтуючись на них, формують команди виконавчим пристроям системи теплового комфорту.

Подальші дослідження будуть спрямовані на встановлення оптимальних з точки зору енергозбереження і ресурсозбереження траєкторій руху у гіперпросторі станів багатофакторних технічних систем і технологічних процесів, пов'язаних з ергономікою теплових середовищ. Для цього слід враховувати енерговитрати конкретних виконавчих пристроїв.

Література

1. Toftum J., Nielsen R. Draught sensitivity is influences by general thermal sensation. International Journal of Industrial Ergonomics. – 1996. – V. 18(4). – P. 295-305.
2. Toftum J., Nielsen R. Impact of metabolic rate on human response to air movements during work in cool environments. // International Journal of Industrial Ergonomics. – 1996. – V. 18(4). – P. 307-316.
3. Prek M. Exergy analysis of thermal comfort / M. Prek. // International Journal of Exergy. – 2004. – V. 1. – P. 303–315.
4. Возняк О. Т. Вплив параметрів внутрішнього мікроклімату приміщення на теплообмін людини / О. Т. Возняк // Вісник Національного університету "Львівська політехніка": Теорія і практика будівництва. – 2010. – № 662. – С. 84–88.
5. Дешко В.І. Модель теплового комфорту

References

1. Toftum J., Nielsen R. Draught sensitivity is influences by general thermal sensation. International Journal of Industrial Ergonomics. – 1996. – V. 18(4). – P. 295-305.
2. Toftum J., Nielsen R. Impact of metabolic rate on human response to air movements during work in cool environments. // International Journal of Industrial Ergonomics. – 1996. – V. 18(4). – P. 307-316.
3. Prek M. Exergy analysis of thermal comfort / M. Prek. // International Journal of Exergy. – 2004. – V. 1. – P. 303–315.
4. Vozniak, O. T. (2010) Vplyv parametriv vnutrishnoho mikroklimatu prymishchennia na teploobmin liudyny [Influence of parameters of the internal microclimate primishcheniya on heat exchange for man] Visnyk Natsionalnoho universytetu "Lvivska politekhnika": Teoriia i praktyka budivnytstva. – Bulletin of the National University "Lviv Polytechnic": Theory and practice of construction (662), 84–88 [in Ukraine].

- людини для аналізу енергетичних характеристик будівлі / Дешко В.І., Буяк Н.А. // Восточно - Европейский журнал передовых технологий. – 2016. – Т. 4, № 8 (82). – С. 33-41.
6. ISO 7730:2005 (E). Ergonomics of the thermal environment - Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. Third edition 2005-11-15.
7. BS EN ISO 7726: 2001. Ergonomics of the thermal environment–Instruments for measuring physical quantities. – [Execute Date 2001/11/6]. - British Standards: 2001. – p. 62 (Adopted International Standard).
8. ГОСТ Р ИСО 7730-2009. Эргономика термальной среды. Аналитическое определение и интерпретация комфортности теплового режима с использованием расчета показателей PMV и PPD и критериев локального теплового комфорта. Москва. Дата введения 2010-12-01.
9. ДСТУ Б EN ISO 7730: 2011. Ергономіка теплового середовища. Аналітичне визначення та інтерпретація теплового комфорту на основі розрахунків показників PMV і PPD і критеріїв локального теплового комфорту (EN ISO 7730:2011, IDT):– [чинний від 01.07.2013]. – К.: – Мінрегіон України, 2012. – 64 с.
10. Weiwei Liu. A neural network evaluation model for individual thermal comfort / Liu Weiwei, Lian Zhiwei, Zhao Bo // Energy and Buildings. – 2007. – Vol. 39. – P. 1115–1122.
11. Карпенко А.В. Оценка теплового комфорта с использованием искусственной нейронной сети /А.В. Карпенко, А.В. Глебов // Режим доступа http://www.aracy.pф/images/nauka/forum6/forum6_111-115.pdf
12. Русиняк М. О. Алгоритм розпізнавання образів мікроклімату за допомогою штучних нейронних мереж / М. О. Русиняк // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія : Техніка та енергетика АПК. – 2014. – Вип. 194(1). – С. 57 – 63.
13. Calculation of Predicted mean Vote (PMV), and Predicted Percentage Dissatisfied (PPD) [Elecrtonic Resource]. – Mode of access: URL: http://www.eat.lth.se/fileadmin/eat/Termisk_miljoe/PMV-PPD.html.
14. CBE Thermal Comfort Tool [Elecrtonic Resource]. – Mode of access: URL: <http://www.cbe.thermalcomforttools.com/>
5. Deshko, V. I., Buiak, N. A. (2016) *Model teplovoho komfortu liudyny dlia analizu enerhetychnykh kharakterystyk budivli. Vostochno-Evropeyskyi zhurnal peredovykh tekhnolohyi* [Model of thermal comfort of a person for the analysis of energy characteristics of a building]. East European Journal of Advanced Technology, Vol. 4, 8 (82) 33 – 41 [in Ukraine].
6. ISO 7730:2005 (E). Ergonomics of the thermal environment – Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria.
7. Ergonomics of the thermal environment–Instruments for measuring physical quantities: BS EN ISO 7726: 2001. – [Execute Date 2001/11/6]. - British Standards: 2001. – p. 62 (Adopted International Standard).
8. Ergonomika termal'noy sredy. Analiticheskoe opredelenie i interpretatsiya komfortnosti teplovogo rezhima s ispol'zovaniem rascheta pokazateley PMV i PPD i kriteriev lokal'nogo teplovogo komforta. GOST R ISO 7730 – 2009.
9. Erhonomika teplovoho seredovyscha. Analitychne vyznachennia ta interpretatsiia teplovoho komfortu na osnovi rozrakhunkiv pokaznykiv PMV i PPD i kryteriiv lokalnoho teplovoho komfortu (EN ISO 7730:2011, IDT): DSTU B EN ISO 7730: 2011. – [chynnyi vid 01.07.2013]. – K.: – Minrehion Ukrainy, 2012. – 64 p.
10. Weiwei Liu. A neural network evaluation model for individual thermal comfort / Liu Weiwei, Lian Zhiwei, Zhao Bo // Energy and Buildings, 39 (2007). P. 1115 – 1122.
11. Karpenko, A.V., Glebov, A.V. (2016) Otsenka teplovogo komforta s ispol'zovaniem iskusstvennoy neyronnoy seti [Estimation of thermal comfort using artificial neural network]. Retrieved from: http://www.aracy.pф/images/nauka/forum6/forum6_111-115.pdf [in Russian].
12. Rusyniak, M. O. (2014). *Alhorytm rozpoznavannia obraziv mikroklimatu za dopomohoiu shtuchnykh neuronnykh merezh* [Algorithm for the recognition of microclimate images using artificial neural networks]. Naukovyi visnyk Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy. Seriiia : Tekhnika ta enerhetyka APK – Scientific Bulletin of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. Series: Engineering and Power Engineering of Agroindustrial Complex, 194(1), 57 – 63 [in Ukraine].
13. Calculation of Predicted mean Vote (PMV), and Predicted Percentage Dissatisfied (PPD) [Elecrtonic Resource]. – Mode of access: URL:http://www.eat.lth.se/fileadmin/eat/Termisk_miljoe/PMV-PPD.html.

://comfort.cbe.berkeley.edu.

15. Kaczmarz S. Angenäherte Auflösung von Systemen linearer Gleichungen / S. Kaczmarz // Bulletin International de l'Académie Polonaise des Sciences et des Lettres / Classe des Sciences Mathématiques et Naturelles. Série A, Sciences Mathématiques. – 1937. – Vol. 35. – С. 355-357.

16. Ильин В. П. Об итерационном методе Качмажа и его обобщениях / В. П. Ильин // Сибирский журнал промышленной математики. – 2006. – Т. 9, вып. 3. – С. 39 – 49.

14. CBE Thermal Comfort Tool [Electronic Resource]. – Mode of access: URL: <http://comfort.cbe.berkeley.edu>.

15. Kaczmarz S. Angenäherte Auflösung von Systemen linearer Gleichungen / S. Kaczmarz // Bulletin International de l'Académie Polonaise des Sciences et des Lettres / Classe des Sciences Mathématiques et Naturelles. Série A, Sciences Mathématiques. – 1937. – Vol. 35. – P. 355-357.

16. Il'in, V. P. (2006) Ob iteratsionnom metode Kachmazha i ego obobshcheniyakh [On the iterative method of Kačmaža and its generalizations]. Sibirskiy zhurnal industrial'noy matematiki – Siberian Journal of Industrial Mathematics, Vol. 9, 3, 39 – 49 [in Russian].

YAHANOV P. O.

pitoryahanov@gmail.com,

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7358-9846>

Researcher ID: J-3449-2017

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kiev Polytechnic Institute»

RED'KO I. V.

redkoigor@ukr.net

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3121-1412>

Researcher ID: J-7576-2017

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kiev Polytechnic Institute»

ПЕРСЕПТРОННЫЙ КЛАССИФИКАТОР ТЕПЛООВОГО КОМФОРТА

ЯГАНОВ П. А., РЕДЬКО И. В.

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

Цель. Алгоритмизация управления автоматизированными системами тепловым комфортом человека для установления оптимального теплового комфорта с использованием классификационных и вычислительных возможностей простой однослойной нейронной сети – персептрона.

Методика. Классификация гиперпространства состояний системы теплового комфорта искусственной нейронной сетью, математический анализ классификационных уравнений гиперплоскостей, сформированных внутренними нейронами персептрона, оптимизация состояния теплового комфорта путем определения координат проекции вектора-образа теплового комфорта на гиперплоскости.

Результаты. Развитие методов и моделей нейронных сетей для формирования алгоритма управления системой теплового комфорта человека. Исследовано использование классификационных и вычислительных свойств персептрона как инструмента геометрической интерпретации перехода от действительного состояния теплового комфорта к желаемому в многомерном гиперпространстве состояний системы, что позволило отказаться от формулировки аналитической оптимизационной функции.

Научная новизна. Развито и распространено на класс систем теплового комфорта классификационные свойства искусственной нейронной сети. Впервые для дальнейшей формализации алгоритма изменения параметров окружающей среды использован метод Качмажа.

Практическая значимость. Энергоэффективность сложных многофакторных динамических технических систем обеспечивается не только совершенным современным оборудованием, но и рациональными моделями управления. Технологии нейронных сетей позволяют оптимально использовать классификационные и вычислительные возможности искусственных нейронных сетей для формирования команд управления исполнительным устройствам систем теплового комфорта.

Ключевые слова: тепловой комфорт, нейронные сети, персептрон, гиперпространство состояний, классификационные гиперплоскости, проекция вектора-образа теплового комфорта на гиперплоскость.

PERCEPTRON CLASSIFIER OF THERMAL COMFORT

YAHANOV P. O., RED'KO I. V.

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kiev Polytechnic Institute»

Purpose. Algorithmic control of automated systems by human thermal comfort for the establishment of optimal thermal comfort with the use of classification and computational capabilities of the simplest single layer neural network – perceptron.

Methodology. Classification of the hyperspace of the states of the thermal comfort system by an artificial neural network, mathematical analysis of the classification equations of the hyperplanes, formed by the internal periphery perceptron neurons, optimization of the thermal comfort state by determining of the coordinates of the projection of the thermal comfort vector-image on the hyperplane.

Findings. Development of methods and models of neural networks for forming of the algorithm of control of human thermal comfort system. The use of classification and computational properties of the perceptron as an instrument of geometric interpretation of the transition from the real to the desired state of thermal comfort s in the multidimensional hyperplane space has been studied. Such an approach made it possible to abandon of the formulation of the analytical optimization function.

Originality. The classification properties of the artificial neural network have been developed and extended to the class of systems of thermal comfort. For the first time, the method of Kačmaža was used to further formalize the algorithm of environmental parameters change.

Practical value. Energy efficiency of complex multifactorial dynamic technical systems is ensured not only by advanced modern equipment, but by rational management models also. Neural network technologies allow to use the classification and computational capabilities of artificial neural networks optimally to form commands for the devices of thermal comfort systems managing.

Key words: thermal comfort, neural networks, perceptron, hyperspaces of states, classification hyperplanes, vector-image of thermal comfort projection on a hyperplane.

<https://doi.org/DOI:10.30857/1813-6796.2018.6.4>

УДК 677.027.6

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

Херсонський національний технічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ СТИРОЛ-АКРИЛОВОЇ ПОЛІМЕРНОЇ МАТРИЦІ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ПОКРИТТЯ НА БАВОВНЯНОМУ ТРИКОТАЖІ

Мета. Мета роботи полягає у дослідженні фізико-хімічних властивостей стирол-акрилової полімерної плівки для формування покриття на текстильному матеріалі.

Методика. У якості об'єкта дослідження використана водна дисперсія стирол-акрилового сополімеру. Застосовані стандартизовані методики дослідження показників фізико-хімічних властивостей полімерних плівок та фізичних властивостей текстильних матеріалів. Вивчення структурних параметрів індивідуальної полімерної плівки проведено з використанням золь-гель методу. Фізичні властивості досліджуваного полімерного матеріалу охарактеризовано за результатами стійкості плівки до гідролітичної деструкції при різній температурі обробки та дії мильно-содового розчину. Якість бавовняного трикотажного полотна зі сформованим полімерним покриттям оцінено за зміною показників гігроскопічності і повітропроникності.

Результати. У роботі наведено результати дослідження структурних і фізичних властивостей полімерної плівки на основі стирол-акрилового сополімеру. За результатами експерименту встановлена необхідність введення зшиваючого агенту до складу композиції для підвищення стійкості полімерного матеріалу до мокрих обробок. Визначено оптимальний склад полімерної композиції для створення покриття на текстильному матеріалі та встановлено концентрацію запропонованої композиції, при якій не погіршуються гігієнічні властивості бавовняного трикотажного полотна.

Наукова новизна. Доведено, що запропонована полімерна композиція дозволяє створити на бавовняному трикотажному полотні стійке покриття і при цьому зберегти його гігроскопічність та повітропроникність.

Практична значимість. Отримані результати експерименту мають практичне значення для розробки нових опоряджувальних складів для текстильних матеріалів.

Ключові слова: стирол-акрилова дисперсія, полімерна плівка, золь-гель метод, гідролітична стабільність, бавовняний трикотаж, гігієнічні властивості.

Вступ. Заключне опорядження дозволяє покращити не тільки зовнішній вигляд тканини, а також надати текстильному матеріалу цілу низку спеціальних властивостей, що досягається шляхом застосування нових опоряджувальних матеріалів і способів обробки. Важливе практичне значення у технології опорядження текстильних матеріалів мають плівкоутворюючі речовини, в якості яких застосовують синтетичні високомолекулярні сполуки – полімери. Основна увага приділяється водним дисперсіям полімерів завдяки їх здатності утворювати покриття з цінними фізико-механічними характеристиками і відповідності сучасним екологічним вимогам [1].

У даний час для створення полімерних покриттів широке застосування знаходять акрилові і сополімерні акрилові водні дисперсії [2 – 4]. Акрилові полімери представляють собою тверді, еластичні, безбарвні і прозорі продукти. Вони термопластичні і легко піддаються переробці різними технологічними способами. Стирол-акрилові дисперсії мають високу швидкість ствердіння та утворюють плівку, яка характеризується еластичністю,

хорошою адгезією до різних матеріалів, водостійкістю, паропроникністю і малою токсичністю [5, 6].

Враховуючи вище викладене, дослідження, спрямовані на розробку нових опоряджувальних композицій на основі акрилових водних дисперсій є актуальними.

Постановка завдання. Основним завданням є дослідження фізичних властивостей полімерних плівок на основі стирол-акрилової дисперсії та впливу сформованого полімерного покриття на гігієнічні властивості текстильного матеріалу.

Результати дослідження. У якості об'єкта дослідження використано водну дисперсію термозшиваючого стирол-акрилового сополімеру (сухий залишок – 45%; рН=7–9; в'язкість при 20°C < 500 мПа·с). З метою визначення ефективності застосування даної полімерної дисперсії для формування покриття на текстильному матеріалі на першому етапі роботи досліджено властивості індивідуальної полімерної плівки.

Важливим показником якості покриття є ступінь затвердіння полімерної плівки, оскільки він визначає комплекс фізико-механічних та захисних властивостей сформованого покриття. У даній роботі ступінь затвердіння полімеру охарактеризовано структурними параметрами просторової сітки.

Для розрахунку структурних параметрів сітки досліджуваного полімеру викорисано золь-гель метод [7]. Визначення частки золь-гель фракції здійснено шляхом послідовного екстрагування зразків ацетоном і бензолом. Далі у ході розрахунків визначено вміст золь-фракції (S), рівноважний ступінь набрякання (α), частку сухого полімеру в набряклому гелі (V_r), ступінь зшивання полімеру (j), частку активних ланцюгів (V_c) за формулами (1–5).

$$S = \frac{m_a - m_b}{m_a} \cdot 100; \quad (1)$$

де m_a – маса зразка після екстрагування ацетоном, г;

m_b – маса зразка після екстрагування бензолом, г.

$$\alpha = \frac{m_n - m_a}{m_a}; \quad (2)$$

де m_a – маса зразка після екстрагування ацетоном, г;

m_n – маса набряклого зразка після екстрагування бензолом, г.

$$V_r = \frac{1}{\alpha}; \quad (3)$$

де α – рівноважний ступінь набрякання.

$$j = \frac{1}{S + \sqrt{S}}; \quad (4)$$

де S – частка золь-фракції.

$$V_c = (1 - S)^2 \cdot (1 - 2 \cdot j \cdot S) \cdot (1 + j \cdot S); \quad (5)$$

де j – ступінь зшивання полімеру;

S – частка золь-фракції.

Розраховані показники характеристик просторової сітки досліджуваного стирол-акрилового сополімеру представлені в табл. 1.

Таблиця 1

Характеристика просторової сітки стирол-акрилової плівки

Вміст золь-фракції (S), %	Вміст гелі-фракції, %	Ступінь набрякання (α)	Частка сухого полімеру в набряклому гелі (V_p)	Ступінь зшивання полімеру (j)	Частка активних ланцюгів (V_c)
3,45	96,55	18,302	0,055	4,540	0,740

При дії розчинника на полімерну плівку відбувається, головним чином, дифузія молекул розчинника, які мають малі розміри і високу рухливість, у високомолекулярну сполуку. Оскільки не всі молекули полімеру опиняються приєднаними до сітки, ця розчинна частина плівки (золь-фракція) у кількості 3,45% вимивається розчинником. Гелі-фракція відповідає частині плівки, яка зв'язана у трьохвимірну полімерну сітку і становить 96,55%.

Розчинення полімерів з лінійними гнучкими молекулами супроводжується набряканням, яке не завжди закінчується розчиненням. У даному випадку (табл. 1) після досягнення рівноважного ступеня набрякання (18,302) процес розчинення припиняється. Причиною цього є наявність поперечних хімічних зв'язків між молекулами полімеру, що виключає розділення макромолекул і їх перехід у розчин. Ступінь зшивання представляє собою число зшитих полімерних ланок, які припадають на одну молекулу і становить 4,540.

До активних ланцюгів відносять ланцюги, здатні нести навантаження при деформаціях. Фрагменти ланцюгів у вигляді вільних кінців і золь-фракція складають пасивну частину сітки. Досліджувана полімерна плівка характеризується високою часткою активних ланцюгів, що складає 0,740.

Аналіз отриманих результатів (табл. 1) показує, що плівка на основі досліджуваного стирол-акрилового сополімеру має значний вміст нерозчинної фракції (96,55%), що обумовлено високим ступенем міжмолекулярного зшивання (4,540).

Оскільки текстильні матеріали з полімерним покриттям під час експлуатації зазнають впливу води і миючих засобів, на наступному етапі роботи досліджено стійкість плівки до гідролітичної деструкції. Зразки полімерних плівок оброблено у воді при різній температурі протягом 1 год. та у мильно-содовому розчині протягом 30 хв. [8]. Гідролітичну деструкцію полімерних плівок оцінено за різницею мас зразків до та після обробки (табл. 2).

Таблиця 2

Стійкість індивідуальної стирол-акрилової полімерної плівки до водної та мильно-содової обробки

Розчин	Температура, °C	Стійкість, %
Вода	40	96,63
	60	92,27
	95	97,18
Мильно-содовий	60	88,36

Результати експерименту (табл. 2) показують, що індивідуальна плівка досліджуваного стирол-акрилового сополімеру має недостатньо високу стійкість до дії води та мильно-

содового розчину. Зниження стійкості до гідролізу обумовлено наявністю гідрофільних груп в молекулярному ланцюзі полімеру, що є характерною особливістю полімерних плівок, утворених з водних дисперсій. У зв'язку з цим для забезпечення високих експлуатаційних властивостей необхідне введення функціональних груп для утворення додаткових зшивок. Це відбувається шляхом введення в полімерну композицію зшиваючих агентів, які реагують з реакційно здатними групами полімерної частинки під час формування плівки [9, 10].

У даній роботі в якості зшиваючого агента використано частково етерифіковану меламінову смолу. Результати впливу концентрації даного зшиваючого агента на стійкість полімерних плівок до мокрих обробок представлені на рис. 1.

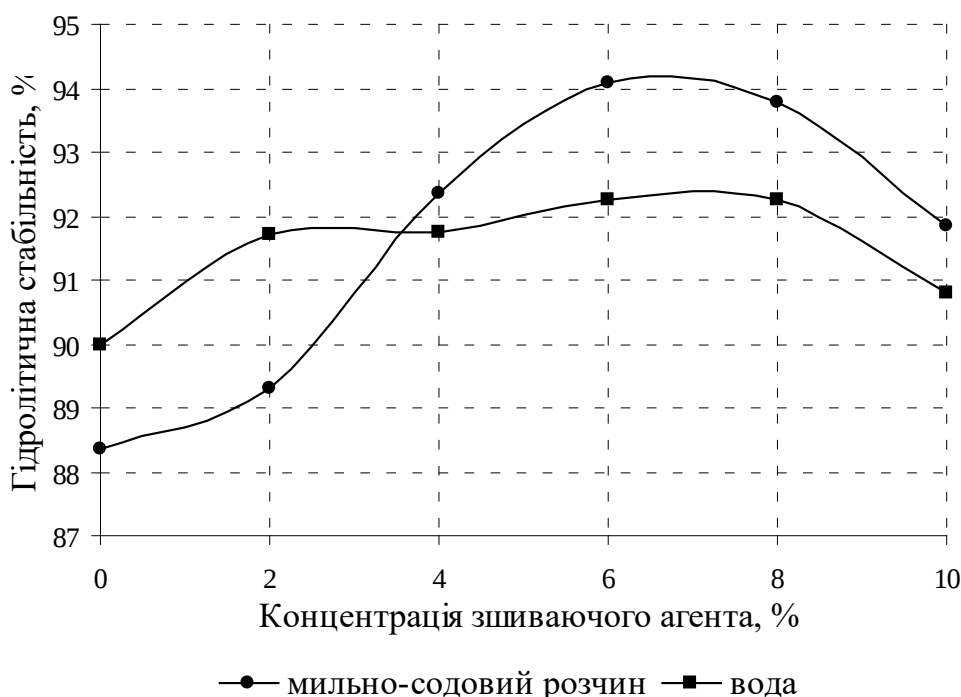


Рис. 1. Вплив зшиваючого агента на стабільність стирол-акрилової полімерної плівки

Аналіз отриманих результатів (рис. 1) показує, що введення в полімерну композицію на основі досліджуваного стирол-акрилового сополімеру обраного зшиваючого агента у кількості 6% від маси композиції дозволяє підвищити гідролітичну стабільність плівки при 60°C з 90% до 92,27%, а також підвищити стійкість до мильно-содової обробки з 88,36% до 94,07%. При перевищенні вказаної концентрації зшиваючого агента його дія призводить до утворення коротких полімерних ланцюгів з високим ступенем зшивання, що погіршує стабільність полімерної плівки.

На наступному етапі роботи досліджено вплив запропонованої полімерної композиції на якість оброблюваного текстильного матеріалу. Полімерне покриття формували на бавовняному трикотажному полотні методом просочування з наступним висушуванням і термофіксацією. Якість трикотажного полотна зі сформованим полімерним покриттям оцінено за зміною гігієнічних властивостей: гігроскопічності і повітропроникності.

Гігроскопічність трикотажного полотна встановлено ваговим методом згідно ДСТУ ГОСТ 3816:2009. Повітропроникність визначено на приладі ВПТМ.2. Результати випробувань наведено у табл. 3.

Таблиця 3

Вплив полімерного покриття на гігієнічні властивості бавовняного трикотажного полотна

Обробка	Гігроскопічність, %	Повітропроникність, $\text{дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$
Без обробки	9,56	388,9
Композиція 50 г/л	9,52	374,3
Композиція 100 г/л	9,23	339,0
Композиція 150 г/л	8,87	305,6

Результати дослідження (табл. 2) показали, що при використанні запропонованої полімерної композиції у концентрації 50 г/л спостерігається незначна зміна гігроскопічності і зменшення повітропроникності трикотажного полотна на 3,75%. Отримані дані гігроскопічності трикотажу свідчать про те, що сформоване полімерне покриття не створює перешкоди для поглинання водяних парів макро- і мікропорами целюлозного волокна. Зниження повітропроникності зразків трикотажного полотна після нанесення полімерного покриття обумовлено зміною параметрів грифу, який набуває наповненості та зберігає м'якість.

При обробці трикотажного полотна розчином з концентрацією полімерної композиції 100 г/л відбувається зниження гігроскопічності та повітропроникності трикотажу на 3,45% і 12,83% відповідно. Підвищення концентрації композиції в просочувальній ванні до 150 г/л призводить до зниження гігроскопічності трикотажу на 7,22% та зменшення його повітропроникності на 21,42%.

Висновки. У результаті проведеного дослідження визначено структурні параметри сітки полімерної плівки на основі водної дисперсії стирол-акрилового сополімеру. Встановлено, що введення в полімерну композицію зшиваючого агента з класу мелаїнових смол в концентрації 6% дозволяє підвищити гідролітичну стабільність полімерної плівки. Застосування запропонованої полімерної композиції в концентрації 50 г/л не призводить до погіршення гігієнічних властивостей оброблюваного бавовняного трикотажного полотна і може бути рекомендоване для створення спеціальних покриттів.

Література

1. Wicks Z. W., Jones F. N., Pappas S. P., Wicks D. A. (2007). Organic Coatings: Science and Technology. Published by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey. 746 p.
2. Горшков Д.С. Покриття на основі стирол-акрилових сополімерів [Текст] / Д.С. Горшков, В.С. Осипчик // Успехи в химии и хим. технол. – 2005. – 19, № 6. –

References

1. Wicks Z. W., Jones F. N., Pappas S. P., Wicks D. A. (2007). Organic Coatings: Science and Technology. Published by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey. 746 p.
2. Gorshkov D. S., Osipchik V. S. (2005). Pokrytiya na osnove stirol-akrilovykh sopolimerov [Coatings based on styrene-acrylic copolymers]. Uspekhi v khimii i khim. tekhnol. 19, 6, 36 – 40 [in Russian].
3. Glubish P.A. (1975). Primeneniye polimerov

С. 36 – 40.

3. Глубиш П. А. Применение полимеров акриловых кислот и ее производных в текстильной и легкой промышленности / П.А. Глубиш. – М.: Легкая индустрия, 1975. – 58 с.

4. Saribyekova Yu. Development of styrene-acrylic polymeric compositions for the coating of textile materials used for packing [Text] / Yu. Saribyekova, O. Kunik, T. Asauliyuk, O. Semeshko, S. Myasnikov // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Technology organic and inorganic substances. – 2017. – Vol. 5, № 6 (89) – P. 35 – 41.

5. Акриловые олигомеры и материалы на их основе / А. А. Берлин [и др.]. – М.: Химия, 1983. – 232 с.

6. Королев Г.В. Ассоциация жидких органических соединений: влияние на физические свойства и полимеризационные процессы / Г.В. Королев, М. М. Могилевич, А. А. Ильин. – М.: Мир, 2002. – 264 с.

7. Практикум по химии и физике полимеров: Учеб. изд./ Н. И. Аввакумова, Л. А. Бударина, С. М. Дивгун и др.; Под ред. В. Ф. Куренкова. – М.: Химия, 1990. – 304 с.

8. Лабораторный практикум по химической технологии текстильных материалов: [под ред. Г.Е. Кричевского]. – М., 1994. – 400 с.

9. Pasichnyk M., Slepchuk I., Michielsen S. (2012). Network characterization and swelling behavior of polymer compositions for surface modification of textile materials. Science, Technology and Higher Education. Monograph: edited by Accent Graphics communications. Canada. Vol. II. P. 479-485.

10. Слечук И. Влияние бесформальдегидных препаратов на процесс отверждения акриловых полимеров, используемых в композиционных отделочных составах [Текст] / И. Слечук, И. Н. Кулиш, Г. С. Сарибеков // Вестник Херсонского национального технического университета – 2012. – № 2 (45). – С. 180-183.

akrilovykh kislot i yeye proizvodnykh v tekstil'noy i legkoy promyshlennosti [The use of polymers of acrylic acids and its derivatives in the textile and light industry]. Legkaya industriya, Moscow [in Russian].

4. Saribyekova Yu., Kunik O., Asauliyuk T., Semeshko O., Myasnikov S. (2017). Development of styrene-acrylic polymeric compositions for the coating of textile materials used for packing. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Technology organic and inorganic substances. 5, 6 (89), 35 – 41.

5. Berlin A.A. (1983). Akrilovyye oligomery i materialy na ikh osnove [Acrylic oligomers and materials based on them]. Khimiya, Moscow [in Russian].

6. Korolev G. V., Mogilevich M. M., Il'in A. A. (2002). Assotsiatsiya zhidkikh organicheskikh soyedineniy: vliyaniye na fizicheskiye svoystva i polimerizatsionnyye protsessy [Association of liquid organic compounds: influence on physical properties and polymerization processes]. Mir, Moscow [in Russian].

7. Avvakumova N. I., Budarina L. A., Divgun S. M., Zaikin A. Ye., Kuznetsov Ye. V., Kurenkov V.F. (1990). Praktikum po khimii i fizike polimerov [Workshop on chemistry and physics of polymers]. Khimiya, Moscow [in Russian].

8. Krichevskiy G.Ye. (1994) Laboratornyy praktikum po khimicheskoy tekhnologii tekstil'nykh materialov [Laboratory Workshop on Chemical Technology of Textile Materials]. Moscow [in Russian].

9. Pasichnyk M., Slepchuk I., Michielsen S. (2012). Network characterization and swelling behavior of polymer compositions for surface modification of textile materials. Science, Technology and Higher Education. Monograph: edited by Accent Graphics communications. Canada, II, 479-485.

10. Slepchuk I., Kulish I. N., Saribekov G. S. (2012). Vliyaniye besformal'degidnykh preparatov na protsess otverzheniya akrilovykh polimerov, ispol'zuyemykh v kompozitsionnykh otdelochnykh sostavakh [Influence of formaldehyde-free preparations on the process of curing acrylic polymers used in composite finishing compositions]. Vestnik Khersonskogo natsional'nogo tekhnicheskogo universiteta. 2 (45), 180-183 [in Russian].

SEMESHKO OLGA

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8309-5273>

solgaya@gmail.com

Kherson National Technical University

SKALOZUBOVA NATALIA

nataliia.skalozubova@gmail.com

Kherson National Technical University

SARIBYEKOVA YULIA

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

ysaribyeikova@gmail.com

Kherson National Technical University

ASAULYUK TATYANA

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5961-6895>

tatisevna@gmail.com

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ СТИРОЛ-АКРИЛОВОЙ ПОЛИМЕРНОЙ МАТРИЦЫ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ПОКРЫТИЯ НА ХЛОПЧАТОБУМАЖНОМ ТРИКОТАЖЕ АСАУЛЮК Т. С., СЕМЕШКО О. Я., СКАЛОЗУБОВА Н. С., САРИБЕКОВА Ю. Г.

Херсонский национальный технический университет

Цель. Цель работы состояла в исследовании физико-химических свойств стирол-акриловой полимерной пленки для формирования покрытия на текстильном материале.

Методика. В качестве объекта исследования использована водная дисперсия стирол-акрилового сополимера. Применены стандартизированные методики исследования показателей физико-химических свойств полимерных пленок и физических свойств текстильных материалов. Изучение структурных параметров индивидуальной полимерной пленки проведено с применением золь-гель метода. Физические свойства исследуемого полимерного материала были оценены по результатам устойчивости пленки к гидролитической деструкции при различной температуре обработки и воздействию мыльно-содового раствора. Качество хлопчатобумажного трикотажного полотна со сформированным полимерным покрытием оценивалось по изменению показателей гигроскопичности и воздухопроницаемости.

Результаты. В работе приведены результаты исследования структурных и физических свойств полимерной пленки на основе стирол-акрилового сополимера. По результатам эксперимента установлена необходимость введения сшивающего агента в состав композиции для повышения устойчивости полимерного материала к мокрым обработкам. Определен оптимальный состав полимерной композиции для создания покрытия на текстильном материале и установлена концентрация предложенной композиции, при которой не ухудшаются гигиенические свойства хлопчатобумажного трикотажного полотна.

Научная новизна. Доказано, что предложенная полимерная композиция позволяет создать на хлопчатобумажном трикотажном полотне стойкое покрытие и при этом сохранить его гигроскопичность и воздухопроницаемость.

Практическая значимость. Полученные результаты эксперимента имеют практическое значение для разработки новых отделочных составов для текстильных материалов.

Ключевые слова: стирол-акриловая дисперсия, полимерная пленка, золь-гель метод, гидролитическая стабильность, хлопчатобумажный трикотаж, гигиенические свойства.

INVESTIGATION OF THE PROPERTIES OF STYRENE-ACRYLIC POLYMER MATRIX TO CREATE A COATING ON COTTON KNITTED FABRIC

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

Kherson National Technical University

Purpose. The goal of the work was to study the physico-chemical properties of styrene-acrylic polymer film to form a coating on a textile material.

Methodology. A water dispersion of a styrene-acrylic copolymer was used as an object of study. Standardized methods for studying the indicators of the physicochemical properties of polymer films and physical properties of textile materials have been applied. The study of the structural parameters of an individual polymer film was carried out using the sol-gel method. The physical properties of the studied polymer material were evaluated according to the results of the resistance of the film to hydrolytic degradation at different processing temperatures and the effects of soap and soda solution. The quality of cotton knitted fabric with the formed polymer coating was evaluated by the change in hygroscopicity and breathability.

Findings. The paper presents the results of a study of the structural and physical properties of polymer film based on the styrene-acrylic copolymer. The optimal polymer composition was determined to create a coating on the textile material and the concentration of the proposed composition was established, at which the hygienic properties of the cotton knitted fabric did not deteriorate.

Originality. It is proved that the proposed polymer composition allows you to create a resistant coating on cotton knitted fabric and at the same time keeps hygroscopicity and breathability of knitted cloth.

Practical value. The results of the experiment are of practical importance for the development of new finishing compositions for textile materials.

Keywords. styrene-acrylic dispersion, polymer film, sol-gel method, hydrolytic stability, cotton knitted fabric, hygienic properties.

УДК 677.077-037.8

КУЛІКОВА І. О.^{*}, МІЩЕНКО Г. В.^{*}, МІЩЕНКО О. В.^{*},
ВЕНГЕР О. О.^{*}, ПОПОВИЧ Т. А.^{**}

Херсонський національний технічний університет^{*}

Херсонський державний університет^{**}

НАДАННЯ ПІДВИЩЕНОЇ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ТКАНИНАМ ДЛЯ ЗАХИСНОГО ОДЯГУ

Мета. Метою роботи є підвищення зносостійкості текстильних матеріалів шляхом формування на їх поверхнях композиційних полімерних плівок.

Методика. Проблему вирішували застосуванням суміші полімерів і за рахунок їх здатності утворювати композиційні полімерні системи, що об'єднують властивості окремих полімерів і проявляють нові. При цьому один з них використовували у формі водної дисперсії готового полімеру уретанового типу, а другий – синтезували з предконденсатів термореактивних смол (ПТРС) в умовах процесу апретування, а саме, на стадії термообробки тканини після просочення і сушки, шляхом забезпечення умов для протікання реакції конденсації.

Результати. Оцінку полімерної системи, що при цьому утворюється, здійснювали за показниками якості опорядженої тканини і результатами дослідження вільних полімерних плівок, що формували із суміші полімерів в технологічних умовах опорядження тканини. Визначено, що у присутності ПТРС підвищується також міцність вільної поліуретанової плівки до дії розривного напруження і збільшується її адгезія до бавовняних тканин. Проведені спектрофотометричні і оптичні дослідження поліуретанових плівок, сформованих при додаванні до поліуретану ПТРС показали, що полімерну плівку можна розглядати як двофазну дисперсну систему. Показано, що формування з апрету полімерної плівки композиційного типу на поверхні тканини забезпечує підвищення показників її якості.

Наукова новизна роботи полягає в тому, що полімерну плівку, що утворюється при обробці тканини апретом на основі поліуретану і ПТРС, розглянуто як двофазну дисперсну систему.

Практична значимість полягає в тому, що одержано текстильні матеріали з підвищеними показниками якості, створено умови для розширення галузей їх застосування.

Ключові слова: текстильний матеріал, опорядження, стійкість до тертя, суміші полімерів, поліуретановий іономер, предконденсат термореактивної смоли.

Вступ. У теперішній час до тканин, що мають професійне спрямування і призначені для виробництва захисного одягу, значно зросли вимоги, оскільки сьогодні набувають актуальності питання захисту на новому рівні, питання охорони праці і безпеки робітника на робочому місці [1, 2]. В забезпеченні вимогових властивостей тканин важливу роль відіграє оброблення тканин полімерами [3], тому поряд із створенням нових волокон із спеціальними властивостями у рішенні проблеми мають значення і успіхи науковців у розробці технологій використання різних полімерів [5-8].

Постановка завдання. Одним із перспективних методів модифікації властивостей самих полімерів – є змішування різнорідних за властивостями полімерів. Застосування сумішей полімерів надає тканинам зносостійкості до дії руйнівних впливів: механічного, хімічного, до термо-, фото- і біодеструкції. Такий результат оброблення тканин сумішами полімерів важливий у зв'язку з тим, що текстильні матеріали технічного призначення найчастіше відчують одночасно декілька різних руйнівних впливів. Застосування суміші

полімерів для оброблення ТМ дозволяє здійснювати його одночасний захист від декількох видів руйнування і розширити призначення ТМ і галузі його використання.

Новим методом змішування полімерів є метод синтезу взаємопроникаючих полімерних сіток (ВПС) [9], який може стати перспективним для створення на поверхні тканини покриття з підвищеною зносостійкістю.

Особливістю апретів для тканин є те, що у найбільш загальному випадку один полімер у апретах є готовим – це полімер у формі латексу або його розчин, що виконує роль апретуючого, а другий – це предполімер, найчастіше предконденсати термореактивних смол (ПТРС), який або здійснює «зшивку» макромолекул основного апретуючого полімеру, або утворює другий полімер сітчастої або лінійної структури в залежності від типу ПТРС і умов його застосування.

У першому випадку утворюється монолітна плівка з сітчастою структурою, при другому – дисперсна система, яка має інші властивості. Отже, плівка, яку утворює апрет може представляти собою «зшитий» полімер або суміш полімерів і мати властивості полімерного композиту. Зазвичай ПТРС у апретах віддають роль зшиваючих агентів, для чого створюють умови саме для реакції «зшивки».

У даній роботі були поставлені наступні завдання:

- синтезувати на поверхні тканини в процесі її апретування полімерну плівку композиційного типу;
- довести двофазність полімерної системи як системи дисперсної;
- оцінити, як змінюється властивості тканини з композиційною плівкою на поверхні.

Метою даної роботи було надання тканинам підвищеної зносостійкості формуванням на їх поверхнях композиційних плівок.

Результати дослідження. Для виконання експериментальної частини використовували водну поліуретанову дисперсію типу Пулан ТУ-88-95-014-89 [10, 11]. У якості предконденсатів термореактивних смол використовували сполучення, молекули яких проявляють активність в реакціях «зшивки» макромолекул готового полімеру (поліуретану) та поліконденсації, а саме карбамоли ТУ-6-14-961-77, ТУ-6-14955-77, і модифіковані меламіноформаль дегідні предконденсати – метазин (ГОСТ – 9255-78) і гліказин (ТУ-10457-73) в формі 50%-вих розчинів.

Апретами на основі ПУ і ПТРС просочували зразки тканини «Діагональ», призначеної для робочого одягу і «Пістрявотканину». Після просочення зразки тканини віджимали, сушили та здійснювали термообробку при температурі 140° С 5 хвилин. Одержані зразки аналізували на стійкість до тертя по площині за ГОСТом 9913-78, для чого використовували прилад ДПТ-М. Одержували також вільні полімерні плівки за ГОСТом 14243 – 78, які після кондиціонування аналізували методом спектра мутності [12]. Спектрофотометричні дослідження виконували на ІЧ-спектрофотометрі UR-20 (Німеччина). Плівки для досліджень одержувались з розчинів на кристалі КР-S-5.

Висновок щодо впливу добавок гліказину на якість апретування тканини водною дисперсією поліуретанового іономера робили перш за все за оцінкою його впливу на адгезію, оскільки остання повинна збільшуватися за рахунок ущільнення гліказином шару на межі полімер волокна-полімер апрету.

За Ліпатовим Ю.С. [13] і Басіним В.Е. [14] більшість теоретичних уявлень про адгезію відноситься не до явища адгезії або прилипання, а до процесів руйнування адгезійних сполучень, що легше оцінювати експериментально ніж саме явище адгезії, яке є складним і таким, що включає різні аспекти. У зв'язку з цим уявлення про адгезію технологи найчастіше складають, порівнюючи зусилля, що є необхідним для руйнування адгезійних сполучень, тобто застосовують поняття адгезійної міцності, яке є кінетичною величиною, що визначається умовами руйнування.

У відповідності до відміченого, інформацію щодо зміни адгезії плівки, яку формує полімер апрету у присутності добавок або без них до поверхні текстильного матеріалу одержували оцінюючи розривне навантаження, необхідне для руйнування адгезійного сполучення, сформованого двома бавовняними смужками тканини, після просочення їх апретом. Методика не є стандартною, але дає можливість одержувати порівняльні характеристики адгезійної міцності плівок до поверхонь текстильного матеріалу і оцінювати вплив на адгезію різних добавок. [13, с. 137].

З метою одержання зразків для дослідження формували з бавовняної тканини і полімеру клеїлки – адгезійні сполучення з двох смужок тканини розміром 30×150 мм (150 – за основою). Смужки просочували полімерною дисперсією, накладали одну на одну і віджимали між валами просочувальної ванни до 70 відсотків доважку. Після цього зразки висувували при температурі 80 °С. Після охолодження зразків і кондиціонування їх руйнували на розривній мишині РМ-3-1, вимірюючи розривне навантаження, при якому клеїлки роздиралися на 2 окремі смужки, тобто, до повного руйнування при розтягуванні адгезійного сполучення.

В таблиці 1 наведено дані з впливу гліказину на міцність адгезійних сполучень одержаних із смужок тканини, просочених апретом на основі поліуретану з гліказином.

Таблиця 1

Розривне навантаження при роздиранні двох смужок бавовняної тканини, зклеєних поліуретаном у присутності гліказина

Співвідношення поліуретан / гліказин в апреті	Розривне навантаження при руйнуванні адгезійних сполучень, Н, утворених при температурі 80° С
100/0	12,0
95/5	12,7
90/10	13,5
85/15	14,0
80/20	16,3

Більше 20% гліказина до поліуретану не додавали, оскільки гриф тканини набуває жорсткості. Як видно з таблиці 1, міцність зкліюк при додаванні до апрету гліказина зростає. Зростає також і когезія вільної композиційної плівки, сформованої з поліуретану у присутності гліказину, про що свідчить графік, наведений на (рис. 1) і збільшення розривного навантаження σ при розриві плівки. Як можна бачити з графіка, найбільші зміни механічної міцності плівки відмічаються поблизу оптимального співвідношення поліуретан-

гліказин, при якому має місце максимальне значення розривного навантаження при руйнуванні адгезійних сполучень, сформованих смужками тканини.

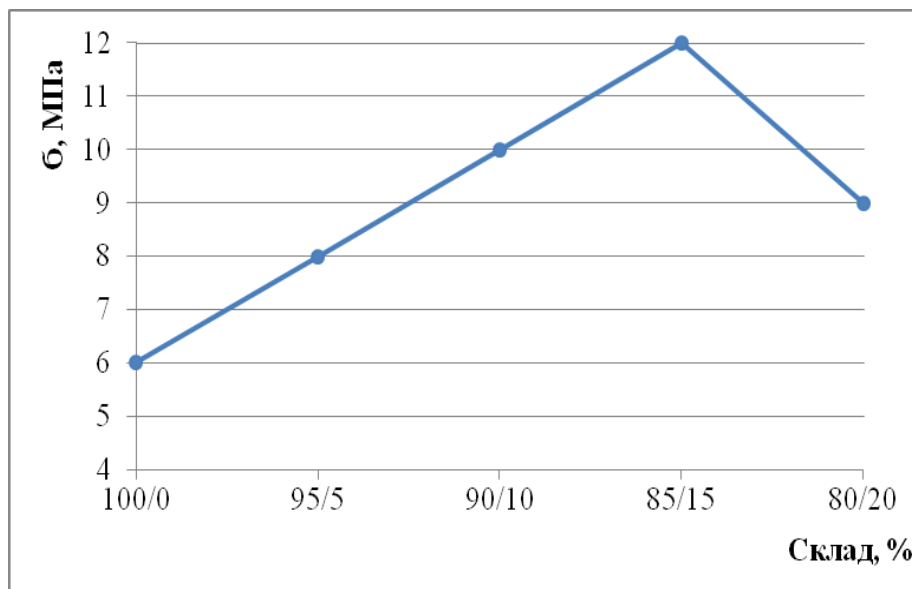


Рис. 1 Вплив співвідношення поліуретан: ПТРС на розривне напруження при розриві плівки

Найбільше значення σ вільної плівки має місце при співвідношенні ПУ: ПТРС 6:1, тобто при меншій кількості гліказина, ніж при формуванні адгезійного сполучення, що можна пояснити взаємодією макромолекул полімерів композиції з волокном при формуванні адсорбційного комплексу. Ефективність інших ПТРС у формуванні адсорбційних сполучень з поліуретаном і бавовняним волокном нижча у порівнянні з гліказином. Одержані результати дозволили визначити не тільки найбільш ефективний тип ПТРС для апрету, але й співвідношення ПУ÷ПТРС у апреті.

Проведено дослідження ІЧ-спектрів композиційних плівок з уретанового латексу, сформованих у присутності ПТРС – частково етерифікованого похідного меламіну, здатного як до реакції зшивки так і до смоутворення. Аналіз спектрів показав, що зшивка макромолекул поліуретану молекулами ПТРС не відбувається. Тобто, зв'язків хімічної природи ПТРС з поліуретаном не було встановлено. При аналізі спектрів відмічені зміни, які свідчать лише про утворення водневих зв'язків та зв'язків, зумовлених молекулярною взаємодією між поліуретаном та похідним меламіну (рис. 2).

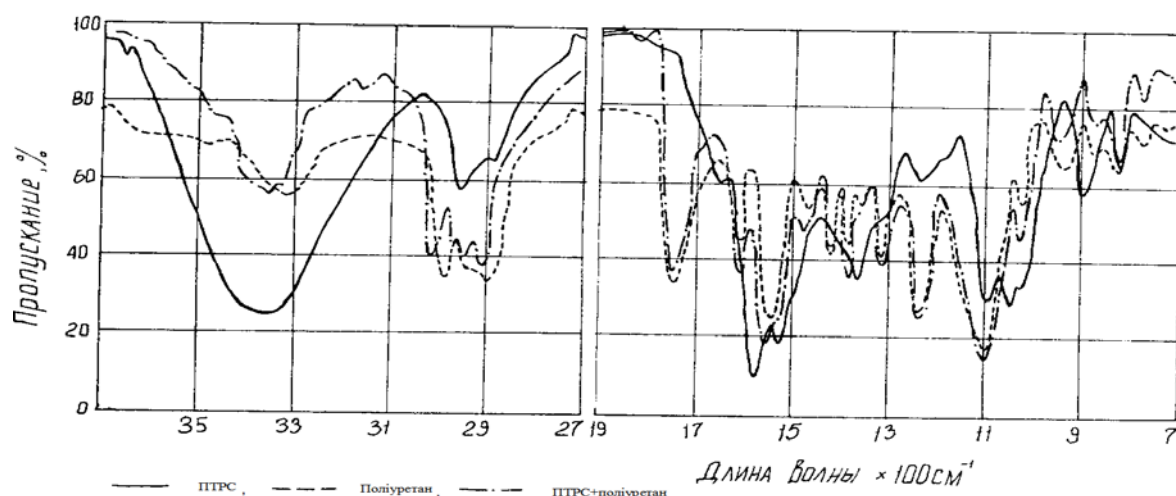


Рис. 2. ІЧ-спектри поліуретанової плівки, сформованої при 140° С в присутності частково естерифікованого похідного меламіну

Аналогічні дані одержано з метазином і поліуретаном, з поліуретаном і карбамолами. Отже, за даними з спектроскопії найбільш ймовірним є смолоутворення з ПТРС і утворення композиційної плівки типу ВПС. Зробити висновок щодо утворення ВПС дають підставу результати оптичних досліджень [12].

Дослідження спектрів мутності за методом, запропонованим в роботі [12], дозволило оцінити розміри частинок, сформованих реакцією поліконденсації ПТРС, і розподілених в полімері-матриці, тобто в дисперсійному середовищі, роль якого виконує поліуретан. Результати розрахунків показали, що розміри частинок ПТРС після реакції конденсації в поліуретановій плівці знаходяться для взятих співвідношень полімерів в межах $2,94 \cdot 10^{-6} \text{ см}^{-1}$ $5,05 \cdot 10^{-6} \text{ см}^{-1}$, тобто у межах значень, що характерні для типових дисперсних систем.

Саме двофазність системи зумовлює високі механічні властивості композиційної плівки, що було вже відмічено вище. Отже, підвищені механічні властивості композиційної плівки можна отримати шляхом цілеспрямованого впливу відповідних факторів на фазову структуру полімерної суміші. Такими факторами є склад апрету, співвідношення компонентів, ступінь сумісності полімерів, умови формування другого полімеру, наявність відповідних каталізаторів, що забезпечують саме реакцію смолоутворення. Ступінь сумісності полімерів у композиції впливає на показники стійкості апрету до фізико-механічних дій. Кращі результати серед ПТРС, що досліджувались, одержано з гліказином. Утворення композиційної плівки сприяє ущільненню шару на межі розподілу полімер волокна – полімер апрету, що сприяє підвищенню зносостійкості тканини.

Оцінка зносостійкості тканини (арт. 1303 «Пістрявотканна») після формування на її поверхні композиційної плівки, здійснювалась за показником стійкості до стирання по площині. Показники зростають після апретування композиційним складом з 1600 циклів до 2050. Для одягової бавовняної тканини «Діагональ» стійкість до стирання по площині зростають – з 3010 – до 4100 циклів. Зшивка макромолекул полімеру апрету, навпаки, сприяла б зниженню цього показника, оскільки після зшивки знижується еластичність полімеру, рухливість макромолекул полімеру і здатність до перерозподілу навантаження.

Висновки:

1. Запропоновано ймовірний механізм взаємодії предконденсат термореактивної смоли з полімером уретанового латексу, що ґрунтується на реакції смолоутворення з ПТРС і формуванні плівки композиційного характеру.

2. Показано, що при формуванні композиційної плівки на поверхні тканини утворюється полімерна дисперсна система, наслідком чого є підвищена зносостійкість тканин.

Література

1. Кричевский Г. Е. Нано-, био-, химические технологии в производстве нового поколения волокон, текстиля, одежды: монография. – М.: Известия, 2011. – 528 с.
2. Перепёлкин К. Е. Основные мировые тенденции в производстве и потреблении волокон / К.Е. Перепёлкин // Текстильная химия. – 2003. – №1 (21). – С. 21-35.
3. Захарченко А. С. Полимеры в заключительной отделке технического текстиля / А. С. Захарченко, О. В. Козлова // Сегодня и завтра медицинского, технического и защитного текстиля. Роль традиционных и высоких технологий: материалы международной научно-практической конференции (8-9 октября 2012 г.). – М., 2012. – С. 94.
4. Штомпель В. І. Одержання полімерних матеріалів з захисними властивостями / В. І. Штомпель, Т. А. Сергєєва, Д. Б. Кічура // Матеріали XIII Української конференції з високомолекулярних сполук (7-10 жовтня 2013 р.). – К., 2013. – С. 449.
5. Малышева Т. М. Когезионно-адгезионные свойства смесей полиуретанового эластомера с хлорвиниловыми сополимерами // XIII Українська конференція з високомолекулярних сполук (7-10 жовтня 2013). – К., 2013. – С. 248.
6. Гончарова Л. А. Мікропористі плівки на основі поліуретан-поліуретанакрилатних

References

1. Krichevskiy, G. E. (2011) *Nano-, bio-, khimicheskie tekhnologii v proizvodstve novogo pokoleniya volokon, tekstilya, odezhdyy: Monografiya*. [Nano-, bio-, chemical technologies in the production of a new generation of fibers, textiles, clothing: monograph]. Moscow: Izvestiya, 528 p. [in Russian].
2. Perepelkin, K. E. (2003) *Osnovnye mirovye tendentsii v proizvodstve i potreblenii volokon* [Major global trends in fiber production and consumption] *Tekstilnaya khimiya – Textile chemistry*, No. 1 (21), P. 21-35 [in Russian].
3. Zakharchenko, A. S., Kozlova, O. V. (2012). *Polimery v zaklyuchitelnoy otdelke tekhnicheskogo tekstilya* [Polymers in the final finishing of technical textiles]. *Proceedings from Segodnya i zavtra meditsinskogo, tekhnicheskogo i zashchitnogo tekstilya. Rol traditsionnykh i vysokikh tekhnologiy – Today and tomorrow medical, technical and protective textiles. The role of traditional and high technologies: materials of the international scientific-practical conference (October 8-9, 2012)*. (P. 94). Moscow [in Russian].
4. Shtompel, V. I., Serhieieva, T. A., Kichura, D. B. (2013). *Oderzhannia polimernykh materialiv z zakhysnymy vlastyvostiamy* [Preparation of polymeric materials with protective properties]. *Materialy Ukrainskoi konferentsii z vysokomolekuliarnykh spoluk (7-10 zhovtnia 2013) – Materials of the XIII Ukrainian Conference on Macromolecular Compounds (October 7-10, 2013)*. (P. 449) Kyiv [in Ukrainian].
5. Malysheva, T. M. (2013). *Kogezionno-adgezionnye svoystva smesey poliuretanovogo elastomera s khlorvinilovymi sopolimerami* [Cohesion-adhesion properties of mixtures of polyurethane elastomer with vinyl chloride copolymers]. *Ukrainska konferentsiia z vysokomolekuliarnykh spoluk (7-10 zhovtnia 2013) – XIII Ukrainian Conference on Macromolecular Compounds (October 7-10, 2013)*. (P. 248). Kyiv [in Ukrainian].
6. Honcharova, L. A., Brovko, O. O., Shtompel, V. I.,

- напіввзаємопроникних полімерних сіток / Л. А. Гончарова, О. О. Бровко, В. І. Штомпель, Т. А. Сергеева, Л. В. Карабанова, Л. М. Сергеева, О. О. Кочетов, А. В. Святина // Полімерний журнал. – 2007. – Т. 29. – № 4. – С. 271-280.
7. Козак Н. В. Металовмісні модифікатори для координаційного структурування in situ полімерних систем / Н.В. Козак // Полімерний журнал. – 2014, Т. 36, № 3. – С. 233-231.
8. Нізельський Ю.М. Структурування поліуретанів, що містять координаційні сполуки металів / Ю.М. Нізельський, Ю.В. Скакун, Н.В. Козак, Є.В. Лобко // Полімерний журнал. – 2007, Т. 30. – № 2. – С. 113.
9. Липатов Ю. С. Взаимопроникающие полимерные сетки: монография / Ю. С. Липатов, Л. М. Сергеева. – К.: Наукова думка, 1979. – 160 с.
10. Греков А. П. Полиуретановые водные дисперсии на основе сульфированных полиизоцианатов / А. П. Греков, С. А. Сухорукова, Л. А. Чумак // Украинский химический журнал. – 1987, Т. 36. – № 12. – С. 1317-1319.
11. А. с. 1286604 СССР, МКИЗ Д06Р С08L 1/08. Способ получения полиуретановой дисперсии / В. М. Непышневский, Ф. Х. Самигуллин (СССР).
12. Кленин В. И. Исследование структуры взаимопроникающих полимерных систем методами спектра мутности / В. И. Кленин // Высокомолекулярные соединения. – 1977. – Т. XIX. – № 1. – С. 45 – 50.
13. Липатов Ю.С. Коллоидная химия полимеров: монография. – К.: Наукова думка, 1984. – 344 с.
14. Басин В. Е. Адгезионная прочность. – М.: Химия, 1981. – 208 с.
- Serheieva, T. A., Karabanova, L. V., Serheieva, L. M., Kochetov, O. O., Sviatyna, A. V. (2007) Mikroporysti plivky na osnovi poliuretan-poliuretanakrylatnykh napivvzaemoprornykh polymernykh sitok [Microporous films based on polyurethane-polyurethane-acrylate semi-permeable polymer networks]. *Polimernyj zhurnal. – Polymer Magazine*, Vol. 29, No. 4, P. 271-280 [in Ukrainian].
7. Kozak, N. V. (2014) Metalovmisni modyfikatory dlia koordynatsijnoho strukturuvannia in situ polimernykh system [Metal-based modifiers for coordinating structuring of in situ polymeric systems]. *Polimernyj zhurnal. – Polymer Magazine*, Vol. 36, No 3, P. 233-231 [in Ukrainian].
8. Nizelskyj, Yu. M., Skakun, Yu. V., Kozak, N. V., Lobko, Ye. V. (2007) Strukturuvannia poliuretaniv, scho mistiat koordynatsijni spoluky metaliv [Structure of polyurethanes containing metal coordination compounds] *Polimernyj zhurnal. – Polymer Magazine*, Vol. 30, No 2, P. 113 [in Ukrainian].
9. Lipatov, Yu. S., & Sergeeva, L. M. (1979) Vzaimopronikayushchie polimernye setki: monografiya [Interpenetrating polymer mesh: a monograph]. Kyiv: Naukova dumka 160 p. [in Ukrainian].
10. Grekov, A. P., Sukhorukova, S. A., Chumak, L. A. (1987) Poliuretanovye vodnye dispersii na osnove sulfirovannykh poliizotsianatov [Polyurethane Aqueous Dispersions Based on Sulfonated Polyisocyanates]. *Ukrainskiy khimicheskiy zhurnal – Ukrainian chemical journal*, Vol. 36, No 12, P. 1317-1319 [in Ukrainian].
11. Nepyshnevskiy, V. M., Samigullin, F. Kh. Sposob polucheniya poliuretanovoy dispersii [The method of obtaining polyurethane dispersion]. SSSR a. s. 1286604, MKJ3 D06R S08L 1/08 [in Russian].
12. Klenin, V. I. (1977) Issledovanie struktury vzaimopronikayushchikh polimernykh sistem metodami spektra mutnosti [Study of the structure of interpenetrating polymer systems using turbidity spectrum methods] *Vysokomolekulyarnye soedineniya – High-Molecular Compounds*, Vol. XIX, No 1, P. 45 – 50 [in Russian].
13. Lipatov, Yu. S. (1984) *Kolloidnaya khimiya polimerov: Monografiya*. [Colloidal chemistry of polymers: monograph]. Kyiv: Naukova dumka, 344 p. [in Ukrainian].
14. Basin, V. E. (1981) *Adgezionnaya prochnost*. [Adhesive strength]. Moscow: Khimiya, 208 p. [in Russian].

KULIKOVA IRYNA

ximiecology@kntu.net.ua

Kherson National Technical University

POPOVICH T.

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7449-9949>

chemisthdu@gmail.com

Kherson State University

MISHCHENKO OLENA

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0089-5425>

ximiecology@kntu.net.ua

Associate Professor at the Department of Chemistry, Ecology and Safety
of Life

Kherson National Technical University

MISHCHENKO ANNA

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0336-1026>

ResearcherID: Y-3614-2018

ximiecology@kntu.net.ua

Doctor of Engineering Sciences

Kherson National Technical University

VENGER O. O.

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0065-0375>

ximiecology@kntu.net.ua

Kherson National Technical University

ПРИДАНИЕ ПОВЫШЕННОЙ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ТКАНЯМ ДЛЯ ЗАЩИТНОЙ ОДЕЖДЫ

КУЛИКОВА И. О. *, МИЩЕНКО А. В. *, МИЩЕНКО О. В. *, ВЕНГЕР Е. А. *,
ПОПОВИЧ Т. А. **

*Херсонский национальный технический университет**

*Херсонский государственный университет***

Цель. Целью работы является повышение износостойкости текстильных материалов путем формирования на их поверхностях композиционных полимерных пленок.

Методика. Проблему решали применением смеси полимеров и за счет их способности образовывать композиционные полимерные системы, объединяющие свойства отдельных полимеров и проявляющие новые. При этом один из них использовали в форме водной дисперсии готового полимера уретанового типа, а второй – синтезировали с предконденсатов термореактивных смол (ПТРС) в условиях процесса аппретирования, а именно, на стадии термообработки ткани после пропитки и сушки, путем обеспечения условий для протекания реакции конденсации.

Результаты. Оценку полимерной системы, которая при этом образуется, осуществляли по показателям качества облицованной ткани и по результатам исследования свободных полимерных пленок, которые формировали из смеси полимеров в технологических условиях отделки ткани. Определено, что в присутствии ПТРС повышается также прочность свободной полиуретановой пленки к действию разрывного напряжения и увеличивается ее адгезия к хлопчатобумажных тканей. Проведенные спектрофотометрические и оптические исследования полиуретановых пленок, сформированных при добавлении к полиуретану ПТРС показали, что полимерную пленку можно рассматривать как двухфазную дисперсную систему. Показано, что формирование с аппрета полимерной пленки композиционного типа на поверхности ткани обеспечивает повышение показателей ее качества.

Научная новизна работы заключается в том, что полимерную пленку, образующуюся при обработке ткани аппретом на основе полиуретана и ПТРС рассмотрено как двухфазную дисперсную систему.

Практическая значимость заключается в том, что получено текстильный материал с повышенными показателями качества, созданы условия для расширения области их применения.

Ключевые слова: текстильный материал, отделка, устойчивость к трению, смесь полимеров, полиуретановый иономер, предконденсаты термореактивной смолы.

PROVIDING OF INCREASED WEAR RESISTANCE TO FABRICS FOR PROTECTIVE CLOTHING

KULIKOVA I. O.^{*}, MISHCHENKO H. V.^{*}, MISHCHENKO O. V.^{*}, VENGER O. O.^{*},
POPOVICH T. A.^{**}

Kherson National Technical University^{*}

Kherson State University^{**}

Purpose. The purpose of the work is to increase the wear resistance of textile materials by forming composite polymer films on their surfaces.

Methodology. The problem was solved by the use of a mixture of polymers and due to their ability to formulate composite polymer systems that combine the properties of individual polymers and exhibit new ones. One of them was used in the form of aqueous dispersion of the finished polymer of urethane type, and the second one was synthesized from pre-condensates of thermosetting resins (PTSR) in the process of finishing, namely, at the stage of heat treatment of the fabric after impregnation and drying, by providing conditions for the course of the condensation reaction.

Findings. The evaluation of the produced polymer system have been carried out on the basis of the quality score of the fabric and the results of the study of free polymer films formed from a mixture of polymers in the technological conditions of fabric finishing. It has been determined that strength of free polyurethane film to the action of bursting tension and film's adhesion to cotton fabrics increase in the presence of pre-condensates of thermosetting resins. The conducted spectrophotometric and optical researches of polyurethane films formed during the addition of pre-condensates of thermosetting resins to polyurethane have shown that the polymer film can be considered as a two-phase disperse system. It has been established that the formation of a composite type polymer film on the surface of fabric provides the increasing of it's quality.

Originality consists in the fact that the polymer film formed during the processing of fabric by composition based on polyurethane and pre-condensates of thermosetting resins is considered as a two-phase disperse system.

Practical value lies in the fact that textile material with higher quality indicators has been obtained, conditions have been created to expand the fields of their application.

Keywords: textile material, finishing, wear resistance, mixture of polymers, polyurethane ionomer, pre-condensates of thermosetting resin.

УДК 677.075:620.17

БОБРОВА С. Ю., ГАЛАВСЬКА Л. Є., КУЛИК А. А.

Київський національний університет технологій та дизайну

ДЕФОРМАЦІЙНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРИКОТАЖУ ПІДВИЩЕНОЇ МІЦНОСТІ

Мета. Дослідження деформаційних характеристик полотен підвищеної міцності, виготовлених з використанням поліетиленових ниток.

Методика. У роботі використано експериментальний метод дослідження зразків трикотажу у відповідності до стандартизованих методик.

Результати. Розроблена структура трикотажу з підвищеними характеристиками міцності та стійкості до дії негативних механічних впливів та здійснено оцінку їх деформаційних характеристик. Трикотажні полотна виготовлено на двофонтурному круглов'язальному обладнанні 10 класу двошаровим кулірним переплетенням з пресовим з'єднанням шарів основною ниткою. У якості сировини обрану поліетиленову нитку торгової марки Doyentrontex лінійної густини 44 текс у чистому вигляді та у комбінації з поліамідною ниткою технічного призначення лінійної густини 29 текс. З метою встановлення величини навантаження при деформації трикотажних полотен визначено показники розривального зусилля трикотажу вздовж петельних рядів та стовпчиків. Встановлено, що значна частка залишкової деформації трикотажу технічного призначення, що підлягає у ході експлуатації виробу значним механічним навантаженням, знаходиться в межах допустимих значень.

Наукова новизна полягає у дослідженні характеру деформації та релаксації деформації подвійного кулірного трикотажу підвищеної міцності, виготовленого з використанням поліетиленових ниток.

Практична цінність. Розроблені трикотажні полотна з високими показниками міцності та стійкості до механічних ушкоджень мають достатню еластичність і пружність, а також відповідний рівень залишкової деформації, що дає змогу їх рекомендувати для виготовлення різного асортименту захисних виробів від механічних небезпек.

Ключові слова: технічний трикотаж, поліетиленова нитка, поліамідна нитка, захисні вироби, трикотаж підвищеної міцності, деформаційні характеристики.

Вступ. Виробництво трикотажу технічного призначення прогресивно розвивається та поступово посідає одне з провідних місць у розвитку текстильної промисловості в цілому. Неухильно зростає попит на спеціальні текстильні матеріали з надміцних волокон та ниток. Сфера їх використання дуже різноманітна – це елементи засобів індивідуального захисту осіб військових та цивільних професій, спеціальний одяг для спортсменів, робітників різних промислових підприємств, а також як основа композиційних матеріалів для захисту різного роду техніки від механічних ушкоджень та засобів безпеки при роботі в небезпечних умовах (троси, шнури, канати) [1, 2].

Постановка завдання. Трикотаж – текстильний матеріал, що характеризується комплексом властивостей, що надають готовим виробам необхідні показники якості в залежності від виду вихідної сировини та особливостей структуроутворення – еластичність, пружність, формостійкість, товщину, розтяжність, поверхневу густину тощо [3]. Для захисних виробів, що пошиваються із готового трикотажного полотна, необхідно встановити не тільки показники стійкості до різних механічних небезпек, але й ще інші показники якості, що надають виробам необхідні експлуатаційні та ергономічні властивості відповідно

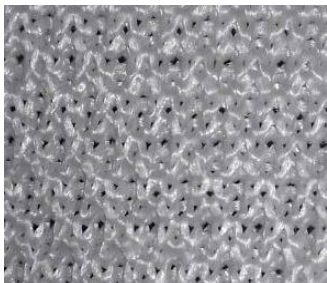
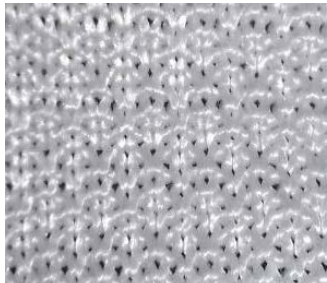
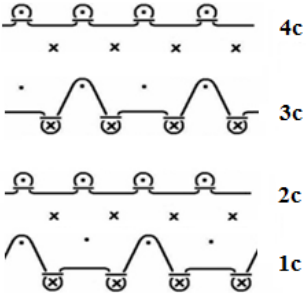
до сфери їх використання, для того, щоб спроектувати параметри готових виробів та спрогнозувати їх зручність і надійність у процесі використання.

Вимоги, що висуваються до матеріалів та виробів підвищеної міцності, залежать від їх призначення та особливостей застосування. У першу чергу, це – високі показники міцності до дії різних механічних ушкоджень – тертя, проколу, порізу, удару, роздирання, дії вогнепальної та холодної зброї. При цьому готові вироби повинні зберігати достатній рівень ергономічних властивостей та мати відповідні антропометричні параметри [4-7].

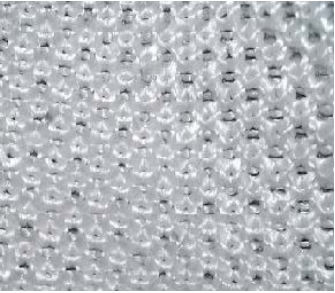
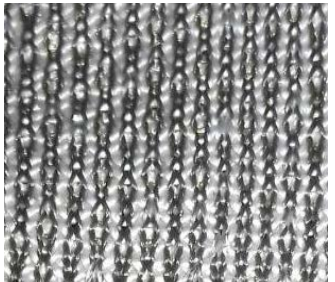
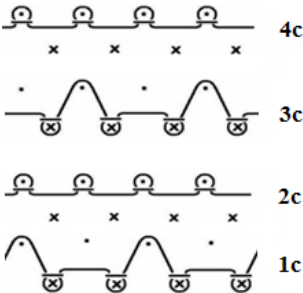
Для реалізації поставленої задачі в умовах в'язальної лабораторії КНУТД виготовлено дослідні зразки трикотажу підвищеної міцності, що можна рекомендувати для широкого асортименту захисних виробів та елементів захисту від різних механічних ушкоджень. Трикотаж вироблено на двофонтурній круглов'язальній машині 10 класу двошаровим кулірним переплетенням з пресовим з'єднанням шарів основною ниткою. У якості сировини обрано поліетиленову нитку торгової марки Doyentrontex (компанія «Beijing Tongyizhong», Китай) [8] лінійної густини 44 текс х 2 у чистому вигляді (зразок 1) та у комбінації з поліамідною ниткою технічного призначення 29 текс (зразок 2). Структуру трикотажних полотен та заправні дані для їх виготовлення наведено у табл.1.

Таблиця 1

Характеристика дослідних зразків трикотажу

№ зразка	Структура зразків трикотажних полотен	Графічний запис переплетення	Заправні дані
1	лицьова сторона  виворітна сторона 	 4с 3с 2с 1с	1, 3 системи – поліетиленова нитка (UHMWPE), 44 текс х 2 – лицьовий шар та з'єднувальні елементи; 2, 4 системи – поліетиленова нитка (UHMWPE), 44 текс х 2 – виворітний шар

Продовження таблиці 1

2	лицьова сторона  виворітна сторона 	 4с 3с 2с 1с	1, 3 системи – поліетиленова нитка (UHMWPE), 44 текс х 2 – лицьовий шар та з'єднувальні елементи; 2, 4 системи – поліамідна нитка технічного призначення, 29 текс – виворітний шар
---	---	---	--

Результати дослідження. Для оцінки деформаційних характеристик трикотажу підвищеної міцності слід попередньо встановити величину навантаження, яке за рекомендаціями повинно складати 5% від розривного. З цією метою попередньо у відповідності до стандартизованого методу [9] на розривній машині KOVO встановлено величину розривального зусилля дослідних зразків трикотажу вздовж петельних рядів та стовпчиків (рис.1).

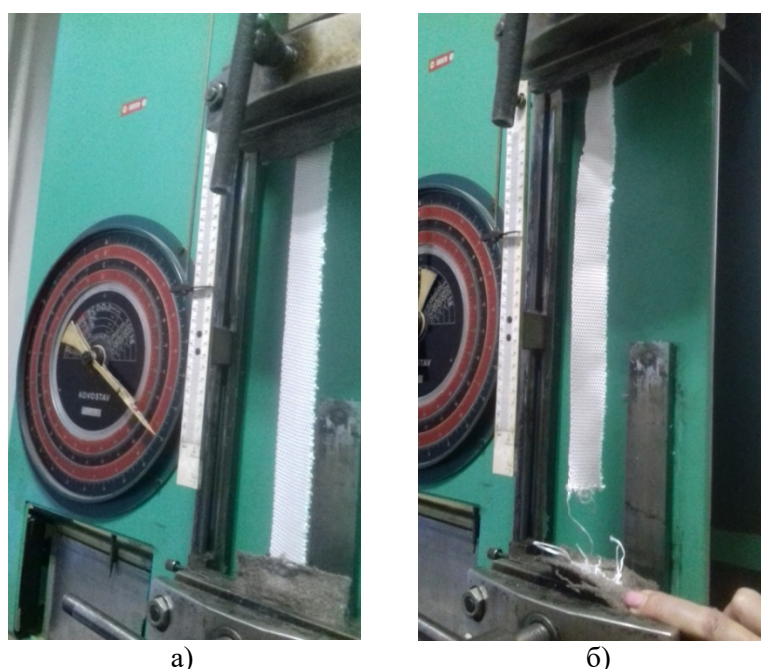


Рис. 1. Дослідження розривальних характеристик трикотажних полотен:
а – у процесі розтягу; б – після розриву

Розривальне зусилля для першого зразка складає 2256 Н та 1962 Н, для другого – 1240 Н та 945 Н відповідно вздовж петельних рядів та стовпчиків. Представлені на рис. 2 діаграми наглядно ілюструють одержані результати величини розривального навантаження.

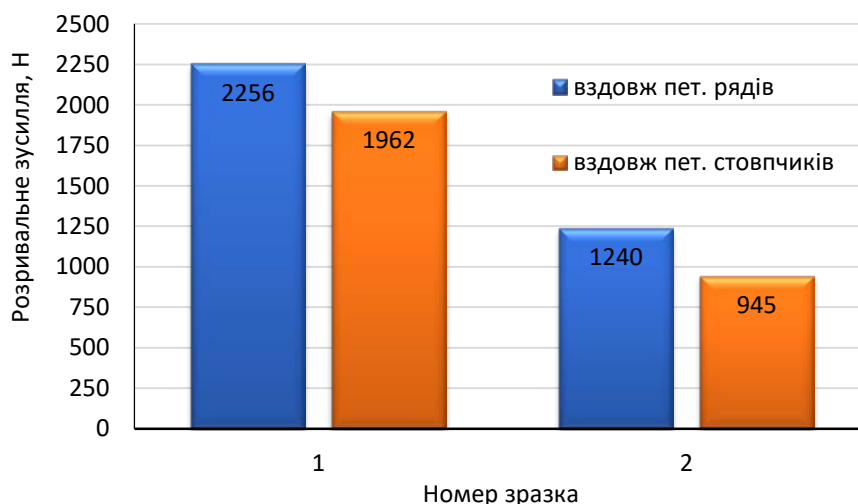


Рис. 2. Діаграми розривального навантаження дослідних зразків трикотажу

Таким чином, для даної групи трикотажних полотен за максимальним значенням розривального навантаження нами розраховано величину навантаження для визначення їх деформаційних характеристик. Отже, дослідження деформації та релаксації деформації кулірного трикотажу підвищеної міцності, виготовленого з використанням поліетиленових ниток, проведено при навантаженні 112,8 Н (за максимальним показником розривального зусилля). Одноциклові характеристики трикотажних полотен визначено при наступних параметрах: затискна довжина – 100 мм; ширина пробної смужки – 50 мм; час дії навантаження – 60 хв; час відпочинку після розвантаження – 60 хв.

Під час експлуатації текстильні матеріали піддаються навантаженню і деформації, величини яких, як правило, менше розривних. Виняток можуть складати тільки балістичні матеріали, що використовуються для високого класу захисту, проте для текстилю – це пакет із декількох десятків таких шарів, що повинні максимально протидіяти енергії удару високошвидкісної кулі.

Закономірності зміни деформаційно-напруженого стану матеріалів при зусиллях менших за розривні вивчено при проведенні випробувань трикотажних зразків при деформуванні за циклом навантаження - розвантаження - відпочинок.

Оцінка деформаційних властивостей проведена згідно стандартизованих методик у відповідності до [9, 10]. За результатами досліджень побудовано графіки зміни деформації та релаксації деформації при постійному навантаженні (рис.2)

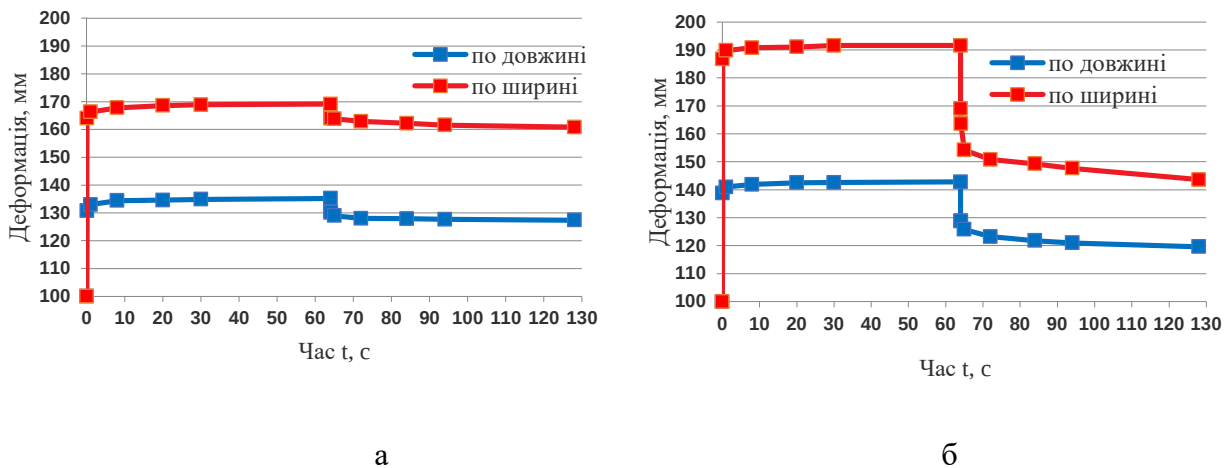


Рис. 2. Графік зміни деформації та релаксації деформації розтягу від часу:
а – зразок 1; б – зразок 2

Аналіз отриманих даних свідчить про значну частку залишкової деформації, що пояснюється низьким класом в'язального обладнання та особливостями будови поліетиленових ниток. Даний вид сировини має гладку поверхню, легко деформується та характеризується низькою жорсткістю на згин. Тому прояв пружних властивостей зігнутих у петлі відрізків нитки в структурі трикотажу мінімальний, і після деформації під дією значного зусилля навантаження полотно не повертається до попередніх розмірів. Крім того, більша частка деформації по ширині пояснюється структурою двошарового переплетення. Завдяки пресовим з'єднувальним накидам розтяжність по ширині більша ніж по довжині, а частка швидкооборотної деформації по довжині більша ніж по ширині. Більшу частку залишкової деформації по ширині ніж по довжині можна пояснити ступенем орієнтації ниток в петлях кулірного трикотажу. При прикладанні розтягуючого зусилля вздовж петельного ряду відбувається значний перерозподіл нитки з остовів у протяжки (тобто з більших відрізків зігнутої в петлю нитки до менших).

На характер деформації та релаксації деформації також впливає вид сировини виворітного шару трикотажу. Величина повної деформації по ширині дослідного зразка 2 більша на 13,6%, по довжині – на 5,9%, що зумовлено видом сировини виворітного шару трикотажу. При цьому частка залишкової деформації зразка 2 як по довжині, так і по ширині навпаки менша, а саме: по довжині більша на 5,8%, по ширині – на 11,8%. Значно більша частка залишкової деформації зразка 1 обумовлена тим, що з'єднувальні елементи двошарового трикотажу у цьому зразку сформовані з поліетиленової нитки, механічні характеристики якої перешкоджають зворотному процесу перерозподілу нитки після зняття навантаження розтягу.

Висновки. Для виготовлення широкого асортименту захисних виробів від механічних ушкоджень запропоновано структуру трикотажу двошарового переплетення з пресовим з'єднанням шарів основною ниткою. Розроблені трикотажні полотна підвищеної міцності, вироблені з використанням поліетиленових ниток, мають достатню розтяжність по ширині та довжині, що забезпечить готовим виробам необхідні ергономічні характеристики. Значна частка залишкової деформації трикотажу технічного призначення, що підлягає у ході експлуатації виробу значним механічним навантаженням, знаходиться в межах допустимих

значень. Це дає змогу рекомендувати розроблені полотна для виготовлення різного асортименту виробів для захисту від дії механічних ушкоджень.

Література

1. Intelligent Textiles and Clothing for Ballistic and NBC Protection: Technology at the Cutting Edge (NATO Science for Peace and Security Series B: Physics and Biophysics), edited by P. Kiekens, S. Jayaraman. – Springer, Dordrecht. – 2012. – 220 p.
2. Боброва С.Ю. Розробка трикотажу для захисту рук від механічних небезпек / С.Ю. Боброва // Вісник Хмельницького національного університету. – 2018. – №5(265), – С.242-246.
3. Шалов И.И. Технология трикотажа / И.И. Шалов, А.С. Далидович, Л.А. Кудрявин. – М.: Легпромышлениздат, 1986. – 376 с.
4. Рукавички для захисту від механічних ушкоджень. Загальні технічні вимоги та методи випробування: ДСТУ EN 388:2005. – [Чинний від 2003-01-07]. – К.: Держспоживстандарт України, 2008. – 16 с. – (Національний стандарт України).
5. Bobrova S. Criteria for evaluating the effective use of ultra-strong textiles in personal armor protection / S. Bobrova, L. Halavska, D. Bahmach, I. Stupak // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. – 2017. – Спеціальний випуск. № 5. – С.126-134.
6. Харченко Ю. М. Дослідження формостійкості трикотажного полотна для фехтувального одягу при статичних та динамічних навантаженнях / Ю.М. Харченко, Л.А. Дмитренко, Л. Б. Білоцька, В.В. Стаценко, Л.В. Очеретна // Технологический аудит и резервы производства. – 2016. – № 5/3(31). – С.38-48.
7. Ким А.А. Исследование механических свойств тканей для изготовления бронежилетов / А.А. Ким, А.В. Курденкова, Ю.С. Шустов // Технология текстильной промышленности. – 2010. – № 2 (323). – С.31-33.
8. Офіційний сайт компанії «Beijing Tongyizhong». [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.bjtyz.com/en/index.php?optionid=681&auto_id=5.
9. ГОСТ 8847-85. Полотна трикотажные. Метод определения разрывных

References

1. Intelligent Textiles and Clothing for Ballistic and NBC Protection: Technology at the Cutting Edge (NATO Science for Peace and Security Series B: Physics and Biophysics), edited by P. Kiekens, S. Jayaraman. (2012). Springer, Dordrecht. [in English]
2. Bobrova S.Yu. (2018). Rozrobka trykotazhu dlia zakhystu ruk vid mekhanichnykh nebezpek. [Knitwear development for hand protection against mechanical hazards]. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu – Herald of Khmelnytskyi national university*, 5(265), 242-246 [in Ukrainian].
3. Shalov I.I., Dalidovich A.S., Kudryavin L.A. (1986). *Tekhnologiya trikotazha* [Knitting technology]. Moscow [in Russian].
4. *Rukavychky dlia zakhystu vid mekhanichnykh ushkodzen'.* *Zahal'ni tekhnichni vymohy ta metody vyprobuvannia.* [Protective gloves against mechanical risks. General technical requirements and methods of testing]: DSTU EN 388:2005. K.: National State Standard of Ukraine, 2008. 16 p.
5. Bobrova S., Halavska L., Bahmach D., Stupak I. (2017). Criteria for evaluating the effective use of ultra-strong textiles in personal armor protection. *Visnyk Kyivs'koho natsional'noho universytetu tekhnolohij ta dyzajnu. Spetsialnyi vypusk.* – Bulletin of the Kiev National University of Technology and Design. Special Issue № 5, P.126-134 [in English].
6. Kharchenko, Yu.M., Dmytrenko, L.A., Bilotska, L.B., Statsenko V.V., Ocheretna, L.V. (2016). *Doslidzhennia formostiikosti trykotazhnogo polotna dlia fektuvalnoho odiahu pry statychnykh ta dynamichnykh navantazhenniakh* [Form stability research of knitted fabrics for fencing suits at static and dynamic loads]. *Tekhnologicheskyy audit i rezervy proizvodstva – Technology audit and production reserves*, 5/3(31), 38-48 [in Ukrainian].
7. Kim, A.A. Kurdenkova, A.V., Shustov, Yu.S (2010). *Issledovanie mekhanicheskikh svoystv tkaney dlia izgotovleniya bronezhiletov* [The research of the mechanical properties of fabrics for the body armor production]. *Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti – Textile industry technology*, 2 (323), 31-33 [in Russian].
8. Ofitsijnyj sayt kompanii «Teijin Aramid» [Official site of the company «Teijin Aramid»]. teijinaramid.com. Retrieved from: <https://www.teijinaramid.com/ru/applications/cut-protection-products-ru/>.
9. GOST 8847-85. Polotna trikotazhnye. Metod opredeleniya razryvnykh kharakteristik i rastyazhimosti pri nagruzkakh men'she razryvnykh [Knitted fabrics. Methods

характеристик и растяжимости при нагрузках меньше разрывных. М.: Изд-во стандартов, 1985. – 12 с.

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

for determination of breaking characteristics and extensibility under loads less than breaking loads]. Moscow, Standartinfirm Publ., 1985. 12 p.

10. Koblyakov, A. (1973). *Struktura i mekhanicheskie svoystva trikotazha* [Structure and mechanical properties of knitwear]. Moscow [in Russian].

BOBROVA SVITLANA

bobrova.sy@knutd.edu.ua

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3381-9915>

Researcher ID:

<https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57203865072>

Kyiv National University of Technologies & Design

HALAVSKA LIUDMYLA

galavska.ly@knutd.edu.ua

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

Researcher ID:

<https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57191413261>

Kyiv National University of Technologies & Design

ДЕФОРМАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРИКОТАЖА ПОВЫШЕННОЙ ПРОЧНОСТИ

БОБРОВАС. Ю., ГАЛАВСКАЯ Л. Е., КУЛИК А. А.

Киевский национальный университет технологий и дизайна

Цель. Исследование деформационных характеристик полотен повышенной прочности, изготовленных с использованием полиэтиленовых нитей.

Методика. В работе использован экспериментальный метод исследования образцов трикотажа в соответствии со стандартными методиками.

Результаты. Разработана структура трикотажа с повышенными прочностными характеристиками и устойчивостью к действию негативных механических воздействий и осуществлена оценка их деформационных характеристик. Трикотажные полотна изготовлены на двухфонтурном кругловязальном оборудовании 10 класса двухслойным кулирным переплетением с прессовым соединением слоев основной нитью. В качестве сырья выбрана полиэтиленовая нить торговой марки Doyentrontex линейной плотности 44 текс в чистом виде и в сочетании с полиамидной нитью технического назначения линейной плотности 29 текс. С целью установления величины нагрузки при деформации трикотажных полотен определены показатели разрывного усилия трикотажа вдоль петельных рядов и столбиков. Установлено, что значительная часть остаточной деформации трикотажа технического назначения, который подлежит в ходе эксплуатации изделия значительным механическим нагрузкам, находится в пределах допустимых значений.

Научная новизна заключается в исследовании характера деформации и релаксации деформации двойного кулирного трикотажа повышенной прочности, изготовленного с использованием полиэтиленовых нитей.

Практическая ценность. Разработанные трикотажные полотна с высокими показателями прочности и устойчивости к механическим повреждениям имеют достаточную эластичность и упругость, а также соответствующий уровень остаточной деформации, что позволяет их рекомендовать для изготовления широкого ассортимента защитных изделий от опасных механических факторов.

Ключевые слова: технический трикотаж, полиэтиленовая нить, полиамидная нить, защитные изделия, трикотаж повышенной прочности, деформационные характеристики.

DEFORMATION CHARACTERISTICS OF HIGH STRENGTH KNITTED FABRICS

BOBROVA S., HALAVSKA L., KULYK A.

Kyiv National University of Technologies and Design

Purpose. Investigation of deformation characteristics of high-strength knitted fabrics produced with the use of polyethylene yarn.

Methodology. The article uses an experimental method for the study of knitted fabrics samples in accordance with standard methods.

Findings. The knitting structure with increased strength characteristics and resistance to the action of negative mechanical effects has been developed and their deformation characteristics have been evaluated. The knitted fabrics are made on double-circular knitting equipment 10 gauge by double-layer structure with press connection of the layers by the main yarn. The polyethylene yarn Doyentrontex linear density 44 tex in pure form and in combination with a polyamide yarn for technical purposes linear density 29 tex have been chosen as a raw material. In order to establish the load value by deformation of knitted fabrics, the indicators of the tensile strength of the knitwear along the wales and courses are determined. It has been revealed that most of the permanent deformation of knitwear for technical purposes, which is subject to large mechanical loads during operation of the product, is within acceptable levels.

Originality. Consists in the study of the deformation character and deformation relaxation of high – strength double layer weft knitted fabrics, made with the use of polyethylene yarn.

Practical value. Developed knitted fabrics with high strength and resistance to mechanical damage have sufficient resilience and elasticity, as well as acceptable level of permanent deformation, which allows them to be recommended for the manufacture of a wide range of protective products from mechanical hazards.

Keywords: industrial knitwear, polyethylene yarn, polyamide yarn, protective products, high-strength knitwear, deformation characteristics.

УДК 678.023

САВЧУК Б. П., САВЧЕНКО Б. М., СОВА Н. В., КОСТЮК І. М.
Київський національний університет технологій та дизайну

ПОЛІМЕР-ПОЛІМЕРНИЙ КОМПОЗИТ НА ОСНОВІ ВІДХОДІВ ЗШИТОГО ЕТИЛЕНВІНІЛАЦЕТАТУ

Мета. Розробка технології переробки технологічних відходів зшитого ЕВА з подальшим використанням в якості наповнювача полімер-полімерного композиту ПВХ/ЕВА.

Методика. Визначення ПТР проводили згідно ISO 1133:1997 на капілярному віскозиметрі постійного тиску при температурі $(170 \pm 0,5)^\circ\text{C}$ та масі вантажу 2,16 кг. Термостабільність та температуру плавлення визначено за допомогою пластографа RM-200C Hapro rheometer. 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 для подрібнення та подальшої переробки відходів зшитого ЕВА. Відходи піддавали вальцюванню після оброблення пластифікатором (стеариною кислотою) при $130\text{--}140^\circ\text{C}$. Одержану компактну масу піддавали пудеризації. Визначено властивості одержаної ПВХ плівки, наповненої зшитим ЕВА. 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 використання відходів зшитого ЕВА як наповнювача для пластифікованого ПВХ. Встановлено особливості фізико-механічних властивостей одержаних композицій.

Практичне значення. Розроблена технологія дозволяє забезпечити безвідходне виробництво виробів з ЕВА на підприємствах.

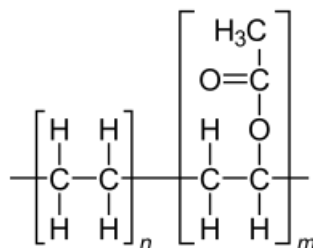
Ключові слова: полівінілхлорид, ЕВА, змішані відходи, подрібнення, полімер-полімерний композит.

Вступ. Одним з найбільш відчутних результатів антропогенної діяльності є утворення відходів, серед яких відходи пластмас займають особливе місце в силу своїх унікальних властивостей [1].

Повторне використання побутових і промислових відходів (рециклінг) дозволяє не тільки запобігти забрудненню навколишнього середовища, але і дає можливість знизити собівартість готової продукції.

В даній статті розглянуто проблему утилізації відходів виробництва виробів з етиленвінілацетату (ЕВА).

Етиленвінілацетат - речовина, що відноситься до класу складних ефірів, отримується в результаті кополімеризації етилену і мономеру вінілацетату [2].



Виробництво виробів з зшитого ЕВА зараз дуже популярне і поширене в промисловості. Найчастіше ЕВА використовують для виготовлення взуття методом лиття під тиском. На сьогоднішній день в Україні налічується більше 10 підприємств, які виготовляють вироби з ЕВА.

Суттєвим недоліком цього напрямку є те, що під час виробництва залишаються литники, які складають зазвичай 5-10% від загальної маси виробу. На сьогоднішній день найпоширенішим методом утилізації цих відходів є їх подрібнення та подальше використання в якості наповнювача для бетону [3].

Результати досліджень. Була розроблена технологія первинної переробки цього наповнювача. Відходи піддавали інтенсивному вальцюванню після оброблення пластифікатором (стеариною кислотою) при 130-140°C [4] в результаті чого відбувалась часткова девулканізація. Одержану компакту масу подрібнювали на роторному подрібнювачі РН-450. Після цього піддавали пульверизації на пульвайзері SMP-400 High-speed Plastic Pulverizer з ситом 150 мкм. Внаслідок пульверизації було одержано частинки подрібненого зшитого спіненого ЕВА діаметром ≤ 150 мкм.

Одержаний порошковий наповнювач ідеально підходить для додавання в полімер-полімерну композицію на основі ПВХ [5].

Одержаний наповнювач матеріал залишається частково спіненим. Він залишається у формі зшитих дрібнодисперсних частинок, які здатні формуватися в потоці розплаву [6].

Порошкоподібні відходи ЕВА додавались в композицію при змішуванні в кількостях 20, 50 та 100 масових частин на 100 ПВХ. Стандартна композиція та композиції з повною заміною крейди на відходи ЕВА наведено нижче (табл. 1 - 4).

Таблиця 1

Стандартна композиція

Назва	Кількість, м.ч.	Кількість, %
ПВХ С	100	60,24
ДОФ	40	24,09
ТОСС	3	1,80
Стеарат кальцію	3	1,80
Крейда	20	12,04

Таблиця 2

Композиція з 20 м.ч. ЕВА

Назва	Кількість, м.ч.	Кількість, %
ПВХ С	100	60,24
ДОФ	40	24,09
ТОСС	3	1,80
Стеарат кальцію	3	1,80
Вторинна сировина	20	12,04

Таблиця 3

Композиція з 50 м.ч. ЕВА

Назва	Кількість, м.ч.	Кількість, %
ПВХ С	100	51,02
ДОФ	40	20,40
ТОСС	3	1,53
Стеарат кальцію	3	1,53
Вторинна сировина	50	25,51

Таблиця 4

Композиція з 100 м.ч. ЕВА

Назва	Кількість, м.ч.	Кількість, %
ПВХ С	100	40,65
ДОФ	40	16,26
ТОСС	3	1,21
Стеарат кальцію	3	1,21
Вторинна сировина	100	40,65

Змішування проводилось на двостадійному високошвидкісному змішувачі. Температура гарячої камери 115 °С, холодної - 65°С. Отриману суміш було екструдовано (температурні режими екструзії – 160 - 180°С, швидкість обертів шнеку – 40 - 50 об/хв) [7] та проведено ряд реологічних та фізико-механічних досліджень. Властивості одержаних плівок наведено в (табл. 5) та на (рис. 1 - 3).

Таблиця 5

Фізико-механічні та реологічні властивості одержаної плівки полімер-полімерної композиції

№ п/п	Показник	Властивості полімер-полімерної композиції залежно від вмісту ЕВА, м.ч.			
		Класична композиція на основі ПВХ (без ЕВА)	20	50	100
1	ПТР, г/10хв	32,4	21,1	16,5	14,3
2	Міцність при розриві, МПа	20,27	13,30	11,03	9,86
3	Відносне видовження, %	22	16	12	9
4	Твердість, од. по Шор D	38	31	27	21
5	Густина, кг/м ³	1,65	1,42	1,15	0,84

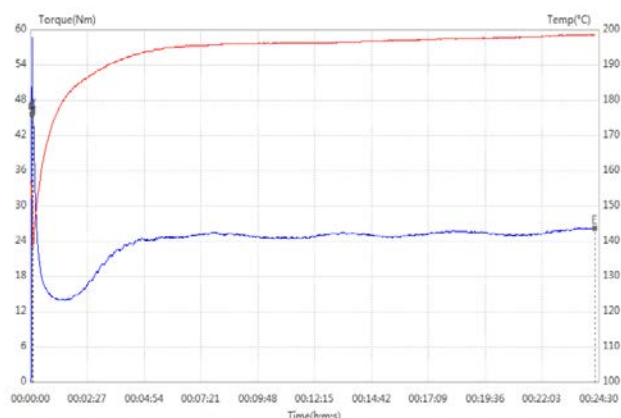


Рис. 1. Пластограма стандартної композиції

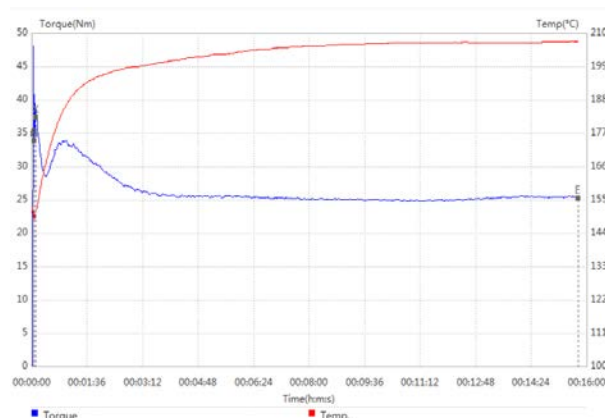


Рис. 2. Пластограма композиції з 20 м.ч ЕВА

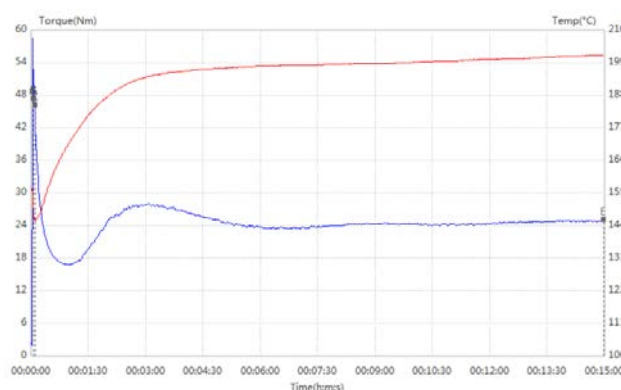


Рис. 3. Пластограма композицій з а) 50 м.ч. ЕВА; б) 100 м.ч. ЕВА (Шкала зліва – навантаження на двигун, зправа – температура, знизу – час. Синя лінія – навантаження на двигун, червона лінія – температура)

Збільшення навантаження на двигун означає початок термічної деструкції матеріалу [8]. За результатами пластограм можна побачити зменшення динамічної термостабільності композицій.

За даними результатів дослідження можна відзначити задовільні фізико-механічні та реологічні характеристики одержаних композицій [9]. Одержані плівки володіють достатньою міцністю та меншою густиною, що надає їм суттєву перевагу над плівками наповненими крейдою, оскільки процес транспортування та монтажу значно полегшується (рис. 4, 5).

Одержані плівки можна застосовувати для виготовлення нижнього шару покрівельного матеріалу для підлоги [10].



Рис. 4. Плівка, наповнена відходами ЕВА



Рис.5. Подрібнені відходи ЕВА

Висновки. В ході досліджень було розроблено технологію подрібнення відходів спіненого зшитого ЕВА в порошок, а також оптимальні рецептури для отримання екструдованого полотна шарів покриттєвого матеріалу. Встановлено, що внаслідок вальцювання та подальшої пульверизації взуттєві відходи зшитого спіненого ЕВА залишалися частково спієними, оскільки зі збільшенням вмісту наповнювача з 20 до 100 м.ч. зменшується щільність одержаного матеріалу з $1,42 \text{ кг/м}^3$ до $0,84 \text{ кг/м}^3$ відповідно, в порівнянні з $1,65 \text{ кг/м}^3$ у класичній композиції тобто майже вдвічі, що свідчить про зменшення ваги. Зі зменшенням ваги полегшується транспортування та монтаж виробів. Екструдовано плівки та проведено порівняння їх властивостей з класичною рецептурою. Встановлено, що одержані композиції володіють задовільними реологічними та фізико-механічними властивостями: ПТР – 21,1 г/10хв, 16,5 г/10хв, 14,3 г/10хв в порівнянні з 32,4 г/10хв у класичної композиції. Це свідчить про зменшення в'язкості розплаву, що полегшує переробку даного матеріалу; розривна міцність – 13,30 МПа, 11,03 МПа, 9,86 МПа при 20, 50 та 100 м.ч. наповнювача на 100 м.ч. ПВХ в порівнянні з 20,27 МПа у класичної композиції, що на 51,4 % нижче при максимальному наповненні. Це свідчить про значне зниження механічної міцності виробу, однак дає можливість використовувати отриманий матеріал у не відповідальних шарах покрівельних матеріалів для підлоги. Також даний метод дозволяє добитися здешевлення виробу.

Література

1. Long Yu, Hongsheng Liu. Wiley Encyclopedia of Composites. Polymer-PolymerComposites. –2011 – С. 18
2. Масканова Л.А., Аюрова О.Ж. Полимерные соединения и их применения. - 2004. – ВСГТУ – С. 278.
3. Шварц О. Переработка пластмасс.– 2005. – Профессия. – С. 315.
4. Гроссман Р. Руководство по разработке композиций на основе ПВХ. – 2009 – С. 608.

References

1. Long Yu, Hongsheng Liu. Wiley Encyclopedia of Composites. Polymer – PolymerComposites.– 2011 – P. 18
2. Maskanova L.A., Ayurova O.Z. Polymer compounds and their applications. – VSSTU – 2004. – P. 278.
3. Schwartz O. Plastic Processing – Profession. – 2005 – P. 315.
4. Grossman R., Manual for the development of compositions based on PVC. – 2009 – P. 608.

5. С.В. Сайтарли, В.П. Плаван, Ю.М. Пушкар'юв. Розробка полімерних композиційних матеріалів для покриттів і герметиків з підвищеною атмосферостійкістю / Технологічний аудит і резерви виробництва. – 2017. – № 1 (3). – С. 9-14.
6. Торнер Р. В. Теоретические основы переработки полимеров. – 1977. – Химия. – С. 359
7. Маския Л. И. Добавки для пластических масс. – 1978 – Химия. – С. 78
8. Готтлиб Е. М. ПВХ-линеалум: классификация, способы производства, анализ рынка, свойства: монография – 2015 – КНТУ – С. 25.
9. К. Раувендааль. Экструзия полимеров. – 2008. – Профессия – С. 461
10. Б.П. Штаркман. Пластификация поливинилхлорида. – 1975. – Химия. – С. 182.

5. Sitarli S., Plavan V., Pushkarov Yu. Development of polymer composite materials for coatings and sealants with high atmospheric resistance / Technological audit and production reserves. - 2017 - No. 1 (3). - pp. 9 – 14.
6. Thorner R. Theoretical bases of reworking polymers. – 1977. – Chemistry. – P. 359
7. Maski L. I. Additives for plastics. – 1978 - Chemistry. – p. 78
8. Gottlieb E. PVC linealum: classification, production methods, market analysis, properties: monograph – 2015 – KNTU – P. 25.
9. Rauvendaal K. Polymer extrusion. - 2008. – Professions – p. 461
10. Starkman B. Plasticization of polyvinyl chloride. – 1975. – Chemistry. – p. 182.

SAVCHENKO BOHDAN

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

KOSTIYUK I. M.

Kiev National University of Technologies & Design

SAVCHUK B.

Kiev National University of Technologies & Design

ПОЛИМЕР-ПОЛИМЕРНЫЙ КОМПОЗИТ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ СШИТОГО ЭТИЛЕНВИНИЛАЦЕТА

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

Киевский национальный университет технологий и дизайна

Цель. Разработка технологии переработки технологических отходов сшитого ЕВА с последующим использованием в качестве наполнителя полимер-полимерного композита ПВХ/ЭВА.

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 определены с помощью пластографа RM-200C Hapro rheometer. 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 последующей переработки отходов сшитого ЕВА. Отходы подвергали вальцовке после обработки пластификатором (стеариновой кислотой) при $130-140^\circ\text{C}$. Полученную компактную массу подвергали пульверизации. Определены свойства полученной ПВХ пленки, наполненной сшитым ЕВА. Прочность данной пленки по сравнению с классической рецептуре 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 использования отходов сшитого ЕВА

качестве наполнителя для пластифицированного ПВХ. Установлены особенности физико-механических свойств полученных композиций.

Практическое значение. Разработанная технология позволяет обеспечить безотходное производство изделий из ЭВА на предприятиях.

Ключевые слова: поливинилхлорид, ЭВА, смешанные отходы, измельчения, полимер-полимерный композит.

**POLYMER-POLYMER COMPOSITE BASED ON WASTE EVA
SAVCHUK B. P., SAVCHENKO B. M., SOVA N. V., KOSTIYK I. M.**

Kyiv National University of Technologies and Design

Goal. Development of technology for the processing of cross linked EVA waste, followed by the use of polymer / polymer composite PVC / EVA as a filler.

Method. The determination of the MFI was carried out in accordance with ISO 1133: 1997 on a capillary viscometer of constant pressure at a temperature of $(190 \pm 0,5)^\circ \text{C}$ and a weight of 2,16 kg. The thermostability and melting point are determined using the RM-200C Hapro rheometer plastograph. The mechanical properties were determined on a bursting machine according to the ASTM D638. Hardness - using a hard-gauge with a Shore-D scale, the density by hydrostatic weighing method on the analytical scales RADWAG AS-X2.

Results Selected equipment for shredding and further processing of sewed EVA waste. Waste was subjected to rolling after treatment with a plasticizer (stearic acid) at 130-140 °C. The resulting compact mass was sprayed. The properties of the resulting PVC film, filled with cross linked EVA, were determined. The strength of this film compared with the classical recipe is lower, but when using such materials in the composition can obtain a material with high physical and mechanical properties and, of course, achieve maximum non-waste production, which also has a positive impact on the economy of the enterprise.

Scientific novelty. For the first time, the technology of using waste cross linked EVA as a filler for plasticized PVC has been developed. The peculiarities of physical and mechanical properties of the received compositions are established.

Practical meaning. The developed technology allows to provide non-waste production of EVA products at enterprises.

Key words: polyvinyl chloride, EVA, mixed waste, grinding, polymer-polymer composite.

УДК 621.791.52:
620.193.013

НИРКОВА Л. І.^{*}, ЛАБУР Т.М.^{*}, РЯБИКО О. М.^{**},
БОРИСЕНКО Ю. В.^{**}

Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України*
Київський національний університет технологій та дизайну**

КОРЕЛЯЦІЯ МІЖ ЕЛЕКТРОХІМІЧНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ ЗВАРНОГО З'ЄДНАННЯ АЛЮМІНІЄВОГО СПЛАВУ СИСТЕМИ Al-Mg-Cu-Si ТА ЙОГО СТІЙКІСТЮ ПРОТИ ЛОКАЛЬНОЇ КОРОЗІЇ

Мета. Дослідження кореляції між електрохімічними властивостями зварного з'єднання алюмінієвого сплаву системи легування Al-Mg-Cu-Si та його стійкістю проти локальної корозії.

Методика. Застосовували методи потенціометрії, поляризаційних кривих, прискорені випробування стійкості проти міжкристалітної корозії згідно з ГОСТ 9.913. Застосовували такі засоби виміральної техніки: ваги аналітичні ВРЛ 200, потенціостат ПП-50.1.

Результати. Визначено електрохімічні властивості в розчині 3% NaCl зварного з'єднання алюмінієвого сплаву системи легування Al-Mg-Cu-Si, отриманого вільною дугою, та оцінено його стійкість проти міжкристалітної корозії. Результатами електрохімічних досліджень встановлено, що потенціал зварного шва та зони термічного впливу є більш благородними порівняно з основним металом. Зважаючи на більшу площу основного металу в конструкції порівняно із зварним швом (площа зварного шва становить не більше 10% від площі основного металу) в цілому можна очікувати задовільну стійкість зварного з'єднання проти суцільної корозії. Максимальна глибина міжкристалітної корозії біляшовної зони сплаву Al-Mg-Cu-Si становить близько 0,350 мкм, що більше ніж для основного металу – близько 0,086 мкм. Збільшення глибини руйнування границь зерен у зварному з'єднанні підтверджує факт розміщення біляшовної зони під час зварювання.

Наукова новизна. Встановлено кореляцію між електрохімічними характеристиками зварного з'єднання алюмінієвого сплаву системи легування Al-Mg-Cu-Si, отриманого вільною дугою, а саме потенціалом корозії та струмом анодного розчинення в активній області потенціалів та стійкістю проти міжкристалітної корозії. Показано, збільшення глибини міжкристалітної корозії біляшовної зони корелює з більшими струмами анодного розчинення в ній.

Практична значимість. Встановлено, що термічний цикл зварювання сприяє зменшенню біляшовної зони зварного з'єднання, отриманого вільною дугою, алюмінієвого сплаву системи легування Al-Mg-Cu-Si, що призводить до зниження стійкості проти міжкристалітної корозії.

Ключові слова: алюмінієвий сплав системи легування Al-Mg-Cu-Si, зварне з'єднання, електрохімічні властивості, міжкристалітна корозія.

Вступ. Алюміній та його сплави є одними з основних конструкційних матеріалів, які широко застосовуються в аерокосмічній галузі, водному транспорті, будівництві, тощо. Для підвищення міцності до складу алюмінію вводять легуючі домішки [1-2]. Сплави системи Al-Mg-Cu-Si відносяться до алюмінієвих сплавів, що деформуються та термічно зміцнюються. Ці сплави характеризуються поєднанням високої технологічності, корозійної стійкості та високої міцності. Перспективним сплавом цієї системи є сплав марки В-1341. Слід відзначити, що властивості алюмінієвих сплавів, що термічно зміцнюються, залежать від швидкості охолодження виробу при гартуванні, що впливає на структуру і рівень залишкових напружень. Зниження конструкційної міцності, стійкості проти міжкристалітної корозії, що спостерігається при уповільненому охолодженні під час гартування, пов'язано з утворенням нерівновісних виділень, зон вільних від виділень, а також зниженням частки включень зміцнюючої фази [3].

Велика кількість науково-дослідних робіт, в цілому, направлена на вивчення закономірностей впливу їх складу на структуру, фазовий склад та механічні властивості. Представляють інтерес роботи, направлені на вивчення причин міжкристалітної корозії та дослідження підходів для її зменшення [4]. Тому робота представляє дослідницький інтерес та є актуальною.

Постановка завдання. Метою даної роботи є дослідження зв'язку між електрохімічними властивостями зварного з'єднання сплаву В1341 в розчині 3 % хлориду натрію та стійкістю проти міжкристалітної корозії. Об'єктом дослідження є зварне з'єднання алюмінієвого сплаву системи легування Al-Mg-Cu-Si, який відноситься до сплавів, що термічно зміцнюються.

Результати дослідження. Дослідження проводили на зварному з'єднанні алюмінієвого сплаву системи легування Al-Mg-Cu-Si. Хімічний склад сплаву (у ваг. %): (0,45-0,9) Mg, (0,5-1,2) Si, (0,15-0,35) Mn, (0,1-0,5) Cu, (0,05-0,1) Ca, 0,25 Cr, 0,2 Zn, 0,15 Ti, 0,5 Fe, інші елементи не більше 0,1. Зварне з'єднання отримували вільною дугою на оптимальному режимі: $I_{зв} = 54 \div 56$ А, $U_d = 11,1 \div 12,4$ В, при якому утворюється щільний шов без дефектів, рис. 1.

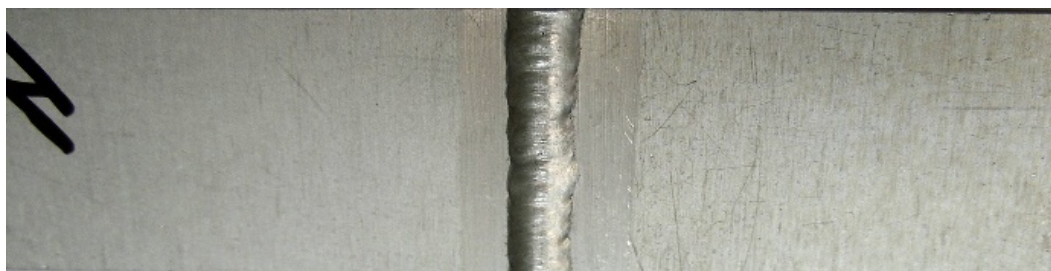
Для дослідження впливу термічного циклу зварювання на електрохімічну гетерогенність зон зварного з'єднання аналізували розподіл потенціалів по поверхні зразка. Метод використовується для попередньої оцінки імовірності переважного руйнування більш активної зони зварного з'єднання при контакті з корозійно-агресивним середовищем.

Встановлено, що потенціал корозії основного металу (ОМ) є більш негативним порівняно зі зварним швом (ЗШ) та зоною термічного впливу (ЗТВ): різниця становить близько 0,095 В та 0,025 В, відповідно.

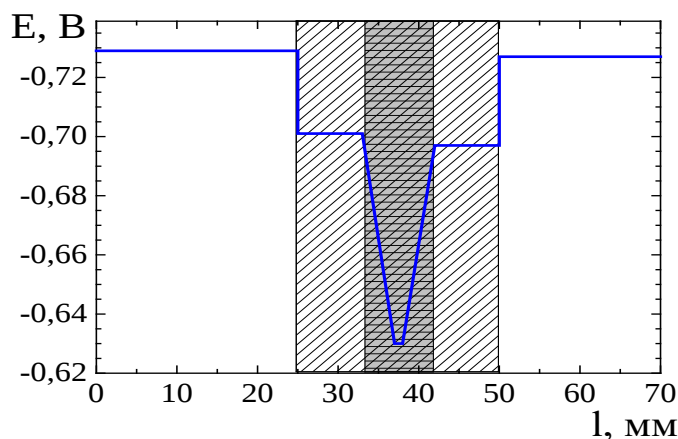
Згідно з ГОСТ 9.005 (пункт 4.4.5) [5] в зварних конструкціях різниця потенціалів між зварним швом і основним металом не повинна перевищувати 30-50 мВ. Тобто, термодинамічно ймовірно, що при контакті з корозійно-агресивним середовищем можна очікувати переважного руйнування основного металу. Але, у зв'язку з його більшою площею у виробі, така різниця не є небезпечною і, в цілому, не сприятиме погіршенню корозійної стійкості зварного з'єднання при контакті з корозійно-активним середовищем. Але треба мати на увазі, що стійкість зварного з'єднання проти локальної корозії, в умовах сумісного впливу корозійного середовища та напружень, може відрізнятись.



а



б



ис.1. Зовнішній вигляд області зварного шва сплаву системи Al-Mg-Cu-Si, отриманого ручним зварюванням вільною дугою (1) та розподіл потенціалів по поверхні (2): а – лицьова поверхня шва, б – корінь шва

Досліджено електрохімічні властивості основного металу та зварного шва при анодній та катодній поляризації. Поляризаційні криві знімали в потенціодинамічному режимі зі швидкістю розгорнення потенціалу 5×10^{-4} В/с в розчині 3 % NaCl (рис. 2).

З поляризаційних кривих визначено та обчислено такі електрохімічні параметри: струм в області активного анодного розчинення, тафелівський нахил, граничний дифузійний струм, потенціал початку виділення водню (табл. 1).

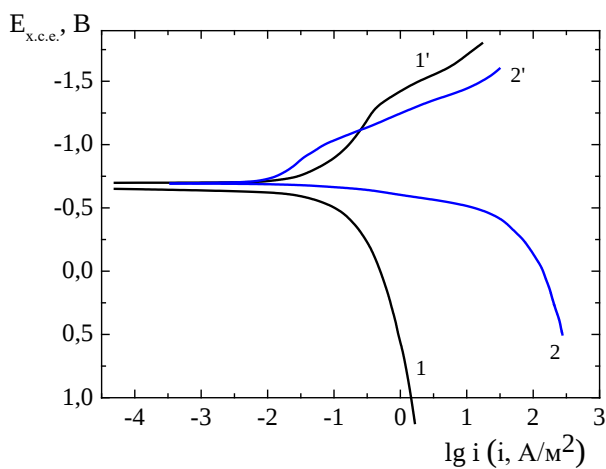


Рис. 2. Поляризаційні криві, зняті на основному металі та зварному шві зварного з'єднання системи Al-Mg-Cu-Si: 1 – основний метал; 2 – зварний шов

Таблиця 1

Електрохімічні параметри анодного процесу різних зон зварного з'єднання алюмінієвого сплаву В1341Т

Зона зварного з'єднання	Електрохімічні параметри				
	E_{cor} , В	b_a , В	$i_{-0,55В}$, А/м ²	i_{O_2} , А/м ²	E_{H_2} , В
Основний метал	-0,721...-0,727	0,025	0,057	0,210	-1,31
Зварний шов	-0,628...-0,630	0,014	3,42	0,029	-0,96

З аналізу анодної кривої встановлені наступні особливості поведінки. Довжина області активного анодного розчинення для металу шва становила близько 160 мВ, основного металу – близько 100 мВ. Струми в активній області на ЗШ був майже на 2 порядки більше, ніж ОМ: наприклад, за потенціалу -0,55 В струми дорівнювали 3,42 і 0,057 А/м², відповідно, що відповідає більш довгій області активного розчинення. Тафелевський нахил на основному металі був вище, ніж на зварному шві – 0,025 і 0,014 В, відповідно. Можна припустити, що це свідчило про схильність зварного шва до більш легкого розчинення порівняно з ОМ. Аналізуючи закономірності анодного розчинення цього зварного з'єднання, висловлено припущення, що більш активна поведінка зварного шва може сприяти його локальній корозії.

Для перевірки цього припущення досліджували стійкість зварного з'єднання проти міжкристалітної корозії (МКК) згідно з ГОСТ 9.021 [6]. Для випробувань виготовляли зразки розміром 10×50×1 мм. Зразки знежирювали етиловим спиртом, піддавали травленню у розчині 10 % гідроксиду натрію за температури 50 °С та освітлювали у 25 % розчині азотної кислоти, промивали у проточній, потім у дистильованій воді та висушували фільтрувальним папером. Випробування проводили у скляних стаканах, розміщуючи зразки таким чином, щоб запобігти контактування їх один з одним. Склад робочого розчину: 30 г/л хлориду натрію, 10 мл/л соляної кислоти, густина розчину – 1,19 г/см³, тривалість випробувань – 24 год.

Після випробувань зразки промивали так, як описано вище, висушували фільтрувальним папером. Для оцінювання стійкості проти МКК використовували металографічний метод. Критерієм стійкості проти МКК є глибина руйнування границь зерен не більше, ніж на 0,350 мм. Шліфи досліджували при збільшенні ×320.

На рис. 3 наведено фото мікроструктури основного металу та зварного з'єднання сплаву системи Al-Mg-Cu-Si після випробувань стійкості проти МКК. З аналізу даних рисунку видно, що глибина руйнування зварного з'єднання (рис. 3, а) більша, ніж основного металу (рис. 3, б).



Основний метал



Зона сплавлення зварного з'єднання

Рис. 3. Мікроструктура основного металу та зварного з'єднання сплаву системи Al-Mg-Cu-Si після випробувань стійкості проти МКК, $\times 320$

Таким чином, основний метал зварного з'єднання алюмінієвого сплаву В-1341Т системи Al-Mg-Cu-Si у стані поставки є стійкими проти міжкристалітної корозії – глибина руйнування становить від 0,062 до 0,111 мм. Зварне з'єднання сплаву В-1341Т, отримане вільною дугою, є не стійкими проти міжкристалітної корозії – глибина руйнування становить від 0,224 до 0,431 мм. За результатами електрохімічних досліджень відмічено більшу корозійну активність металу шва. Порівнюючи отримані результати, зроблено висновок про те, що існує кореляція між електрохімічними властивостями та стійкістю проти локальної корозії зон зварного з'єднання.

Висновки. Встановлено електрохімічну гетерогенність зварного з'єднання алюмінієвого сплаву В-1341Т системи Al-Mg-Cu-Si, яка проявляється у різній стійкості проти міжкристалітної корозії основного металу і металу шва. Підтверджено експериментально, що стійкість проти локальної корозії зон зварного з'єднання задовільно корелює з електрохімічними властивостями, а саме, з потенціалом корозії та струмом анодного розчинення в активній області потенціалів.

Література

1. Мондольфо Л. Ф. Структура и свойства алюминиевых сплавов. - М.: Металлургия. - 1979. - 398 с.
2. Арчакова З. Н., Балаховцев Г. А., Басова И. Г. Структура и свойства полуфабрикатов из алюминиевых сплавов. - М.: Металлургия. - 1984. - 408 с.
3. Хэтч Дж. Е. Алюминий: свойства и физическое металловедение. Пер. с англ./ Под ред. Дж. Е. Хэтча. - М.: Металлургия, 1989. - 422 с.
4. Фридляндер И. Н., Систер В. Г., Грушко О.Е. Алюминиевые сплавы – перспективный материал в автомобилестроении // Металловедение и термическая обработка металлов. - 2002. - №9. - С. 3 – 9.
5. Фридляндер И. Н. Алюминиевые деформируемые конструкционные сплавы. М.: Металлургия. - 1979. - 208 с.
6. Ищенко А. Я., Лабур Т. М. Сварка современных конструкций из алюминиевых сплавов. - Киев, Наукова думка. - 2013. - 416 с.

References

1. Mondol'fo L. F. Struktura i svoystva alyuminiyevykh splavov. [Structure and properties of aluminum alloys] M.: Metallurgiya. - 1979. - 398 p.
2. Archakova Z. N., Balakhovtsev G. A., Basova I. G. Struktura i svoystva polufabrikatov iz alyuminiyevykh splavov. [Structure and properties of semi-finished products from aluminum alloys] M.: Metallurgiya. - 1984. - 408 p.
3. Khetch Dzh. Ye. Alyuminiy: svoystva i fizicheskoye metallovedeniye. [Aluminum: properties and physical metallurgical science] Per. s angl./ Pod red. Dzh.Ye.Khetcha. M.: Metallurgiya. - 1989. - 422 p.
4. Fridlyander I. N., Sister V. G., Grushko O. Ye. Alyuminiyevyye splavy – perspektivnyy material v avtomobilestroyenii [Aluminum alloys – perspective material in automotive industry] // Metallovedeniye i termicheskaya obrabotka metallov. [Metallurgical science and heat treatment of metals]. - 2002. - №9. P. 3 – 9.
5. Fridlyander I. N. Alyuminiyevyye deformiruyemye konstruktsionnyye splavy. [Aluminum deformable constructional alloys] M.: Metallurgiya. - 1979. - 208 p.
6. Ishchenko A. YA., Labur T. M. Svarka sovremennykh konstruktsiy iz alyuminiyevykh splavov [Welding of the modern designs from aluminum alloys]. - Kiev, Naukova dumka. - 2013. - 416 p.

7. Фам Хонг Фу. Совершенствование технологии термической обработки изделий из деформируемых алюминиевых сплавов системы Al-Mg-Si на основе выбора режимов охлаждения при закалке. – Дис. Канд. Техн. Наук. – [Место защиты: Московский государственный технический университет имени Н. Э Баумана], 2016. – 145 с.

8. Колобнев Н. И., Бер Л. Б., Хохлатова Л.Б. Структура, свойства и применение сплавов системы Al-Mg-Si-(Cu) // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2011. – № 9. – С. 40-45.

9. ГОСТ 9.021-74 Единая система защиты от коррозии и старения. Алюминий и сплавы алюминиевые. Методы ускоренных испытаний на межкристаллитную коррозию. – [Введен 1975-01-01]. – М.: Издательство стандартов. – 1978. – 4 с.

10. ГОСТ 9.005-72 Единая система защиты от коррозии и старения. Металлы, сплавы, металлические и неметаллические неорганические покрытия. Допустимые и недопустимые контакты с металлами и неметаллами. [Введен 1973-07-01]. – М.: Издательство стандартов. – 2004. – 27 с.

7. Fam Khong Fu. Sovershenstvovaniye tekhnologii termicheskoy obrabotki izdeliy iz deformiruyemykh alyuminiyevykh splavov sistemy Al-Mg-Si na osnove vybora rezhimov okhlazhdeniya pri zakalke. [Perfecting of technology of a heat treatment of products from deformable aluminum alloys of the Al-Mg-Si system on the basis of the choice of the modes of cooling when training] – Dis. Kand. Tekhn. Nauk. – [Mesto zashchity: Moskovskiy gosudarstvennyy tekhnicheskyy universitet imeni N. E Baumana] – 2016. – 145 p.

8. Kolobnev N. I., Ber L. B., Khokhlatova L. B. Struktura, svoystva i primeneniye splavov sistemy Al-Mg-Si-(Cu) [Structure, properties and use of alloys of the Al-Mg-Si-(Cu) system] // Metallovedeniye i termicheskaya obrabotka metallov. [Metallurgical science and heat treatment of metals] – 2011. – № 9. – P. 40 – 45.

9. GOST 9.021-74 Yedinaya sistema zashchity ot korrozii i stareniya. Alyuminiy i splavy alyuminiyevyye. Metody uskorenykh ispytaniy na mezhkristallitnyuyu korroziyu [Unified system of corrosion and aging protection. Aluminum and alloys aluminum. Methods of accelerated tests on intercrystalline corrosion]. – [Entered 1975-01-01]. – M.: Standards publishing house. – 1978. – 4 p.

10. GOST 9.005-72 Yedinaya sistema zashchity ot korrozii i stareniya. Metally, splavy, metallicheskiye i nemetallicheskiye neorganicheskiye pokrytiya. Dopustimyye i nedopustimyye kontakty s metallami i nemetallami [Unified system of corrosion and aging protection. Metals, alloys, metal and nonmetallic inorganic coating. Admissible and inadmissible contacts with metals and nonmetals]. – [Entered 1973-07-01]. – M.: Standards publishing house. – 2004. – 27 p.

NYRKOVA LYUDMILA

lnyrkova@gmail.com

ResearcherID: 6506092726

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

E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine, Kiev, department of welding of oil and gas pipes

BORYSENKO YULIYA

boria95@ukr.net

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

Department of Electrochemical Power

Engineering & Chemistry

Kyiv National University of Technologies & Design

LABUR TATIANA

tanyalabur@gmail.com

ResearcherID: 6506343754

E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine, Kyiv, department of «Physical and metallurgical processes of welding light metals and alloys»

КОРРЕЛЯЦИЯ МЕЖДУ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА СИСТЕМЫ Al-Mg-Cu-Si И ЕГО УСТОЙЧИВОСТЬ К ЛОКАЛЬНОЙ КОРРОЗИИ НЫРКОВА Л. И. *, ЛАБУР Т. М. *, РЯБИКО О. М. **, БОРИСЕНКО Ю. В. **

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

**Киевский национальный университет технологий и дизайна

Цель. Исследование корреляции между электрохимическими свойствами сварного соединения алюминиевого сплава системы легирования Al-Mg-Cu-Si и его стойкостью против локальной коррозии.

Методика. Использовали методы потенциометрии, поляризационных кривых, ускоренные испытания стойкости против межкристаллитной коррозии по ГОСТ 9.913. Применяли такие средства измерительной техники: весы аналитические ВРЛ 200, потенциостат ПИИ-50.1.

Результаты. Изучены электрохимические свойства в растворе 3% NaCl сварного соединения алюминиевого сплава системы легирования Al-Mg-Cu-Si, полученного свободной дугой, оценена его стойкость против межкристаллитной коррозии. Результатами электрохимических исследований установлено, что потенциал сварного шва и зоны термического влияния являются более

благородными по сравнению с основным металлом. Учитывая большую площадь основного металла в конструкции по сравнению со сварным швом (площадь сварного шва составляет не более 10% от площади основного металла) в целом можно ожидать удовлетворительную стойкость сварного соединения к сплошной коррозии. Максимальная глубина межкристаллитной коррозии околошовной зоны сварного соединения сплава Al-Mg-Cu-Si составляет около 0,350 мкм, что больше, чем для основного металла - около 0,086 мкм. Увеличение глубины разрушения границ зерен в сварном соединении подтверждает факт разупрочнения околошовной зоны при сварке.

Научная новизна. Установлена корреляция между электрохимическими характеристиками сварного соединения алюминиевого сплава системы легирования Al-Mg-Cu-Si, полученного свободной дугой, в частности, потенциалом коррозии и током анодного растворения в активной области потенциалов и стойкостью против межкристаллитной коррозии. Показано, что увеличение глубины межкристаллитной коррозии околошовной зоны коррелирует с большими токами анодного растворения зоны.

Практическая значимость. Установлено, что термический цикл сварки способствует разупрочнению околошовной зоны сварного соединения, полученного свободной дугой, алюминиевого сплава системы легирования Al-Mg-Cu-Si, что приводит к снижению стойкости против межкристаллитной коррозии.

Ключевые слова: алюминиевый сплав системы легирования Al-Mg-Cu-Si, сварное соединение, электрохимические свойства, межкристаллитная коррозия.

CORRELATION BETWEEN ELECTROCHEMICAL PROPERTIES OF THE WELDED JOINT OF ALUMINIUM ALLOY OF THE AL-MG-CU-SI SYSTEM AND ITS RESISTANCE TO LOCAL CORROSION

NYRKOVA L. I.^{*}, LABUR T.M.^{*}, RIABYKO O. M.^{**}, BORYSENKO Yu. V.^{**}

^{*}Ye.O. Paton Electric-Welding Institute of the NAS of Ukraine

^{**}Kyiv National University of Technology and Design

Purpose. The study of the correlation between the electrochemical properties of a welded joint of an aluminum alloy of the Al-Mg-Cu-Si alloying system and its resistance against local corrosion.

The technique. Potentiometry, polarization curves techniques, accelerated tests of resistance against intergranular corrosion according to GOST 9.913 were used. The measuring equipment analytical VRRL 200 scales, potentiostat PI-50.1 was applied.

Results. Electrochemical properties in a solution of 3% NaCl of a welded joint of an aluminum alloy of the Al-Mg-Cu-Si alloying system obtained by a free arc were studied, its resistance against intergranular corrosion was evaluated. In accordance with the results of electrochemical studies it have established that the potential of the weld and the heat-affected zone are more noble in comparison with the base metal. Taking into account the larger area of the base metal in the structure in compare to the weld (the weld area is no more than 10% of the base metal area), in general, satisfactory resistance of the welded joint to uniform corrosion can be expected. The maximum depth of intergranular corrosion of the heat-affected zone of the welded joint of the Al-Mg-Cu-Si alloy is about 0.350 μm , which is more than the depth of intergranular corrosion for the base metal — about 0.086 μm . The increasing of the depth of breaking down of grain boundaries in a welded joint confirms the fact of the softening of the heat-affected zone during welding.

Scientific novelty. A correlation between the electrochemical characteristics of the welded joint of an aluminum alloy of the Al-Mg-Cu-Si alloying system obtained by a free arc, in particular, the corrosion potential and the anodic dissolution current in the active potential region and resistance against to intergranular corrosion was established. It is shown that an increasing of the depth of intergranular corrosion of the heat-affected zone correlates with the large currents of the anodic dissolution of this zone.

Practical significance. It has been established that the thermal welding cycle promotes the weakening of the heat-affected zone of the welded joint of an aluminum alloy of the Al-Mg-Cu-Si alloying system, obtained by a free arc. It leads to a decreasing of the resistance against intergranular corrosion.

Keywords: aluminum alloy of the Al-Mg-Cu-Si alloying system, welded joint, electrochemical properties, intergranular corrosion.

УДК 615.1:66.06:504.5

БЕССАРАБОВ В. І.^{*}, ВАХІТОВА Л. М.^{**}, КУЗЬМІНА Г. І.^{*},
ВАСИЛЕНКО В. Ю.^{*}

Київський національний університет технології та дизайну*
Інститут фізико-органічної хімії і вуглехімії ім. Л. М. Литвиненка НАН
України**

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДУ ОЧИЩЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ФАРМАЦЕВТИЧНИХ ТА ХІМІЧНИХ ВИРОБНИЦТВ З ВИКОРИСТАННЯМ МІЦЕЛЯРНОЇ СИСТЕМИ ДЕЗАКТИВАЦІЇ

Мета. Дослідження методу очищення технологічного обладнання фармацевтичних та хімічних виробництв з використанням нової міцелярної системи дезактивації на основі твердого джерела перексиду водню.

Методика. Модельною речовиною характерної хімічної структури обрано диметоат. В якості модельної системи для визначення ефективності системи деконтамінації використовували процес очищення технологічного обладнання при виробництві гербіциду на основі диметоату. Для визначення концентрації диметоату в розчинах використовували валідовану HPLC методику.

Результати. Встановлено, що нова міцелярна деконтамінаційна система на основі твердого джерела перексиду водню прийнятна для очищення технологічного обладнання в модельному процесі виробництва з використанням активного інгредієнту диметоату. Показано, що час дезактивації зараженого розчину із вмістом диметоату 3000 ppm до рівня нижче межі кількісного визначення становить 120 хвилин.

Наукова новизна. Вперше досліджено ефективність нової міцелярної системи дезактивації на основі твердого джерела перексиду водню для очищення технологічного обладнання в модельному процесі виробництва пестицидів на основі диметоату.

Практична значимість. На підставі оцінки ефективності нової міцелярної системи дезактивації на основі твердого джерела перексиду водню в процесі знезараження промивних вод, які містять диметоат, можуть бути розроблені технологічні схеми очищення технологічного обладнання в хімічній та фармацевтичній галузях промисловості.

Ключові слова: деконтамінація, фосфорорганічні сполуки, ефективність, метод очищення обладнання, тверде джерело перексиду водню, токсичні речовини.

Вступ. Проблема знешкодження фосфорорганічних сполук - активних компонентів хімічної зброї, пестицидів, активних фармацевтичних інгредієнтів, високотоксичних хімічних продуктів на сучасному етапі стає особливо актуальною, так як тісно пов'язана зі зростаючими вимогами до екологічної безпеки населення планети [1 - 2].

Наукові дослідження в цій області активізувалися після 1993 року з моменту прийняття міжнародної Конвенції про заборону хімічної зброї, відповідно до якої країни прийняли на себе зобов'язання ліквідувати заявлені запаси хімічної зброї [2].

Зі значного різноманіття технологій розкладання і утилізації фосфорорганічних сполук (ФОС) слід виділити три основні групи методів - хімічні, термічні і біологічні [3], які в даний час використовуються в промислових масштабах для знищення основних представників бойових отруйних речовин і пестицидів на основі ФОС: зарину (GB), зоману (GD), Ві-Екс-газу (VX), метафосу, хлорофосу та їх аналогів.

В якості основних технологічних підходів до руйнування ФОС хімічними методами використовуються гідроліз у водних розчинах лугів, окисне хлорування сумішшю хлорного вапна і гіпохлориду кальцію, алкоголіз моноетаноламіном або бутилатом калію з наступним

термічним бітуміруванням сольових концентратів і їх складуванням [3]. Спільними суттєвими недоліками наведених способів хімічної детоксикації є: періодичність застосовуваних технологій, значне корозійне навантаження на обладнання в силу агресивності дегазаційних середовищ, велика кількість забруднених стічних вод [3]. Необхідно також відзначити, що використовувані в промислових технологіях реагенти (луги, алкоголяти лужних металів, моноетаноламін) не відрізняються високою реакційною здатністю по відношенню до ефірів фосфорних і фосфонових кислот [3]. Ця обставина в сукупності з нерозчинністю ФОС у водних середовищах вимагає проведення процесів при високих температурах і значних концентраціях дегазуючого агента для скорочення часу детоксикації.

Тому основним завданням досліджень, пов'язаних зі знищенням ФОС, є пошук нових нетрадиційних рішень для конструювання ефективних дегазаційних систем на основі м'яких реagentів і середовищ з високим екологічним ступенем надійності і економічної доцільності [3].

В рамках сучасних напрямків пошуку хімічно активних компонентів, які швидко і необоротно розщеплюють екотоксиканти, особлива увага приділяється створенню універсальних систем окислювально-нуклеофільного механізму дії для знищення бойових отруйних речовин різної природи. Так, якщо по відношенню до ефірів і галогенангідридів фосфорорганічних кислот (GB) ефективними є нуклеофіли [4], а по відношенню до діалкілсульфідів типу іприту - окислювачі [5; 6], то для розщеплення речовин типу VX або сумішей сполук всіх трьох типів (GB, HD і VX) ефективними переважно є окислювально-нуклеофільні системи, що містять пару $\text{NOX} - \text{OX}^-$ ($\text{X} = \text{OH}, \text{Hal}$ і ін.) [7].

З практичної точки зору для цієї мети особливо привабливі системи на основі пероксиду водню, оскільки гідропероксид-аніон HOO^- є одним з найактивніших α -нуклеофілів [1; 4; 8; 9], а H_2O_2 , як відомо, проявляє слабкі окислювальні властивості [5; 10; 11]. Для посилення окисної реакційної здатності H_2O_2 використовують різні активатори кислотної природи, які здатні перетворювати його в перексокислоти [5; 6]. Стосовно проблеми дегазації технологічного обладнання хімічних та фармацевтичних виробництв найбільший інтерес з точки зору екологічної та промислової безпеки представляє метод активації H_2O_2 під дією гідрокарбонат-іона [5] і похідних борної кислоти [12].

Постановка завдання. Важливим аспектом ефективності систем деконтамінації ФОС є універсальний характер дії [2, 3]. Це передбачає можливість застосування дегазуючого агента для очищення обладнання, технологічних поверхонь, які забруднені ФОС різної хімічної структури. Тому метою цього дослідження стало випробування ефективності нової деконтамінаційної системи на основі твердого джерела пероксиду водню [13] для очищення технологічного обладнання в модельному процесі з виробництва комерційного продукту на базі диметоату (O,O-Dimethyl S-[2-(methylamino)-2-oxoethyl] phosphorodithioate) – типового представника фосфорорганічних пестицидів.

Матеріали та методи дослідження. Використовували диметоат (Sigma-Aldrich, Inc., Німеччина) (модельна фосфорорганічна сполука), луг КОН (Lachema, Чеська Республіка), 1,4-діоксан (Alfa Aesar, Німеччина) без попереднього очищення. Для приготування розчинів використовували високочисту воду 1 класу.

Для проведення кінетичного дослідження використовували таке обладнання: рН-метр «рН-150 МИ» (ТОВ «Вимірювальна техніка», РФ); HPLC хроматограф Agilent 1100 Series (Agilent, UK); лабораторну установку водопідготовки RO-4 (Werner, Німеччина); установку для отримання високочистої води 1 класу Sartorius Stedim biotech Arium H2O pro DI-T (Sartorius, Німеччина); аналітичні ваги AccuLab ALC 110.4 (Sartorius, Німеччина); водяний термостат Brookfield TC-200 з системою охолодження Brookfield TC-350 (Brookfield, Сполучені Штати Америки).

В якості деконтамінаційного використовували розчин на основі мицелярної системи окисно-нуклеофільного типу [13].

Для визначення концентрації диметоату в розчинах використовували валідовану HPLC методику:

Аналітична колонка: Kinetex® 5 µm EVO C18 100 Å, LC Column 150 * 4.6 mm.

Хроматографічні умови:

- Мобільна фаза: ацетонітрил: р-н оцтової кислоти (рН=3,5) = 40:60
- Швидкість потоку: 1 см³/хв
- Розчинник: ацетонітрил
- Температура термостату колонки: 40 °С
- Температура термостату інжектора: 20 °С
- Об'єм інжекції: 5 мкл
- Довжина хвилі детектування: PDA, λ = 210 нм.

У якості стандарту використовували зразок ГСО 7406-97 (98,7 %).

Для знезараження промивних вод очищення технологічного обладнання, забрудненого диметоатом, до зразка об'ємом 2500 см³ додавали розроблений деконтамінаційний розчин [13] у кількості 500 см³.

Систему поміщали на магнітну мішалку та перемішували без підігріву зі швидкістю 10-20 об/хв протягом 2,5 годин.

Кожні 60 хв відбирали 25 мл робочого розчину та кількісно визначали вміст диметоату. Попереднім аналізом було встановлено початкову концентрацію диметоату в розчині.

Результати дослідження. Обчислення результатів дослідження проводили за відомим алгоритмом (формула 1–5):

Вміст диметоату (X) в досліджуваному зразку (промивних водах) визначали за рівнянням (1):

$$X = \frac{S \cdot m_{st}}{S_{st} \cdot m} \cdot P \quad (1)$$

де:

S_{st} – площа піку диметоату на хроматограммі стандартного розчину, у.о.;

S – площа піку диметоату на хроматограммі випробуваного розчину, у.о.;

m_{st} – маса стандартного зразка, взята для приготування стандартного розчину, г;

m – маса випробуваного зразка, взята для приготування випробуваного розчину, г;

P – чистота стандартного зразка (0,9530).

За результат приймали середні значення за всіма вимірами, які посторювали минимум 3 рази.

Розрахунки проводили за наступним алгоритмом:

1. Площу піку диметоату на кожній з хроматограмм приводили до номінальної наважки 50,00 мг за рівнянням (2):

$$S_{\pi} = \frac{S_0 \cdot 0.0500}{m} \quad (2)$$

де:

S_{π} – площа піку приведена до стандартної наважки, у.о.;

m – маса наважки для приготування розчину, г.

2. Розраховували середню площу піку стандартного розчину за рівнянням (3):

$$S = \frac{\sum_{i=1}^N S_{i,st}}{N} \quad (3)$$

де: N – кількість вимірювань.

3. Розраховували середню площу піку стандартного розчину за рівнянням (4):

$$S = \frac{\sum_{i=1}^N S_{i,sm}}{N} \quad (4)$$

де: N – кількість вимірювань

Результати дослідження наведено в таблиці. Результат випробувань вважали достовірним, якщо середньоквадратичне відхилення для середнього значення хроматограмм стандартного розчину та середньоквадратичне відхилення для середнього значення хроматограмм випробуваного розчину не перевищувало 1,0% (відн.).

4. Розраховані значення S_{st} та S підставляли у рівняння (1) та проводили розрахунки. Вміст диметоату у ppm (C) визначали за формулою (5) (табл. 1):

$$C = X \cdot 10000. \quad (5)$$

Таблиця.

Результати випробувань деконтамінації диметоату

Зразок	m , мг	S_{π} , у.о.	$S_{\text{сеп}}$, у.о.	RSD, %	C , ppm
Стандарт	14,00	5066019	5077335	0,32	-
	7,00	5088651			
Промивні води (вихідний зразок)	10013,00	14211	14224	0,13	2765
	10013,00	14237			
Промивні води (через 60 хвилин деконтамінації)	10484,20	214	217	1,74	42
	10484,20	220			
Промивні води (через 120 хвилин деконтамінації)	15031,30	72	72	1,28	14
	15031,30	72			

Відповідно до валідації використаної методики визначення концентрації диметоату в розчині, межа кількісного визначення речовини становить 15 ppm.

Виходячи з отриманих даних час дезактивації зараженого розчину із вмістом забруднюючої речовини (диметоату) з ≈ 3000 ppm до рівня нижче межі кількісного визначення становить 120 хвилин. Цей показник є прийнятним для умов очищення технологічного обладнання в умовах хімічного виробництва.

Висновки. Нова міцелярна деконтамінаційна система на основі твердого джерела пероксиду водню прийнятна для очищення технологічного обладнання в модельному процесі виробництва з використанням активного інгредієнту диметоату. Час дезактивації зараженого розчину із вмістом диметоату 3000 ppm до рівня нижче межі кількісного визначення становить 120 хвилин.

Подальші розвідки у напрямку випробування міцелярної системи деконтамінації фосфорорганічних сполук на основі твердого джерела пероксиду водню будуть спрямовані на дослідження знезараження речовин, що забруднюють технологічне обладнання в різних процесах виробництва на фармацевтичних та хімічних підприємствах.

Подяка. Публікація містить результати досліджень, проведених за грантової підтримки Міністерства освіти і науки України (№ держ. реєстр. НДР 0116U004574).

Література

1. Нуклеофильная реакционная способность HO^- , HO_2^- -анионов в водно-спиртовых смесях и HCO_4^- -аниона в воде / Савелова В. А. и др. // Журн. орган. химии. 2005. Т. 41 (12). С. 1810–1818.
2. Петров С. В. Основные проблемы уничтожения химического оружия // Журн. Рос. хим. об-ва им. Д. И. Менделеева. 1993. Т. 37 (3). С. 5 – 7.
3. Vakhitova L. Decontamination of methyl parathion in activated nucleophilic systems based on carbamide peroxisolvate / L. Vakhitova, V. Bessarabov, N. Taran, G. Kuzmina, G. Zagoriy, O. Baula, A. Popov // Eastern-European Journal of Enterprise technologies. 2017. Vol. 6, N 10(90). P. 31–37.
4. Неорганические анионные кислородосодержащие α -нуклеофилы – эффективные акцепторы ацильной группы. Гидроксиламин – «лидер» в ряду α -нуклеофилов / Симаненко Ю. С. и др. // Журн. орган. химии. 2002. Т. 38 (9). С. 1341 – 1353.
5. Equilibria, kinetics, and mechanism in the bicarbonate activation of hydrogen peroxide: oxidation of sulfides by peroxydicarbonate / Richardson D. E. et al. // J. Am. Chem. Soc.

References

1. Savelova V. A. et al. (2005). *Nukleofylnaia reaktivnost' HO^- , HO_2^- -anyonov v vodno-spyrtovikh smesiakh y HCO_4^- -anyona v vode* [Nucleophilic reactivity of HO^- , HO_2^- anions in water-alcohol mixtures and HCO_4^- - anion in water]. *Zhurn. orhan. khymyy – Journal of Organic Chemistry*, 41 (12), 1810–1818 [in Russian].
2. Petrov S. V. (1993) *Osnovnye problemy unychtozheniya khymicheskogo oruzhyia* [The main problems of the destruction of chemical weapons]. *Zhurn. Ros. khym. ob-va im. D. I. Mendeleeva – Journal of D.I. Mendeleev Russian chemical society* 1993, 37 (3), 5 – 7 [in Russian].
3. Vakhitova, L., Bessarabov, V., Taran, N., Kuzmina, G., Zagoriy, G., Baula, O., Popov, A. (2017). Decontamination of methylparathion in activated nucleophilic systems based on carbamide peroxisolvate. *Eastern-European Journal of Enterprise technologies*, 6 (10 (90), 31 – 37.
4. Symanenko Yu. S. et al. (2002). *Neorhanycheskye anyonnye kyslorodosoderzhashchye α -nukleofily – effektivnye akseptory atsylnoi hruppi. Gidroksylamin – «lyder» v riadu α -nukleofylov* [Inorganic anionic oxygen-containing α -nucleophiles are effective acceptors of the acyl group. Hydroxylamine - "leader" in the α -nucleophilic series]. *Zhurn. orhan. khymyy – Journal of Organic Chemistry*, 2002, 38 (9), 1341 – 1353 [in Russian].
5. Richardson D. E. et al. (2000). Equilibria, kinetics, and mechanism in the bicarbonate activation of hydrogen peroxide: oxidation of sulfides by peroxydicarbonate. *J.*

2000. Vol. 122 (8). P. 1729 – 1739.

6. Molybdate/peroxide oxidation of mustard in microemulsions / Wagner G. W. et al. // *Langmuir*. 2001. Vol. 17 (16). P. 4809 – 4811.

7. Wagner G. W., Yang Y.-C. Rapid nucleophilic/oxidative decontamination of chemical warfare agents // *Ind. Eng. Chem. Res.* 2002. Vol. 41 (8). P. 1925 – 1928.

8. Реакционная способность неорганических α -нуклеофилов в процессах переноса фосфорильной и фосфонильной групп / Попов А. Ф. и др. // *Теорет. и эксперим. химия*. 2000. Т. 36 (4). С. 226 – 232.

9. Мицеллярные эффекты ПАВ в реакциях расщепления 4-нитрофенилдиэтилфосфата та гидропероксид-анионом / Соломоиченко Т. Н. и др. // *Теорет. и эксперим. химия*. 2006. Т. 42 (6). С. 357 – 363.

10. Yao H., Richardson D. E. Bicarbonate surfloxidants: micellar oxidations of aryl sulfides with bicarbonate-activated hydrogen peroxide // *J. Am. Chem. Soc.* 2003. Vol. 125 (20). P. 6211 – 6221.

11. Мицеллярные эффекты в окислении метилфенилсульфида пероксидом водорода и пероксидгидрокарбонат-анионом / Вахитова Л. Н. и др. // *Теорет. и эксперим. химия*. 2006. Т. 42 (5). С. 281 – 287.

12. Bessarabov V. Development of micellar system for the decontamination of organophosphorus compounds to clean technological equipment / V. Bessarabov, L. Vakhitova, G. Kuzmina, G. Zagoriy, O. Baula // *Eastern-European Journal of Enterprise technologies*. 2017. Vol. 1, N 6 (85). P. 42 – 49.

13. Патент України на винахід UA116710U. Деконтамінаційна композиція для утилізації фосфор- та сіркоорганічних токсичних речовин / Вахитова Любов Миколаївна (UA), Бессарабов Володимир Іванович (UA); заявник і власник патенту Інститут фізико-органічної хімії і вуглехімії ім. Л. М. Литвиненка НАН України. Заявл. 31.08.16. Опубл. 25.04.2018, Бюл. №8.

Am. Chem. Soc., 122 (8), 1729 – 1739.

6. Wagner G. W. et al. (2001). Molybdate/peroxide oxidation of mustard in microemulsions. *Langmuir*, 17(16), 4809 – 4811.

7. Wagner G. W., Yang Y.-C. (2002). Rapid nucleophilic/oxidative decontamination of chemical warfare agents. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 41(8), 1925 – 1928.

8. Popov A.F. et al. (2000). *Reaktsionnaia sposobnost neorhanycheskykh α -nukleofylov v protsessakh perenosa fosforylnoi y fosfonylnoi hrupp* [Reactivity of inorganic α -nucleophiles in the transfer processes of phosphoryl and phosphonyl groups]. *Teoret. y eksperym. khymiya – Theoretical and experimental chemistry*, 36(4), 226 – 232, [in Russian].

9. Solomoichenko T. N. et al. (2006). *Mytselliarnie effekti PAV v reaktsiyakh rasshchepleniya 4-nitrofenyldyetylfosfonata hydroperoksyd-anyonon* [Micellar effects of surfactants in the reactions of 4-nitrophenyl diethylphosphonate cleavage by hydroperoxide anion]. *Teoret. y eksperym. khymiya – Theoretical and experimental chemistry*, 42(6), 357 – 363 [in Russian].

10. Yao H., Richardson D. E. (2003). Bicarbonate surfloxidants: micellar oxidations of aryl sulfides with bicarbonate-activated hydrogen peroxide // *J. Am. Chem. Soc.*, 125(20), 6211 – 6221.

11. Vakhytova L. N. et al. (2006). *Mytselliarnie effekti v okysleny metylfenylsulfyda peroksydom vodoroda y peroksohydrokarbonat-anyonon* [Micellar effects in the oxidation of methylphenyl sulfide with hydrogen peroxide and peroxohydrocarbonate anion]. *Teoret. y eksperym. khymiya – Theoretical and experimental chemistry*, 42(5), 281 – 287 [in Russian].

12. Bessarabov, V., Vakhitova, L., Kuzmina, G., Zagoriy, G., Baula, O. (2017). Development of micellar system for the decontamination of organophosphorus compounds to clean technological equipment. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1(6 (85), 42 – 49.

13. Vakhitova L. M., Bessarabov V. I. Patent UA116710U. *Dekontaminatsiina kompozytsiia dlia utylizatsii fosfor- ta sirkoorhanichnykh toksychnykh rehovyn* [Decontamination composition for utilization of phosphorus and sulfur-organic toxic substances]. Applicant and patent holder L. M. Litvinenko Institute of Physical-Organic Chemistry and Coal Chemistry National Academy of Sciences of Ukraine. Declared August 31, 2006, Pubwished Apr 25, 2018, Byul. No. 8 [in Ukraine].

BESSARABOV VOLODYMYR

bessarabov.vi@knutd.com.ua

ResearcherID: D-3425-2017

ORCID: orcid.org/0000-0003-0637-1729

Kyiv National University of Technology and Design

VASYLENKO VOLODYMYR

<https://orcid.org/0000-0001-5927-5912>

Kyiv National University of Technology and Design

VAKHITOVA LIUBOV

L.M.Vakhitova@nas.gov.ua

J-9402-2016

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

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

KUZMINA GALINA

galina_kuzmina@ukr.net

ResearcherID: 57193353594

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0691-8563>

Kyiv National University of Technology and Design

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА ОЧИСТКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ФАРМАЦЕВТИЧЕСКИХ И ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МИЦЕЛЛЯРНОЙ СИСТЕМЫ ДЕЗАКТИВАЦИИ

БЕССАРАБОВ В. И.^{*}, ВАХИТОВА Л. Н.^{**}, КУЗЬМИНА Г. И.^{*},
ВАСИЛЕНКО В. Ю.^{*}

Киевский национальный университет технологий и дизайна^{*}

Институт физико-органической химии и углехимии им. Л. М. Литвиненко НАН Украины^{**}

Цель. Разработка метода очистки технологического оборудования фармацевтических и химических производств с использованием новой мицеллярной системы дезактивации на основе твердого источника пероксида водорода.

Методика. Модельным веществом характерной химической структуры избран диметоат. В качестве модельной системы для определения эффективности системы деконтаминации использовали процесс очистки технологического оборудования при производстве гербицида на основе диметоата. Для определения концентрации диметоата в растворах использовали валидированную HPLC методику.

Результаты. Установлено, что новая мицеллярная деконтаминационная система на основе твердого источника пероксида водорода приемлема для очистки технологического оборудования в модельном процессе производства с использованием активного ингредиента диметоата. Показано, что время дезактивации заражённого раствора с содержанием диметоата 3000 ppm до уровня ниже предела количественного определения составляет 120 минут.

Научная новизна. Впервые исследована эффективность новой мицеллярной системы дезактивации на основе твердого источника пероксида водорода для очистки технологического оборудования в модельном процессе производства пестицидов на основе диметоата.

Практическая значимость. На основании оценки эффективности новой мицеллярной системы дезактивации на основе твердого источника пероксида водорода в процессе обеззараживания промывных вод, содержащих диметоат, могут быть разработаны технологические схемы очистки технологического оборудования в химической и фармацевтической отраслях промышленности.

Ключевые слова: деконтаминация, фосфорорганические соединения, эффективность, метод очистки оборудования, твердый источник пероксида водорода, токсичные вещества

STUDY OF THE METHOD OF CLEANING OF TECHNOLOGICAL EQUIPMENT OF
PHARMACEUTICAL AND CHEMICAL MANUFACTURES USING A MICELLAR
DEZAKTIVATION SYSTEM

BESSARABOV V. I.^{*}, VAKHITOVA L. M.^{**}, KUZMINA G. I.^{*}, VASYLENKO V. Y.^{*}

*Kyiv National University of Technologies and Design**

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

Purpose. Research of the method of purification of technological equipment of pharmaceutical and chemical industries using a new micellar system of decontamination based on a solid hydrogen peroxide source.

Methodology. Dimethoate is chosen as the model substance of a characteristic chemical structure. As a model system for determining the efficiency of the decontamination system, the process of cleaning technological equipment for the production of herbicide on the basis of dimethoate was used. To determine the concentration of dimethoate in solutions, a validated HPLC technique was used.

Findings. It has been established that a new micellar decontamination system based on a solid hydrogen peroxide source is suitable for purification of process equipment in the model production process using the active ingredient of dimethoate. It has been shown that the decontamination time of an contaminated solution with a content of dimethoate of 3000 ppm to a level below the quantitative limit is 120 minutes.

Originality. For the first time, the effectiveness of a new micellar system of decontamination on the basis of a solid hydrogen peroxide source for the purification of process equipment in the modeling process for the production of pesticides based on dimethoate has been investigated.

Practical value. Based on the evaluation of the efficiency of a new micellar system of decontamination on the basis of a solid hydrogen peroxide source in the process of decontaminating washable waters containing dimethoate, technological schemes for the purification of process equipment in the chemical and pharmaceutical industries can be developed.

Key words: decontamination, organophosphorus compounds, efficiency, method of purification of equipment, hard source of hydrogen peroxide, toxic substances

УДК:615.454.1:
658.562.012.7

ЩЕНКО О. В., БЕССАРАБОВ В. І., ПЛАВАН В. П.,
БАУЛА О. П., РЕСНИЦЬКИЙ І. В., ЧЕРКАС С. С.
Київський національний університет технології та дизайну

ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕТИКИ ВИВІЛЬНЕННЯ АНТИМІКРОБНОГО ПРЕПАРАТУ ДЕКАМЕТОКСИНУ В ПОЛІМЕРНИХ ПЛІВКАХ МЕДИЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Мета. Основною метою даної роботи було дослідження кінетики вивільнення лікарського антисептичного препарату декаметоксину з полімерної плівки, для визначення можливості їх використання у складі трансдермальних терапевтичних систем.

Методика. В дослідженні використовували полімерні плівки до складу яких входили полівініловий спирт, модифікований крохмаль, гліцерин та антисептичний препарат декаметоксин. Для розчинення використовували воду 3-го класу чистоти. Контроль розчинення зразків та побудова калібрувального графіку за декаметоксином здійснювали спектрофотометрично на приладі OPTIZEN POP UV VIS («Mecasys», Південна Корея) при довжині хвилі 198 нм.

Результати. Доведено доцільність використання композицій на основі полівінілового спирту та модифікованого крохмалю для отримання плівок медичного призначення. Встановлено, що найбільш швидке вивільнення декаметоксину в водну фазу відбувається з полімерної плівки складу полівініловий спирт/модифікований крохмаль (3:1) та декаметоксину (5%). При цьому константа швидкості першого порядку складає 0,0076 1/хв та перевищує значення відповідних констант швидкості для інших досліджених полімерних композицій в 3 – 7 раз.

Наукова новизна роботи обумовлена забезпеченням механічної міцності плівок та сповільнення процесів сорбції-десорбції ліпофільних лікарських препаратів за рахунок використання композицій полімерних матеріалів. Основним принципом створення терапевтичних систем є регулювання швидкості надходження лікарської речовини через шкіру. На прикладі декаметоксину досліджено кінетику вивільнення препарату, розраховані кінетичні константи для різного складу полімерних плівок.

Практична значимість. Наведені результати досліджень кінетики вивільнення антисептичного препарату декаметоксину, який входить до складу полімерної плівки, показують, що запропонований склад володіє пролонгованою дією та дає можливості використання в лікуванні антисептичними засобами та додати нові характеристики і переваги, для розширення асортименту терапевтичних трансдермальних систем.

Ключові слова: кінетика, антисептики, декаметоксин, полімерні плівки, модифікований крохмаль, пролонгована дія.

Вступ. В даний час розробка і дослідження нових лікарських форм (ЛФ) на основі природних полімерів, призначених для використання у фармації, набуває значення для створення ефективних лікарських засобів. Природа високомолекулярних сполук надає ЛФ нові властивості і значно підвищує їх ефективність [1]. Допоміжні речовини (ДР) можуть цілеспрямовано впливати на фармакокінетику активних фармацевтичних інгредієнтів (АФІ) - контролювати ступінь і час їх вивільнення з лікарського препарату. Фактично полімери виступають у ролі ДР, що регулюють вивільнення АФІ.

Для пролонгованої дії лікарських засобів (ЛЗ) поширення набули такі технологічні методи:

- підвищення в'язкості дисперсійного середовища (введення в гель лікарської речовини);
- створення сполук АФІ та ДР за рахунок фізико-хімічних або хімічних зв'язків;

- суспендування розчинних лікарських речовин; створення інших лікарських форм, наприклад, очних лікарських плівок замість розчинів і інші методи;
- введення лікарських речовин в плівкові оболонки;
- іммобілізація АФІ у біодеградуючих системах.

В якості біодеградуючих систем використовують біополімери: нуклеїнові кислоти, білки і полісахариди [2]. Полісахариди складаються з ланок, з'єднаних один з одним глікозидними зв'язками. Полісахариди мають ряд переваг перед нуклеїновими кислотами і білками, вони більш стабільні і зазвичай не піддаються необоротній денатурації при нагріванні [3]. Різноманітні структури і властивості вуглеводів забезпечують молекулярні і біологічні переваги для їх використання при отриманні матеріалів із заданими властивостями.

Характерні властивості нативного крохмалю, такі як хороша біосумісність, біодеградація, нетоксичність, належні механічні властивості і розчинність, роблять цей матеріал придатним для розробки біокомпозитів медичного застосування [4].

Матеріали на основі модифікованих полісахаридів (целюлоза, крохмаль) входять до класу фізіологічно активних полімерів і мають переваги порівняно з синтетичними полімерами, які можуть небажано впливати на організм за рахунок певних молекулярних структурних елементів. Спільні зусилля хіміків, біологів та медиків зосереджені на проблемі надання перев'язувальним матеріалам додаткових лікувальних властивостей, зокрема антимікробних, шляхом забезпечення прояви лікувального ефекту у самій полімерній композиції [1].

Значний інтерес у розвитку технології нових ЛФ представляють катіонні ПАР (КПАР), серед яких відомі четвертинні амонієві соли. КПАР застосовуються як дезінфікуючі, антимікробні та фунгіцидні засоби, що обумовлює можливість їх використання у виробництві матеріалів з антимікробними властивостями.

До класу біс-четвертинних амонієвих солей відноситься декаметоксин (ДКМ) - антимікробний АФІ, який має широкий спектр дії: активний до грампозитивних мікроорганізмів (стафілококи, стрептококи, спороутворюючі бацили, коринебактерії, *Candida albicans*) та грамнегативних бактерій (ешерихії, сальмонели, шигели, клебсієли, протеї, вібріони та ін.).

Ефект бактерицидності проявляється завдяки позитивному заряду, який несе молекула декаметоксину. За рахунок цього молекули препарату притягуються до зовнішньої поверхні бактеріальної мембрани, зарядженої негативно. І хоча ефект заміщення четвертинними амонієвими солями інших позитивно заряджених іонів не настільки великий, цього виявляється достатньо для дестабілізації клітини мікроорганізму (рис. 1). Декаметоксин підвищує чутливість бактерій до антибіотиків, та одним з напрямків застосування - гнійні і грибкові захворювання шкіри.

Антимікробна активність антибіотиків, антисептиків залежить від концентрації АФІ в тканинах, біологічних рідинах. Вона відноситься до параметрів, які визначають ефективність антибіотикотерапії. На підставі даних про концентрації АФІ з протимікробними властивостями розробляють стандартні схеми застосування антимікробних препаратів [1].

Незважаючи на широке розмаїття існуючих полімерів, жоден з них не забезпечує досить ефективну і стабільну доставку антимікробного АФІ [2-4]. Тому, вивчення кінетики

вивільнення антимікробних АФІ є актуальною проблемою для обґрунтування ефективності антимікробних матеріалів медичного призначення з пролонгованою дією [8].

В роботі було досліджено кінетику вивільнення антимікробного АФІ декаметоксину з полімерних плівок на основі модифікованого крохмалю та полівінілового спирту (рис. 1). Вибір цих полімерів обумовлений тим, що вони мають плівкоутворюючі властивості, широко застосовуються як загусники, здатні до біологічного розкладу та володіють сорбційними, кровоспинними та іншими лікувальними властивостями [5, 8].

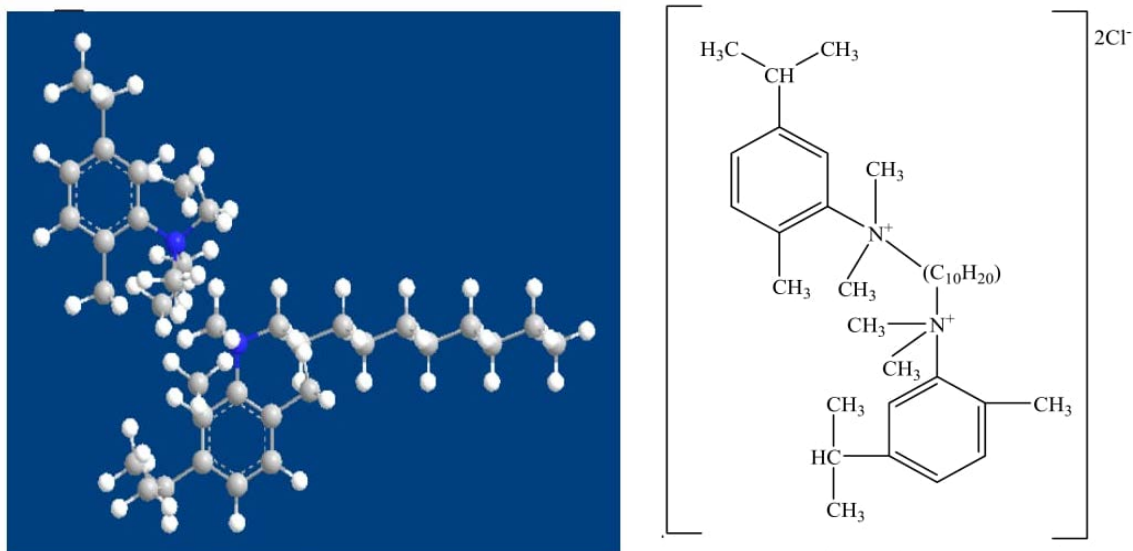


Рис. 1. Структурна формула декаметоксину [8]

Постановка задачі. Для досягнення мети даної роботи необхідно дослідити кінетику вивільнення лікарського антисептичного препарату декаметаксина з полімерних плівок на основі полівінілового спирту та модифікованого крохмалю різного складу, для визначення можливості їх використання у складі трансдермальних терапевтичних систем.

Матеріали та засоби дослідження. У даній роботі для надання антимікробних властивостей полімерним матеріалам використовували лікарський препарат декаметоксин (Субстанцію декаметоксину[®] (Decamethoxinum, ДКМ[®]) виготовлено на Дослідному виробництві Інституту органічної хімії Національної академії наук України (рис.1). Реєстраційне посвідчення UA/12128/01/01. Термін дії з 13.04.2012 по 13.04.2017 р. відповідно до наказу № 264 МОЗ України від 13.04.2012 р. Також полівініловий спирт, модифікований крохмаль (карбоксиметильований) та гліцерин, для розчинення використовували воду 3-го класу чистоти. Готували плівки методом поливу з 10 % водних розчинів полімерної композиції, співвідношення компонентів полівініловий спирт/модифікований крохмаль (1:3, 1:1, 3:1) та додавали декаметоксин 1, 3, 5 %. Висушували плівки при 45-50 °С протягом 90-120 хв. в сушильній шафі.

Всі матеріали відважувались безпосередньо та перед кожною серією розчинення на аналітичних вагах ALC-4100.1 (ACCULAB).

Розчинення проводилось в тестері розчинення VK 7000 з нагрівачем води VK 750D (Vankel, США), об'єм чаші розчинення 250 мл, швидкість обертання становила 100 об/хв, температура 25 °С. Кожний відбір проби компенсувався аналогічним об'ємом води третього

класу. При розчиненні відбиралась початкова проба води і надалі кожних 30, 60, 90, 120, 270, 300, 360, 420, 510, 540, 600, 690, 720, 840 хвилин, об'єм проби становив 5 мл. Концентрацію ДКМ в водному розчині визначали спектрофотометрично на приладі OPTIZEN POP UV VIS («Mecasys», Південна Корея) при довжині хвилі 198 нм.

Результати дослідження. У даній роботі наведені результати дослідження антимікробних полімерних матеріалів медичного призначення, який містить антисептичний лікарський препарат декаметоксин. На рис. 1, 2 та 3 наведено кінетичні криві вивільнення (вихід) антимікробного АФІ декаметоксину з полімерної плівки у водну фазу в залежності від її складу (3:1, 1:1, 1:3).

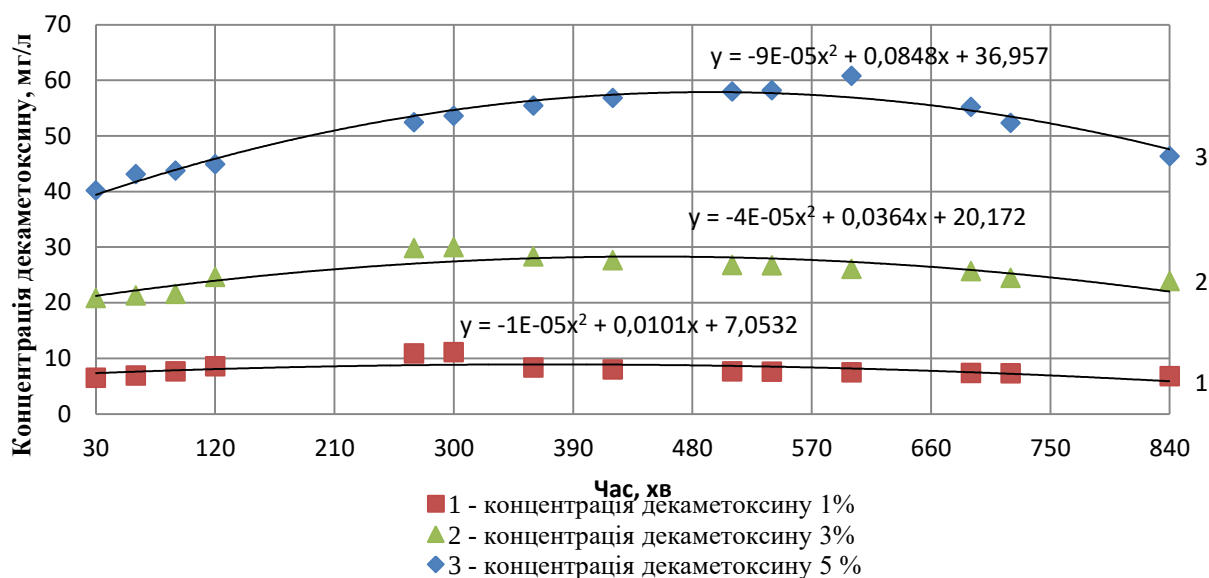


Рис. 1. Кінетичні криві вивільнення декаметоксину в водну фазу з полімерної плівки на основі полівінілового спирту та модифікованого крохмалю зі складом 3:1

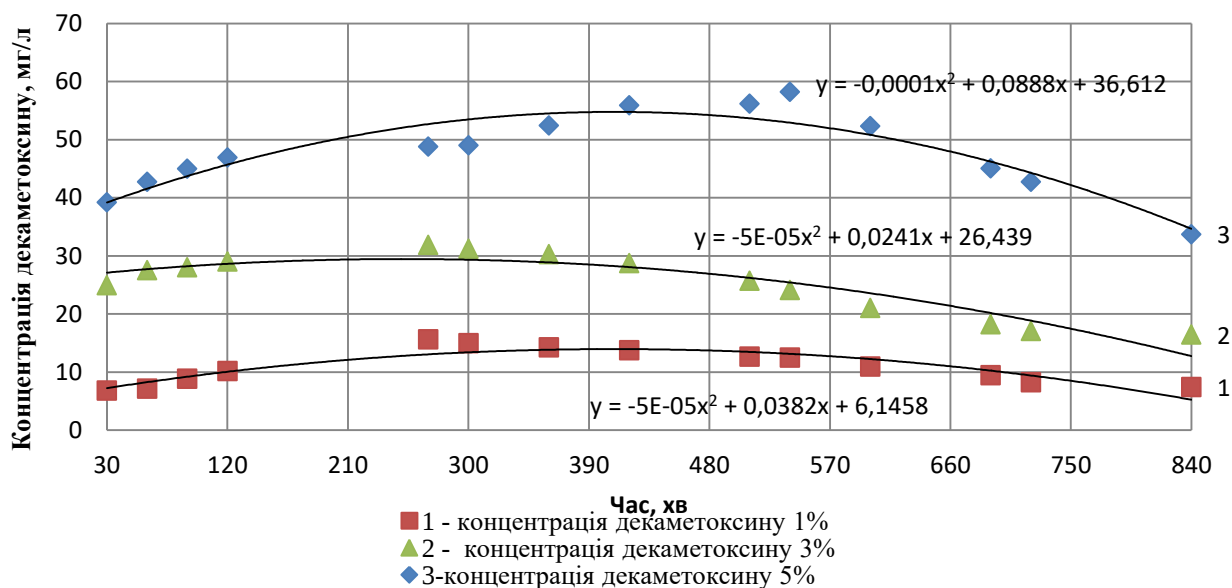


Рис. 2 Кінетичні криві вивільнення декаметоксину в водну фазу з полімерної плівки на основі полівінілового спирту та модифікованого крохмалю зі складом 1:1

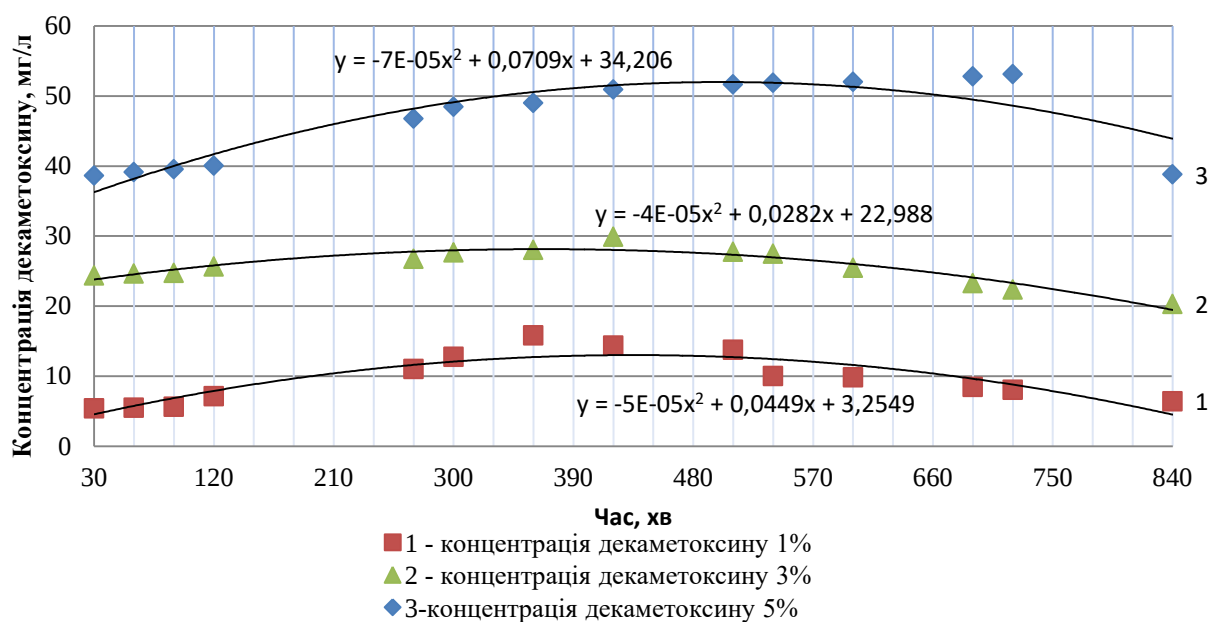


Рис. 3 Кінетичні криві вивільнення декаетоксину в водну фазу з полімерної плівки на основі полівінілового спирту та модифікованого крохмалю зі складом 1:3

В ході експерименту визначено середнє значення константи швидкості реакції першого порядку k_1 для різних полімерних систем (рис. 4):

- Полівініловий спирт/ модифікований крохмаль та декаетоксин (1%)
 - (3:1) = 0,0011 1/хв,
 - (1:1) = 0,0022 1/хв ,
 - (1:3) = 0,0018 1/хв
- Полівініловий спирт/ модифікований крохмаль та декаетоксин (3%)
 - (3:1) = 0,0026 1/хв,
 - (1:1) = 0,0031 1/хв ,
 - (1:3) = 0,0012 1/хв
- Полівініловий спирт/ модифікований крохмаль та декаетоксин (5%)
 - (3:1) = 0,0076 1/хв,
 - (1:1) = 0,0032 1/хв ,
 - (1:3) = 0,0030 1/хв.

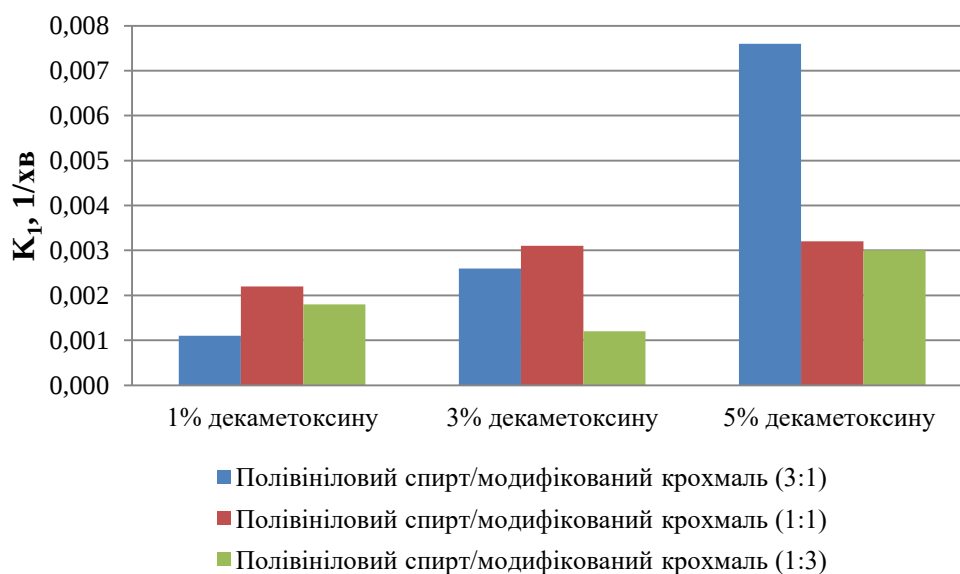


Рис. 4. Залежність констант швидкості першого порядку k_1 вивільнення декаметоксину у водну фазу від складу полімерної системи

В результаті проведених досліджень встановлено, що декаметоксин вивільняється з полімерних плівок медичного призначення різного складу протягом 14 год. Швидкість вивільнення АФІ декаметоксину є постійною і знаходиться в межах 0,1-1% вмісту АФІ в плівці за годину. Вивільнення декаметоксину в водну фазу протікає по складному дифузійно-кінетичному варіанту. Полімерний склад плівки суттєво впливає на кінетику вивільнення АФІ декаметоксину в водну фазу. Зразки, які мають склад (1:1) модифікований крохмаль:ПВС, стабільні в часі при вивільненні декаметоксину в водну фазу з полімерної плівки. Показано, що найбільш швидке вивільненням декаметоксину в водну фазу відбувається з полімерної плівки складу ПВС/модифікований крохмаль (3:1) та декаметоксину (5%). При цьому константа швидкості першого порядку складає 0,0076 1/хв та перевищує значення відповідних констант швидкості для інших досліджених полімерних композицій в 3 – 7 раз.

Висновки. Основним принципом створення терапевтичних систем є регулювання швидкості надходження лікарської речовини через шкіру. На підставі даних про концентрації протимікробних засобів розробляють стандартні схеми застосування антимікробних препаратів. Результати досліджень кінетики вивільнення антисептичного препарату декаметоксину, який входить до складу полімерної плівки на основі полівінілового спирту та модифікованого крохмалю, показують, що запропонований склад володіє пролонгованою дією та дає можливості використання в лікуванні антисептичними засобами та додати нові характеристики і переваги, для розширення асортименту терапевтичних трансдермальних систем. Використання композиції полімерів забезпечує механічні властивості плівок та сповільнення процесів сорбції-десорбції ліпофільних лікарських препаратів.

Література

1. Галатенко Н. Л. Створення перев'язного плівкового засобу з широким спектром дії для лікування ран та опіків / Н.Л. Галатенко / Клінічна терапія. - 2006. - № 11-12 - С.52-53.
2. Олтаржевская Н. Д., Коровина М. А., Савилова Л. Б. Текстиль и медицина. Перевязочные материалы с пролонгированным действием. Росс хим журнал 2002; ХБУ1: 1: 133—141.
3. Юданова Т. Н, Решетов И. В. Современные раневые покрытия: получение и свойства. Хим-фарм журн 2006; 40: 2: 24—31.
4. Ковальчук В. П. Экспериментальное исследование свойств антимикробных текстильных материалов. Вести Винницкого гос. мед. университет 1998; 1: 134 – 135.
5. Qin, Y. M. Advanced wound dressings / Y. M. Qin // J. of the Textile Institute. – 2001. –V.92.– №1.– P.127 – 138.
6. Машковский М. Д. Лекарственные средства. 15-е изд. М.: 2007; 953.
7. Weuffen W., Berencsi G, Groschel D., Kemter B., Kramer A, Krasilnicov A.P. Handbuch der antiseptic verlag volk und gesund. Berlin. Band II. Teil 3. 1987; 552-566.
8. Палий Г. К., Ковет Т. О., Палий В. Г. и др. Антисептики в профилактике и лечении инфекций: монография. Киев: 1997; С. 201.
9. Назарчук А. А., Палий В. Г., Кулаков А. И. и др. Патент № 74853. Украина. Композиция для придания медицинским текстильным материалам антимикробных свойств с пролонгированным действием. Заявлено 10.05.2012; опубликовано 12.11. 2012. Бюл. 2012; 21: 4.

References

1. Halatenko N. L. (2006). Stvorennia perev'iaznoho plivkovoho zasobu z shirokym spektrom dii dlia likuvannia ran ta opikiv [Creation tied up the offer film means with a broad spectrum of activity for treatment of wounds and burns] - *Klinichna terapiia*. – Vol. 11,12, 52 – 53. [in Ukrainian].
2. Oltarzhevskaya N. D., Korovina M. A., Savilova L. B. [2002] Tekstil' i meditsina. Perevyazochnye materialy s prolongirovannym deystviem. [Textiles and medicine. Bandages with prolonged action] - *Ross khim zhurnal*; Vol. 1: 133 – 411. [in Russian].
3. Yudanov T. N, Reshetov I. V. (2006) Sovremennye ranevye pokrytiya: poluchenie i svoystva. [Modern Wound Coatings: getting and properties] *Khim-farm zhurn*; Vol. 40:2, 24 – 31 [in Russian].
4. Koval'chuk V. P. (1998). Eksperimental'noe issledovanie svoystv antimikrobnykh tekstil'nykh materialov. [Experimental study of the properties of antimicrobial textile materials]. *Vesti Vinnitskogo gos. med. universitet*; Vol. 1, 134 – 135. [in Ukrainian].
5. Qin, Y. M. [2001]/ Advanced wound dressings / Y. M. Qin // *J. of the Textile Institute*. V.92.(1), 127 – 138.
6. Mashkovskiy M. D. (2007) Lekarstvennye sredstva. [Medicines] Moscow; 953 [in Russian].
7. Weuffen W., Berencsi G, Groschel D., Kemter B., Kramer A, Krasilnicov A.P. [1987] Handbuch der antiseptic verlag volk und gesund. Berlin. Band II. Teil 3, 552-566.
8. Paliy G. K., Koget T. O., Paliy V. G. et.al (1997). Antiseptiki v profilaktike i lechenii infektsiy [Antiseptics in the prevention and treatment of infections]; *Kyiv, p. 201* [in Ukrainian].
9. Nazarchuk A. A., Paliy V. G., Kulakov A. I. et.al. (2012). Ukraina. Kompozitsiya dlya pridaniya meditsinskim tekstil'nyim materialam antimikrobnykh svoystv s prolongirovannym deystviem [Composition for providing medical materials of antimicrobial properties with prolonged action]. Ukrainian patent no. 74853.

BESSARABOV VOLODYMYR

bessarabov.vi@knuutd.com.ua

ResearcherID: D-3425-2017

ORCID: orcid.org/0000-0003-0637-1729

Kyiv National University of Technologies and Design

PLAVAN V. P

plavan.vp@knuutd.edu.ua

ResearcherID: I-5852-2015

ORCID: orcid.org/0000-0001-9559-8962

Kyiv National University of Technologies and Design

BAULA OLHA

baula.op@knuutd.com.ua

ResearcherID: 57193357927

ORCID: orcid.org/0000-0003-4305-6517

Kyiv National University of Technologies and Design

ISCHENKO O.

e_ishchenko5@gmail.com

ResearcherID: G-3045-2018

ORCID: orcid.org/0000-0002-9510-6005

Kyiv National University of Technologies and Design

RESNYTSKYI I.

ilya9res@gmail.com

ORCID: orcid.org/0000-0003-4376-0811

Kyiv National University of Technologies and Design

CHERKAS S.

cherkas_0-9@ukr.net

Kyiv National University of Technologies and Design

ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ ВЫСВОБОЖДЕНИЯ АНТИМИКРОБНОГО ПРЕПАРАТА ДЕКАМЕТОКСИНА ИЗ ПОЛИМЕРНОЙ ПЛЕНКИ МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

ИЩЕНКО О. В., БЕССАРАБОВ В. И., ПЛАВАН В. П., БАУЛА О. П.,
РЕСНИЦЬКИЙ И. В., ЧЕРКАС С. С.

Киевський національний університет технологій і дизайну

Цель. Основной целью данной работы было исследование кинетики высвобождения лекарственного антисептического препарата декаметоксина из полимерной пленки, для определения возможности ее использования в составе трансдермальных терапевтических систем.

Методика. В исследовании использовали полимерные пленки, в состав которых входили поливиниловый спирт, модифицированный крахмал, глицерин и антисептический препарат декаметоксин. Для растворения использовали воду 3-го класса чистоты. Контроль образцов растворения и построение калибровочного графика по ДКМ осуществляли спектрофотометрически на приборе OPTIZEN POP UV VIS («Mecasys», Южная Корея) при длине волны 198 нм.

Результаты. Доказана целесообразность использования композиций на основе поливинилового спирта и модифицированного крахмала для получения пленок медицинского назначения. Установлено, что наиболее быстрое высвобождением ДКМ в водную фазу происходит из полимерной пленки состава поливиниловый спирт / модифицированный крахмал (3: 1) и декаметоксин (5%). При этом константа скорости первого порядка составляет 0,0076 1/мин и превышает значения соответствующих констант скорости для других исследованных полимерных композиций в 3 - 7 раз.

Научная новизна работы обусловлена обеспечением механической прочности пленок и замедлением процессов сорбции-десорбции липофильных лекарственных препаратов за счет использования композиции полимерных материалов. Основным принципом создания терапевтических систем является регулирование скорости поступления лекарственного вещества через кожу, на примере декаметоксина, исследована кинетика высвобождения препарата, рассчитаны кинетические константы для различного состава полимерных пленок.

Практическая значимость. Расширение ассортимента терапевтических трансдермальных систем. Приведенные результаты исследований кинетики высвобождения антисептического препарата декаметоксина, который входит в состав полимерной пленки показывают, что предложенный состав обладает пролонгированным действием и позволяет использование в лечении антисептическими средствами, таким образом добавить новые характеристики и преимущества.

Ключевые слова: кинетика, антисептики, декаметоксин, полимерные пленки, модифицированный крахмал, пролонгированное действие.

INVESTIGATION OF THE KINETICS OF RELEASING OF DECAMETHOXIN ANTIMICROBIC DRUGS FROM MEDICAL APPLICATION POLYMERIC FILMS

ISHCHENKO O. V., BESSARABOV V. I., PLAVAN V. P., BAULA O. P.,
RESNYTSKYI I. V., CHERKAS S. S.

Kyiv National University of Technologies and Design

Purpose. The main purpose of this work was to investigate the kinetics of releasing of the antiseptic drug decamethoxin from polymeric films to determine the ability of their use in the composition of transdermal therapeutic systems.

Methodology. Polymeric films containing polyvinyl alcohol, modified starch, glycerol and antiseptic drug decamethoxin were used in the investigation. For dissolution, water of grade 3 of purity was used. Control of the dissolution samples and the construction of the calibration graphic for DCM was performed spectrophotometrically on the OPTIZEN POP UV VIS device ("Mecasys", South Korea) at a wavelength of 198 nm.

Findings. The expediency of the use of compositions based on polyvinyl alcohol and modified starch for obtaining medical films has been proved. It was established that the fastest release of DCM into the aqueous phase comes from a polymeric composition film of polyvinyl alcohol / modified starch (3: 1) and decamethoxin (5%). In this case, the rate constant of the first order is 0.0076 1 / min and it is 3-7 times more than the value of the corresponding rate constants for other investigated polymeric compositions.

Originality. The scientific novelty of the work is due to provided mechanical strength of the films and achieved slowdown of sorption-desorption processes of lipophilic drugs through the use of a composition of polymeric materials. The main principle therapeutic systems are built on is regulation of the rate of drug delivery through the skin, and on the example of decamethoxin the kinetics of drug release is investigated, kinetic constants for different composition of polymer films are calculated.

Practical value. Extension of the range of therapeutic transdermal systems. The results of the investigated kinetics of releasing of decamethoxin antiseptic drug, which is part of a polymer film, show that the proposed composition has prolonged action and provides an opportunity for use in the treatment of antiseptic agents and adds new characteristics and benefits.

Key words: kinetics, antiseptics, decamethoxin, polymer films, modified starch, prolonged action.